

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES**

**Tema:** “Las Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura”

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magister en Vías Terrestres

**Autor:** Ing. Víctor Trajano Naranjo Perugachi

**Director:** Ing. M.Sc. Víctor Hugo Fabara Villacreces

Ambato - Ecuador

2011

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “Las Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura”, presentado por: Víctor Trajano Naranjo Perugachi y conformado por: Ingeniero M.Sc. Dilon Moya, el Ingeniero M.Sc. Víctor Hugo Paredes, y la Ingeniera M.Sc. Lorena Pérez, Miembros del Tribunal, Ingeniero M.Sc. Víctor Hugo Fabara Villacreces, Director del trabajo de investigación y presidido por: Ingeniero M.Sc. Francisco Pazmiño Presidente del Tribunal; Ingeniero M.Sc. Juan Garcés Chávez Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

-----  
Ing.M.Sc. Francisco Pazmiño  
Presidente del Tribunal de Defensa

-----  
Ing.M.Sc. Juan Garcés  
DIRECTOR CEPOS

-----  
Ing.M.Sc. Víctor Hugo Fabara Villacreces  
Director de Trabajo de investigación

-----  
Ing.M.Sc. Víctor Hugo Paredes  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing.M.Sc. Dilon Moya  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. M.Sc. Lorena Pérez  
Miembro del Tribunal

## **AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema “Las Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura”, nos corresponde exclusivamente el Ingeniero Víctor Trajano Naranjo Perugachi y del Ingeniero M.Sc. Víctor Hugo Fabara Villacreces Director del Trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Víctor Trajano Naranjo Perugachi

Autor

-----  
Ing. M.Sc. Víctor Hugo Fabara

Director de Tesis

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

-----  
Ing. Víctor Trajano Naranjo Perugachi

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Jenny, a mis hijos: Pablo Josué y; Víctor Mateo, con todo mi amor.

A mis amados padres y su amor eterno.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dejar constancia de mi gratitud a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a todos los profesores de la Maestría en Vías Terrestres. Al Ing. Víctor Hugo Fabara por su asesoría técnica, al Ing Oswaldo Manotoa, del Laboratorio del Municipio de Ambato, y sus ayudantes: Don Holguer, Miguel y Walter, por su invaluable ayuda durante los ensayos realizados, mil gracias.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

	Pág.
1.1 Tema de investigación.	1
1.2 Planteamiento del problema.	1
1.2.1 Contextualización.	1
1.2.2 Análisis crítico.	2
1.2.3 Prognosis.	3
1.2.4 Formulación del problema.	3
1.2.5 Problemas directrices.	3
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.	3
1.2.6.1 Contenido en qué área o en qué campo.	4
1.2.6.2 Espacial.	4
1.2.6.3 Temporal.	
1.3 Justificación.	4
1.4 Objetivos.	5
1.4.1 Objetivo general.	5
1.4.2 Objetivos específicos.	5

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEORICO.

2.1 Antecedentes investigativos.	7
2.2 Fundamentación filosófica.	8
2.3 Fundamentación legal.	8
2.4 Categorías fundamentales.	8
2.4.1 Supra ordinación de variables.	8
2.4.2 Definiciones.	9
2.4.2.1 Subrasante.	9

2.4.2.2	Concepto de suelo.	9
2.4.3	Caracterización física.	10
2.4.4	Comportamiento De los suelos.	10
2.4.5	Estados de consistencia de un suelo.	11
2.4.6.	Propiedades.	11
2.4.6.1	Estabilidad volumétrica.	12
2.4.6.2	Resistencia.	12
2.4.6.3	Permeabilidad.	12
2.4.4.4	Compresibilidad.	12
2.4.6.5	Durabilidad.	12
2.4.7	Condiciones agentes estabilizantes.	12
2.4.8	Corrección por granulometría.	13
2.4.9	Métodos de estabilización.	13
2.4.9.1	Compactación.	14
2.4.9.2	Geo sintéticos.	13
2.4.9.3	Aditivos.	15
2.4.10	Definición de toba volcánica.	17
2.4.11.	Capa de rodadura.	17
2.4.11.1	Concepto.	18
2.4.11.2	Comodidad.	18
2.4.11.3	Seguridad.	18
2.4.11.4	Velocidad de circulación.	18
2.4.12	Ensayos de laboratorio.	18
2.5	Hipótesis.	18
2.5.1	Unidades de observación o análisis.	18
2.5.2	Variables:	19

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1	Enfoque.	20
3.2	Modalidad básica de la investigación	20



3.2.1	Modalidad.	20
3.3	Tipo de investigación.	20
3.4	Población y muestra.	21
3.4.1	Población.	21
3.4.2	Muestra.	21
3.4.2.1	Tipo de muestra.	21
3.5	Operacionalización de variables	22
3.5.1	Variable dependiente: comportamiento de la capa de rodadura.	22
3.5.2	Variable independiente: propiedades mecánicas de la subrasante.	23
3.6	Recolección de muestras y ensayos.	23
3.7	Procesamiento y análisis.	24

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Ensayos de laboratorio.	25
4.1.1.1	Granulometría de suelo de páramo.	25
4.1.1.2	Granulometría de toba volcánica.	26
4.1.1.3	Granulometría de arena.	27
4.1.2	Resultados de ensayos de límites de Atterberg.	28
4.1.2.1	Límites de Atterberg del suelo de páramo (de la subrasante de la vía).	28
4.1.2.2	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% arena.	29
4.1.2.3	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% arena.	30
4.1.2.4	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 20% arena.	31
4.1.2.5	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 100% arena.	32

4.1.2.6	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% toba volcánica.	33
4.1.2.7	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% toba volcánica.	34
4.1.2.8	Límites de Atterberg del suelo de páramo + 20% toba volcánica.	35
4.1.2.9	Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 100% toba volcánica.	36
4.1.3	Determinación de porcentaje de cal usando el PH (potencial hidrógeno).	37
4.1.4	Determinación de resistencias relativas, mediante compresión no confinada.	38
4.1.4.1	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	38
4.1.4.2	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	39
4.1.4.3	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	39
4.1.4.4	Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cemento.	39
4.1.4.5	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
4.1.4.6	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
4.1.4.7	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
4.1.4.8	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41
4.1.4.9	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41
4.1.4.10	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41

4.1.4.11	Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cal.	42
4.1.4.12	Resistencia de probetas de suelo + 100% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	42
4.1.4.13	Resistencia de probetas de suelo + 75% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	42
4.1.4.14	Resistencia de probetas de suelo + 75% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	43
4.1.5	Determinación del CBR.	43
4.1.5.1.1	Ensayo Proctor del suelo de subrasante.	45
4.1.5.1.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra de suelo de subrasante.	46
4.1.5.1.3	Ensayo de penetración para CBR.(suelo de subrasante).	47
4.1.5.2.1	Ensayo Proctor de la arena	49
4.1.5.2.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra (arena).	50
4.1.5.2.3	Ensayo de penetración para CBR (arena).	51
4.1.5.3.1	Ensayo Proctor de la toba volcánica.	53
4.1.5.3.2	Compactación, con 56, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra ( toba volcánica).	54
4.1.5.3.3	Ensayo de penetración para CBR (toba volcánica).	55
4.1.5.4.1	Ensayo Proctor de suelo subrasante + 20 % arena.	57
4.1.5.4.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra (subrasante + 20 % arena).	58
4.1.5.4.3	Ensayo de penetración para CBR (subrasante + 20 % arena).	59
4.1.5.5.1	Ensayo Proctor de suelo subrasante + 20 % toba volcánica.	61
4.1.5.5.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) (subrasante + 20 % toba volcánica).	62
4.1.5.5.3	Ensayo de penetración para CBR (subrasante + 20 % toba volcánica).	63

4.1.5.6.1	Ensayo Proctor de suelo subrasante + 75% arena + 10% Cemento.	65
4.1.5.6.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra (subrasante + 75% arena + 10% cemento).	66
4.1.5.6.3	Ensayo de penetración para CBR (subrasante + 75% arena + 10% cemento).	67
4.1.5.7.1	Ensayo Proctor de suelo subrasante + 100 % toba volcánica+10% cemento.	69
4.1.5.7.2	Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra (subrasante + 100% toba volcánica +10% cemento).	70
4.1.5.7.3	Ensayo de penetración para CBR (subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento).	71
4.2	Interpretación de resultados.	73
4.2.1	Clasificación de suelo de subrasante.	73
4.2.2	Análisis de los límites de Atterberg.	73
4.2.2.1	Análisis de la variación de los Límites de Atterberg al añadirse porcentajes de toba volcánica.	73
4.2.2.2	Análisis de la variación de los Límites de Atterberg al añadirse porcentajes de arena.	74
4.2.3	Análisis del porcentaje de cal incorporado a las muestras de suelo arena y suelo toba volcánica.	75
4.2.4	Análisis de la resistencia relativa de las muestras ensayadas mediante compresión no confinada.	75
4.2.4.1	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	75
4.2.4.2	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	76
4.2.4.3	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	76
4.2.4.4	Resistencia de probetas de suelo y diferentes	

	porcentajes de cemento.	77
4.2.4.5	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	77
4.2.4.6	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	77
4.2.4.7	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	78
4.2.4.8	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	78
4.2.4.9	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	78
4.2.4.10	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	79
4.2.4.11	Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cal.	79
4.2.4.12	Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	79
4.2.4.13	Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	80
4.2.4.14	Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	80
4.2.5.	Resultados del ensayo de CBR.	81
4.2.5.1	Ensayo de CBR del suelo de subrasante.	81
4.2.5.2	Ensayo de CBR de arena del sector.	81
4.2.5.3	Ensayo de CBR de toba volcánica.	81
4.2.5.4	Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 20% de arena.	81
4.2.5.5	Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 20% de toba volcánica.	81
4.2.5.6	Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 75% de arena +10 % de cemento.	81
4.2.5.6	Ensayo de CBR de suelo de subrasante	

	con 100% de toba volcánica + 10 % de cemento.	81
4.3	Verificación de la hipótesis.	81

## **CAPÍTULO V**

### **CONCUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

5.1	Conclusiones.	83
5.2	Recomendaciones.	84

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA.**

6.1	Datos informativos.	85
6.2	Antecedentes de la propuesta.	85
6.3	Justificación.	86
6.4	Objetivos.	86
6.4.1	Objetivo General.	86
6.4.2	Objetivos específicos.	86
6.5	Análisis de factibilidad.	87
6.6	Fundamentación.	87
6.6.1	Reducción de los límites de Atterberg.	88
6.6.1.1	Reducción de los límites de Atterberg. con la adición de toba volcánica.	88
6.6.1.2	Reducción de los límites de Atterberg. con la adición de arena.	89
6.6.2	Relación de soporte de las muestras.	90
6.6.2.1	CBR de las probetas + % de cemento + % arena.	90
6.6.2.2	CBR de las probetas + % de cemento + % toba volcánica.	91
6.6.2.3	CBR de las probetas + % de cal+ % arena	92
6.6.2.4	CBR de las probetas + % de cal + % toba volcánica	93
6.6.3	CBR para diferentes combinaciones de subrasante + % arena + % toba volcánica +% de cemento.	94

6.7	Metodología del modelo operativo.	95
6.8	Administración.	107
6.9	Previsión de la evaluación.	108

## **MATERIALES DE REFERENCIA**

Bibliografía	116
--------------	-----

## **B ANEXOS**

1	Glosario.	
2	Cálculo de número de ejes equivalentes.	117
3	Cálculo del número de ejes equivalentes.	119
4	Clasificación suelos SUCS.	120

## ÍNDICE GRÁFICOS Y TABLAS

### GRÁFICOS:

#### CAPÍTULO I

No. 1	Delimitación del objeto de investigación.	4
-------	---	---

#### CAPÍTULO II

No. 2	Croquis de ubicación del proyecto.	7
No. 3	Supraordinación de variables.	8
No. 4	Estados de consistencia del suelo.	11

#### CAPÍTULO IV

No. 5	Granulometría de suelo de subrasante.	25
No. 6	Granulometría de toba volcánica.	26
No. 7	Granulometría de arena.	27
No. 8	Determinación del Límite Líquido suelo de subrasante.	28
No. 9	Determinación del Límite Líquido de la subrasante.+ 10% arena.	29
No. 10	Determinación del Límite Líquido subrasante + 15% arena.	30
No. 11	Determinación del Límite Líquido subrasante + 20% arena.	31
No. 12	Determinación del Límite Líquido subrasante + 100% arena.	32
No. 13	Determinación del Límite Líquido de subrasante + 10% toba volcánica.	33
No. 14	Determinación del Límite Líquido de subrasante + 15% toba volcánica.	34



No. 15	Determinación del Límite Líquido de subrasante + 20% toba volcánica.	35
No. 16	Determinación del Límite Líquido de subrasante + 100% toba volcánica.	36
No. 17	Densidad Vs Contenido de Humedad de la subrasante.	45
No. 18	Densidad Vs CBR de la Subrasante.	48
No. 19.	Densidad Vs Contenido de humedad de la arena.	49
No. 20	Densidad Vs CBR (de la arena).	52
No. 21	Densidad Vs Contenido de humedad de la toba volcánica.	53
No. 22	Densidad Vs CBR (de la toba volcánica).	56
No. 23	Densidad Vs Contenido de humedad. de la subrasante + 20% arena.	57
No. 24	Densidad Vs CBR de la subrasante + 20% arena.	60
No. 25	Densidad Vs Contenido de humedad + 20% toba volcánica.	61
No. 26	Densidad Vs CBR de la subrasante + 20% toba volcánica.	64
No. 27	Densidad Vs Contenido de humedad de la subrasante + 75% arena + 10% cemento.	65
No. 28	Densidad Vs CBR de la subrasante + 75% arena + 10% cemento.	68
No. 29	Densidad Vs Contenido de humedad. de la subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.	69
No. 30	Densidad Vs CBR de la subrasante + 100% toba volcánica + 10%.cemento.	72
No. 31	Variación de límites de Atterberg al añadirse toba volcánica.	73
No. 32	Variación de límites de Atterberg al añadirse arena.	74

## **CAPÍTULO VI**

No. 33	Reducción de Límites de Atterberg del añadirse % de toba volcánica.	88
--------	---	----

No. 34	Reducción de Límites de Atterberg del añadirse % de arena.	89
No. 35	CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de arena y % de cemento.	91
No. 36	CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de toba volcánica y % de cemento.	92
No. 37	CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de arena y % de cemento.	93
No.38	CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de toba volcánica y % de cemento.	93
No. 39	Resumen de CBR obtenidos.	94
No 40	Ubicación del sector en estudio.	95
No. 41	Sección típica de camino clase V.	100
No. 43	Ubicación del proyecto.	101
No. 43	Motoniveladora.	104
No. 44	Rodillo compactado.	104
No.45	Tanquero de agua.	104
No. 46	Volquete.	105

## **TABLAS:**

### **CAPÍTULO I**

No. 1	Caracterización física de los suelos.	10
-------	---------------------------------------	----

### **CAPÍTULO II**

No. 2	Variable dependiente: comportamiento de la capa de rodadura.	22
No. 3	Variable independiente: propiedades mecánicas de la subrasante.	23

## CAPÍTULO IV

No. 4	Resultado del ensayo determinación de % de cal.	37
N0. 5	Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	38
N0. 6	Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	39
.No.7	Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.	39
No. 8	Resultados compresión de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cemento.	39
N0. 9	Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
No. 10	Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
No. 11	Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.	40
No.12	Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41
No. 13	Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41
No. 14	Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.	41
No.15	Resultados compresión de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cal.	42
No. 16	Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	42
No. 17	Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	42
No.18	Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.	43

No.19	Resultados ensayo Proctor de suelo de subrasante.	44
No. 20	CBR, conformación de probetas suelo subrasante	46
No. 21	CBR, Ensayo de penetración suelo subrasante.	47
No. 22	CBR, diferentes energías de compactación. suelo subrasante.	48
No.23	Resultado de CBR de la subrasante.	49
No. 24	Resultados ensayo Proctor de suelo de arena.	50
No. 25	CBR, conformación de probetas arena.	51
No. 26	CBR, Ensayo de penetración CBR para la arena..	52
No.27	CBR arena. diferentes energías compactación.	52
No. 28	Resultado de CBR de la arena.	53
No.29	Resultados ensayo Proctor de suelo de toba volcánica.	50
No. 30	CBR, conformación de probetas toba volcánica.	54
No.31	CBR, Ensayo de penetración CBR para la toba volcánica.	56
No. 32	Resultado de CBR de la toba volcánica para diferentes energías de compactación.	56
No. 33	Resultado de CBR de la toba volcánica.	53
No. 34	Resultados ensayo Proctor de suelo de + 20% arena.	57
No. 35	CBR, conformación de probetas suelo subrasante + 20% arena.	58
No. 36	CBR, Ensayo de pentreación CBR para suelo de subrasante + 20% arena.	59
No.37	Resultado de CBR de suelo de subrasante + 20% arena diferente energía compactación.	60
No. 38	Resultado de CBR de la subrasante + 20% arena.	60
No. 39	Resultados ensayo Proctor de suelo de subrasante + 20%toba volcánica	61
No. 40	CBR, conformación de probetas suelo subrasante + 20% toba volcánica.	62
No. 41	CBR, Ensayo de penetración CBR para suelo de subrasante + 20% toba volcánica.	63

No. 42	Resultado de CBR de suelo de subrasante + 20% toba volcánica diferentes energías de compactación.	64
No. 43	Resultado de CBR de la subrasante + 20% toba volcánica.	64
No. 44	Resultados ensayo Proctor de subrasante + 75% arena + 10% cemento.	65
No. 45	CBR, conformación de probetas de subrasante + 75% arena + 10% cemento.	66
No. 46	CBR, Ensayo de pentreación CBR de subrasante + 75% arena + 10% cemento.	67
No. 47	Resultado de CBR de subrasante + 75% arena + 10 % cemento. con diferentes energías de compactación.	68
No. 48	Resultado de CBR de la subrasante + 75% arena + 10% cemento.	68
No. 49	Resultados ensayo Proctor de subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.	69
No. 50	CBR, conformación de probetas de subrasante + 100% toba volcánica+ 10% cemento.	70
No. 51	Resultado de CBR de subrasante + 100% toba volcánica + 10 % cemento.	71
No. 52	Resultado de CBR de suelo de subrasante + 20% toba volcánica diferentes energías de compactación.	72
No. 53	Resultado de CBR de la subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.	72
No. 54	Resistencia de las muestras de suelo+0% arena +%cemento.	82

## **CAPÍTULO VI**

No.55	Ubicación de puntos importantes.	95
No 56	Determinación de TPDA.	98
No. 57	Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado.	99

No. 58	Distancias desde el camino Echaleche Palugsha.	100
No. 59	Distancias desde el centro poblado Echaleche.	100
No. 60	Características de los materiales para mejorar la subrasante.	101
No. 61	% de agua requerido para compactar.	103
No. 62	Volumen de agua para compactar.	103
No.63	Costo del material de mejoramiento. .	105
No.64	Rendimiento del material de mejoramiento.	105
No.65	Costo de la arena para estabilización.	106
No.66	Rendimiento de la arena para estabilización.	106
No.67	Presupuesto para mejorar el camino con capa de mejoramiento.	107
No.68	Presupuesto para mejorar el camino con estabilización.	107

**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**

**CENTRO DE POSGRADO**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA**

**TEMA:** “Las Características del Suelo de Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su Incidencia en el Comportamiento de la Capa de Rodadura”.

**AUTOR:** Ing. Víctor Trajano Naranjo Perugachi

**DIRECTOR DE TESIS:** Ing. M.Sc. Víctor Hugo Fabara

**Mayo 2011**

**RESUMEN EJECUTIVO.**

Un suelo o capa de firme debe ser capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen, cuando no presta estas solicitudes es necesario estabilizarle para reducir los índices de plasticidad y aumentar la capacidad portante del suelo.

Existen varias maneras de hacerlo, se puede hacer un reemplazo de suelo con otro de mejores prestaciones o requerimientos, hacer mezclas con porcentajes de cal, cemento, asfaltos, geo textiles, compactación mecánica u otros productos químicos que se han desarrollado para el efecto.

Mediante ensayos de laboratorio, se analizan varias alternativas que se podrían utilizar para estabilizar las subrasantes de suelo arena arcillosa; añadiendo al suelo natural de la subrasante porcentajes de toba volcánica, arena, cemento y cal

Se verifica entonces la plasticidad y la capacidad portante de suelo que se ha mejorado.



## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Tungurahua, gran parte de la población se encuentra asentada en la parte alta, sobre la cota 2900 msm, en un estrato de arena arcillosa muy buena para el cultivo o la ganadería, tienen unos caminos que son el resultado de cortar el suelo y conformar la vía, con pendientes pronunciadas, sin un buen diseño geométrico y baja velocidad de circulación, cuando llueve no se puede transitar por ellos.

La investigación presenta seis capítulos, conformados de la siguiente manera:

El Capítulo I Planteamiento del problema: ¿cómo mejorar las características de la subrasante de los caminos vecinales de Echaleche, Pilahuín?

El Capítulo II Trata sobre el marco teórico en que se basa la investigación, describe métodos de estabilización y plantea la hipótesis.

El Capítulo III Indica la modalidad y tipo de la investigación y, operacionaliza las variables en estudio.

El Capítulo IV Incluye el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio y, realiza la verificación de la hipótesis propuesta.

El Capítulo V Contiene conclusiones y recomendaciones, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

El Capítulo VI Presenta una propuesta para mejorar las características de la subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche, Pilahuín, misma que puede ser aplicada en otros sitios de condiciones similares.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.**

Las características del suelo de subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche Pilahuín y su incidencia en el comportamiento de la capa de rodadura.

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

##### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.**

En la geomorfología de la superficie terrestre existe una gran variedad de suelos, lugar en donde se construyen caminos como medio de comunicación entre pueblos.

Algunos suelos son mejores que otros; en particular es un problema cuando se debe cruzar por suelos plásticos; arcillosos o limosos, (suelos cohesivos) por cuanto estos suelos en presencia del agua son muy blandos y en época de sequía en cambio se contraen produciendo grietas y rajaduras lo que se refleja en la superficie de rodadura de las vías que se deforman o se agrietan según el caso, en el país existen principalmente problemas de este tipo en las regiones costa y oriente lo que ha ocasionado muchos problemas y costosas soluciones, es común ver que en época de invierno las vías de la costa se deterioran y cada año debe gastarse mucho dinero en la reparación y mantenimiento de las mismas, en cambio en la región oriental las carreteras no son de primer orden y transitar por ellas resulta peligroso por la gran cantidad de baches que se forman, debiendo emplearse grandes cantidades de material de préstamo generalmente piedras y arena de lechos de ríos del sector aledaño a la vía .

En la provincia de Tungurahua, gran parte de la población se encuentra asentada en la parte alta, sobre la cota 2900 msm, dedicándose a las labores agrícolas y pecuarias.

Las vías rurales se unen a las vías principales mediante caminos que son el resultado de hacer cortes en el suelo, sin ningún mejoramiento, siendo difícil realizar empedrados, por cuanto con la presencia del agua, el suelo se licúa perdiendo su capacidad portante con deformaciones sobre la superficie y además se torna muy resbaladiza; esto hace que en época lluviosa no se pueda acceder con vehículos hasta dichos sectores y sólo se lo haga a pie o empleando animales, con la dificultad de sacar los productos o desplazarse por motivos de salud o de abastecimiento de productos.

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO.**

Este tipo de caminos tiene bajo volumen de tránsito y niveles bajos de serviciabilidad, con pendientes pronunciadas, con un suelo natural que se licúa con la presencia de agua, haciendo imposible transitar por ellos.

La estructura de una vía depende de la capacidad portante de la subrasante (suelo natural) y mientras mayor sea ésta las capas superiores serán de menor espesor, respecto a la subbase, base y capa de rodadura.

Si fuera simplemente lastrado o empedrado, es importante determinar si se puede mejorar dicha capacidad, de alguna manera. Se debe considerar los costos que se requieren para mejorar un camino, esto dependerá de la disponibilidad y calidad de materiales a usarse, además se considerará también los impactos que puedan hacerse al medio ambiente, debiendo asegurarse que sean los menores posibles, por ello si se importa material de mejoramiento, se debe valorar el aporte a la mejora de la vía y la cantidad que se requiera, el grado de mejora que puede obtenerse al añadir cal, cemento u otros productos recomendados para situaciones de estabilización de suelos.

La entrada a la comunidad de Echaleche, desde la vía Ambato Guaranda, con una

longitud de 1 Km, se encuentra empedrada y se pueden notar las deformaciones producidas cuando se humedece el suelo; al pasar un vehículo pesado hunde las piedras, por cuanto la capacidad portante del suelo es baja, y el empedrado queda deformado.

De aumentar la capacidad de soporte del suelo y también reducir su plasticidad se mejorara la vía. Es importante disponer de un adecuado drenaje para evitar el que agua se empoce, ya que resulta perjudicial para el desempeño de la vía.

### **1.2.3 PROGNOSIS.**

De no mejorar la capacidad portante de la subrasante, y reducir su plasticidad, el nivel de servicio de la capa de rodadura se verá reflejado en baches, polvo, baja velocidad de circulación, y el lastrado o pavimento requerirán mayor mantenimiento, para cumplir con la misión de una vía, que es la de mantener comunicada a una población, o lugares de interés.

### **1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿De qué manera incide el suelo de subrasante en el comportamiento de la capa de rodadura de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche, Pilahuín?

### **1.2.5. PROBLEMAS DIRECTRICES.**

¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche, Pilahuín?

¿Cómo se pueden mejorar las propiedades mecánicas o estabilizar la subrasante?

¿Cuánto cuesta mejorar las propiedades mecánicas o estabilizar la subrasante?

¿Quién y para qué se usará esta información?

### **1.2.6. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.**

#### **1.2.6.1 Contenido: en qué área o en qué campo.**

Gráfico No 1 Delimitación del objeto de investigación.



#### **1.2.6.2 Espacial.**

Es una investigación de laboratorio, se tomaron muestras en el campo, se les incorporo porcentajes en peso del suelo original, de toba volcánica y arena.

También se adicionaron porcentajes variables de cal y cemento como ligantes,

#### **1.2.6.3 Temporal.**

Se realizó la investigación desde diciembre de 2010 hasta mayo de 2011.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

La estabilización o mejoramiento de las propiedades mecánicas de subrasante es un problema importante que debe atenderse adecuadamente; pues es el cimiento

para la estructura de una vía y dependerá de la capacidad portante que se logre para que las capas que conformen una vía tengan menor espesor, con un ahorro económico por la reducción de materiales necesarios para garantizar una respuesta a las sollicitaciones de cargas impuestas por el tráfico y el medio ambiente. Esto evitará que se formen ondulaciones en la vía, se produzcan agrietamientos lineales o en malla.

Al desplazarse por una vía en buen estado se gana en seguridad, y comodidad, los vehículos sufren un menor desgaste y los costos operativos son menores, con el correspondiente ahorro de, combustibles y repuestos generando una economía importante para el país; pues el combustible es subsidiado y resulta oneroso un gasto evitable cuando se tienen vías en mejores condiciones.

Existen suelos cohesivos que si no están estabilizados son casi imposibles de compactar, es como tratar de compactar una esponja. En la cordillera existen importantes depósitos de toba volcánicas volcánicas que se pueden aprovechar para fines de estabilización de subrasantes y vías en general, siendo una buena razón para iniciar una investigación para cumplir con estas expectativas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estudiar la valoración de las características de suelo de subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche, Pilahuín

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Realizar inspecciones que permitan evaluar las características físicas del suelo subrasante.
- Identificar causas y efectos que permitan evaluar las características físicas de suelo de subrasante.
- Elaborar un modelo de evaluación y mantenimiento de los suelos de

subrasante, para mejorar la capa de rodadura de los caminos vecinales de la comunidad Echaleche Pilahuín.

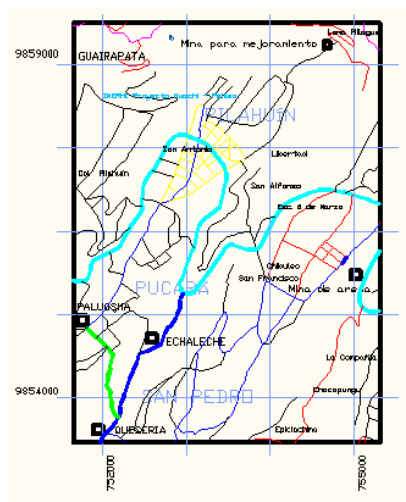
## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO.

#### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Desde tiempos antiguos el hombre ha construido estructuras y vías y cuando por suerte el suelo no tiene características adecuadas, se tiene que mejorar o estabilizar dicho suelo. A las capas del firme se adiciona un ligante (cal, cemento, asfalto, productos químicos, etc.), para mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa de firme, capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen. Este procedimiento se usa frecuentemente para mejorar la subrasante y con ello disminuir el espesor de las capas de sub-base y/o base, o para construir una capa de base sobre la que irá una capa de rodadura asfáltica.

