



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB
BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON
TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO
(ABS)**

Presentado por los Bachilleres:

**Alarcón Nina, Carol Sharmely
Zamalloa Bohorquez, Jhonatan**

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. SucnoTorre Huaman, Eddy

CUSCO – PERÚ
2016



DEDICATORIA

A Dios porque estuvo y está presente en cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar.

A nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentaba sin dudar en nuestra inteligencia y capacidad.



AGRADECIMIENTOS

Al Niño Jesús de Praga, por ser mi guía
durante esta etapa de mi vida profesional.

A mis padres, Gloria y Hugo, por su comprensión,
motivación y apoyo que me brindaron para
todas y cada una de mis metas, demostrándome su amor,
corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermana menor, Alisson, por sus ánimos para lograr concluir mi tesis demostrándole
que uno puede realizar sus metas propuestas, siempre y cuando haya voluntad en uno mismo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del
Cusco, por la calidad de enseñanza y guía que me proporcionaron a lo largo de este proyecto.

Carol Sharmely Alarcón Nina

A mis padres y abuelos por su apoyo incondicional, compañía, dedicación y por creer en
que podía seguir adelante a pesar de las dificultades y obstáculos.

A mis hermanos, de quienes la ilusión de su vida
ha sido verme convertido en un hombre de provecho.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del
Cusco, por la calidad humana y profesional que demostraron e inculcaron,
y además gracias por haber influenciado
positivamente en mi formación profesional.

Jhonatan Zamalloa Bohorquez



RESUMEN

El presente tema de investigación intenta desarrollar y demostrar la influencia que tiene la adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) como estabilizador al material granular de sub base con un CBR = 51.04 % para pavimentos flexibles; de esta manera se agregaron diferentes porcentajes de termoplástico ABS: 1.5%; 2.5%; 3.5% y 4.5% del peso seco del material.

De este modo, actuando en conjunto el material adicionado con dicho estabilizador (ABS); el pavimento logrará disipar las cargas impuestas por el tráfico (esfuerzos verticales) contribuyendo a nuestro objetivo principal que es incrementar su capacidad de soporte (CBR) y así evitar fallas por deformación permanente del pavimento además de dotar a la estructura un mayor tiempo de vida útil.

La razón por la que se optó por utilizar este aditivo para la presente investigación no fue solo por sus favorecedoras propiedades físicas y químicas, sino también por el interés de saber cómo actuará en suelos este tipo de plástico con fines ingenieriles. Además que con el creciente mercado de las impresiones 3D y siendo el ABS el material que se usa para realizarlas, es muy probable que en el futuro tengamos muchos desechos de este material, es por eso que se busca un modo de reutilizar los mismos.

Para el desarrollo experimental del trabajo de investigación los elementos que conformaron nuestro diseño de sub base fueron agregados de la cantera de Quillahuata y el termoplástico ABS (esferas con un diámetro de 3 mm) como agente estabilizante; todo esto para analizar la capacidad de soporte del material sub base. De esta forma concluimos que al adicionar el termoplástico ABS a partir de la dosificación de 2.5% del peso seco del material se reveló un mayor incremento de CBR en relación al material de sub base sin aditivo.

Palabras clave: Pavimento, sub base, termoplástico, ABS, capacidad de soporte – CBR.



ABSTRACT

The present research aims at developing and demonstrating the influence of the addition of thermoplastic acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) as stabilizer to the sub-base granular material with a CBR = 51.04% for flexible pavements; In this way different percentages of thermoplastic ABS were added: 1.5%; 2.5%; 3.5% and 4.5% of the dry weight of the material.

Thus, by acting together the material added with said stabilizer (ABS); the pavement will be able to dissipate the loads imposed by the traffic (vertical loads) contributing to our main objective, which is to increase its support capacity (CBR) and thus avoid failures due to permanent deformation of the pavement besides giving the structure a longer shelf life .

The reason why we chose to use this additive for the present research was not only for its favorable physical and chemical properties, but also for the interest of knowing how this type of plastic will act in engineering soils. In addition to the growing market for 3D prints and ABS being the material used to make them, it is very likely that in the future we will have many wastes of this material, that is why we are looking for a way to reuse them.

For the experimental development of the research work, the elements that formed our sub-base design were aggregates of Quillahuata quarry and ABS thermoplastic (spheres with a diameter of 3 mm) as stabilizing agent; All this to analyze the ability to support the sub-base material. In this way we conclude that adding the ABS thermoplastic from the 2.5% dosage of the dry weight of the material revealed a higher increase of CBR in relation to the sub-base material without additive.

Key words: Pavement, sub base, thermoplastic, ABS, support capacity - CBR.



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos innovadores de estabilización con el fin de prolongar la vida útil de la estructura del pavimento, optimizar algunas de sus propiedades (capacidad de carga) o disminuir los efectos ambientales; en especial con los materiales granulares que conforman las capas de un pavimento flexible (base, sub base o sub rasante), ya que para su explotación se debe alterar el medio ambiente.

Estudios recientes demuestran que utilizando el plástico (residuos de PVC, fibras PET, etc.) como agente aditivo en el material de base o sub base para su estabilización, se logra un incremento notable en la capacidad de soporte (CBR). Entonces, se determinó para la investigación definir como aditivo estabilizante el termoplástico ABS, no solo por sus buenas propiedades físicas y químicas sino también por su difícil deterioro a comparación de otros plásticos.

Motivo por el cual el presente trabajo de investigación propone innovar en la tecnología de pavimentos flexibles adicionando el termoplástico ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) en el material de sub base con el fin de analizar en qué medida aumentará la capacidad de soporte (CBR) y cómo variará la densidad en la sub base al adicionarle este agente estabilizador.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1 Descripción del problema	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1 Justificación técnica.....	2
1.2.2 Justificación social.....	2
1.2.3 Justificación por viabilidad	2
1.2.4 Justificación por relevancia.....	3
1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 Limitaciones geográficas	3
1.3.2 Limitaciones del material.....	3
1.3.3 Limitaciones de los ensayos de laboratorio	3
1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS	5
1.5.1 Hipótesis General	5
1.5.2 Sub Hipótesis.....	5
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	5



1.6.1 Variables independientes 5

1.6.2 Variables dependientes 6

1.7 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 7

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DE LA TESIS 8

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS 8

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional 8

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional 9

2.2 BASES TEÓRICO – CIENTÍFICAS 12

2.2.1 Cantera de Quillahuata..... 12

2.2.2 Pavimento..... 13

2.2.3 Suelos 27

2.2.4 Plásticos en la construcción..... 36

2.2.5 Termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) 40

2.2.6 California Bearing Ratio (C.B.R.) 46

2.2.7 Módulo resiliente 47

2.2.8 Especificaciones Técnicas de Material de Sub Bases..... 48

2.2.9 Ensayos pertinentes..... 51

2.2.10 Estabilización de suelos 58

CAPITULO III: METODOLOGÍA 59

3.1 METODOLOGÍA DE LA TESIS 59

3.1.1 Tipo de investigación..... 59

3.1.2 Nivel de la investigación..... 59

3.1.3 Método de investigación 59

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 60

3.2.1 Diseño metodológico 60

3.2.2 Diseño de ingeniería 60

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 62

3.3.1 Población..... 62

3.3.2 Muestra..... 62

3.3.3 Criterios de inclusión 63

3.4 INSTRUMENTOS..... 64

3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos ... 64



3.4.2 Instrumentos de Ingeniería..... 69

3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 71

3.5.1 Muestreo de los Agregados 71

3.5.2 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado 72

3.5.3 Ensayos de Límites de Consistencia (Límite Plástico y Límite Líquido). 75

3.5.4 Ensayo de Abrasión de los Agregados..... 79

3.5.5 Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado) 83

3.5.6 Ensayo de CBR..... 85

3.6 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS 103

3.6.1 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado 103

3.6.2 Ensayo de Límites de Consistencia 106

3.6.3 Clasificación del suelo 108

3.6.4 Ensayo de Abrasión de los Agregados..... 112

3.6.5 Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado) 113

3.6.6 Ensayo de CBR..... 115

CAPITULO IV: RESULTADOS 141

4.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO 141

4.2 ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA..... 141

4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA
MAQUINA DE LO ÁNGELES. 142