Gráfico No.2 Croquis de ubicación del proyecto.



Fuente: Carta Topográfica Provincia de Tungurahua

Echaleche es una comunidad indígena, está ubicada en las coordenadas N 9854691 E 752611, se ingresa principalmente desde la vía Ambato Guaranda muy cerca de llegar a Pilahuín, viajando desde Ambato, se dedica a las labores agropecuarias como cultivo de papas, habas, cebada, crianza de ganado vacuno,



ovino, ganado menor, cuenta con una quesería comunal.

## 2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

El trabajo está basado en el paradigma crítico propositivo, comprometido con la tarea de investigar las maneras de mejorar las propiedades del suelo de la subrasante de los caminos vecinales de Echaleche, Pilahuín, realizando una investigación bibliográfica y ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos, para compilar información y obtener alternativas de mejoramiento de las subrasantes de dichos caminos para cuando se ejecuten, ganar en serviciabilidad. Existirá un ahorro económico y una menor afectación al medio ambiente ya que se trata de usar menor cantidad de material de mejoramiento de la zona.

## 2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

Especificaciones MTOP 2003, sección 402, mejoramiento de subrasantes

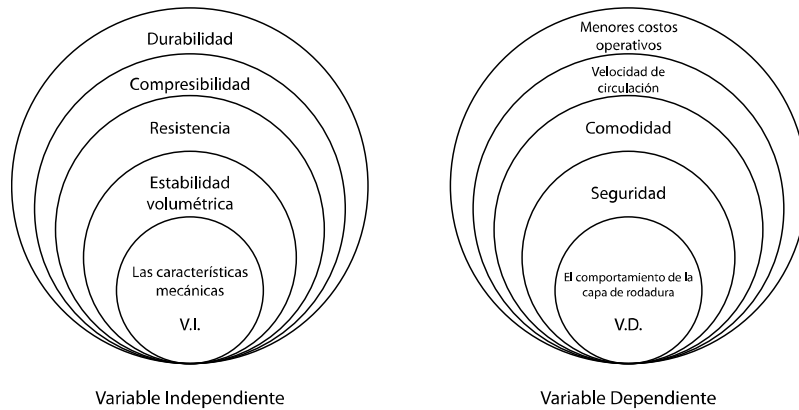
Normas AASHTO.

Normas ASTM.

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.

### 2.4.1 SUPRA ORDINACIÓN DE VARIABLES.

Gráfico No 3 Supraordinación de variables.



## **2.4.2 DEFINICIONES.**

### **2.4.2.1 Subrasante.**

La subrasante es el nivel del suelo original del proyecto, que puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, la estabilización físico – química con aditivos como el cemento Portland, la cal, el asfalto, entre otras.

### **2.4.2.2 Concepto de suelo.**

Un suelo es cualquier acumulación no consolidada de partículas sólidas, agua y aire. Estas partículas sólidas provienen de la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas.

El suelo incluye desde mezclas bien definidas de unos pocos minerales hasta mezclas heterogéneas; con tamaños diversos como bloques o fragmentos de roca, gravas, arenas, arcillas y limos derivados de las rocas altamente meteorizadas, de planicies aluviales, depósitos glaciares, etc.

La acción mecánica resultante es una combinación de agrietamiento, rotura, abrasión, molienda y choque, que va reduciendo la roca a fragmentos cada vez menores.

La descomposición es la alteración química de los minerales de la roca original para formar nuevos minerales, que por lo general tienen características químicas y físicas diferentes a los primeros.

Depósitos transportados por el agua, éstos son muy frecuentes en los valles interandinos y a lo largo de los ríos principales, así como en vastas áreas del piedemonte. Pueden ser fluviales o aluviales (aluviones, terrazas, abanicos).

Depósitos glaciares, el hielo excavó, transportó y depositó rocas sueltas y suelo. Los depósitos reciben nombres como tilita, y morrenas.

La tilita es aquella fracción del material transportado por un glaciar y directamente

depositado por éste, sin transporte o acomodación (ordenamiento) por agua.

Las morrenas, formadas por material proveniente de las rocas, de cualquier clase, depositado al cabo de ser transportado de un lugar a otro.

Depósitos fluvioglaciares, formados por considerables cantidades de agua que fluyeron de las caras de los glaciares continentales y llevaron materiales gruesos a cortas distancias, y arenas, limos y arcillas por largas distancias.

Eólicos, el viento es un agente altamente selectivo; lleva partículas de arena de tamaños mayores a 0.05 mm.

### 2.4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA:

Tabla No. 1 Caracterización física de los suelos.

GRANULOMETRÍA	GRADACIÓN	PLASTICIDAD
G = Grava	W = bien	Límite Líquido $\leq 50$
S = Arena	graduado	L = Low
M = Limos		L = Baja Plasticidad
C = Arcilla		Límite líquido $\geq 50$
O = Orgánicos	P = mal	H = high
Pt = Turba	graduado	H = alta plasticidad

### 2.4.4 COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS.

Los suelos pueden comportarse básicamente como granulares y los muy finos como cohesivos.

Granulares, son relativamente inertes y no se influyen significativamente por la estanqueidad del agua.

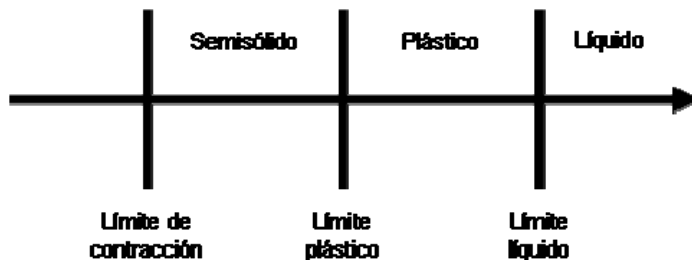
Las gravas son lo suficientemente largas para contrarrestar los efectos de la tensión superficial.

Las arenas pueden ser afectadas por la tensión superficial.

Cohesivos, con el agua se influyen significativamente; los limos son fuertemente influenciados por las fuerzas capilares y, en las arcillas el agua funciona como dipolo.

#### 2.4.5 ESTADOS DE CONSISTENCIA DE UN SUELO.

Gráfico No.4 Estados de consistencia del suelo.



Fuente: Informe de laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad del Cauca.

**Límite líquido**, contenido de humedad que hace que una ranura se cierre en 25 golpes ( en el equipo para calcular dicho límite).

**Límite plástico**, máxima humedad con la que se puede hacer un cilindro de 3 mm de diámetro.

**Límite de encogimiento**, al secar el suelo no hay pérdida de volumen, se reconoce por cambio de color.

**Índice plástico**, rango de humedad en la que el suelo tiene comportamiento plástico:  $I_p = L_l - L_p$

Durante la construcción, los suelos de subrasante pueden ser compactados a una densidad y humedad específicas, que permiten establecer valores de resistencia para el diseño del pavimento. Sin embargo, tanto el contenido de humedad como la densidad pueden cambiar durante la construcción o después de ella.

#### 2.4.6 PROPIEDADES.

#### **2.4.6.1 Estabilidad volumétrica.**

Problemas relacionados con los suelos expansivos por cambios de humedad.

Se trata de transformar la masa expansiva en una masa rígida, con lazos fuertes de unión para resistir las presiones de expansión, esto se logra con tratamientos químicos o térmicos.

#### **2.4.6.2 Resistencia.**

En pos de mejorar este parámetro en los suelos, son muy utilizados los métodos mecánicos y los químicos especialmente con cemento, cal o aditivos. Es muy importante el contenido de materia orgánica, ya que éstos no permiten una buena estabilización de las subrasantes.

#### **2.4.6.3 Permeabilidad.**

Es un parámetro modificable mediante métodos como la compactación y las inyecciones principalmente, y generalmente las reducciones de este parámetro no van ligados con la variación de la estabilidad volumétrica o la resistencia en los suelos friccionantes.

#### **2.4.6.4 Compresibilidad.**

La compactación es una forma rutinaria de estabilización que modifica fuertemente la compresibilidad de los suelos.

#### **2.4.6.5 Durabilidad.**

Se refiere a la resistencia a la intemperie, a la erosión, o a la abrasión del tráfico; de esta manera se asocia generalmente a problemas situados cercanos a la superficie de rodamiento, elevadas cargas y frecuencias del tránsito.

#### **2.4.7 CONDICIONES AGENTES ESTABILIZANTES:**

- Productos disponibles en cantidades con calidad constante y normalizada.

- Buena durabilidad en condiciones de trabajo.
- Facilidad de almacenamiento y transporte.
- Técnica constructiva adecuada.

#### **2.4.8 CORRECCIÓN POR GRANULOMETRÍA.**

Las partículas gruesas proporcionan fricción y resistencia al impacto, las partículas intermedias proporcionan acuíamiento de la estructura, las partículas finas proporcionan cohesión en conjunto con el agua presente.

##### **Agregado fino:**

Conformado por la arena gruesa y la arena fina:

- Arena gruesa: Aporta fricción y dureza, va del tamiz No. 10 al No. 40
- Arena fina: Sirve para efecto de acuíamiento del material grueso, va del tamiz No. 40 al No. 200.

##### **Limo y arcilla:**

Limo: Desde 50 hasta 5 micras, actúa como relleno para impedir el movimiento de las partículas gruesas.

##### **Arcilla:**

Tamaño menor a 5 micras, aporta poros que hacen que las películas delgadas de agua establezcan en conjunto alta cohesión.

#### **2.4.9 METODOS DE ESTABILIZACIÓN.**

##### **2.4.9.1 Compactación.**

Proceso mediante el cual se busca densificar un material a una humedad particular.

Para asegurar una compactación adecuada deben realizarse pruebas en el terreno

que permitirán definir los equipos de compactación más adecuados para esos materiales, los espesores de capa y número de pasadas del equipo seleccionado para cumplir con las especificaciones técnicas de densidad seca.

Al compactar un suelo se persigue lo siguiente:

Disminuir futuros asentamientos, aumentar la resistencia al corte, disminuir la permeabilidad.

El control de la obra final se realizará a través de determinaciones de los parámetros densidad seca y humedad de compactación de los rellenos colocados. Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima que es un porcentaje de la densidad máxima seca, obtenida en el laboratorio. Una práctica común para numerosas obras es exigir por lo menos el 95% del Proctor modificado.

#### **2.4.9.2 Geo sintéticos.**

Los geo sintéticos son materiales, que se fabrican a partir de varios tipos de polímeros y que se utilizan para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica.

Las propiedades mecánicas e hidráulicas de los geosintéticos han posibilitado su desarrollo en los proyectos de construcción y mecánica de suelos.

Los geo sintéticos se dividen principalmente en geotextiles, geomallas y geo membranas.

Como separadores se coloca un geo textil entre dos capas de suelo de diferentes propiedades, para evitar la mezcla entre ambos.

Los geo textiles crean una barrera permeable entre suelos de diferente textura y estructura. Estos diferentes materiales quedan separados y por ello mantienen intactas sus propiedades mecánicas e hidráulicas, mientras que el agua puede fluir a través de las masas de suelos.

### 2.4.9.3 Aditivos.

Se suele añadir: cal; cemento; asfalto; enzimas; polímeros; sulfonados.

**Cal**, busca reducir la plasticidad del suelo. No pretende desarrollar resistencias altas, busca que las características relativas a estabilidad y durabilidad sean suficientes, provoca en los suelos arcillosos una notable disminución de plasticidad, entrega mayor trabajabilidad en las operaciones de construcción.

Aporta buenas superficies de trabajo para los equipos de construcción.

Tiene definidas aplicaciones en el campo vial.

Modifica características indeseables y perjudiciales de los suelos arcillosos.

Produce una acción cementante adicional, una lenta pero gradual ganancia de resistencia.

Sobre suelos granulares, que contienen menos del 50% de binder (pasa No. 40) y son tratados con porcentajes entre el 2 y el 4%.

Sobre materiales arcillosos, para mejorar subrasantes. Se tratan entre el 4 y 8%.

**Cemento**, el suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas proporciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad.

Suelo modificado con cemento, suelo cemento plástico, grava cemento, suelo-cemento.

En principio cualquier cemento puede utilizarse en la estabilización de suelos, sin embargo el mayormente empleado es el TIPO I, además es el que permite a la mezcla de suelo-cemento alcanzar mayor resistencia por su contenido de aluminato tricálcico y sulfato de calcio.

La cantidad de cemento puede variar entre el 2 y 25 % del peso seco de la mezcla.



El promedio es del 10 % y se procura que no pase del 15% por razones económicas.

**Asfalto**, mezcla íntima de emulsión asfáltica, suelo fino, arena o grava natural de granulometría similar o parecida a aquella de sub-base, agua y a veces aditivos, conformando un producto que se utiliza en capas de base para carreteras.

Distribución del ligante en forma de película de manera uniforme.

Alcanzar una resistencia apreciable, en seco y en húmedo.

Aumentar la cohesión del material.

Función de la densidad, dependiendo de ella, está el porcentaje de vacíos y en consecuencia, la permeabilidad y la posibilidad de la acción directa del agua sobre el ligante.

Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento CRL-1E, busca conferir a la mezcla cierta cohesión e impermeabilidad.

Estabilidad, debe permitir la envuelta uniforme y homogénea del componente mineral, con mínima cantidad de agua de pre humectación.

Adhesividad, la pasiva asfalto-componente mineral debe ser buena para alcanzar las características definitivas.

Fluidificación: No debe llevar fluidificantes.

Asfalto residual: Debe ser asfalto puro, sin fluidificar. El residuo de destilación debe tener una penetración 60-100 ó 100-250.

**Enzimas**, las enzimas orgánicas contienen partes activadas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas. Funciona como catalizador con los materiales plástico - arcillosos del terreno, facilitando su homogeneización y compactación.

Su acción catalizadora incrementa el proceso de humectación.

Provoca una acción aglutinante sobre los finos, disminuyendo la relación de vacíos.

Produce una fuerte actividad cementante, formando una fusión de las partículas orgánicas del suelo.

La enzima se dosifica a razón de 1 litro por cada 33 metros cúbicos de material compacto, mezclándolo con el agua de humectación, se requiere como mínimo 20% de material plástico -arcilloso.

Debe utilizarse un 20% menos de agua de la normalmente utilizada para la humectación.

**Polímeros**, están compuestos por moléculas de tamaño muy grande integradas por las mismas unidades moleculares repetidas, que responden elásticamente, elastoméricamente y viscosamente.

Al introducir el polímero al suelo imparte al mismo elasticidad y resistencia al flujo, que en combinación con el cemento Portland otorgan gran resistencia al compuesto.

**Sulfonados**, es un grupo de aditivos químicos para la estabilización, inmovilización e inertización de suelos y otros materiales con cemento portland.

Cuando los materiales a ser tratados están contaminados por sustancias altamente orgánicas o químicamente tóxicas, que neutralizan la hidratación natural del cemento, el aditivo transforma esas partículas dañinas y permite la reacción máxima del cemento. (\*)

(\*) Información tomada del Informe del Instituto Colombiano de Productores de Cemento, elaborado por el ingeniero Jorge Álvarez, Jefe de Proyectos.

#### **2.4.10 DEFINICIÓN DE TOBA VOLCÁNICAS.**

Las tobas volcánicas, se forman por la acumulación de ceniza expedida durante las erupciones volcánicas, tienen una densidad baja, se encuentran distribuidas en la cordillera andina.

#### **2.4.11 CAPA DE RODADURA.**

#### **2.4.11.1 Concepto.**

Es la última capa de una vía, es decir por donde transitan los vehículos, debe ser cómoda, segura, y permitir una adecuada circulación.

#### **2.4.11.2 Comodidad.**

Se mide según el IRI, índice de regularidad, mientras más cercano a 1 la vía no tiene imperfecciones superficiales y se puede circular a mayor velocidad.

#### **2.4.11.3 Seguridad.**

Es importe la señalización adecuada, para prevenir y advertir de particulares que se presentan en la vía, debe además mantenerse la vía libre de obstáculos.

#### **2.4.11.4 Velocidad de circulación.**

Resulta de dividir la distancia transitada para el tiempo empleado.

#### **2.4.12 ENSAYOS DE LABORATORIO.**

Se realizaron pruebas y ensayos en el laboratorio del Municipio de Ambato para determinar límites de Atterberg, granulometría (parte gruesa del suelo), capacidad portante, ensayos de compresión no confinada y, ensayo para determinar el PH (potencial hidrógeno) del suelo con la adición de cal.

#### **2.5 HIPÓTESIS.**

El mejoramiento de las características mecánicas del suelo de subrasante de los caminos vecinales de Echaleche, Pilahuín, incide favorablemente en el comportamiento de la capa de rodadura.

#### **2.5.1 UNIDADES DE OBSERVACIÓN O ANÁLISIS.**

**Personas:** Se trabajó con personal del laboratorio del Municipio de Ambato y de empresas privadas dedicadas a la construcción de caminos en el país, técnicos en vías, constructores de vías.

**Comunidad:** El Municipio de Ambato, MTOP, Universidad Técnica de Ambato, Gobierno Provincial de Tungurahua y, los moradores del sector que aspiran mejorar la condición de sus vías y, por ende mejorar su calidad de vida.

### **2.5.2 VARIABLES:**

Variable Independiente: Las características mecánicas de la subrasante.

Variable Dependiente: El comportamiento de la capa de rodadura.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE.**

El enfoque es cuantitativo y cualitativo. Cuantitativo por cuanto se tomaron medidas en el laboratorio, se tabularon, graficaron y se sacaron conclusiones, es cualitativa porque siempre queda la sensación de que la conclusión, dada es la mejor opción.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 MODALIDAD.**

Este trabajo se basó en la investigación bibliográfica, toma de muestras de suelo en el campo y mediante la realización de ensayos de mecánica de suelos se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Con la adición de materiales seleccionados se puede mejorar la subrasante y por ende el comportamiento de la capa de rodadura.

También es importante establecer la relación beneficio costo.

#### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

- **Exploratorio.** Explora dentro de diversos campos de la ciencia de la mecánica de suelos.
- **Descriptivo.** Describe las consecuencias y efectos de las variables. En el campo de los hechos.

- **Explicativo.** Mediante la explicación da una propuesta de solución a un problema latente.
- **Correlacional.** Utiliza medidas estadísticas, plantea hipótesis y correlaciona valores.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.4.1 POBLACIÓN.**

Todas las vías del sector de Echaleche, Pilahuín, se encuentran en el mismo estrato geológico, por lo tanto tienen las mismas propiedades.

#### **3.4.2 MUESTRA.**

##### **3.4.2.1 Tipo de Muestra**

Por ser todos los caminos de un mismo estrato geológico, todo el suelo de los caminos tiene las mismas propiedades, es decir se trata de una arena arcillosa, según la granulometría y límites de plasticidad, resultados de los ensayos y aplicando la clasificación SUCS. Al estudiar una parte, será válida para el universo de las vías que tengan este mismo material.

Se tomaron muestras al azar; pues es un mismo tipo de suelo a lo largo de las vías en estudio y también se tomó muestras de las minas de arena de un sector cercano a Echaleche, Pilahuín, y de toba volcánica de un sector cercano a la parroquia El Rosario, ingresando por Picaihua (pasando el Río Pachanlica).

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE: COMPORTAMIENTO DE LA CAPA DE RODADURA.

Tabla No.2 Variable dependiente: comportamiento de la capa de rodadura.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>CAPA DE RODADURA</b></p> <p>Es la última capa de una vía, es decir por donde transitan los vehículos, debe ser cómoda, segura, y permitir una velocidad adecuada.</p>	<p><b><u>COMODIDAD</u></b></p> <p><b><u>SEGURIDAD</u></b></p> <p><b><u>VELOCIDAD DE CIRCULACION</u></b></p>	<p>Superficies regulares</p> <p>Señalización Existencia de obstáculos</p> <p>Velocidad de Diseño</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qué tipo de capa de rodadura tiene.</li> <li>- En qué estado de conservación se encuentra.</li> <li>- Qué Señalética tiene</li> <li>- Qué obstáculos se encuentran en la vía</li> <li>- A qué velocidad se puede circular</li> </ul>	<p>Observación:</p> <p>Observación y</p> <p>Recorrido</p>

### 3.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE.

Tabla No 3 Variable independiente: propiedades mecánicas de la subrasante

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE.</b>  Capacidad de resistir las cargas de tráfico y medio ambiente, conservando su estabilidad volumétrica, sin deformarse.	<b>Resistencia</b>	Capacidad portante	-CBR	Laboratorio de mecánica de suelos
	<b>Estabilidad volumétrica</b>	Índices de Atterberg	Límites de Plasticidad	Laboratorio de mecánica de suelos

### 3.6 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS.

In situ se tomaron muestras de la subrasante de las vías del sector de Echaleche, Pilahuín.

In situ se tomaron muestras de toba volcánica volcánica y, de arena de minas cercanas.

Se realizaron los ensayos, de laboratorio de mecánica de suelos mezclando con la arena y toba volcánica con materiales ligantes como cemento y cal y se volvió a ensayar.

Realizar el ensayo para determinar el porcentaje de cal mediante la medición del PH del suelo.



### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANALISIS.**

Se representan los resultados mediante gráficos estadísticos.

Se analizaron los resultados estadísticos, destacando tendencia o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.

Se analizaron e interpretaron los resultados de laboratorio, relacionándolos con las diferentes partes de la investigación.

Se analizó económicamente cuánto costaría mejorar el suelo de la manera propuesta.

## CAPÍTULO IV

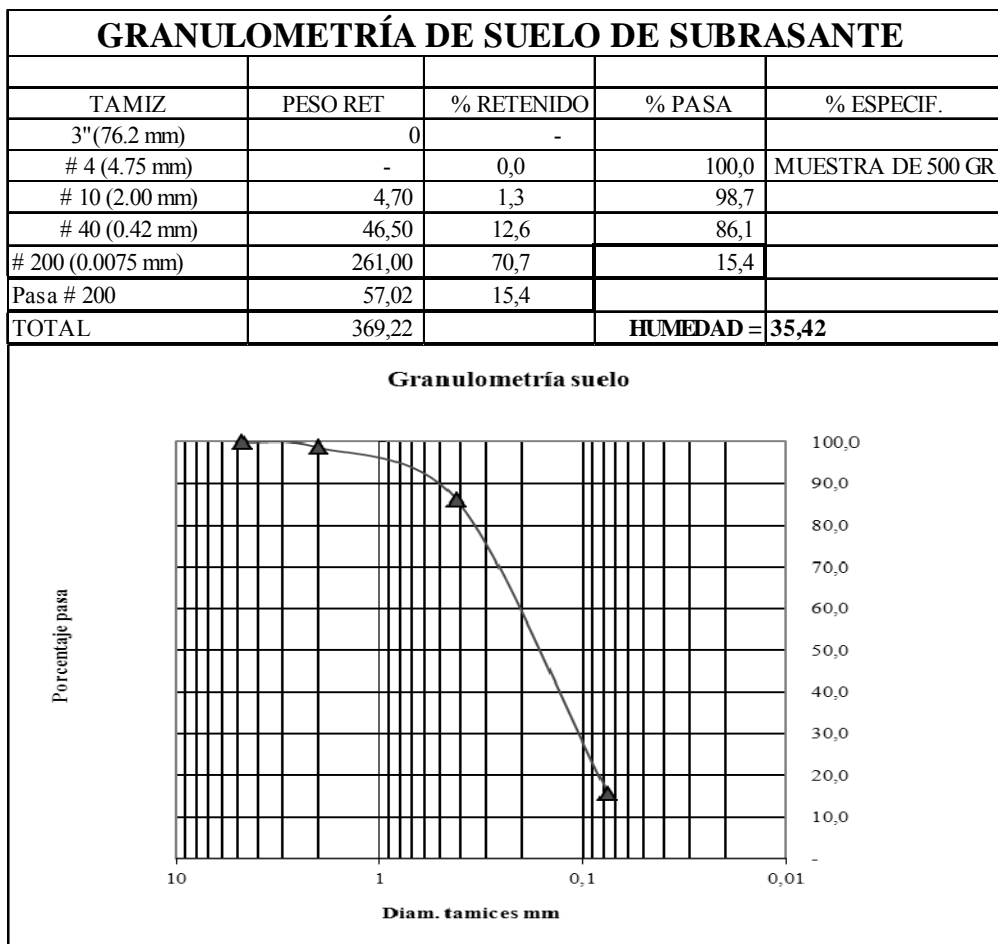
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO.

##### 4.1.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.

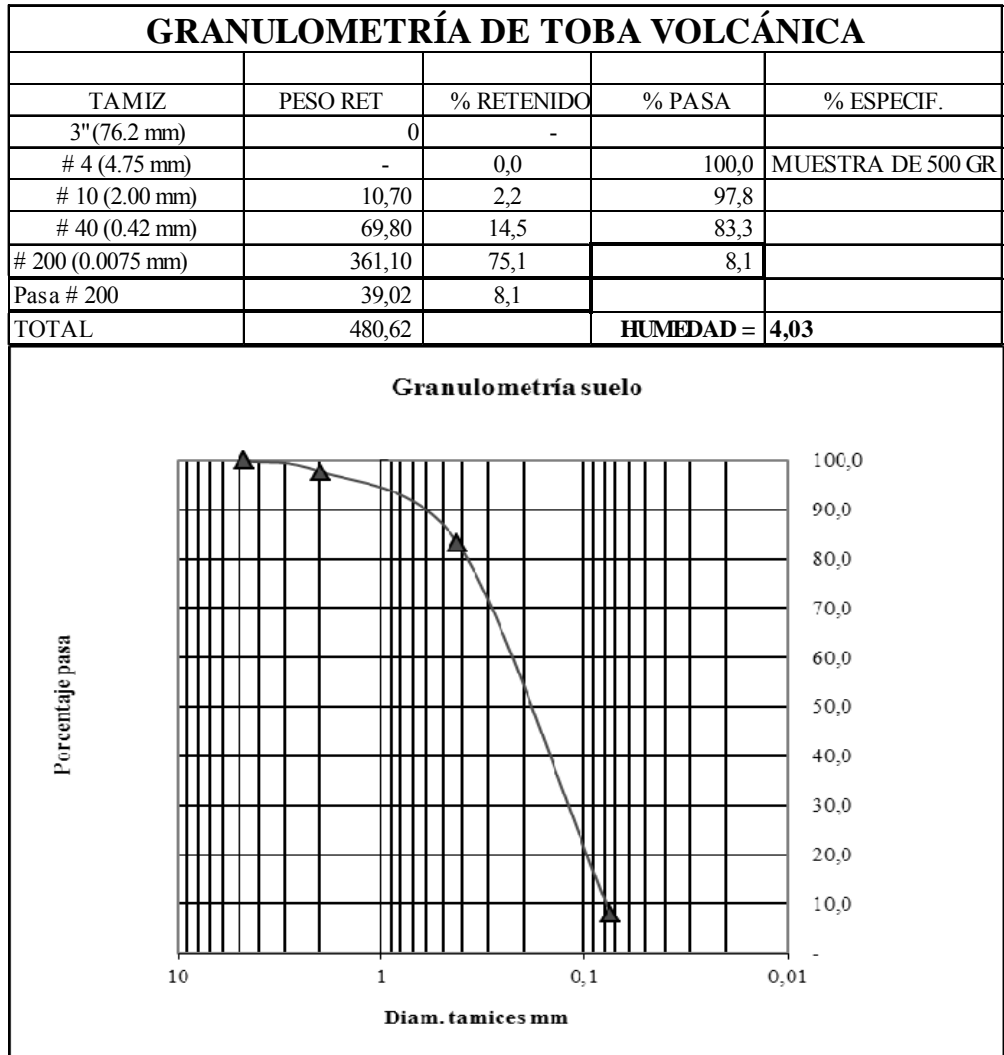
###### 4.1.1.1 Granulometría de suelo de subrasante.

Gráfico No. 5 Granulometría de suelo de subrasante.