4.4 COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA
ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) 142

4.5 DENSIDAD SECA DEL MATERIAL DE SUB BASE MAS ADITIVO.... 143

4.6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO CBR
144

4.7 ANÁLISIS DE COSTOS DEL ADITIVO ACRILONITRILO BUTADIENO
ESTIRENO (ABS) QUE SE ADICIONARÁ A LA SUB BASE 146

CAPITULO V: DISCUSIÓN 148

GLOSARIO 150

GLOSARIO SIGLAS 151

CONCLUSIONES 152



RECOMENDACIONES 154

REFERENCIAS 155



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables	7
Tabla 2: Sistema de clasificación de AASHTO	29
Tabla 3: Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)	32
Tabla 4: Propiedades cualitativas	44
Tabla 5: Propiedades Cuantitativas:.....	45
Tabla 6: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular	48
Tabla 7: Subbase Granular: Requerimientos de Ensayos Especiales	50
Tabla 8: Relación entre el grado de expansión y el límite líquido según Dakshanamurthy y Raman (1973)	57
Tabla 9: Relación entre el potencial de hinchamiento y el índice de plasticidad según Seed, Woodward y Luddgren, 1962	57
Tabla 10: Cuantificación de la muestra.....	63
Tabla 11: Formato para recolección de datos – Ensayo de granulometría por tamizado	64
Tabla 12: Formato para recolección de datos – Ensayos de Límites de Consistencia....	65
Tabla 13: Formato para recolección de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles.....	66
Tabla 14: Formato para recolección de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado).....	67
Tabla 15: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR de suelos	68
Tabla 16: Formato para recolección de datos – Ensayo de granulometría por tamizado	75
Tabla 17: Formato para recolección de datos – Ensayos de Límites de Consistencia....	79
Tabla 18: Gradación de las muestras de ensayo	80
Tabla 19: Categorías de gradación con su respectivo número de esferas	81
Tabla 20: Formato para recolección de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles.....	83
Tabla 21: Formato para recolección de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor modificado)	85
Tabla 22: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS- Ensayo 1.....	93



Tabla 23: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS- Ensayo 2..... 94

Tabla 24: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 1 95

Tabla 25: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 2..... 96

Tabla 26: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 1 97

Tabla 27: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 2..... 98

Tabla 28: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS-Ensayo 1 99

Tabla 29: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS-Ensayo 2..... 100

Tabla 30: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-Ensayo 1 101

Tabla 31: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-Ensayo 2..... 102

Tabla 32: Formato para análisis de datos – Ensayo de granulometría por tamizado.... 104

Tabla 33: Gradación de las muestras de ensayo 105

Tabla 34: Formato para análisis de datos – Ensayos de Límites de Consistencia..... 106

Tabla 35: Criterios de asignacion SUCS..... 109

Tabla 36: Clasificación de Suelos AASHTO del material granular de Quillahuata..... 111

Tabla 37: Formato para análisis de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles 112

Tabla 38: Formato para análisis de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado) 113

Tabla 39: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS-Ensayo 1 116

Tabla 40: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS-Ensayo 2 118

Tabla 41: CBR de material convencional 119

Tabla 42: Densidad seca de material convencional 119



Tabla 43: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS-Ensayo 1 121

Tabla 44: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS-Ensayo 2 123

Tabla 45: CBR de sub base + 1.5% de ABS 124

Tabla 46: Densidad seca de sub base + 1.5% de ABS..... 124

Tabla 47: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS-Ensayo 1 126

Tabla 48: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS-Ensayo 2 128

Tabla 49: CBR de sub base + 2.5% de ABS 129

Tabla 50: Densidad seca de sub base + 3.5% de ABS..... 129

Tabla 51: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS- Ensayo 1 131

Tabla 52: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS- Ensayo 2 133

Tabla 53: CBR de sub base + 3.5% de ABS 134

Tabla 54: Densidad seca de sub base + 3.5% de ABS..... 134

Tabla 55: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-Ensayo 1 136

Tabla 56: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS- Ensayo 2 138

Tabla 57: CBR de sub base + 4.5% de ABS 139

Tabla 58: Densidad seca de sub base + 4.5% de ABS..... 139

Tabla 59: Resultados del ensayo de abrasión 142

Tabla 60: Resultados del ensayo de proctor modificado 142

Tabla 61: Resultados Densidad seca máxima 143

Tabla 62: Resultados del ensayo de CBR en laboratorio 144

Tabla 63: Precios referenciales de desechos de plásticos y plásticos reciclados procesados 146

Tabla 64: Análisis de costos de ABS que se adicionara al material de sub base. 147