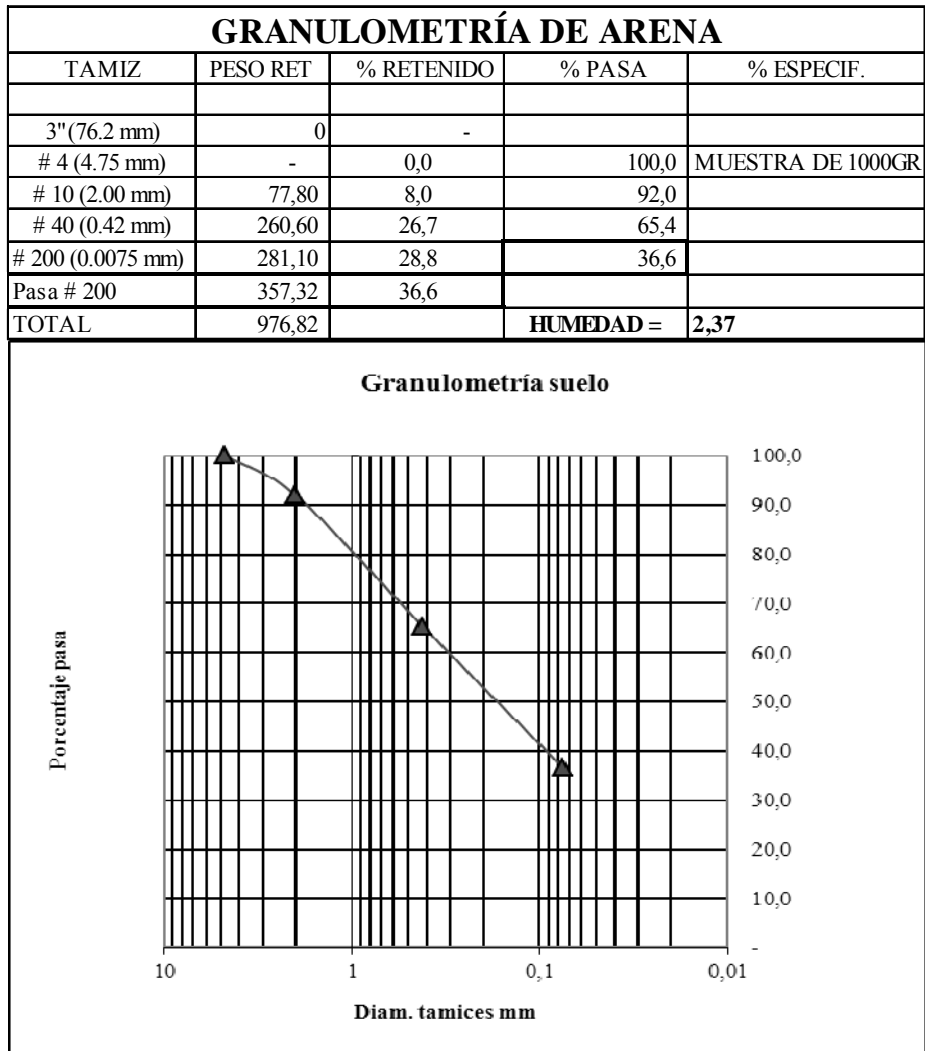
#### 4.1.1.2 Granulometría de toba volcánica.

Gráfico No. 6 Granulometría de toba volcánica.



### 4.1.1.3 Granulometría de arena.

Gráfico No. 7 Granulometría de arena.

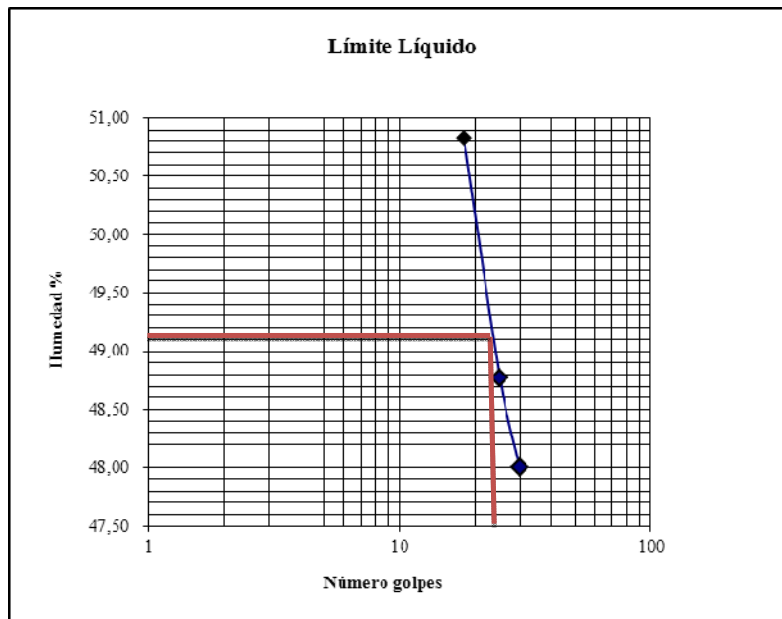


#### 4.1.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LIMITES SE ATTERBERG.

##### 4.1.2.1 Límites de Atterberg del suelo de la subrasante.

Gráfico No. 8 Determinación de Límites de Atterberg de suelo de subrasante.

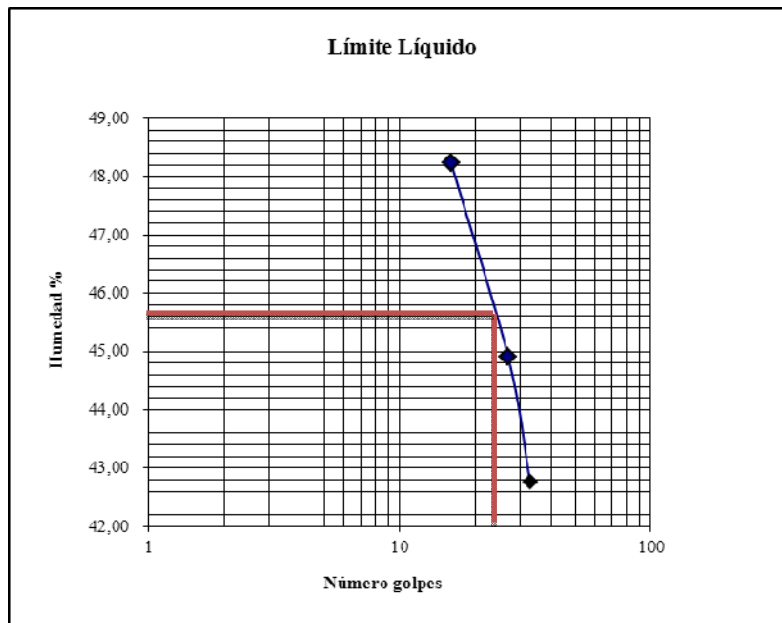
<b>LÍMITES DE ATTERBERG DE SUBRASANTE</b>			
Límite Plástico	<b>3 Z</b>	<b>X 7</b>	<b>M 5</b>
M. Húmeda + tarro	7,17	5,50	7,11
M Seca + tarro	6,71	5,16	6,67
Humedad	0,46	0,34	0,44
Peso tarro	5,51	4,33	5,56
Peso M. Seca	1,20	0,83	1,11
% Humedad	38,33	40,96	39,64
<b>Límite plástico = 39,65</b>			
Tarro #	1 D	1 C	1F1
# golpes	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
Peso muestra h + tarro	31,31	31,88	36,44
Peso muestra seca + tarro	24,55	25,14	28,27
Peso agua	6,76	6,74	8,17
Peso tarro	11,25	11,32	11,25
Peso muestra seca	13,30	13,82	17,02
% Humedad	50,83	48,77	48,00
<b>Límite líquido = 49,10</b>		<b>Ip = 9,45</b>	



#### 4.1.2.2 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% arena.

Gráfico No. 9 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% arena.

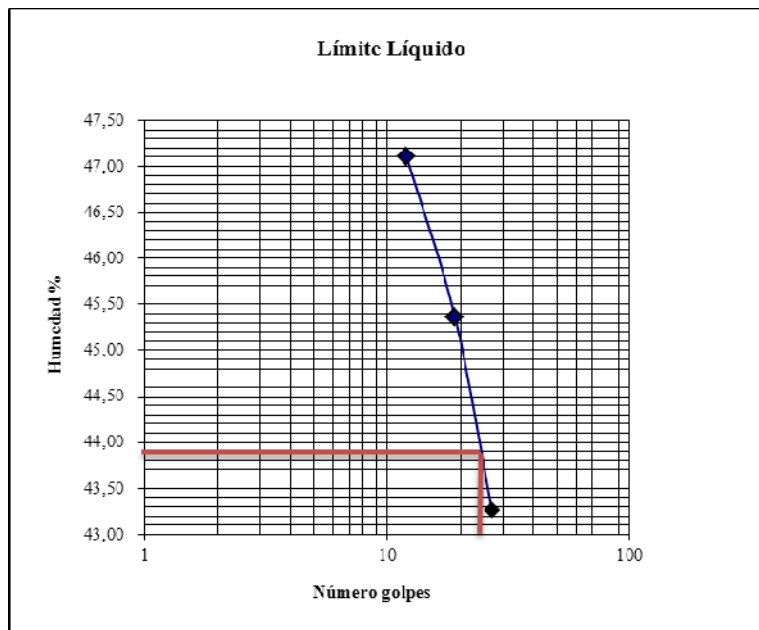
<b>LÍMITES DE ATERBERG DE SUBRASANTE + 10% ARENA</b>			
Límite Plástico	X 4	5 Z	X 7
M. Húmeda + tarro	7,97	8,17	5,65
M Seca + tarro	7,33	7,52	5,27
Humedad	0,64	0,65	0,38
Peso tarro	5,72	5,95	4,33
Peso M. Seca	1,61	1,57	0,94
% Humedad	39,75	41,40	40,43
<b>Límite plástico = 40,53</b>			
Tarro #	15F	6 E	8 E
# golpes	33	27	16
Peso muestra h + tarro	27,87	23,26	27,16
Peso muestra seca + tarro	22,93	19,56	22,00
Peso agua	4,94	3,70	5,16
Peso tarro	11,38	11,32	11,30
Peso muestra seca	11,55	8,24	10,70
% Humedad	42,77	44,90	48,22
<b>Límite líquido = 45,60</b>		<b>Ip = 5,07</b>	



#### 4.1.2.3 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% arena.

Gráfico No. 10 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% arena.

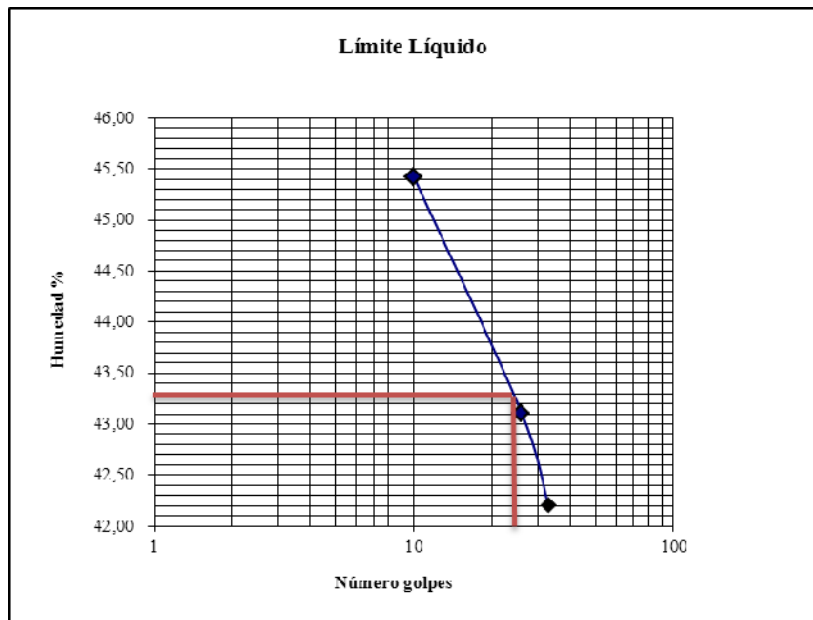
<b>LÍMITES DE ATERBERG DE SUBRASANTE + 15% ARENA</b>			
Límite Plástico	X 5	L 2	10 T
M. Húmeda + tarro	6,64	6,95	6,64
M Seca + tarro	6,40	6,56	6,39
Humedad	0,24	0,39	0,25
Peso tarro	5,79	5,52	5,74
Peso M. Seca	0,61	1,04	0,65
% Humedad	39,34	37,50	38,46
<b>Límite plástico = 38,44</b>			
Tarro #	11 F	8 E	11 B
# golpes	27	19	12
Peso muestra h + tarro	30,23	28,19	28,23
Peso muestra seca + tarro	24,48	23,05	22,93
Peso agua	5,75	5,14	5,3
Peso tarro	11,19	11,38	11,29
Peso muestra seca	13,29	11,33	11,25
% Humedad	43,27	45,37	47,11
<b>Límite líquido = 43,90</b>		<b>Ip = 5,46</b>	



#### 4.1.2.4 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 20% arena.

Gráfico No. 11 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 20% arena.

<b>LÍMITES DE ATTERBERG DE LA SUBRASANTE + 20% ARENA</b>			
Límite Plástico	X 4	M 4	5 Z
M. Húmeda + tarro	7,12	6,62	7,19
M Seca + tarro	6,74	6,31	6,84
Humedad	0,38	0,31	0,35
Peso tarro	5,72	5,50	5,95
Peso M. Seca	1,02	0,81	0,89
% Humedad	37,25	38,27	39,33
<b>Límite plástico = 38,28</b>			
Tarro #	2 F	11 E	13 F
# golpes	33	26	10
Peso muestra h + tarro	24,44	27,48	29,02
Peso muestra seca + tarro	20,54	22,63	23,56
Peso agua	3,9	4,85	5,46
Peso tarro	11,3	11,38	11,54
Peso muestra seca	9,24	11,25	12,02
% Humedad	42,21	43,11	45,42
<b>Límite líquido = 43,25</b>		<b>Ip = 4,97</b>	

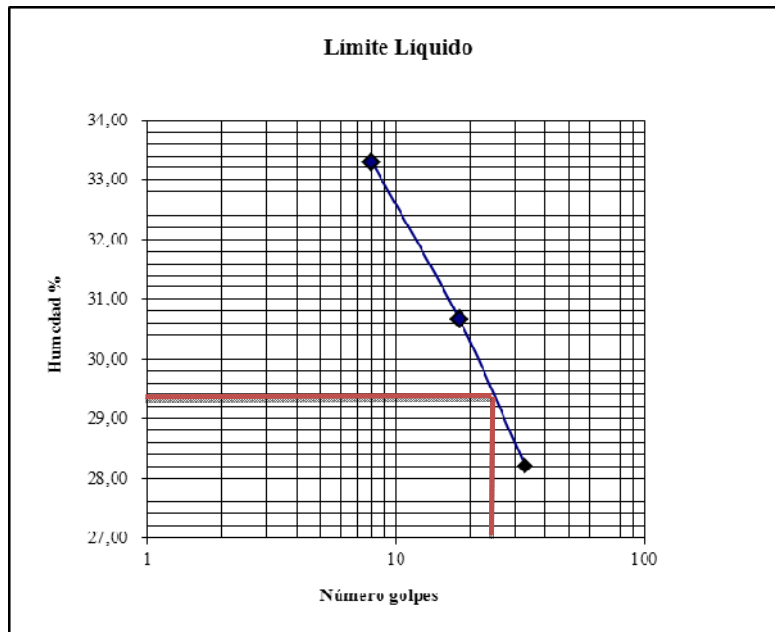




#### 4.1.2.5 Límites de Atterberg del suelo de páramo + 100% arena.

Gráfico No. 12 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 100% arena.

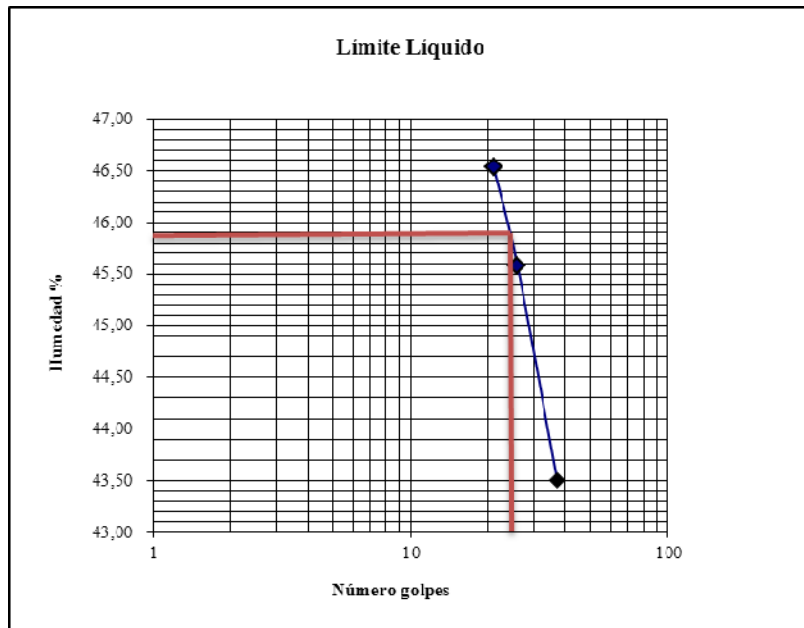
<b>LÍMITES DE ATTERBERG DE LA SUBRASANTE + 100% ARENA</b>			
Límite Plástico	7T	18T	10T
M. Húmeda + tarro	7,64	7,96	7,24
M Seca + tarro	7,37	7,63	6,91
Humedad	0,27	0,33	0,33
Peso tarro	6,38	6,44	5,74
Peso M. Seca	0,99	1,19	1,17
% Humedad	27,27	27,73	28,21
<b>Límite plástico = 27,74</b>			
Tarro #	10E	1F1	1F1
# golpes	33	18	8
Peso muestra h + tarro	27,18	25,98	33,32
Peso muestra seca + tarro	23,69	22,54	27,8
Peso agua	3,49	3,44	5,52
Peso tarro	11,32	11,32	11,22
Peso muestra seca	12,37	11,22	16,58
% Humedad	28,21	30,66	33,29
<b>Límite líquido = 29,40</b>		<b>Ip = 1,66</b>	



#### 4.1.2.6 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% toba volcánica.

Gráfico No. 13 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 10% toba volcánica.

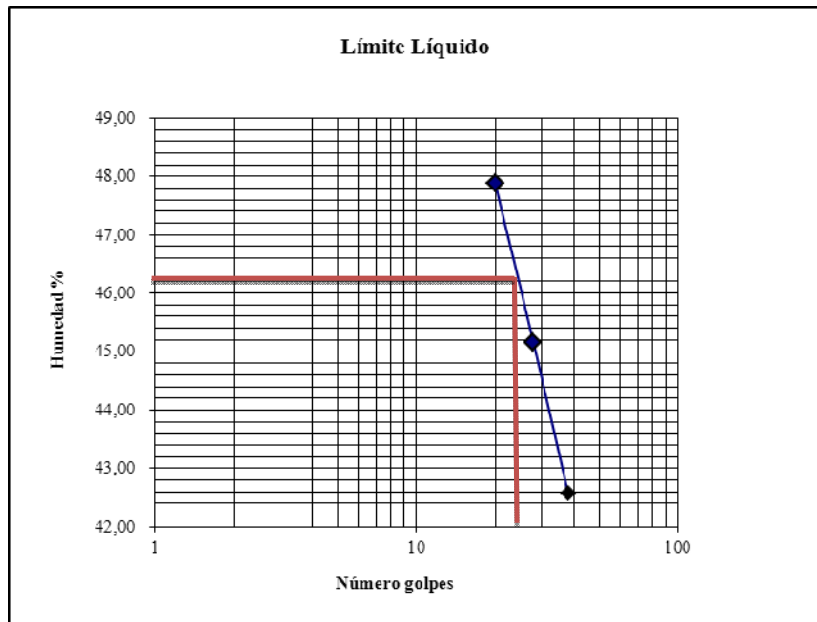
<b>LÍMITES DE ATERBERG DE LA SUBRASANTE + 10% TOBA VOLCÁNICA</b>			
Límite Plástico	3 Z	X 7	M 5
M. Húmeda + tarro	7,17	5,50	7,11
M Seca + tarro	6,71	5,16	6,67
Humedad	0,46	0,34	0,44
Peso tarro	5,51	4,33	5,56
Peso M. Seca	1,20	0,83	1,11
% Humedad	38,33	40,96	39,64
<b>Límite plástico = 39,65</b>			
Tarro #	10 E	15 E	1 C
# golpes	37	26	21
Peso muestra h + tarro	27,79	28,61	29,5
Peso muestra seca + tarro	22,8	23,2	23,73
Peso agua	4,99	5,41	5,77
Peso tarro	11,33	11,33	11,33
Peso muestra seca	11,47	11,87	12,4
% Humedad	43,50	45,58	46,53
<b>Límite líquido = 45,59</b>		<b>Ip = 5,94</b>	



#### 4.1.2.7 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% toba volcánica.

Gráfico No. 14 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 15% toba volcánica.

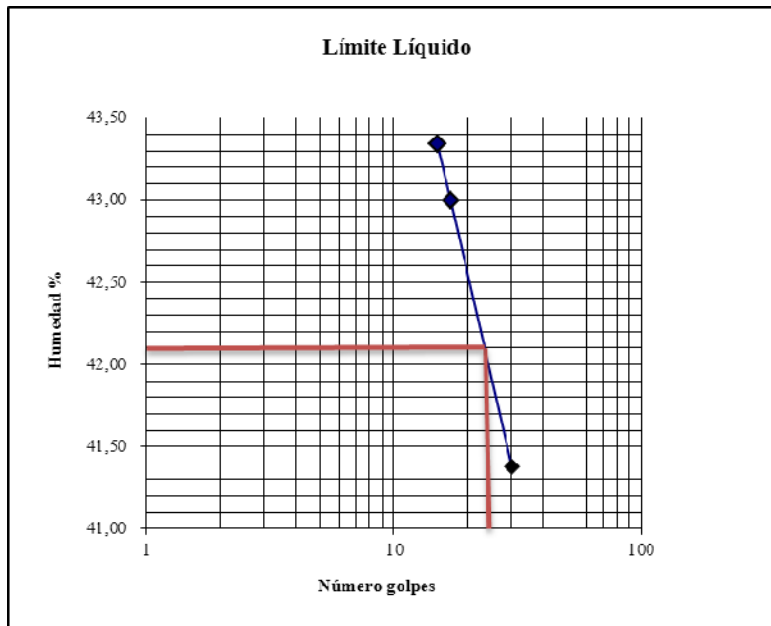
<b>LÍMITES DE ATERBERG DE LA SUBRASANTE + 15% TOBA VOLCÁNICA</b>			
Límite Plástico	10 T	M 5	M 4
M. Húmeda + tarro	12,78	13,45	13,38
M Seca + tarro	12,40	12,83	12,83
Humedad	0,38	0,62	0,55
Peso tarro	11,50	11,39	11,40
Peso M. Seca	0,90	1,44	1,43
% Humedad	42,22	43,06	38,46
<b>Límite plástico = 41,25</b>			
Tarro #	10 F	10 E	2 F
# golpes	38	28	20
Peso muestra h + tarro	23,84	28,18	23,53
Peso muestra seca + tarro	20,11	22,95	19,57
Peso agua	3,73	5,23	3,96
Peso tarro	11,35	11,37	11,3
Peso muestra seca	8,76	11,58	8,27
% Humedad	42,58	45,16	47,88
<b>Límite líquido = 46,20</b>		<b>Ip = 4,95</b>	



#### 4.1.2.8 Límites de Atterberg del suelo de subrasante+ 20% toba volcánica.

Gráfico No. 14 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 20% toba volcánica.

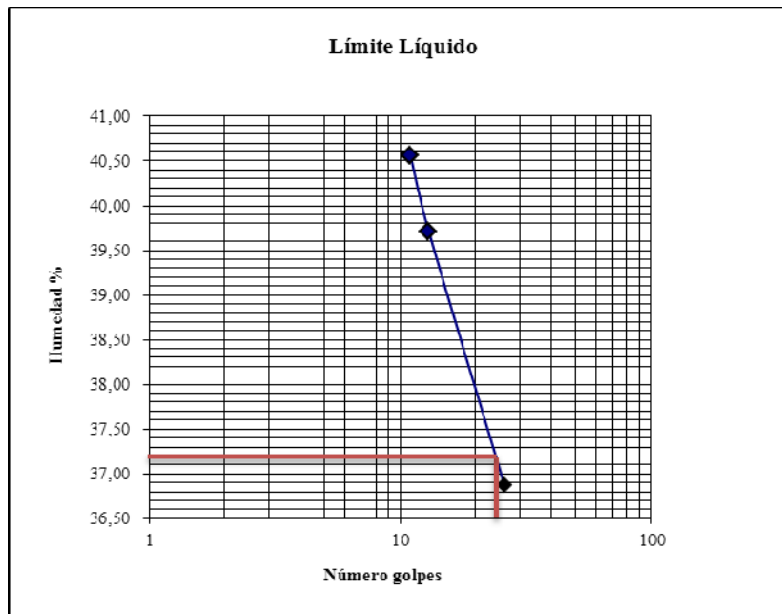
<b>LÍMITES DE ATERBERG DE LA SUBRASANTE +20% TOBA VOLCÁNICA</b>			
Límite Plástico	4 Z	M 1	3 Z
M. Húmeda + tarro	6,59	6,59	6,32
M Seca + tarro	6,28	6,32	6,10
Humedad	0,31	0,27	0,22
Peso tarro	5,46	5,60	5,51
Peso M. Seca	0,82	0,72	0,59
% Humedad	37,80	37,50	37,29
<b>Límite plástico = 37,53</b>			
Tarro #	10E	15E	9E
# golpes	30	17	15
Peso muestra h + tarro	24,86	31,94	25,39
Peso muestra seca + tarro	20,9	25,74	21,16
Peso agua	3,96	6,2	4,23
Peso tarro	11,33	11,32	11,4
Peso muestra seca	9,57	14,42	9,76
% Humedad	41,38	43,00	43,34
<b>Límite líquido = 42,10</b>		<b>Ip = 4,57</b>	



#### 4.1.2.9 Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 100% toba volcánica.

Gráfico No. 16 Determinación de Límites de Atterberg del suelo de subrasante + 100% toba volcánica.

<b>LÍMITES DE ATERBERG DE LA SUBRASANTE + 100% TOBA VOLCÁNICA</b>			
Límite Plástico	9T	M1	X5
M. Húmeda + tarro	5,60	7,07	7,78
M Seca + tarro	5,28	6,68	7,27
Humedad	0,32	0,39	0,51
Peso tarro	4,36	5,60	5,78
Peso M. Seca	0,92	1,08	1,49
% Humedad	34,78	36,11	34,23
<b>Límite plástico = 35,04</b>			
Tarro #	1C	11E	12E
# golpes	26	13	11
Peso muestra h + tarro	27,81	28,1	29,96
Peso muestra seca + tarro	23,37	23,35	24,65
Peso agua	4,44	4,75	5,31
Peso tarro	11,33	11,39	11,56
Peso muestra seca	12,04	11,96	13,09
% Humedad	36,88	39,72	40,57
<b>Límite líquido = 37,20</b>		<b>Ip = 2,16</b>	



### 4.1.3 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE CAL USANDO EL PH (POTENCIAL HIDRÓGENO).

Según norma ASTM C97, se procede de la siguiente manera.

- Se toman 20 gr de suelo pasado por la malla No. 40 y en estado seco, colocándolo en un recipiente tapado de 150 ml.
- Se pesa la cal según el porcentaje a ensayar y se la vierte en un recipiente con el suelo seco agitando el recipiente para producir una mezcla seca suelo-cal.
- Se añaden 100 ml de agua destilada y se sacude el recipiente por 30 segundos hasta que no quede material seco. Cada 10 segundos se agita el recipiente por 30 segundos.
- Después de una hora se procede a medir el PH.

Se busca la muestra que tenga un PH de 12,3. La limitante de este método es que no garantiza un incremento de la resistencia.

El manual del MOP, indica solo el valor de 11.

Tabla No. 4 Determinación de % de Cal.

RESULTADO ENSAYO DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE CAL			
	PH		
	4% CAL	5% CAL	6% CAL
Suelo de subrasante + 0% toba volcánica	10	12	13
Suelo de subrasante + 35% toba volcánica	11	13	13
Suelo de subrasante + 75% toba volcánica	11	13	13
Suelo de subrasante + 100% toba volcánica	11	13	13
Suelo de subrasante + 0% arena	10	12	13
Suelo de subrasante + 35% arena	12	13	13
Suelo de subrasante + 75% arena	12	13	13
Suelo de subrasante + 100% arena	12	13	13

#### 4.1.4 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS RELATIVAS, MEDIANTE COMPRESIÓN NO CONFINADA.

Se han confeccionado probetas, con suelo de subrasante, en este caso suelo de páramo, con diferentes porcentajes de arena y diferentes porcentajes de cemento, lo mismo para la toba volcánica y también para las combinaciones que se dan al cambiar el cemento por cal.

La probeta tiene las siguientes dimensiones 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, constituida por tres capas compactadas con 25 golpes por capa, se elaboraron dos muestras por cada combinación de suelo en estudio, para obtener su promedio.

Se ensayaron a los 7 días, dándoles carga hasta el punto de falla

Es una resistencia relativa por cuanto corresponde a la lectura del dial.

##### 4.1.4.1 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.

Tabla. No. 5 Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 100% arena</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	32,0	87,0	104,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	36,0	84,0	90,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>34,0</b>	<b>85,5</b>	<b>97,0</b>

**4.1.4.2 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 6 Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 75% arena</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	26,0	76,0	125,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	31,0	65,0	104,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>28,5</b>	<b>70,5</b>	<b>114,5</b>

**4.1.4.3 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 7 Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 35% arena</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	30,0	44,0	82,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	26,0	48,0	75,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>28,0</b>	<b>46,0</b>	<b>78,5</b>

**4.1.4.4 Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 8 Resultados compresión de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	18,0	19,0	21,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	20,0	21,0	21,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>19,0</b>	<b>20,0</b>	<b>21,0</b>



**4.1.4.5 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 9 Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 100% toba volcánica</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	33,0	60,0	85,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	35,0	62,0	85,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>34,0</b>	<b>61,0</b>	<b>85,0</b>

**4.1.4.6 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 10 Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 75% toba volcánica</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	28,0	29,0	39,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	38,0	31,0	39,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>33,0</b>	<b>30,0</b>	<b>39,0</b>

**4.1.4.7 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

Tabla. No. 11 Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cemento</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cemento + 35% toba volcánica</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	21,0	21,0	30,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	23,0	24,0	22,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>22,0</b>	<b>22,5</b>	<b>26,0</b>

**4.1.4.8 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No.12 Resultados compresión de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal + 100% arena</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	23,0	18,0	17,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	25,0	25,0	20,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>24,0</b>	<b>21,5</b>	<b>18,5</b>

**4.1.4.9 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No. 13 Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal +75% arena</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	20,0	22,0	28,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	13,0	25,0	23,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>16,5</b>	<b>23,5</b>	<b>25,5</b>

**4.1.4.10 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No. 14 Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal +35% arena</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	18,0	20,0	18,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	18,0	20,0	19,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>18,0</b>	<b>20,0</b>	<b>18,5</b>

**4.1.4.11 Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No. 15 Resultados compresión de probetas de suelo de subrasante y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	10,0	14,0	9,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	12,0	9,0	13,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>11,0</b>	<b>11,5</b>	<b>11,0</b>

**4.1.4.12 Resistencia de probetas de suelo + 100% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No. 16 Resultados compresión de probetas de suelo de subrasante + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal + 100% toba volcánica</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	17,0	17,0	16,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	23,0	25,0	23,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>20,0</b>	<b>21,0</b>	<b>19,5</b>

**4.1.4.13 Resistencia de probetas de suelo + 75% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.**

Tabla. No. 17 Resultados compresión de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
	<b>Porcentajes de Cal</b>		
<b>Suelo subrasante + % de cal + 75% toba volcánica</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	17,0	11,0	15,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	13,0	22,0	17,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>15,0</b>	<b>16,5</b>	<b>16,0</b>

#### 4.1.4.14 Resistencia de probetas de suelo + 35% de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.

Tabla. No. 18 Resultados compresión de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.

<b>RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>			
<b>Suelo subrasante + % de cal + 35% toba volcánica</b>	<b>Porcentajes de Cal</b>		
	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
Muestra 1 (lecturas del dial máquina de compresión)	21,0	12,0	12,0
Muestra 2 (lecturas del dial máquina de compresión)	13,0	16,0	12,0
<b>Resistencia relativa Promedio</b>	<b>17,0</b>	<b>14,0</b>	<b>12,0</b>

#### 4.1.5 DETERMINACIÓN DEL CBR.

El ensayo de CBR, provee información de la capacidad portante del suelo.

Primeramente debemos encontrar la densidad máxima determinándola mediante el ensayo Proctor que consiste en rellenar, con el suelo en estudio, un molde normalizado mediante cinco capas compactadas con un martillo igualmente normalizado con 56 golpes por capa, se lo pesa y se procede a encontrar la humedad de dicho suelo, luego se repite el procedimiento añadiendo un poco más de agua al suelo y así por lo menos con cinco puntos; se calcula la humedad de cada muestra y también la densidad alcanzada por el suelo en cada caso.

Con estos datos graficamos densidad Vs. Humedad, el punto de densidad máxima corresponde a la humedad óptima.

Así, con la diferencia entre la humedad óptima y la humedad inicial podemos calcular la cantidad de agua que debe adicionarse al suelo para que se compacte a la densidad máxima.

Luego con el suelo en estudio, con la humedad óptima, se procede a conformar las muestras para en ensayo de Penetración. Se rellena el molde con cinco capas compactadas con 57 golpes, con el martillo normalizado, por capa, se enrasa y se pesa, determinando la humedad del suelo; se repite para 26 y 11 golpes por capa.

Los moldes se sumergen en agua y se mide la altura del suelo, antes de proceder al ensayo de penetración se vuelve a medir, para determinar el esponjamiento.

Se coloca el molde en la máquina de compresión y se mide la carga que necesita para producir cierta deformación en determinado tiempo, según una tabla(\*), se continúa hasta conseguir los datos que indica la tabla. Se gráfica densidad Vs CBR y al 95% de la densidad máxima le corresponde el valor de CBR.

(\*). Ver tabla del ensayo de penetración casilleros de tiempo y penetración.



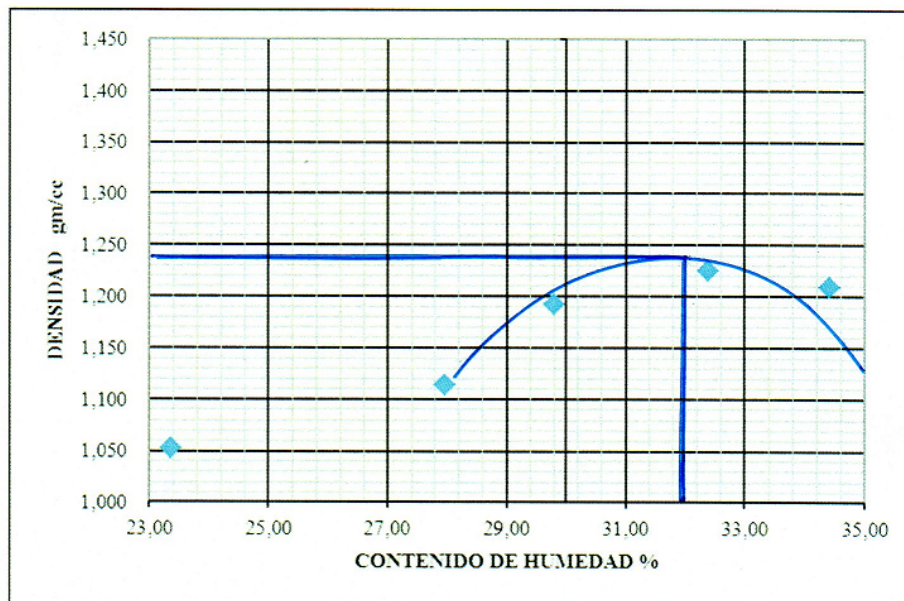
**Ensayo de penetración CBR.**

#### 4.1.5.1.1 Ensayo Proctor del suelo de subrasante.

Tabla No. 19 Resultados ensayo Proctor de suelo de subrasante.

ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS					
SUELO SUBRASANTE					
<b>PESO SUELO</b>	6000	6000	6000	6000	6000
<b>PESO TARRO + SUELO H</b>	9360	9626	9887	10050	10055
<b>PESO MOLDE</b>	6602	6602	6602	6602	6602
<b>PESO SUELO HÚMEDO</b>	2758	3024	3285	3448	3453
<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>	<b>23,37</b>	<b>27,97</b>	<b>29,80</b>	<b>32,38</b>	<b>34,42</b>
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	2124	2124	2124	2124	2124
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,298	1,424	1,547	1,623	1,626
<b>DENSIDAD SECA</b>	<b>1,053</b>	<b>1,113</b>	<b>1,192</b>	<b>1,226</b>	<b>1,209</b>
<b>TARRO #</b>	2 T	D 2	10 B	4 B	D 4
<b>TARRO+S. HÚMEDO</b>	139,50	131,40	132,70	120,00	130,20
<b>TARRO+ S. SECO</b>	118,40	109,00	109,56	98,50	104,21
<b>PESO AGUA</b>	21,10	22,40	23,14	21,50	25,99
<b>PESO TARRO</b>	28,10	28,90	31,90	32,10	28,70
<b>PESO SUELO SECO</b>	90,30	80,10	77,66	66,40	75,51

Gráfico No. 17 Densidad Vs Contenido de Humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,240      Humedad Óptima (%)      32,0

**4.1.5.1.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra suelo de subrasante.**

Tabla No. 20 CBR, conformación de probetas suelo subrasante.

<b>ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE LAS PROBETAS CON DIFERENTE ENERGIA DE COMPACTACIÓN</b>						
<b>SUELO DE SUBRASANTE</b>						
Molde	1C		2C		3C	
Número capas	5	5	5	5	5	5
Nº golpes /capa	<b>57</b>		<b>26</b>		<b>11</b>	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	11595,9	12088,7	11321,1	11874,1	11745,8	12349,1
Peso del molde	8025	8025	8095	8095	8565	8565
Peso muestra húmeda	3570,9	4063,7	3226,1	3779,1	3180,8	3784,1
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,541	1,754	1,392	1,631	1,373	1,633
Densidad seca	1,294	1,173	1,075	1,064	1,041	1,039
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>						
Tarro Nº	2 T	4 T	4 T	2 T	D3	D 3
Peso muestra hum.+ tarro	91,3	112,8	88	90,8	74,4	121,8
Peso muestra seca + tarro	81,2	84,8	74,4	69,1	63,1	87,5
Peso agua	10,1	28	13,6	21,7	11,3	34,3
Peso tarro	28,3	28,3	28,4	28,4	27,6	27,6
Peso muestra seca	52,9	56,5	46	40,7	35,5	59,9
Contenido de humedad	19,09	49,56	29,57	53,32	31,83	57,26
Agua absorbida		30,46		23,75		25,43

#### 4.1.5.1.3 Ensayo de penetración para CBR. subrasante.

Tabla No. 21 CBR, Ensayo de penetración: suelo subrasante.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
SUELO SUBRASANTE																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
1C		dial	muestra	mm*10-2	%	2C		dial	muestra	mm*10-2	%	3C		dial	muestra	mm*10-2	%
		653	127	0	0			64	127	0	0			945	127	0	0
		778		1,25	0,98			175		1,11	0,87			1030		0,85	0,67
Constante		2,683															
Tiempo		Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
	30	25	5	13,4				4	10,7				3	8,0			
		50	10	26,8				9	24,1				5	13,4			
	30	75	16	42,9				15	40,2				8	21,5			
		100	22	59,0	59,0	1000	5,90	20	53,7	53,7	1000	5,37	10	26,8	26,8	1000	2,68
		150	32	85,9				30	80,5				14	37,6			
		200	43	115,4	115,4	1500	7,69	39	104,6	104,6	1500	6,98	18	48,3	48,3	1500	3,22
		250	53	142,2				46	441,0				20	53,7			
		300	63	169,0				52	139,5				21	56,3	56,3	1900	
		400	84	225,4				66	177,1				24	64,4	64,4	2600	
							<b>7,69</b>					<b>6,98</b>					<b>3,22</b>



Tabla No. 22 CBR, diferentes energías de compactación. Suelo.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>SUELO DE SUBRASANTE</b>			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	7,69	6,98	3,22
DENSIDAD	1,29	1,07	1,04

Gráfico No. 18 Densidad Vs CBR (de la subrasante).

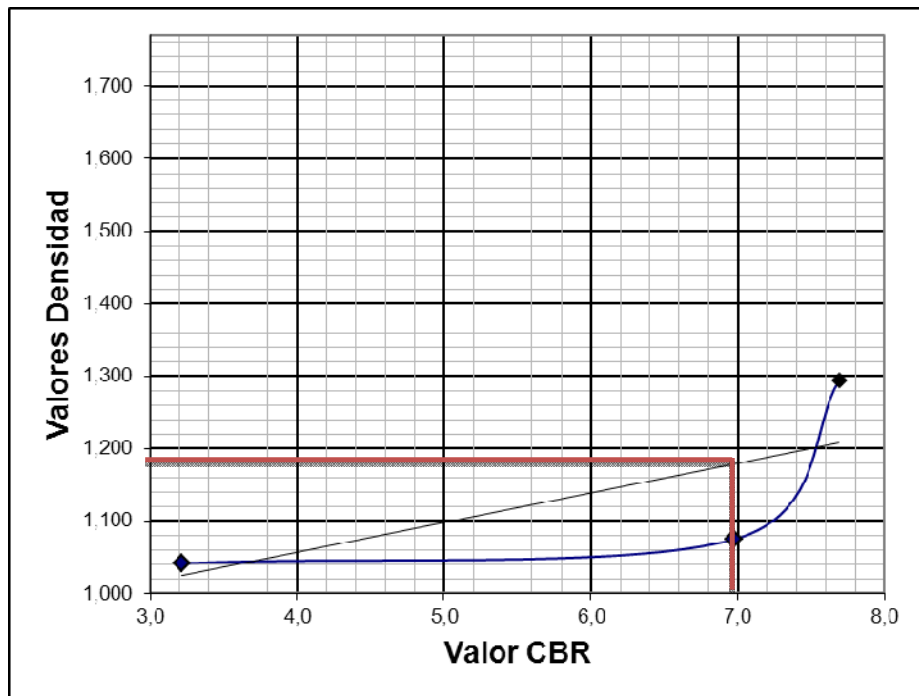


Tabla No. 23 Resultado de CBR de la subrasante.

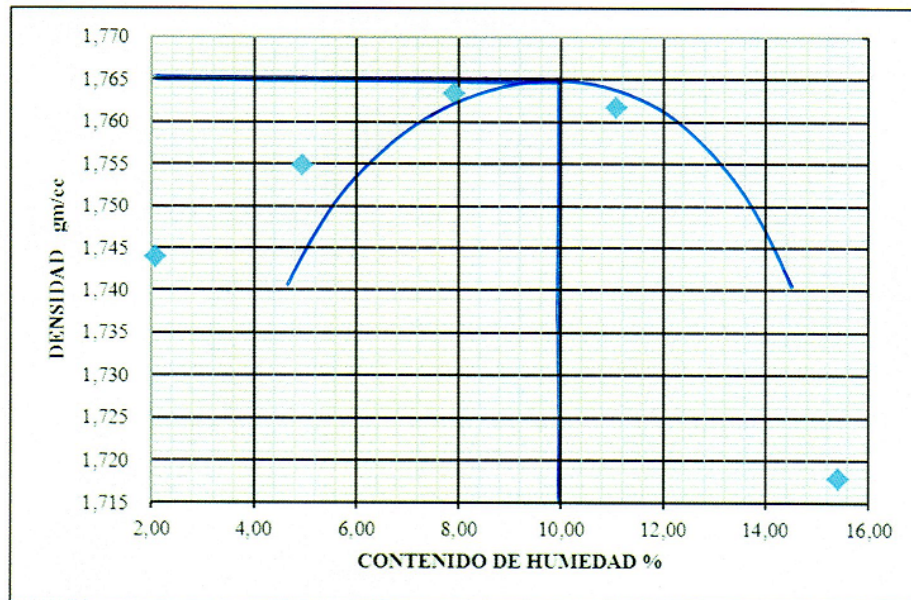
<b>CBR RESULTANTE</b>		
D <sub>máx</sub> =	1,240	gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,178	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	7,0	
<b>CBR Determinado %</b>	<b>7,0</b>	

#### 4.1.5.2.1 Ensayo Proctor de la arena.

Tabla No. 24 Resultados ensayo Proctor de suelo de arena.

ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS					
ARENA					
<b>PESO SUELO</b>	6000	6000	6000	6000	6000
<b>PESO TARRO + SUELO H</b>	10384	10515	10642	10760	10815
<b>PESO MOLDE</b>	6602	6602	6602	6602	6602
<b>PESO SUELO HÚMEDO</b>	3782	3913	4040	4158	4213
<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>	<b>2,08</b>	<b>4,95</b>	<b>7,90</b>	<b>11,09</b>	<b>15,42</b>
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	2124	2124	2124	2124	2124
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,781	1,842	1,902	1,958	1,984
<b>DENSIDAD SECA</b>	<b>1,744</b>	<b>1,755</b>	<b>1,763</b>	<b>1,762</b>	<b>1,718</b>
<b>TARRO #</b>	D 4	2 T	27 B	5 B	3 T
<b>TARRO+S. HÚMEDO</b>	151,50	142,80	131,80	139,40	170,20
<b>TARRO+ S. SECO</b>	149,00	137,40	124,50	128,70	151,20
<b>PESO AGUA</b>	2,50	5,40	7,30	10,70	19,00
<b>PESO TARRO</b>	28,70	28,30	32,10	32,20	28,00
<b>PESO SUELO SECO</b>	120,30	109,10	92,40	96,50	123,20

Gráfico No. 4.1.5.2.1 Densidad Vs Contenido de humedad (de la Subrasante).



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,765      Humedad Óptima (%)      10,0

**4.1.5.2.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra (arena).**

Tabla No. 25 CBR, conformación de probetas arena.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN						
ARENA						
Molde	1C		2C		3C	
Número capas	5		5		5	
N° golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	12440,6	12721,1	12419,2	12733,8	12729,2	13102,5
Peso del molde	8025	8025	8095	8095	8565	8565
Peso muestra húmeda	4415,6	4696,1	4324,2	4638,8	4164,2	4537,5
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,906	2,027	1,866	2,002	1,797	1,958
Densidad seca	1,756	1,746	1,720	1,716	1,653	1,709
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	D 3	D 3	D 4	D 4	3 T	3 T
Peso muestra hum.+ tarro	121,5	159	152,2	165,2	160,2	179,4
Peso muestra seca + tarro	114,1	140,8	142,5	145,7	149,6	160,1
Peso agua	7,4	18,2	9,7	19,5	10,6	19,3
Peso tarro	27,4	27,4	28,8	28,8	27,9	27,9
Peso muestra seca	86,7	113,4	113,7	116,9	121,7	132,2
Contenido de humedad	8,54	16,05	8,53	16,68	8,71	14,60
Agua absorbida		7,51		8,15		5,89

#### 4.1.5.2.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 26 CBR, Ensayo de penetración CBR para la arena.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
ARENA																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
1C		dial	muestra	mm*10-2	%	2C		dial	muestra	mm*10-2	%	3C		dial	muestra	mm*10-2	%
		76	127	0	0			85	127	0	0			40	127	0	0
		60		-0,16	-0,13			81		-0,04	-0,03			33		-0,07	-0,06
Constante		2,683															
Tiempo		Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
	30	25	18	48,3				21	56,3				12	32,2			
	1	50	43	115,4				44	118,1				22	59,0			
	30	1	75	77	206,6			74	198,5				33	88,5			
	2	100	110	295,1	295,1	1000	29,5	103	276,3	276,3	1000	27,6	43	115,4	115,4	1000	11,5
	3	150	177	474,9				153	410,5				62	166,3			
	4	200	254	681,5	681,5	1500	45,4	198	531,2	531,2	1500	35,4	77	206,6	206,6	1500	13,8
	5	250	317	850,5				230	441,0				90	241,5			
	6	300	372	998,1				251	673,4				100	268,3	268,3	1900	
	8	400	412	1105,4				265	711,0				120	322,0	322,0	2600	
							<b>45,4</b>						<b>35,4</b>				<b>13,8</b>

Tabla No. 27 CBR arena diferentes energías compactación.

CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN			
ARENA			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	45,43	35,42	13,77
DENSIDAD	1,76	1,72	1,65

Gráfico No. 20 Densidad Vs CBR (de la arena).

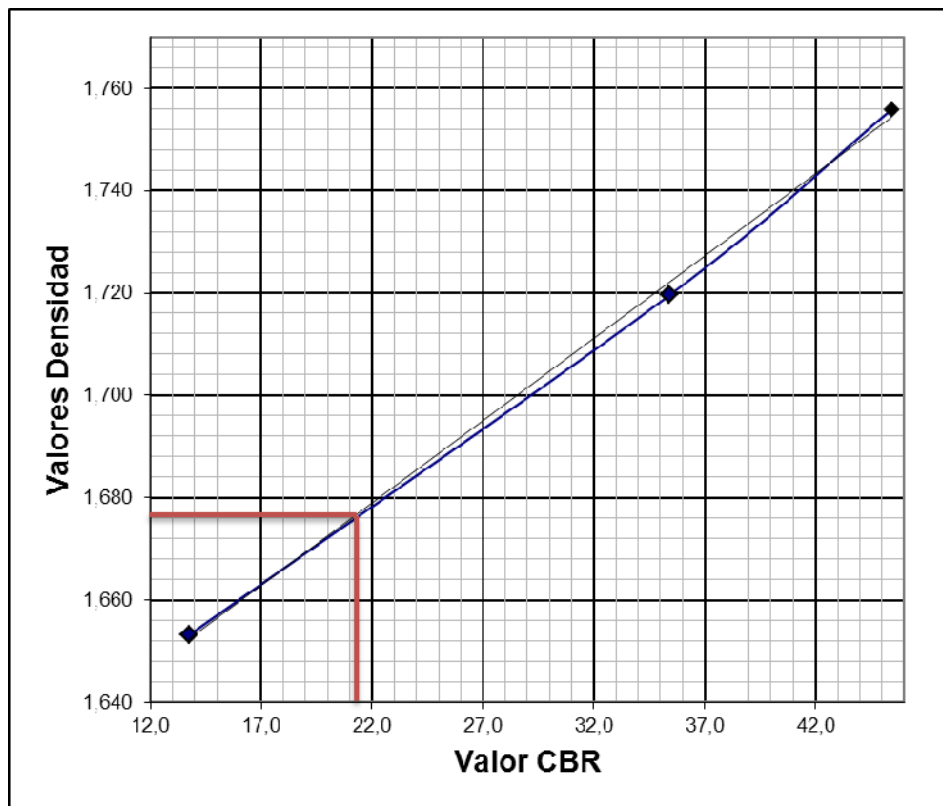


Tabla No. 28 Resultado de CBR de la arena.

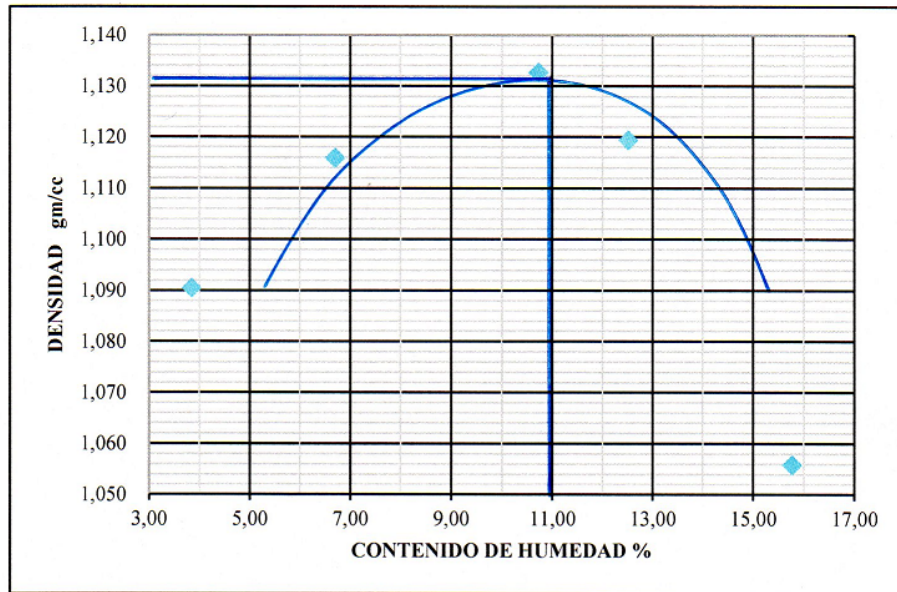
CBR RESULTANTE		
D <sub>máx</sub> =	1,765	gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,677	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	21,1	
<b>CBR Determinado %</b>	<b>21,0</b>	

#### 4.1.5.3.1 Ensayo Proctor de la toba volcánica.

Tabla No 29 Resultados ensayo Proctor de suelo de toba volcánica.

ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS					
TOBA VOLCÁNICA					
PESO SUELO	6000	6000	6000	6000	6000
PESO TARRO + SUELO H	9006	9132	9266	9276	9198
PESO MOLDE	6602,00	6602,00	6602,00	6602,00	6602,00
PESO SUELO HÚMEDO	2404	2530	2664	2674	2596
CONTENIDO HUMEDAD	<b>3,85</b>	<b>6,70</b>	<b>10,73</b>	<b>12,52</b>	<b>15,77</b>
VOLUMEN MOLDE	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00
DENSIDAD HÚMEDA	1,132	1,191	1,254	1,259	1,222
DENSIDAD SECA	<b>1,090</b>	<b>1,116</b>	<b>1,133</b>	<b>1,119</b>	<b>1,056</b>
TARRO #	D 5	D 3	A 2	3 B	8 B
TARRO+S. HÚMEDO	102,80	103,80	97,10	104,60	105,60
TARRO+ S. SECO	100,10	99,00	90,80	96,60	95,60
PESO AGUA	2,70	4,80	6,30	8,00	10,00
PESO TARRO	29,90	27,40	32,10	32,70	32,20
PESO SUELO SECO	70,20	71,60	58,70	63,90	63,40

Gráfico No. 21 Densidad Vs Contenido de humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,131      Humedad Óptima (%)      11,0

**4.1.5.3.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra.**

Tabla No. 30 CBR, conformación de probetas toba volcánica.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGIA DE COMPACTACIÓN						
TOBA VOLCÁNICA						
Molde	1C		2C		3C	
Número capas	5		5		5	
Nº golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	11034,9	11795,5	10858,8	11653,4	11275,5	12123,3
Peso del molde	8025	8025	8095	8095	8565	8565
Peso muestra húmeda	3009,9	3770,5	2763,8	3558,4	2710,5	3558,3
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,299	1,627	1,193	1,536	1,170	1,536
Densidad seca	1,166	1,155	1,068	1,083	1,054	1,047
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	5 B	D 1	10 B	4 T	7 B	D 2
Peso muestra hum.+ tarro	86	87,8	79	107,7	88,8	113,8
Peso muestra seca + tarro	80,5	71,9	74,1	84,3	83,2	86,8
Peso agua	5,5	15,9	4,9	23,4	5,6	27
Peso tarro	32,1	33	32	28,4	32,2	28,9
Peso muestra seca	48,4	38,9	42,1	55,9	51	57,9
Contenido de humedad	11,36	40,87	11,64	41,86	10,98	46,63
Agua absorbida		29,51		30,22		35,65

### 4.1.5.3.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 31 CBR, Ensayo de penetración CBR para la toba volcánica.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
TOBA VOLCÁNICA																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
1C		dial	muestra	mm*10-2	%	2C		dial	muestra	mm*10-2	%	3C		dial	muestra	mm*10-2	%
		925	127	0	0			233	127	0	0			400	127	0	0
		930		0,05	0,04			250		0,17	0,13			458		0,58	0,46
Constante		2,683															
Tiempo	Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
30		25	20	53,7				10	26,8				3	8,0			
	1	50	41	110,0				22	59,0				6	16,1			
30	1	75	67	179,8				40	107,3				8	21,5			
	2	100	90	241,5	241,5	1000	24,1	50	134,2	134,2	1000	13,4	11	29,5	29,5	1000	3,0
	3	150	131	351,5				71	190,5				16	42,9			
	4	200	170	456,1	456,1	1500	30,4	88	236,1	236,1	1500	15,7	22	59,0	59,0	1500	3,9
	5	250	197	528,6				101	441,0				26	69,8			
	6	300	220	590,3				118	316,6				32	85,9	85,9	1900	
	8	400	240	643,9				133	356,8				40	107,3	107,3	2600	
							<b>30,4</b>						<b>15,7</b>				<b>3,9</b>



Tabla No. 32. Resultado de CBR de la toba volcánica para diferentes energías de compactación.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>TOBA VOLCÁNICA</b>			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	30,41	15,74	3,94
DENSIDAD	1,17	1,07	1,05

Gráfico No. 22 Densidad Vs CBR (de la toba volcánica).