Tabla 65: Densidades de la sub base con los distintos porcentajes de adición de ABS 153

Tabla 66: Capacidad de soporte (CBR) 153



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Geográfica de la Cantera Quillahuata	12
Figura 2: Estructura de un pavimento flexible	14
Figura 3: Estructura de un pavimento rígido	15
Figura 4: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos	16
Figura 5: Cargas distribuidas en un pavimentos flexible y rígido	16
Figura 6: Sección transversal de las capas de un pavimento flexible	17
Figura 7: Etapas para la preparación de la base.....	20
Figura 8: Pavimento con fisuras y grietas por fatigamiento.....	23
Figura 9: Pavimento con fisuras y grietas en bloque	24
Figura 10: Pavimento con fisuras y grietas longitudinales y transversales.....	25
Figura 11: Pavimento con ahuellamiento.....	26
Figura 12: Perfil del suelo (en geotecnia).	27
Figura 13: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....	30
Figura 14: Gráfico de plasticidad	33
Figura 15: Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo	34
Figura 16: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limo inorgánico y suelos arcillosos.....	35
Figura 17: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limoso orgánico y suelos arcillosos.....	36
Figura 18: Proceso de producción del plástico	38
Figura 19: Fórmula estructural del ABS	41
Figura 20: Reacción del ABS	42
Figura 21: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granulares (MTC)	49
Figura 22: Curva de compactación del proctor modificado	52
Figura 23: Curva Densidad Seca –Humedad.....	52
Figura 24: Celda triaxial cíclico ensayo de resiliencia.....	53
Figura 25: Maquina de los Ángeles	55
Figura 26: Copa de Casagrande	56
Figura 27: Diseño de ingeniería.....	61



Figura 28: Cantera de Quillahuata 71

Figura 29: Extracción de material granular de la cantera de Quillahuata 72

Figura 30: Cuarteo del material granular de la cantera de Quillahuata 72

Figura 31: Secado de la muestra en el horno..... 73

Figura 32: Registro del peso del material seco y lavado..... 73

Figura 33: Tamizado mecánico del material 74

Figura 34: Registro de los datos obtenidos 74

Figura 35: Humedeciendo la muestra en un recipiente..... 76

Figura 36: Registro del número de golpes 76

Figura 37: Añadiendo agua para incrementar el contenido de humedad del material.... 77

Figura 38: Manipulación de la muestra húmeda sobre la placa de vidrio 78

Figura 39: Manipulación de la muestra húmeda sobre la placa de vidrio 78

Figura 40: Lavado del material..... 80

Figura 41: Material lavado y seco dentro de la Máquina de los Ángeles 81

Figura 42: Lavado del material después del ingreso a la Máquina de Los Ángeles..... 82

Figura 43: Ingreso del material lavado al horno..... 82

Figura 44: Compactación de las cinco capas, cada una por 56 golpes 84

Figura 45: Registro del peso del termoplástico ABS que ingresará a cada molde 86

Figura 46: Material de granular adicionado con los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5%
de ABS 86

Figura 47: Adicionando 4.5% de ABS al material granular 86

Figura 48: Dosificación de agua para la posterior mezcla entre los elementos..... 87

Figura 49: Compactación del material granular adicionado con el termoplástico ABS . 88

Figura 50: Enrasado de los moldes de CBR..... 88

Figura 51: Tamizado del material sobrante para lograr una superficie uniforme 89

Figura 52: Nivelación de los moldes CBR después de su inmersión 89

Figura 53: Colocación del dial (deformímetro) sobre los moldes CBR 90

Figura 54: Moldes CBR sumergidos en agua..... 90

Figura 55: Colocación de los moldes CBR en la máquina de penetración 91

Figura 56: Penetración de los moldes CBR..... 91

Figura 57: Registro de la muestra seca obtenida de los moldes penetrados 92

Figura 58: Curva Granulométrica del material granular de la cantera de Quillahuata . 105

Figura 59: Límite Líquido – N° de golpes vs.Humedad 107

Figura 60: Curva granulométrica 108



Figura 61: Criterio de asignación según el diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo 110

Figura 62: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-1, A-4, A-5, A-6 y A-7 utilizado para la clasificación del material a analizar por AASHTO..... 111

Figura 63: Curva de compactación de proctor modificado – Humedad vs. Densidad seca 114