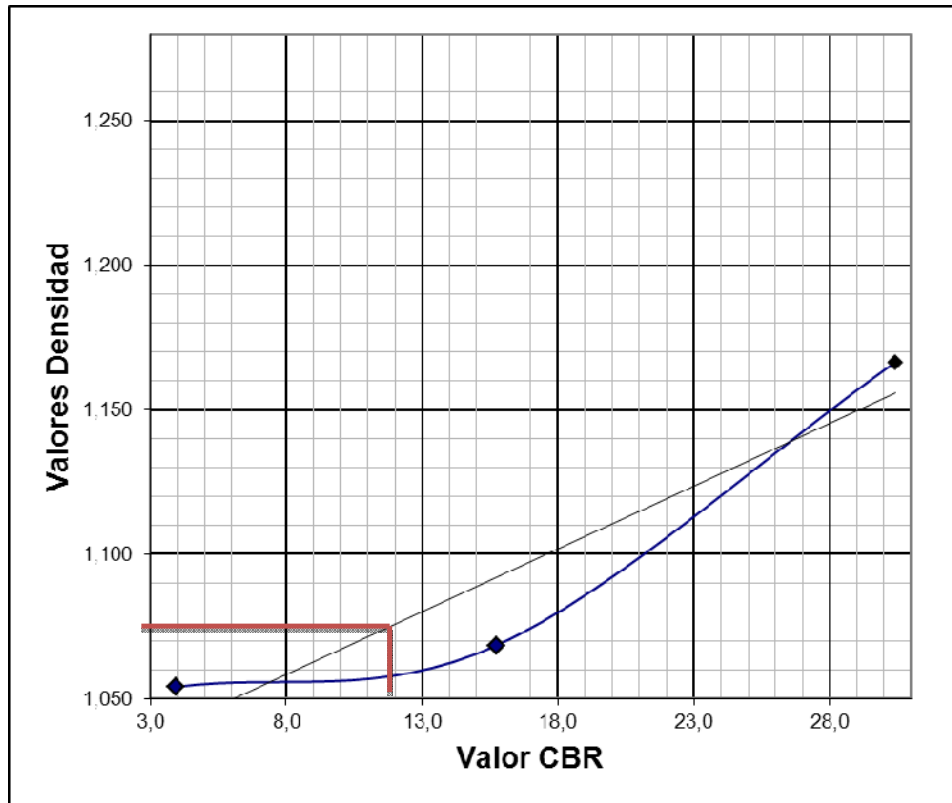


Tabla No. 33 Resultado de CBR de la toba volcánica.

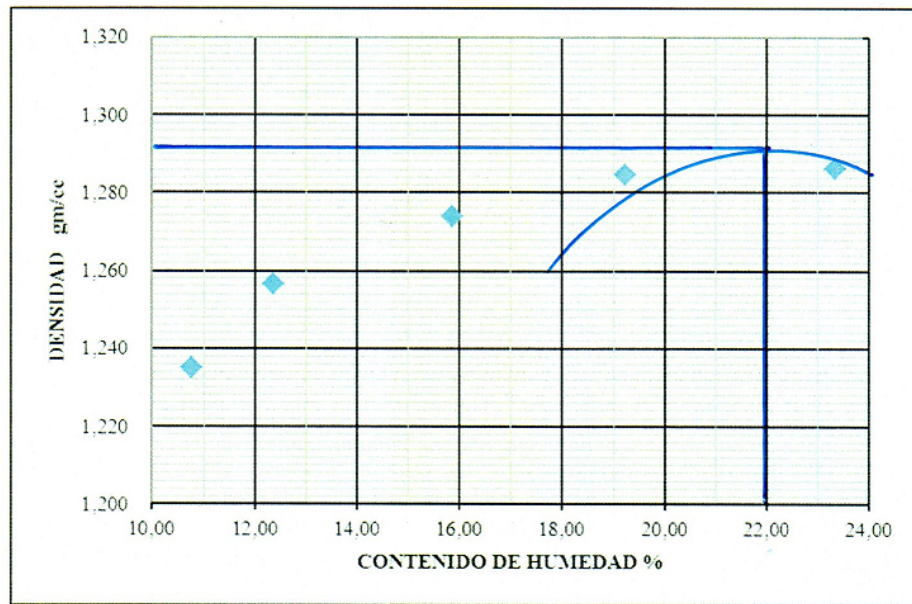
<b>CBR RESULTANTE</b>		
Dmáx=	1,131	gm/cm <sup>3</sup>
95% Dmáx=	1,074	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	12,0	
<b>CBR Determinado %</b>	<b>12,0</b>	

#### 4.1.5.4.1 Ensayo Proctor de suelo subrasante + 20 % arena

Tabla No. 34 Resultados ensayo Proctor de suelo de arena.

ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS					
SUELO DE SUBRASANTE + 20% DE ARENA					
PESO SUELO	6000,00	6000,00	6000,00	6000,00	6000,00
PESO TARRO + SUELO H	9508,00	9603,00	9738,00	9855,00	9970,00
PESO MOLDE	6602,00	6602,00	6602,00	6602,00	6602,00
PESO SUELO HÚMEDO	2906,00	3001,00	3136,00	3253,00	3368,00
CONTENIDO HUMEDAD	<b>10,76</b>	<b>12,37</b>	<b>15,87</b>	<b>19,23</b>	<b>23,34</b>
VOLUMEN MOLDE	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00
DENSIDAD HÚMEDA	1,37	1,41	1,48	1,53	1,59
DENSIDAD SECA	<b>1,24</b>	<b>1,26</b>	<b>1,27</b>	<b>1,28</b>	<b>1,29</b>
TARRO #	D-5	D-4	D-7	3-T	4-B
TARRO+S. HÚMEDO	103,90	123,40	106,50	108,10	103,90
TARRO+ S. SECO	96,70	113,00	95,60	95,20	90,20
PESO AGUA	7,20	10,40	10,90	12,90	13,70
PESO TARRO	29,80	28,90	26,90	28,10	31,50
PESO SUELO SECO	66,90	84,10	68,70	67,10	58,70

Gráfico No. 23 Densidad Vs Contenido de humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,286      Humedad Óptima (%)      22,0

**4.1.5.4.2 Compactación, con 56, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra.**

Tabla No. 35 CBR, conformación de probetas suelo subrasante + 20% arena.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGIA DE COMPACTACIÓN						
SUELO DE SUBRASANTE + 20% DE ARENA						
Molde	4C		5C		6C	
Número capas	5		5		5	
N° golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	12222,2	12495,3	12240,2	12434	11957,1	12400,3
Peso del molde	8385	8385	8390	8390	8547	8547
Peso muestra húmeda	3837,2	4110,3	3850,2	4044	3410,1	3853,3
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,656	1,774	1,662	1,745	1,472	1,663
Densidad seca	1,286	1,230	1,260	1,216	1,196	1,127
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	D-4	D-1	7-B	10-B	D-5	4-T
Peso muestra hum.+ tarro	74	126,9	80,3	115,9	82,7	121,4
Peso muestra seca + tarro	63,9	98,1	68,6	90,4	72,8	91,41
Peso agua	10,1	28,8	11,7	25,5	9,9	29,99
Peso tarro	28,8	32,9	31,9	31,9	29,9	28,3
Peso muestra seca	35,1	65,2	36,7	58,5	42,9	63,11
Contenido de humedad	28,77	44,17	31,88	43,59	23,08	47,52
Agua absorbida		15,40		11,71		24,44

#### 4.1.5.4.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 36 CBR, Ensayo de penetración CBR para suelo de subrasante + 20% arena.

<b>ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR</b>																	
<b>SUELO SUBRASANTE + 20% ARENA</b>																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
4C		dial	muestra	mm*10-2	%	5C		dial	muestra	mm*10-2	%	6C		dial	muestra	mm*10-2	%
		490	127	0	0			180	127	0	0			180	127	0	0
		445		-0,45	-0,35			110		-0,7	-0,55			120		-0,6	-0,47
Constante		2,683															
Tiempo	Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
30		25	8	21,5				7	18,8				6	16,1			
	1	50	22	59,0				17	45,6				13	34,9			
30		75	37	99,3				27	72,4				20	53,7			
	2	100	51	136,8	136,8	1000	13,7	36	96,6	96,6	1000	9,7	25	67,1	67,1	1000	6,7
	3	150	79	212,0				55	147,6				33	88,5			
	4	200	101	271,0	271,0	1500	18,1	70	187,8	187,8	1500	12,5	39	104,6	104,6	1500	7,0
	5	250	150	402,5				85	441,0				44	118,1			
	6	300	137	367,6				95	254,9				47	126,1	126,1	1900	
	8	400	167	448,1				117	313,9				55	147,6	147,6	2600	
							<b>18,1</b>					<b>12,5</b>					<b>7,0</b>

Tabla No. 37 Resultado de CBR de suelo de subrasante + 20% arena. Diferente energía compactación.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>SUELO DE SUBRASANTE+ 20% DE ARENA</b>			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	18,1	12,5	7,0
DENSIDAD	1,286	1,260	1,196

Gráfico No. 24 Densidad Vs CBR (de la subrasante + 20% arena).

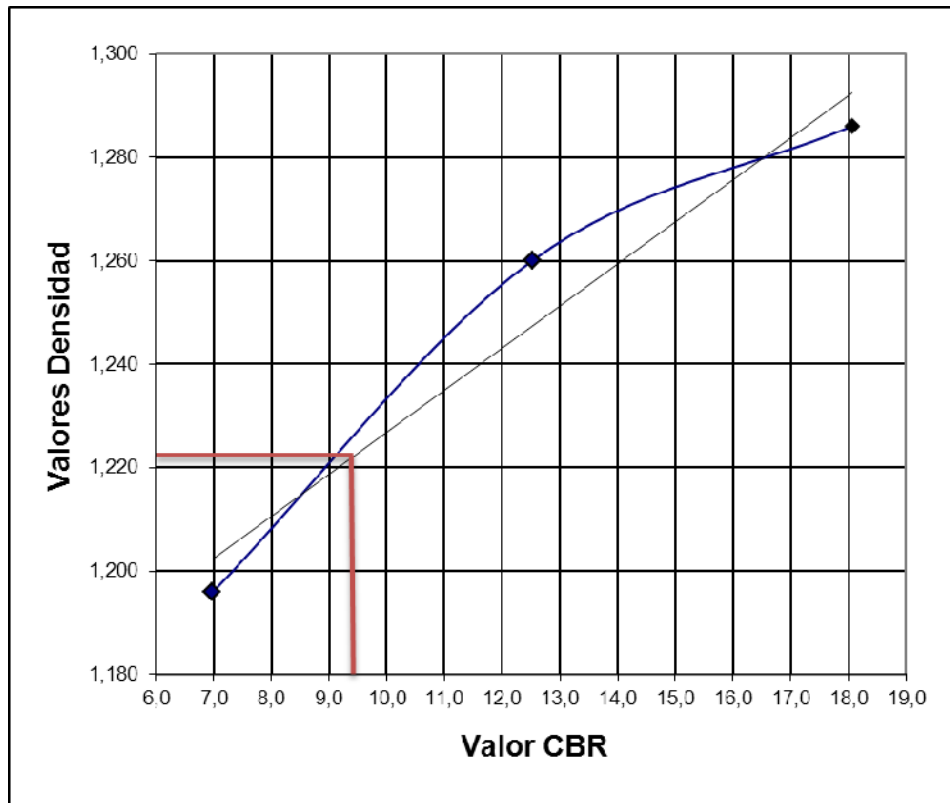


Tabla No. 38. Resultado de CBR de la subrasante + 20% arena.

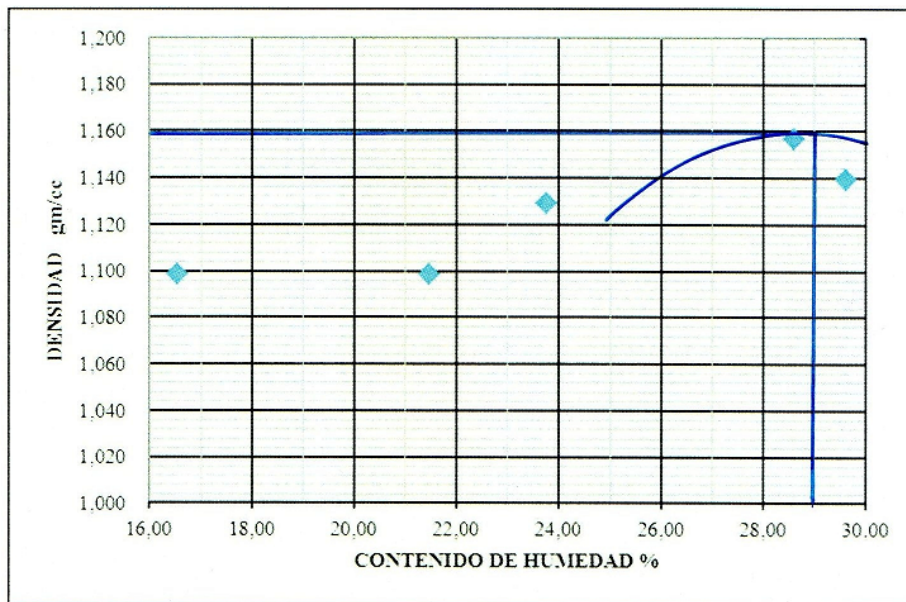
<b>CBR RESULTANTE</b>	
D <sub>máx</sub> =	1,286 gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,222 gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	9,4
<b>CBR Determinado %</b>	<b>9,0</b>

**4.1.5.5.1 Ensayo Proctor de suelo subrasante + 20 % toba volcánica.**

Tabla No. 39 Resultados ensayo Proctor de suelo de subrasante + 20% toba volcánica.

<b>ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS</b>					
<b>SUELO DE SUBRASANTE + 20% DE TOBA VOLCÁNICA</b>					
<b>PESO SUELO</b>	6000	6000	6000	6000	6000
<b>PESO TARRO + SUELO H</b>	9320	9437	9570	9760	9738
<b>PESO MOLDE</b>	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0
<b>PESO SUELO HÚMEDO</b>	2718	2835	2968	3158	3136
<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>	<b>16,54</b>	<b>21,46</b>	<b>23,76</b>	<b>28,61</b>	<b>29,61</b>
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,280	1,335	1,397	1,487	1,476
<b>DENSIDAD SECA</b>	<b>1,098</b>	<b>1,099</b>	<b>1,129</b>	<b>1,156</b>	<b>1,139</b>
<b>TARRO #</b>	4 T	2 T	D3	D2	D1
<b>TARRO+S. HÚMEDO</b>	75,60	76,60	74,80	79,70	82,80
<b>TARRO+ S. SECO</b>	68,90	68,10	65,70	68,40	71,40
<b>PESO AGUA</b>	6,70	8,50	9,10	11,30	11,40
<b>PESO TARRO</b>	28,40	28,50	27,40	28,90	32,90
<b>PESO SUELO SECO</b>	40,50	39,60	38,30	39,50	38,50

Gráfico No. 25 Densidad Vs Contenido de humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,160      Humedad Óptima (%)      29,0

**4.1.5.5.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra.**

Tabla No. 40 CBR, conformación de probetas suelo subrasante + 20% toba volcánica.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN						
SUELO DE SUBRASANTE + 20% DE TOBA VOLCÁNICA						
Molde	4C		5C		6C	
Número capas	5		5		5	
N° golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	11865,3	12089,7	11565,5	11859,8	11887,1	12287,5
Peso del molde	8025	8025	8095	8095	8565	8565
Peso muestra húmeda	3840,3	4064,7	3470,5	3764,8	3322,1	3722,5
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,657	1,754	1,498	1,625	1,434	1,607
Densidad seca	1,256	1,265	1,110	1,108	1,073	1,066
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	8 B	D 2	4 B	1 T	D 7	2 T
Peso muestra hum.+ tarro	74,3	90,7	86	109,1	99,5	112,2
Peso muestra seca + tarro	64,1	73,4	71,9	84	81,2	83,9
Peso agua	10,2	17,3	14,1	25,1	18,3	28,3
Peso tarro	32,2	28,7	31,5	30,2	26,8	28,1
Peso muestra seca	31,9	44,7	40,4	53,8	54,4	55,8
Contenido de humedad	31,97	38,70	34,90	46,65	33,64	50,72
Agua absorbida		6,73		11,75		17,08

### 4.1.5.5.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 41 CBR, Ensayo de penetración CBR para suelo de subrasante + 20% toba volcánica.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
SUELO SUBRASANTE + 20% TOBA VOLCÁNICA																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
4C		dial	muestra	mm*10-2	%	5C		dial	muestra	mm*10-2	%	6C		dial	muestra	mm*10-2	%
		140	127	0	0			190	127	0	0			270	127	0	0
		275		1,35	1,06			290		1	0,79			296		0,26	0,20
Constante		2,683															
Tiempo		Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
	30	25	12	32,2				8	21,5				5	13,4			
	1	50	28	75,1				17	45,6				12	32,2			
	30	1	75	46	123,4			28	75,1				20	53,7			
	2	100	63	169,0	169,0	1000	16,9	39	104,6	104,6	1000	10,46	25	67,1	67,1	1000	6,71
	3	150	95	254,9				59	158,3				34	91,2			
	4	200	121	324,6	324,6	1500	21,6	74	198,5	198,5	1500	13,24	43	115,4	115,4	1500	7,69
	5	250	152	407,8				90	441,0				49	131,5			
	6	300	176	472,2				102	273,7				54	144,9	144,9	1900	
	8	400	214	574,2				125	335,4				65	174,4	174,4	2600	
							<b>21,64</b>						<b>13,24</b>				<b>7,69</b>



Tabla No. 42 Resultado de CBR de suelo de subrasante + 20% toba volcánica diferentes energías de compactación.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>SUELO DE SUBRASANTE 80% + 20% DE TOBA VOLCÁNICA</b>			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	21,64	13,24	7,69
DENSIDAD	1,26	1,11	1,07

Gráfico No. 26 Densidad Vs CBR (de la subrasante + 20% toba volcánica).

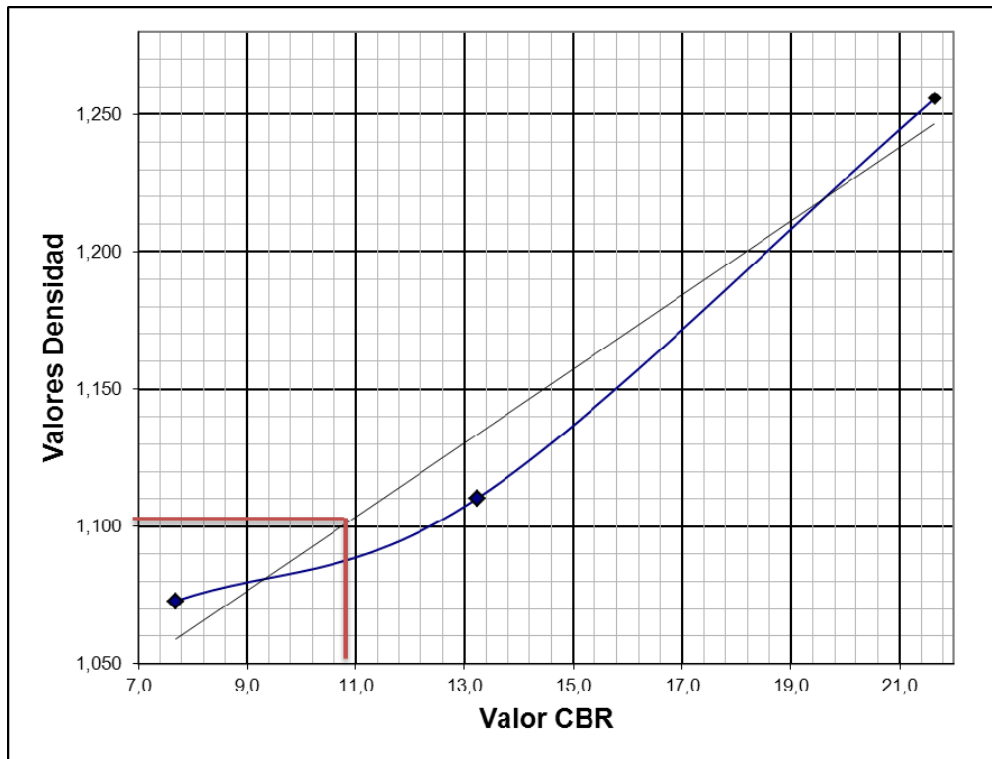


Tabla No. 43 Resultado de CBR de la subrasante + 20% toba volcánica.

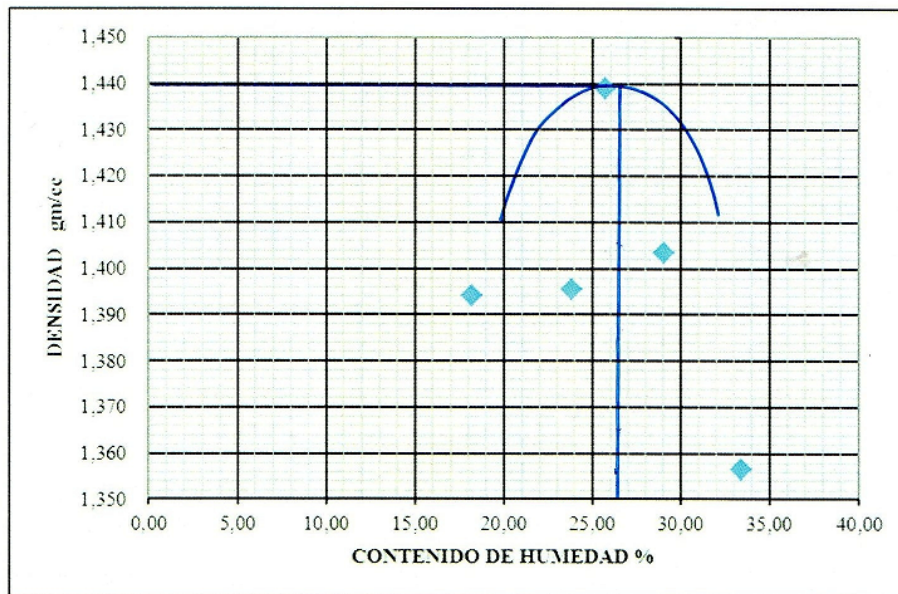
<b>CBR RESULTANTE</b>		
D <sub>máx</sub> =	1,160	gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,102	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %		10,9
<b>CBR Determinado %</b>		<b>11,0</b>

**4.1.5.6.1 Ensayo Proctor de suelo subrasante + 75% arena + 10% cemento.**

Tabla No. 44 Resultados ensayo Proctor de subrasante + 75% arena + 10% cemento.

<b>ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS</b>					
<b>SUELO DE SUBRASANTE + 75% ARENA + 10 % CEMENTO</b>					
<b>PESO SUELO</b>	6000	6000	6000	6000	6000
<b>PESO TARRO + SUELO H</b>	10103	10272	10445	10447	10446
<b>PESO MOLDE</b>	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0
<b>PESO SUELO HÚMEDO</b>	3501	3670	3843	3845	3844
<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>	18,23	23,87	25,75	29,06	33,44
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,648	1,728	1,809	1,810	1,810
<b>DENSIDAD SECA</b>	<b>1,394</b>	<b>1,395</b>	<b>1,439</b>	<b>1,403</b>	<b>1,356</b>
<b>TARRO #</b>	4 T	2 T	1 T	D 4	3 T
<b>TARRO+S. HÚMEDO</b>	91,32	123,01	94,81	89,22	109,85
<b>TARRO+ S. SECO</b>	81,61	104,73	81,60	75,61	89,33
<b>PESO AGUA</b>	9,71	18,28	13,21	13,61	20,52
<b>PESO TARRO</b>	28,35	28,16	30,29	28,77	27,97
<b>PESO SUELO SECO</b>	53,26	76,57	51,31	46,84	61,36

Gráfico No. 27 Densidad Vs Contenido de humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,440      Humedad Óptima (%)      26,2

**4.1.5.6.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra.**

Tabla No. 45 CBR, conformación de probetas de subrasante + 75% arena + 10% cemento.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGIA DE COMPACTACIÓN						
SUELO DESUBRASANTE+ 75% ARENA + 10 % CEMENTO						
Molde	4C		5C		6C	
Número capas	5		5		5	
N° golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	12627,9	12756,1	12410,6	12638,1	12348,5	12658,1
Peso del molde	8385	8385	8390	8390	8547	8547
Peso muestra húmeda	4242,9	4371,1	4020,6	4248,1	3801,5	4111,1
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,831	1,887	1,735	1,833	1,641	1,774
Densidad seca	1,485	1,454	1,383	1,403	1,317	1,325
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	4 T	4 T	2 T	2 T	D 3	D 3
Peso muestra hum.+ tarro	123,3	100,04	130,87	97,58	140,76	94,64
Peso muestra seca + tarro	105,34	83,59	110,02	81,28	118,38	77,61
Peso agua	17,96	16,45	20,85	16,3	22,38	17,03
Peso tarro	28,35	28,35	28,18	28,18	27,35	27,35
Peso muestra seca	76,99	55,24	81,84	53,1	91,03	50,26
Contenido de humedad	23,33	29,78	25,48	30,70	24,59	33,88
Agua absorbida		6,45		5,22		9,30

### 4.1.5.6.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 46 CBR, Ensayo de penetración CBR de subrasante + 75% arena + 10% cemento.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
SUELO DE SUBRASANTE + 75% ARENA + 10 % CEMENTO																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
4C		dial	muestra	mm*10-2	%	5C		dial	muestra	mm*10-2	%	6C		dial	muestra	mm*10-2	%
		212	127	0	0			460	127	0	0			935	127	0	0
		210		-0,02	-0,02			456		-0,04	-0,03			933		-0,02	-0,02
Constante		2,683															
Tiempo	Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
	30	25	17	45,6				29	77,8				29	77,8			
	1	50	43	115,4				67	179,8				59	158,3			
	30	1	75	80	214,6			90	241,5				84	225,4			
	2	100	117	313,9	313,9	1000	31,4	120	322,0	322,0	1000	32,2	105	281,7	281,7	1000	28,2
	3	150	188	504,4				173	464,2				139	372,9			
	4	200	261	700,3	700,3	1500	46,7	222	595,6	595,6	1500	39,7	166	445,4	445,4	1500	29,7
	5	250	328	880,0				265	441,0				190	509,8			
	6	300	393	1054,4				305	818,3				210	563,4	563,4	1900	
	8	400	510	1368,3				378	1014,2				255	684,2	684,2	2600	
							<b>46,7</b>					<b>39,7</b>					<b>29,7</b>

Tabla No. 47 Resultado de CBR de subrasante + 75% arena + 10 % cemento con diferentes energías de compactación.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>SUELO DE SUBRASANTE + 75% ARENA + 10 % CEMENTO</b>			
	56 golpes	27 golpes	12 golpes
CBR	46,68	39,71	29,69
DENSIDAD	1,48	1,38	1,32

Gráfico No. 28 Densidad Vs CBR (de la subrasante + 75% arena + 10% cemento).

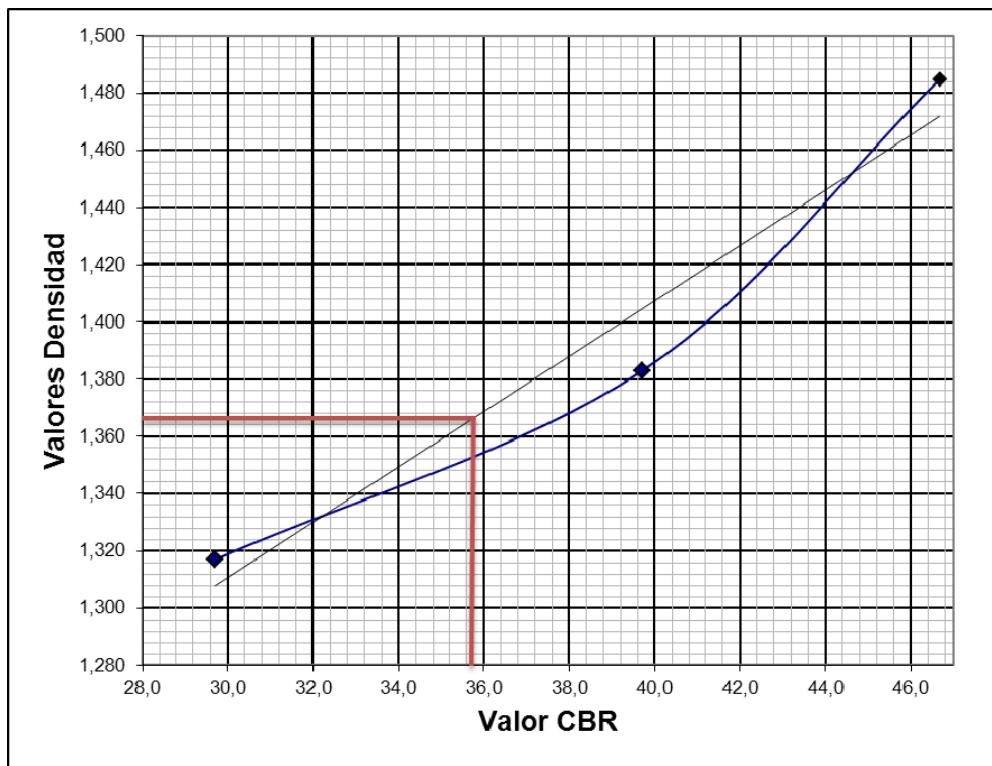


Tabla No. 48 Resultado de CBR de la subrasante + 75% arena + 10% cemento.