Figura 64: Curva de Esfuerzo – Penetración del material sin aditivo ABS- Ensayo 1. 117

Figura 65: Curva Penetración- esfuerzo del material sin aditivo ABS- Ensayo 2 119

Figura 66: Curva de CBR vs. Densidad seca del material sin aditivo ABS..... 120

Figura 67: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 1.5% de ABS-Ensayo 1 122

Figura 68: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 1.5% de ABS-Ensayo 2 124

Figura 69: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 1.5% de ABS..... 125

Figura 70: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 2.5% de ABS-Ensayo 1 127

Figura 71: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 2.5% de ABS-Ensayo 2 129

Figura 72: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 2.5% de ABS..... 130

Figura 73: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 3.5% de ABS-Ensayo 1 132

Figura 74: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 3.5% de ABS-Ensayo 2 134

Figura 75: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 3.5% de ABS..... 135

Figura 76: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 4.5% de ABS..... 137

Figura 77: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 4.5% de ABS-Ensayo 2 139

Figura 78: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 4.5% de ABS..... 140

Figura 79: Curva Granulométrica del material granular de la cantera de Quillahuata . 141

Figura 80: Curva humedad vs densidad del ensayo de proctor modificado..... 143

Figura 81: Nro de golpes de compactación vs Densidad seca 144

Figura 82: CBR vs Densidad seca 145

Figura 83: CBR para cada adición de ABS 145

Figura 84: Curva CBR vs % para cada adición de ABS 146



CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

Actualmente el *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013* menciona que para utilizar un material granular como sub base que no cumpla con los requisitos solicitados, se debe recurrir a la aplicación de cualquier método de estabilización descrito en el mismo.

Entonces en el sentido de innovar, se propone estabilizar el material granular (cantera de Quillahuata), que no cumple con los requisitos para ser utilizado como sub base, con el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

Por último, al optimizar el valor de CBR con el termoplástico ABS se plantea incrementar la capacidad de soporte de la sub base de un pavimento flexible.

1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del Problema General

¿En qué medida aumentará la capacidad de soporte (CBR) y cómo variará la densidad en la sub base para pavimentos flexibles con la adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los Problemas Específicos

Problema específico N° 1:

¿Las propiedades físico-mecánicas del material granular de la cantera Quillahuata cumplen los requerimientos del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG -2013 para ser usado como sub base del pavimento flexible ?

Problema específico N° 2:

¿En qué medida variará la densidad de la sub base para pavimentos flexibles al adicionarle el termoplástico ABS?



Problema específico N° 3:

¿En qué medida aumentará el valor de CBR con la adición del termoplástico ABS en la sub base para pavimento flexible?

Problema específico N° 4:

¿Cuál es el porcentaje óptimo en peso del termoplástico ABS que se debe adicionar a la sub base para pavimentos flexibles?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Justificación técnica

La investigación tomará como base principal “*El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – 2014*” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, puesto que al querer estabilizar la sub base del pavimento flexible con el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) se deberán realizar los respectivos ensayos mencionados en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

1.2.2 Justificación social

Con la presente investigación se busca aportar con innovadoras iniciativas para su futura aplicación en el país brindando así soluciones para enfrentar problemas presentes en nuestras vías como son: fisuras, grietas y deterioros. Además que con el creciente mercado de las impresiones 3D y siendo el ABS el material que se usa para realizarlas, es muy probable que en el futuro tengamos muchos desechos de este material, es por eso que se busca un modo de reutilizar los mismos y brindar una solución de reutilización en el futuro.

1.2.3 Justificación por viabilidad

La presente investigación es factible porque existen estudios relacionados al tema, así mismo se cuenta con los equipos necesarios para realizar los ensayos que se requiere en la investigación, los cuales son de fácil manejo. Los materiales a utilizar son de fácil acceso, y se cuenta con el financiamiento requerido para realizarlo eficientemente.



1.2.4 Justificación por relevancia

El tema de investigación que pretende optimizar la capacidad de soporte de la sub base de pavimentos flexibles adicionando el termoplástico ABS, no presenta antecedentes regionales. Por lo tanto existe la necesidad de conocer de qué manera influye la adición de este agente aditivo al material de sub base para su estabilización y de esta forma poder utilizarlo como un elemento innovador de construcción en el diseño de pavimentos.