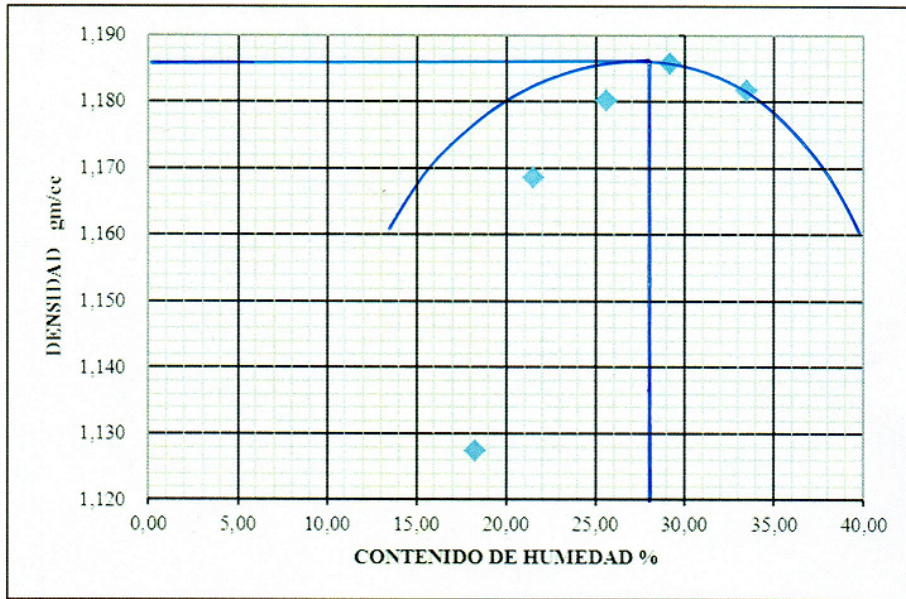
<b>CBR RESULTANTE</b>		
D <sub>máx</sub> =	1,440	gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,368	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	35,6	
<b>CBR Determinado %</b>	<b>36,0</b>	

**4.1.5.7.1 Ensayo Proctor de suelo subrasante + 100 % toba volcánica + 10% cemento.**

Tabla No. 49 Resultados ensayo Proctor de subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.

<b>ENSAYO PROCTOR DATOS Y RESULTADOS</b>					
<b>SUELO + 100% TOBA VOLCÁNICA + 10 % CEMENTO</b>					
<b>PESO SUELO</b>	6000	6000	6000	6000	6000
<b>PESO TARRO + SUELO H</b>	9433	9620	9750	9855	9953
<b>PESO MOLDE</b>	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0	6602,0
<b>PESO SUELO HÚMEDO</b>	2831	3018	3148	3253	3351
<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>	18,29	21,53	25,61	29,17	33,47
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0	2124,0
<b>DENSIDAD HÚMEDA</b>	1,333	1,421	1,482	1,532	1,578
<b>DENSIDAD SECA</b>	<b>1,127</b>	<b>1,169</b>	<b>1,180</b>	<b>1,186</b>	<b>1,182</b>
<b>TARRO #</b>	2 T	3 T	D 4	1 T	D 3
<b>TARRO+S. HÚMEDO</b>	97,71	113,58	93,93	111,10	101,61
<b>TARRO+ S. SECO</b>	86,96	98,41	80,64	92,84	82,99
<b>PESO AGUA</b>	10,75	15,17	13,29	18,26	18,62
<b>PESO TARRO</b>	28,17	27,96	28,75	30,24	27,36
<b>PESO SUELO SECO</b>	58,79	70,45	51,89	62,60	55,63

Gráfico No. 29 Densidad Vs Contenido de humedad.



Densidad Máxima (gm/cm<sup>3</sup>)      1,186      Humedad Óptima (%)      28,0

**4.1.5.7.2 Compactación, con 57, 26 y 11 golpes por capa (cinco capas) por muestra.**

Tabla No. 50 CBR, conformación de probetas de subrasante + 100% toba volcánica+ 10% cemento.

ENSAYO CBR CONFORMACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTE ENERGIA DE COMPACTACIÓN						
SUELO + 100% TOBA VOLCÁNICA + 10 % CEMENTO						
Molde	7C		8C		9C	
Número capas	5	5	5	5	5	5
N° golpes /capa	57		26		11	
	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues	Antes remoj.	Despues
Peso muestra hum.+ molde	12089,5	12376,8	12075,7	12429,1	11740,2	12200,6
Peso del molde	8510	8510	8425	8425	8755	8755
Peso muestra húmeda	3579,5	3866,8	3650,7	4004,1	2985,2	3445,6
Volumen muestra	2317	2317	2317	2317	2317	2317
Densidad húmeda	1,545	1,669	1,576	1,728	1,288	1,487
Densidad seca	1,210	1,195	1,219	1,206	1,016	1,008
CONTENIDO DE AGUA						
Tarro N°	1 T	1 T	D 4	D 4	3 T	3 T
Peso muestra hum.+ tarro	126,69	88,13	107,07	95,9	105,39	97,76
Peso muestra seca + tarro	105,81	71,7	89,36	75,61	88,99	75,29
Peso agua	20,88	16,43	17,71	20,29	16,4	22,47
Peso tarro	30,23	30,23	28,75	28,75	27,96	27,96
Peso muestra seca	75,58	41,47	60,61	46,86	61,03	47,33
Contenido de humedad	27,63	39,62	29,22	43,30	26,87	47,48
Agua absorbida		11,99		14,08		20,60

### 4.1.5.7.3 Ensayo de penetración para CBR.

Tabla No. 51 CBR, Ensayo de penetración CBR de subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CBR																	
SUELO + 100% TOBA VOLCÁNICA + 10 % CEMENTO																	
Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento		Molde	Tiempo	Lect.	Altura	Esponjamiento	
7C		dial	muestra	mm*10-2	%	8C		dial	muestra	mm*10-2	%	9C		dial	muestra	mm*10-2	%
		312	127	0	0			178	127	0	0			574	127	0	0
		315		0,03	0,02			178		0	0,00			576		0,02	0,02
Constante		2,683															
Tiempo		Penetra.	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor	Carga	Presión	Presión	Presión	Valor
seg.	minuto	Pulg.	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR	Dial	lb/pg2	Correg.	estándar	CBR
	0	0	0	0				0	0				0	0			
	30	25	34	91,2				31	83,2				18	48,3			
	1	50	72	193,2				61	163,7				39	104,6			
	30	1	75	116	311,2			101	271,0				62	166,3			
	2	100	151	405,1	405,1	1000	40,5	134	359,5	359,5	1000	36,0	81	217,3	217,3	1000	21,7
	3	150	222	595,6				194	520,5				118	316,6			
	4	200	288	772,7	772,7	1500	51,5	246	660,0	660,0	1500	44,0	149	399,8	399,8	1500	26,7
	5	250	348	933,7				295	441,0				172	461,5			
	6	300	405	1086,6				339	909,5				195	523,2	523,2	1900	
	8	400	510	1368,3				420	1126,9				234	627,8	627,8	2600	
							<b>51,5</b>					<b>44,0</b>					<b>26,7</b>



Tabla No. 52 Resultado de CBR de subrasante + 100% toba volcánica + 10 % cemento.

<b>CBR DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>SUELO + 100% TOBA VOLCÁNICA + 10 % CEMENTO</b>			
	56 golpes	27 golpes	11 golpes
CBR	51,51	44,00	26,65
DENSIDAD	1,21	1,22	1,02

Gráfico No. 30 Densidad Vs CBR (de la subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento).

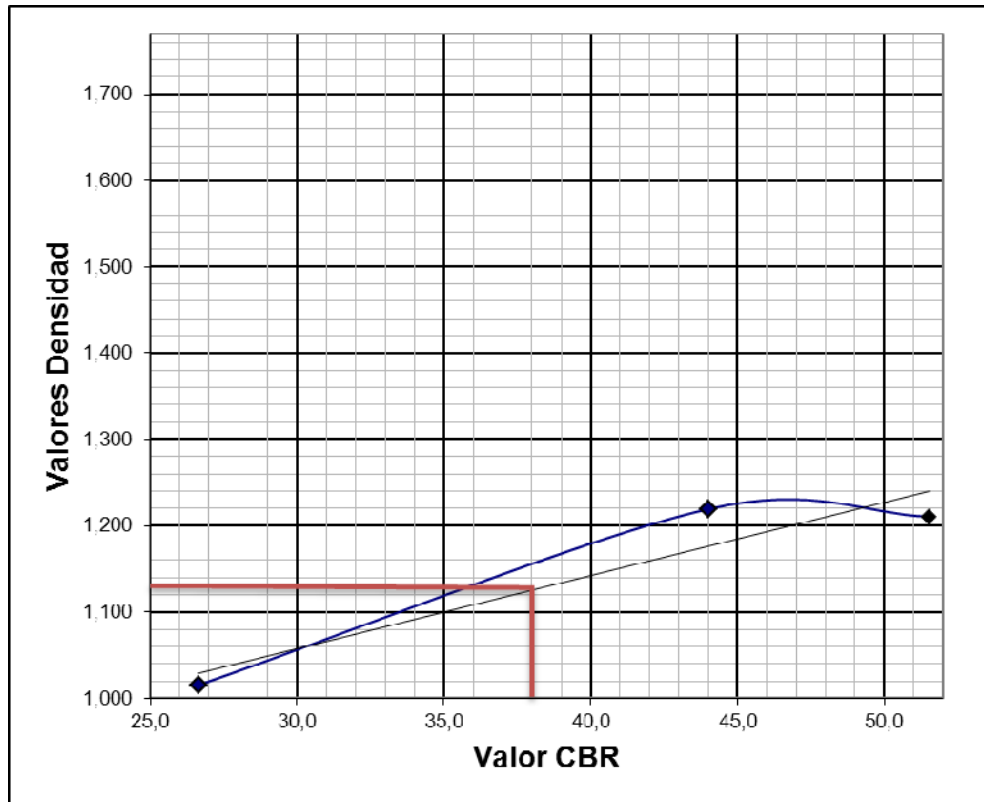


Tabla No. 53 Resultado de CBR de la subrasante + 100% toba volcánica + 10% cemento.

<b>CBR RESULTANTE</b>		
D <sub>máx</sub> =	1,186	gm/cm <sup>3</sup>
95% D <sub>máx</sub> =	1,127	gm/cm <sup>3</sup>
CBR Determinado %	38,0	
<b>CBR Determinado %</b>	<b>38,0</b>	

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### 4.2.1 CLASIFICACIÓN DE SUELO DE SUBRASANTE.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, este suelo se clasifica de acuerdo a los siguientes parámetros:

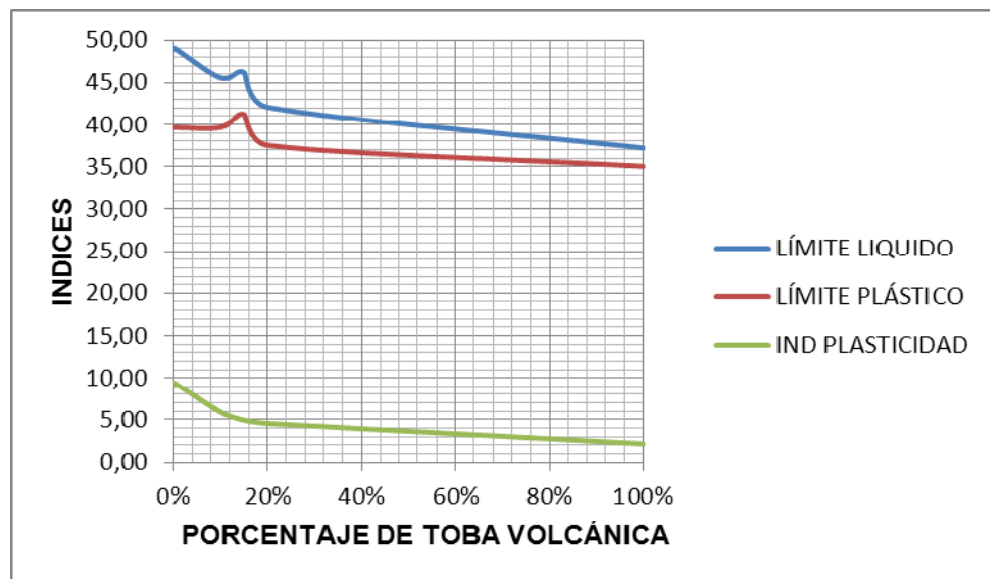
- El porcentaje de finos retenidos en el tamiz 200 es mayor al 50%.
- El  $I_p$ , es mayor a 7.
- Por lo tanto corresponde a SC (arena arcillosa).

### 4.2.2 ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG.

#### 4.2.2.1 Análisis de la variación de los Límites de Atterberg al añadirse porcentajes de Toba volcánica.

Gráfico No. 31 Variación de límites de Atterberg al añadirse toba volcánica.

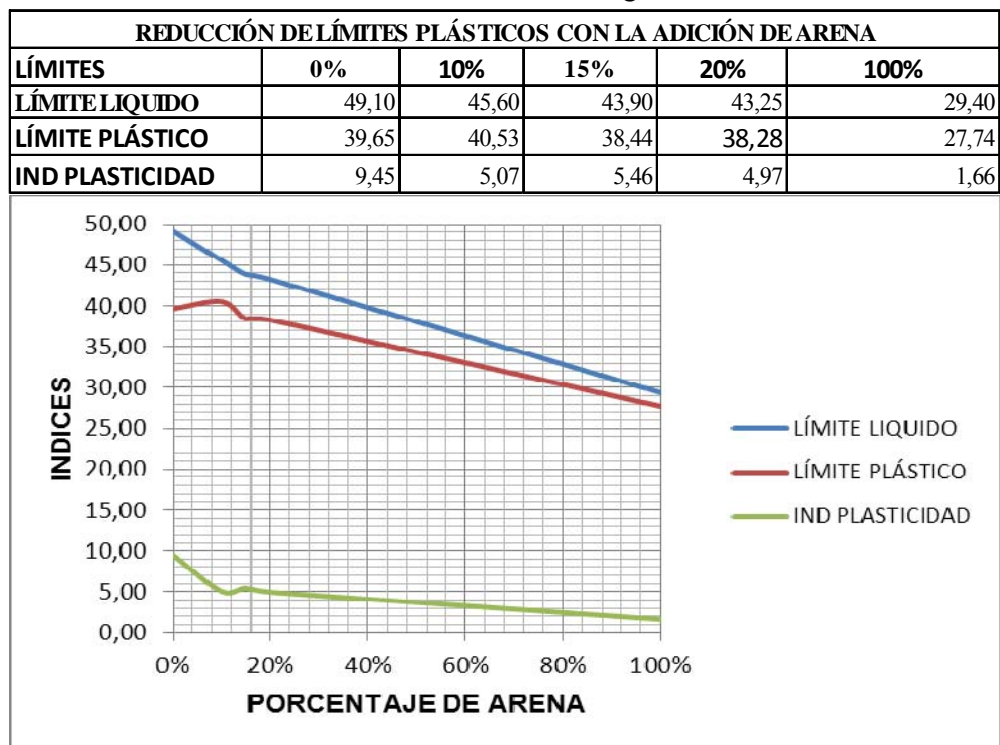
REDUCCIÓN DE LÍMITES PLÁSTICOS CON LA ADICIÓN DE TOBA VOLCÁNICA					
LÍMITES	0%	10%	15%	20%	100%
LÍMITE LIQUIDO	49,10	45,59	46,20	42,10	37,20
LÍMITE PLÁSTICO	39,65	39,65	41,25	37,53	35,04
IND PLASTICIDAD	9,45	5,94	4,95	4,57	2,16



- Como se puede apreciar, el Límite Líquido baja desde 49,10 en la condición de suelo natural hasta 37,20, cuando se ha incorporado 100% en peso de toba volcánica.
- El Límite Plástico, baja de 39,65 hasta 35,04.
- El Índice plástico, baja notablemente desde 9,45 a 5,94 con la adición de toba volcánica en 10% en peso, si se agrega el 15% se obtiene una disminución a 4,95, si se agrega el 20% se obtiene 4,57 y finalmente se ha agregado el 100% en peso con lo que el índice se redujo a 2,16.

#### 4.2.2.2 Análisis de la variación de los Límites de Atterberg al añadirse porcentajes de Arena.

Gráfico No. 32 Variación de los límites de Atterberg al añadirse arena.



- Como se puede apreciar, el Límite Líquido baja desde 49,10 en la condición de suelo natural hasta 29,40 cuando se ha incorporado 100% en peso de toba volcánica.

- El Límite Plástico, baja de 39,65 hasta 27,74.
- El Índice plástico, baja notablemente desde 9,45 a 5,07 con la adición de arena en 10% en peso, si se agrega el 15% se obtiene una disminución a 5,46, si se agrega el 20% se obtiene 4,97 y finalmente se ha agregado el 100% en peso con lo que el índice se redujo a 1,66.

En cuanto a los beneficios obtenidos se puede ver que aproximadamente son iguales tanto si se usa arena como si se usa toba volcánica con el fin de disminuir los límites plásticos.

#### **4.2.3 Análisis del porcentaje de cal incorporado a las muestras de suelo arena y suelo toba volcánica.**

El MTOP, recomienda que se use un porcentaje del Cal que incremente el PH (potencial hidrógeno) del suelo a por lo menos 11, mientras que en otros países como México se recomienda 12,4

- Con porcentajes de 4%, se tiene PH de mínimo 10 llegando hasta 12 cuando se combina suelo con arena al 100%,
- Con porcentajes del 5%, se obtiene valores de PH= 12, hasta PH = 13.
- Con porcentajes de 6%, se obtiene PH = 13 para todas las combinaciones de suelo arena, y suelo toba volcánica.

Por lo que se ensayarán las muestras que se obtenga de combinar suelo arena y suelo toba volcánica en porcentajes del 0%, 35%, 75% y 100%, en peso.

#### **4.2.4 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA RELATIVA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS MEDIANTE COMPRESIÓN NO CONFINADA.**

##### **4.2.4.1 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo arena al 100% producen una

resistencia de 97,0.

- Añadiendo 8% de cemento al suelo y arena al 100% producen una resistencia de 85,5.
- Con el 5% de cemento con suelo y arena al 100%, producen una resistencia de 34,0.

De este grupo, resulta mejor para el 10% de cemento.

#### **4.2.4.2 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo arena al 100% producen una resistencia de 114,0.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo y arena al 100% producen una resistencia de 70,5
- Con el 5% de cemento con suelo y arena al 100%, producen una resistencia de 28,5.

Resultando la mejor combinación suelo arena al 75% con cemento al 10%.

#### **4.2.4.3 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo arena al 100% producen una resistencia de 78,5.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo y arena al 100% producen una resistencia de 46,0.
- Con el 5% de cemento con suelo y arena al 100%, producen una resistencia de 28,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 10% de cemento.

#### **4.2.4.4 Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con suelo, producen una resistencia de 21,0.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo, producen una resistencia de 20,0.
- Con el 5% de cemento con suelo, producen una resistencia de 19,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 10% de cemento.

Mientras aumenta el porcentaje de arena en la mezcla, aumenta también la resistencia, y a más porcentaje de cemento que se incorpora a la mezcla, la resistencia aumentará más aún.

#### **4.2.4.5 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo y toba volcánica al 100% producen una resistencia de 85,0.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo y toba volcánica al 100% producen una resistencia de 61,0.
- Con el 5% de cemento con suelo y toba volcánica al 100%, producen una resistencia de 34,0.

De este grupo, resulta mejor para el 10% de cemento.

#### **4.2.4.6 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo toba volcánica al 100% producen una resistencia de 39,0.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo con toba volcánica al 100% producen una resistencia de 30,0.

- Con el 5% de cemento con suelo y toba volcánica al 100%, producen una resistencia de 33,0.

Mejor resultado se obtiene con cemento al 10%.

#### **4.2.4.7 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cemento.**

- El 10% de cemento con la combinación de suelo toba volcánica al 100% producen una resistencia de 26,0.
- Añadiendo 8% de cemento al suelo con toba volcánica al 100% producen una resistencia de 22,5.
- Con el 5% de cemento con suelo y toba volcánica al 100%, producen una resistencia de 22,0.

Mejor resultado se obtiene con cemento al 10%.

#### **4.2.4.8 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cemento con la combinación de suelo arena al 100% producen una resistencia de 18,5.
- Añadiendo 5% de cemento al suelo con arena al 100% producen una resistencia de 21,5.
- Con el 4% de cemento con suelo y arena al 100%, producen una resistencia de 24,0.

De este grupo, resulta mejor para el 4% de cal.

#### **4.2.4.9 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con la combinación de suelo arena al 100% producen una resistencia de 25,5.

- Añadiendo 5% de cal al suelo y arena al 100% producen una resistencia de 23,5.
- Con el 4% de cal con suelo con arena al 100%, producen una resistencia de 16,5.

Resultando la mejor combinación de todos los grupos suelo con arena al 75% con cal al 6%.

#### **4.2.4.10 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de arena y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con la combinación de suelo arena al 100% producen una resistencia de 18,5.
- Añadiendo 5% de cal al suelo con arena al 100% producen una resistencia de 20,0.
- Con el 4% de cal con suelo y arena al 100%, producen una resistencia de 18,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 5% de cal.

#### **4.2.4.11 Resistencia de probetas de suelo y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con suelo, producen una resistencia de 11,0.
- Añadiendo 5% de cal al suelo, producen una resistencia de 11,5.
- Con el 4% de cal con suelo, producen una resistencia de 11,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 5% de cal.

#### **4.2.4.12 Resistencia de probetas de suelo + 100 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con la combinación de suelo toba volcánica al 100% producen una resistencia de 19,5.



- Añadiendo 5% de cal al suelo con toba volcánica al 100% producen una resistencia de 21,0.
- Con el 4% de cal con suelo y toba volcánica al 100%, producen una resistencia de 20,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 5% de cal.

#### **4.2.4.13 Resistencia de probetas de suelo + 75 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con la combinación de suelo toba volcánica al 75% producen una resistencia de 16,0.
- Añadiendo 5% de cal al suelo con toba volcánica al 75% producen una resistencia de 16,5.
- Con el 4% de cal con suelo y toba volcánica al 75%, producen una resistencia de 15,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 5% de cal.

#### **4.2.4.14 Resistencia de probetas de suelo + 35 % de toba volcánica y diferentes porcentajes de cal.**

- El 6% de cal con la combinación de suelo toba volcánica al 35% producen una resistencia de 12,0.
- Añadiendo 5% de cal al suelo con toba volcánica al 35% producen una resistencia de 14,0.
- Con el 4% de cal con suelo y toba volcánica al 35%, producen una resistencia de 17,0.

El mejor resultado de este grupo se logra con el 4% de cal.

#### **4.2.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR.**

#### **4.2.5.1 Ensayo de CBR de suelo de subrasante.**

Este suelo alcanzó un CBR de 7 %.

#### **4.2.5.2 Ensayo de CBR de arena del sector.**

Esta arena tiene un CBR de 21 %.

#### **4.2.5.3 Ensayo de CBR de toba volcánica.**

La toba volcánica analizada tiene un CBR de 12%.

#### **4.2.5.4 Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 20% de arena.**

Esta mezcla de suelos tiene un CBR de 9%.

#### **4.2.5.5 Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 20% de toba volcánica.**

Esta composición de suelos tiene un CBR de 11 %.

#### **4.2.5.6 Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 75% de arena y 10 % de cemento.**

Esta mezcla resultó con el segundo mejor CBR, siendo de 36%.

#### **4.2.5.6 Ensayo de CBR de suelo de subrasante con 100% de toba volcánica y 10 % de cemento.**

Esta muestra tiene el mejor CBR, siendo de 38%.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

Al ingresar a la comunidad de Echaleche, Pilahuín, se puede observar que el empedrado existente se encuentra con asentamientos debido al peso de los vehículos que al circular cuando está la vía humedecida, por las lluvias se hunden las piedras donde el terreno es más débil. Se verifica mediante ensayos, que es posible mediante adición de otros materiales y ligantes, mejorar las propiedades

mecánicas del suelo de subrasante con lo que mejorará la capa de rodadura o, la subrasante quedará lista para recibir la estructura de un pavimento, que resultará más económico debido a la mejor calidad de la subrasante, que solicitará menores espesores de sub base, base y capa de asfalto.

Tabla No. 54 Resistencia de las muestras de suelo+% arena +% cemento + cal.

<b>SUELO DE SUBRASANTE + % DE CEMENTO + % ARENA + TOBA VOLCÁNICA</b>							
<b>5% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	34,0	1,56	<b>13,0</b>	100%	34,0	1,56	<b>17,0</b>
75%	28,5	1,31	<b>12,0</b>	75%	33,0	1,52	<b>16,0</b>
35%	28,0	1,29	<b>12,0</b>	35%	22,0	1,01	<b>12,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>8% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	85,5	3,93	<b>28,0</b>	100%	61,0	2,81	<b>28,0</b>
75%	70,5	3,24	<b>23,0</b>	75%	30,0	1,38	<b>15,0</b>
35%	46,0	2,12	<b>17,0</b>	35%	22,5	1,04	<b>12,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>10% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	97,0	4,46	<b>31,0</b>	100%	85,0	3,91	<b>38,0</b>
75%	114,5	5,27	<b>36,0</b>	75%	39,0	1,79	<b>19,0</b>
35%	78,5	3,61	<b>26,0</b>	35%	26,0	1,20	<b>13,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>SUELO DE SUBRASANTE + % DE CAL+ % ARENA + TOBA VOLCÁNICA</b>							
<b>4% DE CAL</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	24,0	1,10	<b>11,0</b>	100%	20,0	0,92	<b>11,0</b>
75%	16,5	0,76	<b>9,0</b>	75%	15,0	0,69	<b>9,0</b>
35%	18,0	0,83	<b>9,0</b>	35%	17,0	0,78	<b>10,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>5% DE CAL</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	21,5	0,99	<b>10,0</b>	100%	21,0	0,97	<b>11,0</b>
75%	23,5	1,08	<b>10,0</b>	75%	16,5	0,76	<b>9,0</b>
35%	20,0	0,92	<b>10,0</b>	35%	14,0	0,64	<b>8,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>6% DE CAL</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	18,5	0,85	<b>9,0</b>	100%	19,5	0,90	<b>11,0</b>
75%	25,5	1,17	<b>11,0</b>	75%	16,0	0,74	<b>9,0</b>
35%	18,5	0,85	<b>9,0</b>	35%	12,0	0,55	<b>7,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.1 CONCLUSIONES.**

La mayoría de caminos en las comunidades rurales de la zona alta de la provincia, se encuentran contruidos de manera rudimentaria con cortes exagerados del terreno, con un ancho de vía variable de 4 a 5 metros, con pendientes pronunciadas en un suelo de arena arcillosa, que presenta problemas de plasticidad y baja capacidad de carga, cuando está influenciado por el agua, sin los drenajes adecuados, ni el mejor diseño geométrico con curvas pronunciadas, ni la respectiva señalética

Estos caminos en época lluviosa se vuelven intransitables, son muy resbalosos, y aquellos que se encuentran empedrados, presentan problemas de irregularidades superficiales, por las deformaciones permanentes cuando las piedras son hundidas por el tráfico, debido a la baja capacidad portante del suelo en condiciones húmedas.

#### **5.2 RECOMENDACIONES.**

Debido a que en nuestra provincia existe un auge por los caminos asfaltados, sería bueno identificar los caminos de la comunidad Ecahaleche, Pilahuín, que se encuentren en plan de asfaltado para determinar el mejoramiento adecuado para este tipo de vía, como podría ser alguna de las combinaciones estudiadas en las que se añaden arena, toba volcánica y cemento; la cal no demostró mejorar notablemente las propiedades para este tipo de suelo.

En todo caso si se colocara un empedrado, recomendaría colocar primero una capa de 10 centímetros de toba volcánica, de ser posible, con un porcentaje de cemento

con lo que mejoraremos tanto la plasticidad como la capacidad portante del suelo

Luego debe emporarse con toba volcánica y mejor aún si incorpora un porcentaje de cemento.

Habían intentado estabilizar la subrasante añadiendo arena; pero por su mayor densidad se hunde y en poco tiempo termina perdiéndose, no ocurre esto con la toba volcánica; pues tiene menor densidad que el suelo con lo cual se asegura que la toba volcánica no se hunde y pierde en el suelo cuando se encuentra húmedo.

Una vez lograda la estabilización ha de hacerse un empedrado o se debe colocar base granular para terminar con un doble tratamiento por lo menos, esto para proteger los trabajos de posibles efectos de la lluvia.

## **CAPITULA VI**

### **PROPUESTA.**

Tema: “Elaborar un modelo de evaluación y mantenimiento de los suelos de subrasante para mejorar la capa de rodadura de los caminos vecinales de la comunidad Echaleche, Pilahuín.”

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS.**

En nuestra provincia, una considerable población se encuentra asentada en la parte alta sobre la cota 2900 msm, conocida como páramo.

Echaleche es una comunidad indígena, está ubicada en las coordenadas N 98554691 E 752611, se ingresa principalmente desde la vía Ambato Guaranda muy cerca de llegar a Pilahuín, se dedica a las labores agropecuarias como cultivo de papas, habas, cebada, crianza de ganado vacuno, ovino, ganado menor, cuenta con una quesería comunal.

Este poblado se conecta a las vías principales mediante caminos que son el resultado de hacer cortes en el suelo, sin ningún mejoramiento, siendo difícil realizar empedrados, por cuanto con la presencia del agua el suelo se licúa perdiendo su capacidad portante con deformaciones sobre la superficie, y además se torna resbaladiza.

En época lluviosa no se puede acceder con vehículos hasta dichos sectores y solo se lo hace a pie o sobre animales, con la dificultad de sacar los productos o desplazarse por motivos de salud o de abastecimiento de productos.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.**

La experiencia de gente dedicada a los empedrados indica, que es necesario colocar una capa de toba volcánica o arena blanca de 10 centímetros de espesor sobre la subrasante para mejorarla, para proteger el empedrado de las

deformaciones que se producen, cuando el terreno se humedece.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN.**

La estabilización o mejoramiento de las propiedades mecánicas de subrasantes es un problema importante que debe atenderse adecuadamente; pues es el cimiento para la estructura de una vía y dependerá de la capacidad portante que se logre para que las capas que conformen una vía tengan menor espesor, con un ahorro económico por la reducción de materiales necesarios para garantizar una respuesta a las sollicitaciones de cargas impuestas por el tráfico y el medio ambiente. Esto evitará que se formen ondulaciones en la vía.

La idea es utilizar materiales de la zona, mejorados de alguna manera, como la adición de ligantes como la cal, cemento, asfalto, etc, tratando de minimizar el impacto al medio ambiente, que tendríamos ya sea por la explotación de canteras, transporte y volumen necesarios para estabilizar una subrasante.

En último caso dependerá de las sollicitaciones del diseño de pavimentos para volúmenes de tráfico bajo la elección de una u otra estabilización, y de la existencia de materiales que cumplan tal requerimiento en las cercanías de la obra.

### **6.4 OBJETIVOS.**

#### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estabilizar la subrasante de los caminos vecinales de Echaleche, Pilahuín, para mejorar el comportamiento de la capa de rodadura.

#### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar porcentajes de arena que se necesita añadir a la subrasante para reducir los índices de plasticidad
- Determinar porcentajes de toba volcánica que se necesita añadir a la subrasante para reducir los índices de plasticidad.

- Evaluar el incremento de capacidad portante del suelo de subrasante añadiendo porcentajes de arena y de cemento.
- Evaluar el incremento de la capacidad portante del suelo de subrasante incorporando porcentajes de toba volcánica y cemento.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.**

En el laboratorio se han determinado algunos porcentajes que se pueden llevar a la práctica, identificando el requerimiento inmediato para el tipo de mejora que se dará a una vía de este tipo, pues se han logrado importantes reducciones de límites líquidos e incrementos de la capacidad portante significativos.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN.**

Se tiene las especificaciones MOP 2003, que hace recomendaciones para la estabilización de subrasantes, las normas ASTM 423-66, D424-59, AASHTO T89-68 y T90-70, para límites, para CBR tenemos AASHTO T193-63, ASTM D1883-73 y, para determinación de PH la ASTM C97.

Primero debemos clasificar al suelo, se ha usado la metodología SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos). Se trata de establecer los porcentajes en peso de suelo que son retenidos en los diferentes tamices que conforman una serie normalizada.

Luego debemos aplicar la metodología de determinar los límites líquido, límite plástico e índice plástico.

Para determinar el porcentaje de cal a añadirse para estabilizar la subrasante, básicamente a una porción de suelo se le añade un porcentaje de cal, se le agrega una cantidad de agua y se mide el PH, lo ideal es tener un valor mínimo de 11, según el MTOP. Los resultados de los ensayos indican que podemos usar porcentajes de 4%, 5% y 6%.



En cuanto a los porcentajes de cemento para estabilizar la subrasante se usa 5%, por la experiencia personal al hacer terrocemento, poner más del 10% resulta muy costoso, también se toma un valor intermedio 8%.

Se confeccionaron muestras o probetas en un molde de 10 Cm de diámetro por 20 de altura con diferentes porcentajes de suelo de subrasante, arena, toba volcánica, cal y cemento.

Se ensayaron estas las muestras a los 7 días a compresión no confinada y se determinó cuál presenta la mejor resistencia.

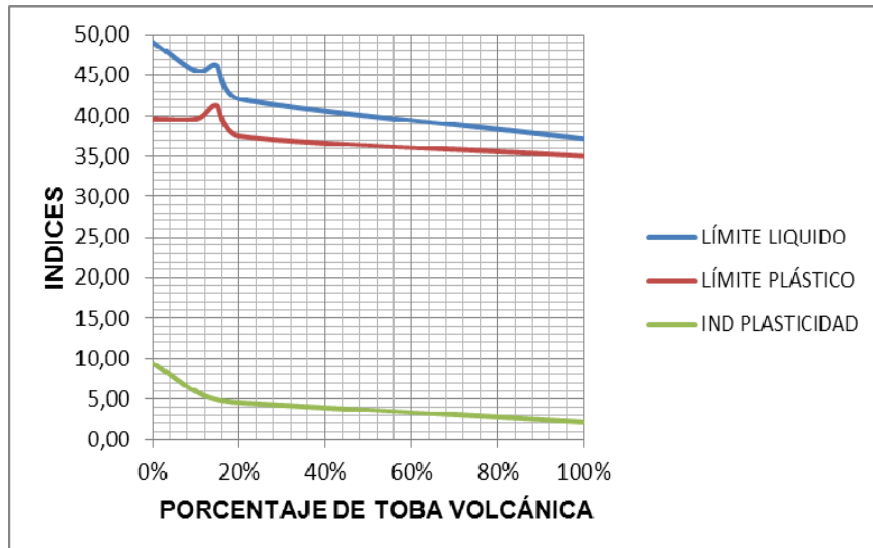
A las mejores combinaciones de suelo + arena + cemento y suelo + toba volcánica + cemento se las sometió al ensayo de CBR para determinar su relación de soporte.

### 6.6.1 REDUCCIÓN DE LOS LIMITES DE ATTERBERG.

#### 6.6.1.1 Reducción de los Límites de Atterberg con la adición de toba volcánica

Gráfico No. 33 Reducción de límites plásticos al añadirse toba volcánica

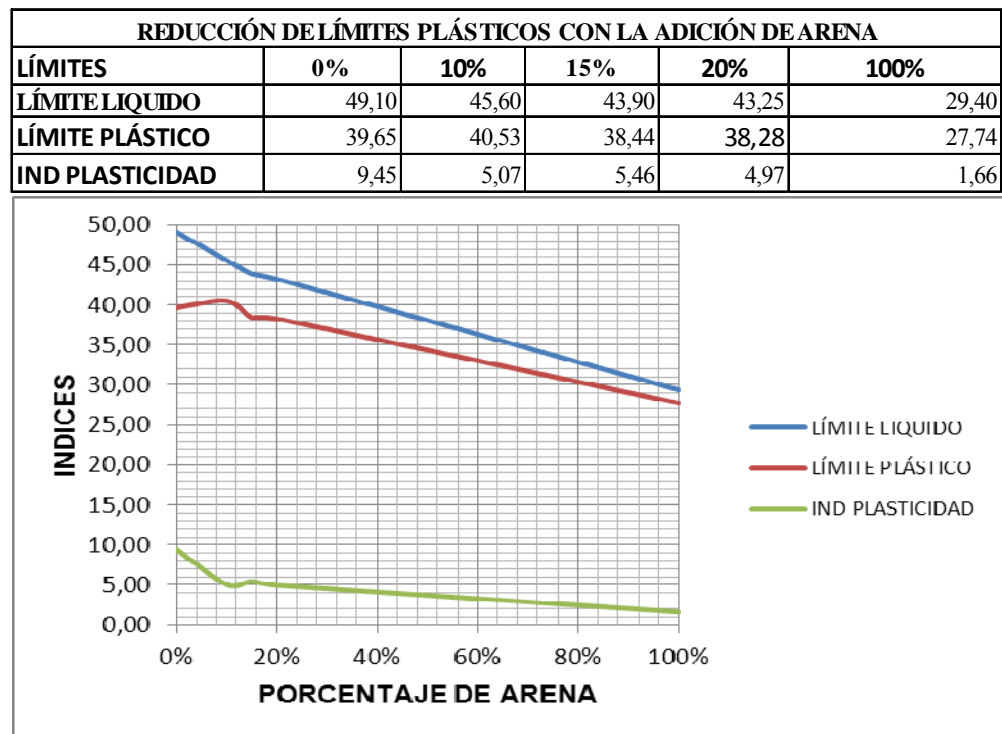
REDUCCIÓN DE LÍMITES PLÁSTICOS CON LA ADICIÓN DE TOBA VOLCÁNICA					
LÍMITES	0%	10%	15%	20%	100%
LÍMITE LIQUIDO	49,10	45,59	46,20	42,10	37,20
LÍMITE PLÁSTICO	39,65	39,65	41,25	37,53	35,04
IND PLASTICIDAD	9,45	5,94	4,95	4,57	2,16



- Como se puede apreciar, el Límite Líquido baja desde 49,10 en la condición de suelo natural hasta 37,20, cuando se ha incorporado 100% en peso de toba volcánica.
- El Límite Plástico, baja de 39,65 hasta 35,04.
- El Índice plástico, baja notablemente desde 9,45 a 5,94 con la adición de toba volcánica en 10% en peso, si se agrega el 15% se obtiene una disminución a 4,95, si se agrega el 20% se obtiene 4,57 y finalmente se ha agregado el 100% en peso con lo que el índice se redujo a 2,16.

### 6.6.1.2 Reducción de los Límites de Atterberg con la adición de arena.

Gráfico No. 34 Reducción de límites plásticos al añadirse arena.



- Como se puede apreciar, el Límite Líquido baja desde 49,10 en la condición de suelo natural hasta 29,40 cuando se ha incorporado 100% en peso de toba volcánica.

- El Límite Plástico, baja de 39,65 hasta 27,74.
- El Índice plástico, baja notablemente desde 9,45 a 5,07 con la adición de arena en 10% en peso, si se agrega el 15% se obtiene una disminución a 5,46, si se agrega el 20% se obtiene 4,97 y finalmente se ha agregado el 100% en peso con lo que el índice se redujo a 1,66.

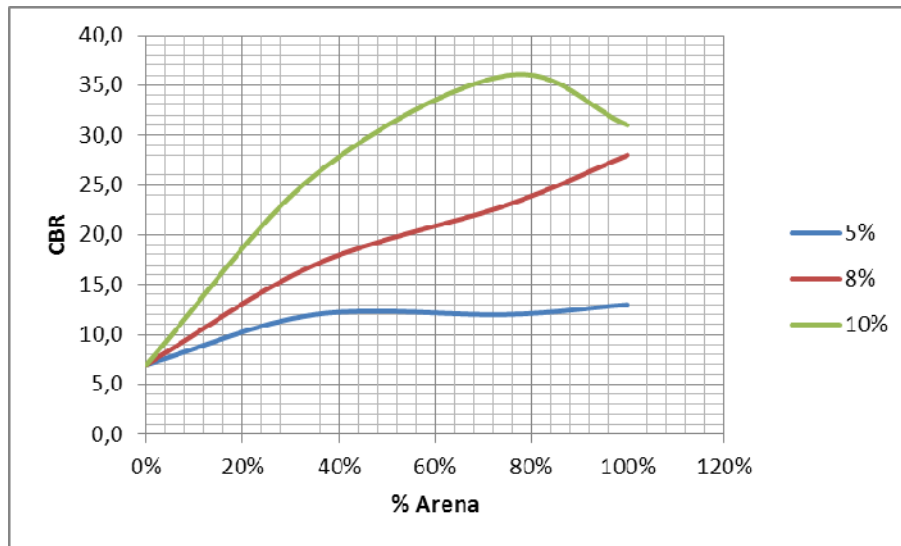
En cuanto a los beneficios obtenidos se puede ver que aproximadamente son iguales tanto si se usa arena como si se usa toba volcánica con el fin de disminuir los límites plásticos.

## **6.6.2 RELACIÓN DE SOPORTE CBR DE LAS MUESTRAS.**

### **6.6.2.1 CBR de las probetas de suelo + arena + cemento.**

CBR ALCANZADO CON ADICIÓN DE			
% ARENA Y % CEMENTO			
% ARENA	5%	8%	10%
100%	13,0	28,0	31,0
75%	12,0	23,0	36,0
35%	12,0	17,0	26,0
0%	7,0	7,0	7,0

Gráfico No. 35 CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de arena y % de cemento.

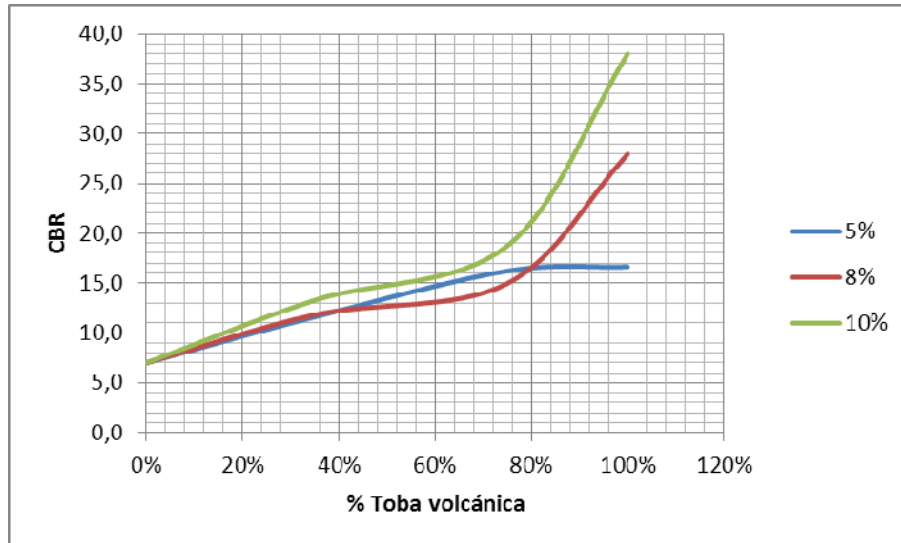


Se observa que para la combinación suelo + 75% arena + 10% cemento se obtiene la segunda mejor resistencia, debiendo notarse que la arena aporta también para incrementar la resistencia.

#### 6.6.2.2 CBR de las probetas de suelo + toba volcánica + cemento.

CBR ALCANZADO CON ADICIÓN DE % TOBA VOLCÁNICA Y % CEMENTO			
% ARENA	5%	8%	10%
100%	16,6	27,9	38,0
75%	16,2	15,0	18,7
35%	11,6	11,8	13,3
0%	7,0	7,0	7,0

Gráfico No 36 CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de toba volcánica y % de cemento.

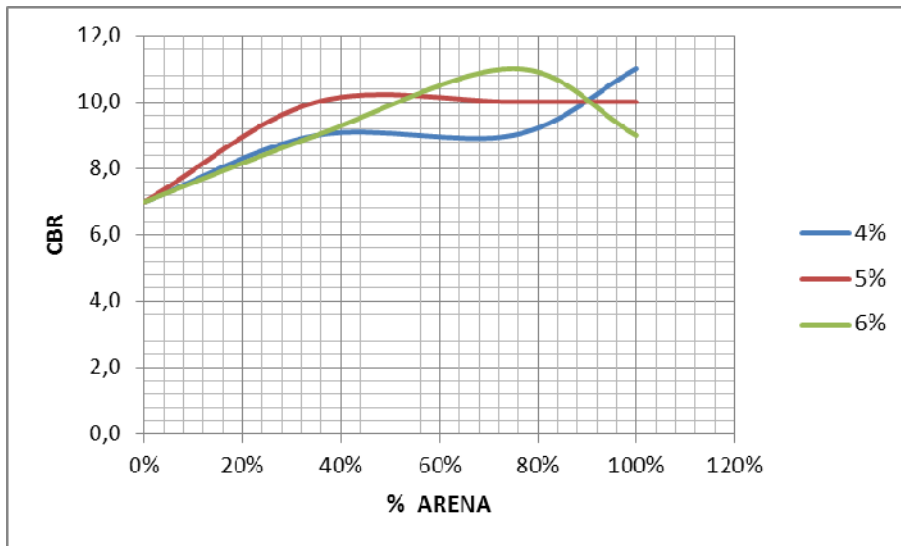


Se observa que para la combinación suelo + 100% toba volcánica + 10% cemento se obtiene la mayor resistencia, debiendo notarse que la toba volcánica aporta también para incrementar la resistencia.

### 6.6.2.3 CBR de las probetas de suelo + arena + cal.

CBR ALCANZADO CON ADICIÓN DE			
% ARENA Y % CAL			
% ARENA	4%	5%	6%
100%	11,0	10,0	9,0
75%	9,0	10,0	11,0
35%	9,0	10,0	9,0
0%	7,0	7,0	7,0

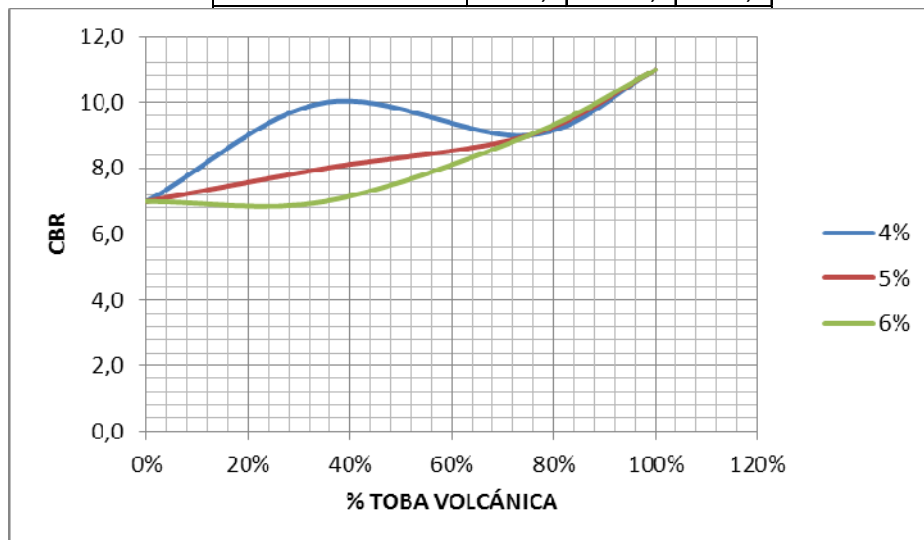
Gráfico No 37 CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de arena y % de cal.



**6.6.2.4 CBR de las probetas de suelo + toba volcánica + cal.**

Gráfico No 38 CBR combinaciones de suelo de subrasante y % de toba volcánica y % de cal.

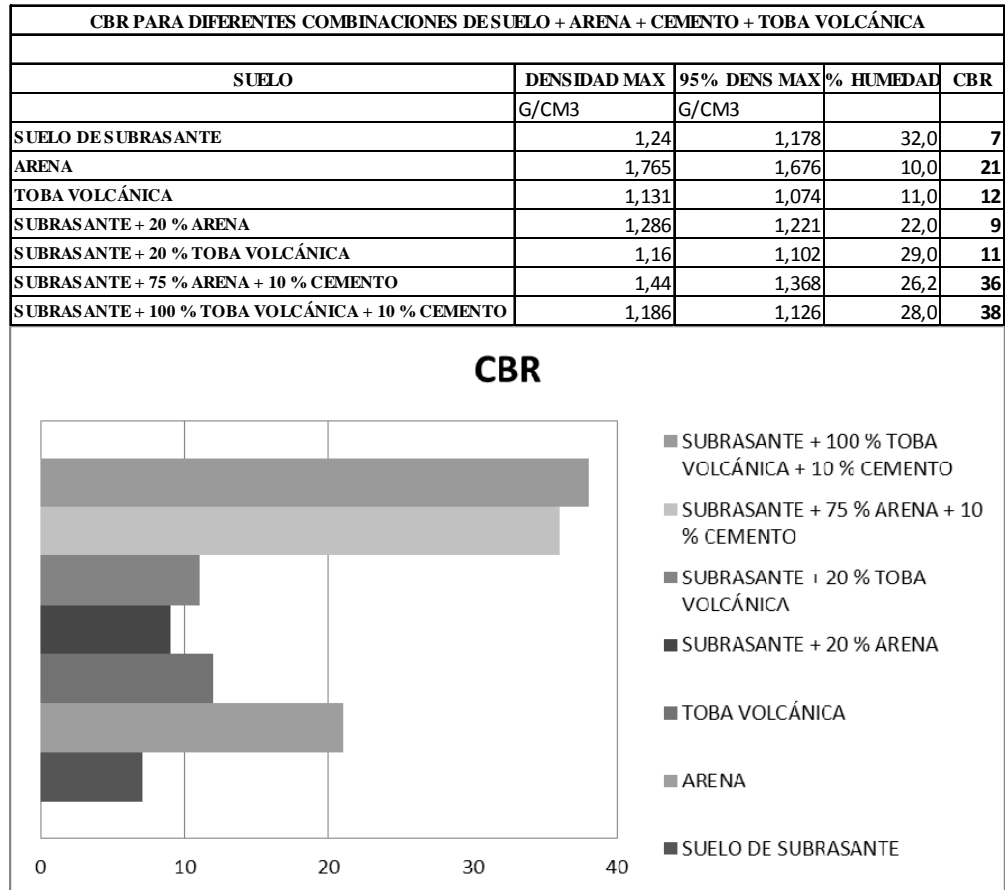
CBR ALCANZADO CON ADICIÓN DE % TOBA VOLCÁNICA Y % CAL			
% TOBA VOLCÁNICA	4%	5%	6%
100%	11,0	11,0	11,0
75%	9,0	9,0	9,0
35%	10,0	8,0	7,0
0%	7,0	7,0	7,0



En cuanto a la cal debemos decir que no se aprecia el incremento de CBR con su aplicación, por lo tanto para este tipo de suelo no se lo recomienda.

### 6.6.3 CBR PARA SUBRASANTE + % ARENA+ % TOBA VOLCÁNICA + % CEMENTO

Gráfico No. 39 Resumen de CBR obtenidos.



## 6.7 METODOLOGÍA DEL MODELO OPERATIVO.

Gráfico No 40 Ubicación del sector en estudio.

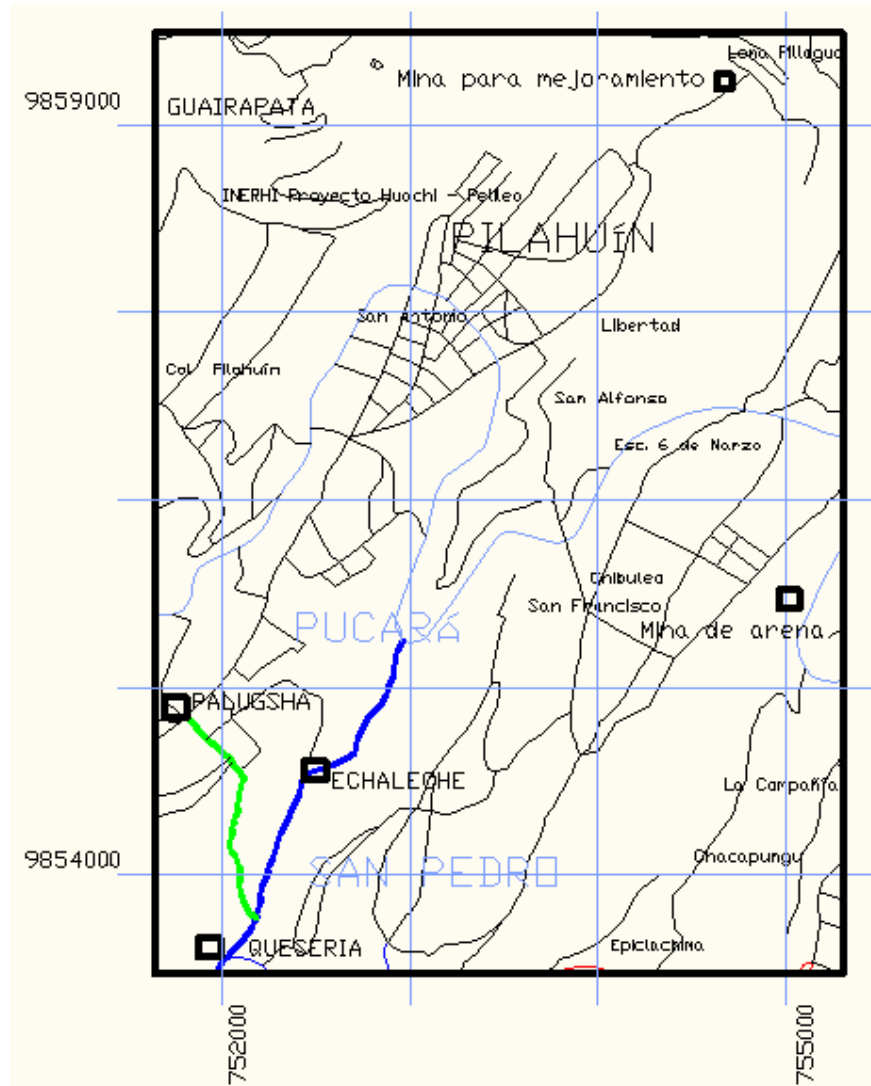


Tabla No.55 Ubicación de puntos importantes.

UBICACIÓN DE PUNTOS IMPORTANTES		
	Norte	Este
Centro poblado Echaleche	9854691	752611
Mina de material para mejoramiento	9858216	754683
Mina de arena para estabilización	9855431	755086
Población de Palugsha	9854843	751812
Inicio del camino a Palugsha, desde el camino empedrado	9853777	752181



**ALTERNATIVAS DE SUELO + ARENA + TOBA VOLCÁNICA + % CEMENTO.**

<b>SUELO DE SUBRASANTE + % DE CEMENTO + % ARENA + TOBA VOLCÁNICA</b>							
<b>5% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	34,0	1,56	<b>13,0</b>	100%	34,0	1,56	<b>17,0</b>
75%	28,5	1,31	<b>12,0</b>	75%	33,0	1,52	<b>16,0</b>
35%	28,0	1,29	<b>12,0</b>	35%	22,0	1,01	<b>12,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>8% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	85,5	3,93	<b>28,0</b>	100%	61,0	2,81	<b>28,0</b>
75%	70,5	3,24	<b>23,0</b>	75%	30,0	1,38	<b>15,0</b>
35%	46,0	2,12	<b>17,0</b>	35%	22,5	1,04	<b>12,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>
<b>10% DE CEMENTO</b>							
<b>% ARENA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>	<b>% TOBA VOLCÁNICA</b>	<b>RELATIVA</b>	<b>Kg/Cm2</b>	<b>CBR</b>
100%	97,0	4,46	<b>31,0</b>	100%	85,0	3,91	<b>38,0</b>
75%	114,5	5,27	<b>36,0</b>	75%	39,0	1,79	<b>19,0</b>
35%	78,5	3,61	<b>26,0</b>	35%	26,0	1,20	<b>13,0</b>
0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>	0%	11,0	0,51	<b>7,0</b>

Planteamos un modelo operativo que permita que la propuesta sea conocida por intermedio de la Universidad Técnica, para inspirar investigaciones tendientes a encontrar soluciones para la comunidad y por las unidades ejecutoras como el Gobierno Provincial de Tungurahua, Municipio de Ambato y MTOP, para que se interesen en llevarla a la práctica y mejorar las características del suelo de subrasante, usando el mejor criterio, dependiendo de la existencia de materiales en las cercanías de las vías y, siempre cuidando el medio ambiente.

Cuando la subrasante presenta valores de CBR menores que 5%, resulta muy difícil estabilizar o mejorar, la misma. No se puede de antemano predecir el espesor de material de mejoramiento requerido y, en el campo se colocan capas de material de mejoramiento que pueden tener un espesor total de 50 a 80 cm.

Una vez tendido el material, no se puede compactar completamente la primera capa de mejoramiento, debido a que el suelo de subrasante actúa como una esponja que absorbe energía de compactación, la segunda capa se compactará un

poco más.

Así, las siguientes capas se compactarán más y más hasta alcanzar el valor requerido, es decir el 95% de la densidad máxima.

Esto significa que debemos movilizar largas distancias volúmenes importantes de material de mejoramiento, con lo que los costos y afectaciones al medio ambiente serán muy elevados.

Entonces queda la alternativa de mejorar o estabilizar la subrasante añadiéndole aditivos o como en el caso de estudio tenemos cemento, toba volcánica y arena, alternativa que podría emplearse para mejorar algún suelo del sector para usarlo como material de mejoramiento.

Echaleche está compuesta por 180 familias que se dedican a las labores agropecuarias, dispone de alcantarillado, agua potable y luz eléctrica.

Ehaleche tiene una importante relación con la población de Palugsha, ya sea por comercio o porque suben a las sesiones del agua, etc y cuando llueve tienen que tomar el camino que pasa por Pilahuín, lo que implica recorrer una importante distancia adicional.

Echaleche, dispone de un camino empedrado que inicia desde la vía Ambato Guaranda (camino en línea azul acentuado), a una distancia de 1 Km se encuentra el centro poblado, continúa al fondo donde se encuentran las parcelas de cultivos y la quesería comunitaria, a 500 metros desde el centro poblado se encuentra una intersección con un camino de tierra (línea verde) que conduce a la población de Palugsha con una longitud de 1,5 Km con pendientes pronunciadas que siguen la topografía del terreno con un ancho variable de 4 a 5 m.

En época lluviosa es imposible transitar por este camino; pues se vuelve resbaladizo y los vehículos patinan, no existen cunetas que drenen el agua lo que empeora la condición ya que este tipo de suelo es muy sensible a la presencia del agua.

## CÁLCULO DEL TPDA.

La tasa de incremento de vehículos, se encuentra en 7% anual.

Asumiendo un periodo del proyecto (n) de 20 años, procedemos a calcular el TPDA.

Tabla No.56 Determinación de TPDA.

DÍAS	HORA PICO			VEHÍCULOS DIA
	01 - 08	12 - 13	17 - 18	
may-20	4	4	3	11
may-21	4	3	3	10
may-22	2	4	5	11
may-23	3	3	5	11
may-24	4	3	4	11
TPDA				10,8

Tráfico actual (Ta) = (Total de vehículos)/ Tiempo de la encuesta

Total de vehículos equivalentes contados: 54 vehículos equivalentes.

Para efectos del conteo se consideró que un bus es el vehículo standard referencial y que el resto de vehículos contados están correlacionados con este standard como se indica a continuación:

1 camión :1,50 bus  
1 furgoneta :0,25 bus  
1 camioneta :0,25 bus  
1 automóvil :0,25 bus

Se aclara que estos vehículos equivalentes contados en las horas picos son usados para determinar la clase de camino más no para el diseño de pavimento.

Tg es el tráfico generado, siendo el tráfico que se incrementará cuando mejoramos una vía, se estima que es un 25% del Ta.

Ta = 10,8 vehículos/día

Tráfico proyectado (Tp) = Ta\*(1 + i)<sup>n</sup>

Donde i = 0,07

n = 20 años

$$T_p = 10,8 \cdot (1+0,07)^{20}$$

$$T_p = 42 \text{ vehículos /día}$$

$$\text{Tráfico generado (Tg)} = 0,25 T_p$$

$$T_g = 42 \cdot 0,25$$

$$T_g = 10,5 \text{ vehículos/ día.}$$

$$TPDA_{\text{proyectado}} = T_p + T_g$$

$$= 42 + 10,5$$

$$TPDA_{\text{proyectado}} = 54 \text{ vehículos}$$

De conformidad con el MTOP la vía a ser mejorada corresponde a una vía clase V, por el TPDA de menos de 100 vehículos.

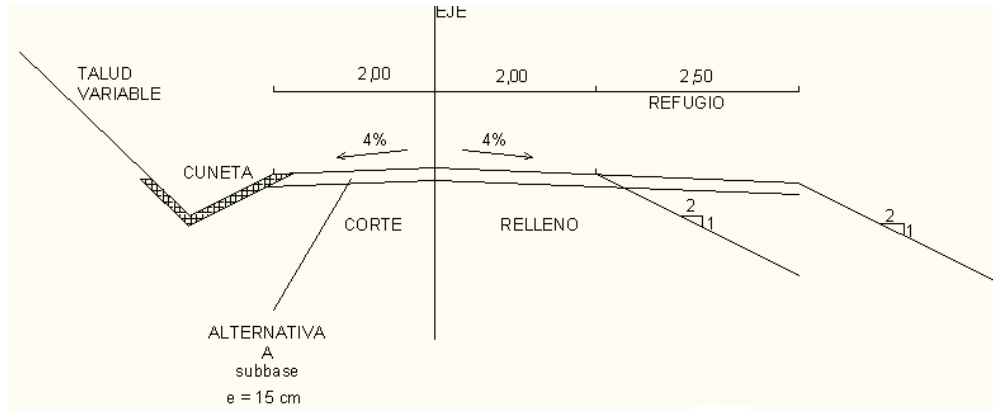
Tabla No.57 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado.

### **CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO PROYECTADO**

<b>Clase de carretera</b>	<b>Tráfico proyectado TPDA</b>
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Fuente: MTOP.

Gráfico No 41 Sección Típica de una vía clase V



**DATOS DEL PROYECTO.**

Tabla No.58 Distancias desde el camino Echaleche Palugsha.

DISTANCIA DESDE EL CENTRO DEL CAMINO ECHALECHE PALUGSHA A..	
(camino de tierra en el croquis color verde por mejorar)	
	Km
Palugsha	0,75
Inicio del camino de tierra	0,75
Centro poblado Echaleche	1,25
Mina de arena	6,25
Mina de material de mejoramiento	14,5

Tabla No.59 Distancias desde el centro poblado Echaleche.

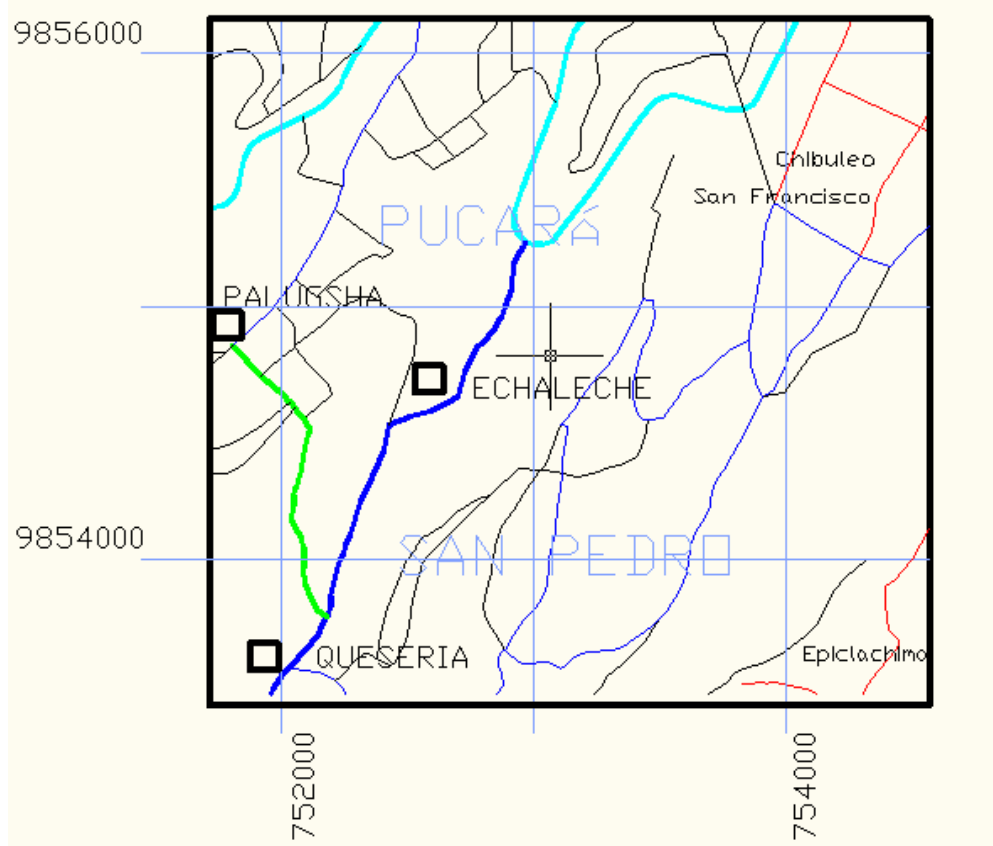
DISTANCIA DESDE EL CENTRO POBLADO DE ECHALECHE A...	
	Km
Palugsha	2
Inicio del camino de tierra	0,5
Centro del camino a Palugsha	1,25
Mina de arena	5
Mina de material de mejoramiento	13,25
Ingreso desde la vía Ambato Guranda	1

Tabla No.60 Características de los materiales para mejorar la subrasante.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A USARSE PARA MEJORAMIENTO				
Materiales a usarse para mejorar la subrasante	CBR	Densidad máxima (g/dm <sup>3</sup> )	0,95% Densidad máxima (g/dm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %
Material de mejoramiento	16	1540	1463	25
Material de estabilización	15	1286	1222	22

### EJERCICIO DE APLICACIÓN.

Gráfico No 42 Ubicación del proyecto.



Nos centraremos en el camino que comunica a Echaleche con Palugsha, en el tramo de tierra, con una longitud de 1,5 Km.( color verde)

Este tramo es el resultado del corte directo en el terreno para conformar el camino, tiene pendientes pronunciadas y no cuenta con cunetas para drenaje por lo que el agua fluye por la superficie del camino lo que le causa erosión y deformaciones superficiales, resultando imposible transitar por el en época lluviosa, tiene un ancho variable de 4 a 5 m. y no cuenta con los refugios para circulación simultánea en los dos sentidos.

El problema radica en la calidad del suelo de subrasante que tiene una baja capacidad de carga y una alta plasticidad con la presencia del agua.

En este trabajo se plantean dos soluciones. La primera A, basada en la costumbre, apoyada en la disponibilidad de materiales de mejoramiento existentes en las cercanías del proyecto y, la segunda B, como una aplicación de los ensayos hechos en el laboratorio, propongo una mezcla de suelo de subrasante original + 3 cm de arena y 15 Kg de cemento. En ambos casos se aplicará una capa de 15 cm de espesor que mejorarán la subrasante a iguales condiciones.

Una vez mejorada la subrasante quedará lista para recibir un empedrado, el cual tendrá la función de proteger la subrasante del medio ambiente.

Se debe construir una cuneta revestida en el lado del talud para recoger de las aguas superficiales y evacuarlas antes que ingresen a la vía.

Se deben construir los refugios para circulación en doble sentido a 150 m como se indica en el gráfico de sección típica de las vías clase V.

### **TRABAJOS PRELIMINARES.**

Iniciaremos los trabajos rasanteando la subrasante, para igualarla ya que actualmente presenta muchas irregularidades.

### **PROPUESTAS**

#### **A Tendido de la capa de mejoramiento.**

Se moviliza, el material de mejoramiento desde la mina situada a 14, 5 Km en la vía que va de Pilahuín a Aguajan, colocarla sobre la subrasante considerando que colocaremos una capa de 15 cm, por lo que 1 m<sup>3</sup> rinde 6 m<sup>2</sup>, es decir que cada m<sup>3</sup> nos rinde para 1 m lineal de camino, dependiendo del volumen del volquete, debemos volcarlos cada 8 o 10 m, según sea su volumen, 8m<sup>3</sup> o 10 m<sup>3</sup>.

Tender con la moto, humedecer con el tanquero de agua el suelo y conformar las pendientes transversales como se indica en la gráfica de sección típica camino

clase V, pasar el rodillo para compactar hasta alcanzar la compactación máxima posible.

### **B Conformación de capa de estabilización de subrasante.**

Escarificar con la moto niveladora un espesor de 12 cm, movilizar la arena desde la mina ubicada a 6,25 Km en dirección a Ambato y volcar los volquetes dependiendo de su volumen cada 40 m las de 8 m<sup>3</sup> y cada 50 las de 10 m<sup>3</sup>, tenderlas con la moto niveladora, la idea es incorporar 3 cm de arena por cada m<sup>2</sup>.

Colocar 4 hileras de cemento cada metro a lo ancho del camino y cada 3,5 m de saco a saco de cemento en cada hilera, la idea es añadir 15 Kg de cemento por cada m<sup>2</sup>, mezclar con moto niveladora, añadir el agua indicada en el cuadro respectivo y volver a mezclar conformando las pendientes transversales y compactar con el rodillo, hasta alcanzar la compactación máxima.

Tabla No.61 % de agua requerido para compactar.

% de AGUA REQUERIDO PARA COMPACTAR				
Materiales a usarse para mejorar la subrasante	Densidad máxima (g/dm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %	Humedad inicial %	Humedad requerido %
Material de mejoramiento	1540	20	7	13
Material de estabilización	1286	22	10	12

Tabla No.62 Volumen de agua para compactar.

VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO PARA COMPACTAR UNA CAPA e = 15 Cm				
Materiales a usarse para mejorar la subrasante	Humedad requerido %	Densidad máxima (g/dm <sup>3</sup> )	Agua m <sup>3</sup>	Agua lt/m <sup>2</sup>
Material de mejoramiento	13	1540	0,2002	30,33
Material de estabilización	12	1286	0,154	23,38

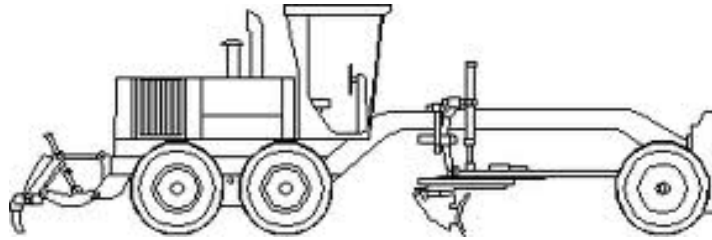
### **EQUIPO REQUERIDO.**

Se requiere el siguiente equipo caminero:



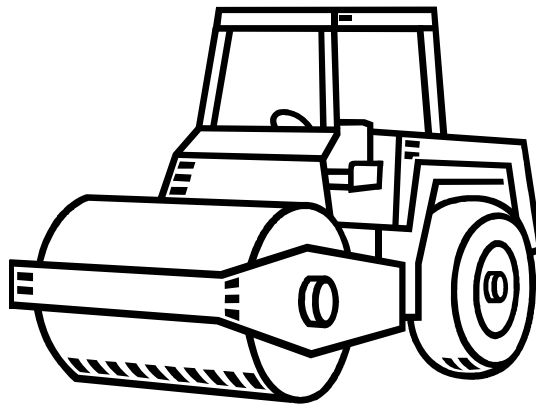
1 Motoniveladora con escarificador.

Gráfico No. 43 Motoniveladora.



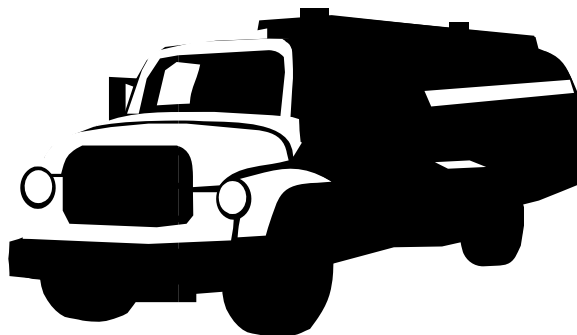
2 Rodillo compactador vibratorio.

Gráfico No. 44 Rodillo Compactador.



1 Vehículo cisterna.

Gráfico No. 45 Tanquero de agua



Varios volquetes.

Gráfico No. 46 Volquete.



En el primer caso, se puede configurar la cuneta y continuar con los trabajos de empedrado, para el segundo caso es necesario esperar por lo menos 10 días para que el cemento al fraguar confiera al suelo mayor resistencia.

## EVALUACIÓN DE COSTOS.

### A Tendido de la capa de mejoramiento.

El costo de disponer de 1 m<sup>3</sup> de material de mejoramiento en el sitio de la obra será:

Tabla No. 63 Costo del material de mejoramiento.

COSTO DE 1 M <sup>3</sup> DE MATERIAL EN SITIO DE LA OBRA				
Materiales a usarse para mejorar la subrasante	Distancia al camino Km	Costo en Mina \$	Valor m <sup>3</sup> por Km \$	Costo \$ en el camino
Material de mejoramiento	14,50	4	0,3	8,35

1 m<sup>3</sup> de material de mejoramiento en la obra cuesta 8,35 dólares.

Rendimiento de 1 m<sup>3</sup> de material de mejoramiento al ser tendido en capas de 15 cm.

Tabla No. 64 Rendimiento del material de mejoramiento.

1 m <sup>3</sup> DE MATERIAL RINDE		
	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>
Material de mejoramiento capa 15 cm	1,00	6,67

1 m<sup>3</sup> de material de mejoramiento rinde 6,67 m<sup>2</sup>.

Es decir cada m<sup>2</sup> cuesta = costo / rendimiento

$$8,35/6,67 = 1,2525 \text{ dólares.}$$

El costo del tendido es de 0,60 dólares.

El costo de cada m<sup>2</sup> es  $1,2525 + 0,60 = 1,853$  dólares.

### **B Conformación de capa de estabilización de subrasante.**

El costo de disponer de 1 m<sup>3</sup> de arena para estabilización en el sitio de la obra será:

Tabla No. 65 Costo de la arena para estabilización.

RENDIMIENTO DE 1 m <sup>3</sup> DE ARENA PARA ESTABILIZACIÓN EN CAPA DE 3 Cm				
Materiales a usarse para mejorar la subrasante	Distancia al camino Km	Costo en Mina \$	Valor m <sup>3</sup> por Km \$	Costo \$ en el camino
arena para estabilización	6,25	3	0,3	4,88

1 m<sup>3</sup> de arena para estabilización cuesta 4,88 dólares.

Rendimiento de 1 m<sup>3</sup> de arena para estabilización al ser tendido en capas de 3 cm.

Tabla No. 66 Rendimiento de la arena para estabilización.

1 m <sup>3</sup> DE MATERIAL RINDE		
	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>
arena para estabilización capa 3 cm	1,00	33,33

Es decir cada m<sup>2</sup> cuesta = costo / rendimiento

$$4,88/33,33 = 0,146 \text{ dólares.}$$

El costo del tendido es de 0,70 dólares.

Se requieren 15 Kg de cemento por cada m<sup>2</sup> a 0,14 dólares, es decir, 2.1 dólares.

El costo de cada m<sup>2</sup> es  $0,146 + 0,70 + 2.1 = 2,95$  dólares.

El camino tiene un ancho promedio de 4,50 m y una longitud de 1.500 m, se requiere entonces cubrir una superficie de 6.750 m.

## PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA

### A. Tendido de la capa de mejoramiento.

Tabla No.67 Costo total por m<sup>2</sup> incluye tendido.

PRESUPUESTO CON CAPA DE MEJORAMIENTO				
PARA MEJORAR EL CAMINO DE ECHALECHE PALUGSHA				
Longitud	1500		m	
Ancho promedio	4,5		m	
Rubro	Cantidad	Unidad	Valor unitario \$	Total \$
Capa de mejoramiento	6.750,0	m <sup>2</sup>	1,8	11.829,4
Cunetas	1.500,0	m	12,0	18.000,0
Empedrado	6.750,0	m <sup>2</sup>	3,0	20.250,0
TOTAL				50.079,4

## PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA

### B Conformación de capa de estabilización de subrasante

Tabla No.68 Presupuesto para mejorar el camino con estabilización.

PRESUPUESTO CON ESTABILIZACIÓN ARENA CEMENTO				
PARA MEJORAR EL CAMINO DE ECHALECHE PALUGSHA				
Longitud	1500		m	
Ancho promedio	4,5		m	
Rubro	Cantidad	Unidad	Valor unitario \$	Total \$
Capa de mejoramiento	6.750,0	m <sup>2</sup>	2,9	19.887,2
Cunetas	1.500,0	m	12,0	18.000,0
Empedrado	6.750,0	m <sup>2</sup>	3,0	20.250,0
TOTAL				58.137,2

## 6.8 ADMINISTRACIÓN.

La administración de la información proporcionada deberá usarse como una guía de las bondades de ciertos materiales cuando se mezclan para mejorar la subrasante y siempre atendiendo al criterio económico y eligiendo la alternativa que menor impacto ambiental cause,

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.**

Con los porcentajes propuestos para la estabilización de la subrasante y posterior construcción, mediante el uso de los parámetros de evaluación, serán las entidades que han utilizado esta metodología durante el periodo de explotación del proyecto los encargados de realizar la evaluación mediante metodologías reconocidas.

### **CONCLUSIONES.**

Para el caso de la propuesta: A mejoramiento mediante el tendido de una capa de mejoramiento, con 50.079,4 dólares, resulta más económico que la propuesta B, estabilización de la subrasante; con 58.137,2 dólares; pero si la distancia a la mina de material fuera mayor sería otra la situación.

En el laboratorio se probaron diferentes combinaciones de suelo arena, suelo toba volcánica y también se incorporó porcentajes de cemento y cal

Para este tipo de suelo de subrasante, la cal no aportó en el aumento de capacidad portante, el cemento incremento notablemente el valor de la capacidad portante,

### **RECOMENDACIONES.**

- 1) Cuando no se dispone de materiales con buenas características en la zona y sea necesario importarlos desde otras zonas lejanas, el costo por el transporte llega a ser significativo, los volúmenes que se requieren también suelen ser importantes lo que provoca una afectación al medio ambiente.
- 2) En estas condiciones podemos mejorar o estabilizar la subrasante u otro suelo del sector, una vez estabilizado se lo puede utilizar como material de mejoramiento.
- 3) Al hacer mezclas se mejoran las características del suelo y, los volúmenes requeridos son menores que si se colocaran directamente como una capa de mejoramiento.

4) La incorporación de porcentajes de cemento mejora notablemente la capacidad portante del suelo y permitirá incrementar la resistencia del suelo según lo requiera el proyecto, siempre deberá optimizarse el beneficio costo, incluido la afectación del medio ambiente para tomar una alternativa de solución del problema.

## **1 FOTOGRAFÍAS**



**Deformaciones en el camino empedrado a la entrada a Echaleche**





**Caminos vecinales de la comunidad Echaleche, Pilahuín**





**Mina de Toba volcánica Sector entrada a Huasalata  
(subiendo desde el río Pachanlica).**



**Mina de arena en la vía Ambato Guaranda (cerca a la entrada a Chibuleo).**





**Determinación del Límite Líquido. (copa de Casagrande).**



**Determinación del Límite Plástico.**



**Ensayo de Penetración CBR.**



**Probetas confeccionadas con suelo de subrasante y porcentajes de cal, cemento, arena y toba volcánica.**



**Probeta fallando ante la carga de compresión no confinada.**



**Ensayo Proctor**





## **B. MATERIALES DE REFERENCIA.**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- .Especificaciones MOP 2003.
- JUÁREZ, Eulalio(1974) Mecánica de Suelos. Limusa México
- Manual de laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.
- Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito.- MTC. Perú. 2008.
- [www.constructorcivil.org/2010/01/estabilizacion](http://www.constructorcivil.org/2010/01/estabilizacion)
- [www.ingenieracivil.com/2009/01/modelo-de-simulacin-transito.html](http://www.ingenieracivil.com/2009/01/modelo-de-simulacin-transito.html)
- [www.horcalsa.com/contents/content-files/manual\\_cal.pdf](http://www.horcalsa.com/contents/content-files/manual_cal.pdf)
- [www.rentauningeniero.com](http://www.rentauningeniero.com)
- [www.geomatrix.com.co/Aplicaciones/Carreteras](http://www.geomatrix.com.co/Aplicaciones/Carreteras)
- [ftp.unicauca.edu.co/Facultades/IngCivil](ftp://unicauca.edu.co/Facultades/IngCivil)
- Alvarado, Patricio (1983) Nociones elementales de investigación científica. Gráficas Heredia.

### **ANEXOS.**

- Anexo 1      Glosario.
- Anexo 2      Cálculo del número de ejes equivalentes.
- .Anexo 3     Clasificación suelo SUCS.

## 1 GLOSARIO.

**SUELO.** Un suelo es cualquier acumulación no consolidada de partículas sólidas, agua y aire.

**Suelos granulares:** Son relativamente inertes y no se influyen significativamente por la estanqueidad del agua.

**Suelos cohesivos:** Con el agua se influyen significativamente y otras influencias químicas.

### **Límites de Atemberg.**

**Límite líquido:** contenido de humedad que hace que una ranura se cierre en 25 golpes.

**Límite plástico:** máxima humedad con la que se puede hacer un cilindro de 3 mm de diámetro.

**Límite de encogimiento:** al secar el suelo no hay pérdida de volumen, se reconoce por cambio de color

**Índice plástico.** Rango de humedad en la que el suelo tiene comportamiento plástico:  $I_p = L_l - L_p$

Los suelos deben compactarse a humedades determinadas para obtener una densidad máxima.

**Estabilidad volumétrica.** Problemas relacionados con los suelos expansivos por cambios de humedad.

**Subrasante.** Se considera la capa superior de la corona de un terraplén o superficie del fondo de la excavación donde se construye un camino.

**Propiedades mecánicas de la subrasante.** Capacidad de resistir las cargas de tráfico y medio ambiente, conservando su estabilidad volumétrica, sin deformarse.

**Estabilización.** Procesos físico químicos o mecánicos para mejorar las características de un suelo.

**Toba volcánicas.** son materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina.

**CBR.** Ensayo mediante el cual se obtiene un porcentaje con respecto a una muestra patrón que hace referencia a la capacidad portante de un suelo.

**Comodidad.** Sensación que se siente al transitar por una vía.

**Seguridad.** Las vías deben estar señalizadas, no tener obstáculos y deben construirse de acuerdo con una velocidad de diseño especificado.

## 2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES.

CALCULO DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONS

SONDEO DE TRÁFICO

NIVELES DE TRÁNSITO	% Crecimiento			TRANSITO PROMEDIO DIARIO				CAMIONES						W <sub>18</sub>	W <sub>18</sub>
	AUTOS	BUSES	CAMIONES	TPD TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES	C-2 P	C-2 G	C-3	C-4	C-5	C-6	Acumulado	Carril Diseño
2.011	7,00%	3,50%	3,50%	44	40	0	4	4	0	0	0	0	0	1,88E+03	9,42E+02
2.012	7,00%	3,50%	3,50%	47	43	0	4	4	0	0	0	0	0	3,77E+03	1,88E+03
2.013	7,00%	3,50%	3,50%	50	46	0	4	4	0	0	0	0	0	5,65E+03	2,83E+03
2.014	7,00%	3,50%	3,50%	53	49	0	4	4	0	0	0	0	0	7,53E+03	3,77E+03
2.015	7,00%	3,50%	3,50%	57	52	0	5	5	0	0	0	0	0	9,89E+03	4,94E+03
2.016	7,00%	3,50%	3,50%	61	56	0	5	5	0	0	0	0	0	1,22E+04	6,12E+03
2.017	7,00%	3,50%	3,50%	65	60	0	5	5	0	0	0	0	0	1,46E+04	7,30E+03
2.018	7,00%	3,50%	3,50%	69	64	0	5	5	0	0	0	0	0	1,70E+04	8,48E+03
2.019	7,00%	3,50%	3,50%	74	69	0	5	5	0	0	0	0	0	1,93E+04	9,65E+03
2.020	7,00%	3,50%	3,50%	79	74	0	5	5	0	0	0	0	0	2,17E+04	1,08E+04
2.021	7,00%	3,50%	3,50%	84	79	0	6	6	0	0	0	0	0	2,45E+04	1,22E+04

Vehículo	Factor Daño	Porcentaje	
AUTOS	0,00	90,9%	
BUSES	1,04	0,0%	Distribucion
CAMIONES		9,1%	Camiones
C-2 P	1,29	9,1%	100,0%
C-2 G	5,27	0,0%	0,0%
C-3	3,84	0,0%	0,0%
C-4	1,87	0,0%	0,0%
C-5	5,83	0,0%	0,0%
C-6	5,48	0,0%	0,0%

AÑO 2011		TOTAL		
TPD TOTAL	44			
AUTOS	40			
BUSES	0		100	
CAMIONES	4		9,1%	Distribucion
C-2 P	4			Camiones
C-2 G	0			100,0%
C-3	0			0,0%
C-4	0			0,0%
C-5	0			0,0%
C-6	0			0,0%



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de suelos		
				Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
			Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
			Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
		Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
				Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
		Inorgánicos	$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Orgánicos	Limite liquido - secado al homo	OL	Arcilla orgánica	
			limite liquido - no secado		Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al homo	OH	Arcilla orgánica	
			limite liquido - no secado		Limo orgánica	
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		PT	Turba		

Elaborado por: Ing. Iván Matus Lazo y Ing. Marvin Blanco Rodríguez