1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Limitaciones geográficas

- No contamos con estudios referenciales (Cusco, Perú) que permitan comparar los resultados de las muestras de sub base adicionado con el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).
- La investigación no considera los cambios de temperatura de la zona donde se realizaron los ensayos respectivos (San Jerónimo, Cusco).

1.3.2 Limitaciones del material

- Los agregados que se utilizarán para el análisis de la sub base serán extraídos de la cantera de Quillahuata, distrito de San Sebastián, provincia Cusco y departamento Cusco.
- La investigación se limita a una sub base con material de tipo granular.
- La única presentación del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) en el país son de bolsas de 25 kg que contienen esferas con un diámetro estándar de 3 mm; es decir que para la investigación no se considera las dimensiones ni la forma de dicho termoplástico.
- No se considera el Módulo de Elasticidad (E).

1.3.3 Limitaciones de los ensayos de laboratorio

- El trabajo de investigación se limita a la evaluación de la capacidad de soporte (CBR) del material de sub base adicionado con el termoplástico ABS.
- Los estudios se limitan al uso del termoplástico en relación al peso seco del material de sub base.



- La investigación se basa en el uso de las Normas Peruanas: Manual de ensayo de materiales MTC E 2016.
- El criterio que se optó para determinar el número de muestras para elaborar el ensayo de CBR depende directamente de la insuficiencia de moldes de CBR en el laboratorio.

1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Analizar la capacidad de soporte (CBR) y densidad de la sub base para pavimentos flexibles al adicionar el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

1.4.2 Objetivos específicos

Objetivo específico N° 1:

Evaluar si las propiedades físico mecánicas del material granular de la cantera Quillahuata cumplen los requerimientos del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013 para ser usado como sub base del pavimento flexible.

Objetivo específico N° 2:

Determinar el valor de la densidad de sub base para pavimentos flexibles al adicionar el termoplástico ABS.

Objetivo específico N° 3:

Determinar el valor del CBR al adicionar el termoplástico ABS a la sub base para pavimentos flexibles.

Objetivo específico N° 4:

Determinar el porcentaje óptimo en peso del termoplástico ABS que se debe adicionar a 1 m³ de sub base para pavimentos flexibles.



1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

La adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) incrementa la capacidad de soporte (CBR) y disminuye la densidad en la sub base para pavimentos flexibles.

1.5.2 Sub Hipótesis

Sub-hipótesis específica N° 1:

Las propiedades físico-mecánicas del material granular de la cantera Quillahuata no cumplen con los requerimientos del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013 para ser utilizado como sub base del pavimento flexible.

Sub-hipótesis específica N° 2:

La densidad de la sub base para pavimentos flexibles disminuye al adicionarle el termoplástico ABS.

Sub-hipótesis específica N° 3:

El termoplástico ABS incrementará el valor de CBR en la sub base para pavimentos flexibles.

Sub-hipótesis específica N° 4:

El porcentaje óptimo en peso que se adicionará a 1 m³ de la sub base para pavimentos flexibles será del 3.5% de termoplástico ABS.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1 Variables independientes

- Propiedades físico-mecánicas del material granular: El material granular para ser utilizado como material de sub base debe cumplir con las especificaciones descritas en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013.
- Termoplástico ABS: El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Se le llama plástico de



ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno).

Indicadores:

Peso retenido, peso que pasa (%)

Porcentaje de desgaste (%)

Limite Líquido (%)

Limite plástico e índice de plasticidad (%)

Porcentaje de material fino (%)

Porcentaje de partículas chatas y alargadas (%)

Cantidad de termoplástico ABS (kg)

1.6.2 Variables dependientes

- Densidad del material de sub base: Valor de la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
- Capacidad de soporte: o CBR (California Bering Ratio), es la capacidad que tiene el suelo de soportar los esfuerzos verticales transmitidos por las cargas de tránsito. Mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y evalúa la calidad de terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos.

Indicadores:

Peso húmedo, volumen (gr/cm^3)

Peso seco, volumen (gr/cm^3)

Densidad (gr/cm^3)

Deformación (%)

1.7 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON FIBRAS DE PLÁTANO RECUBIERTAS CON TERMOPLÁSTICO ABS					
VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIÓN	UNIDAD	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLES INDEPENDIENTES					
X1: Propiedades físico- mecánicas del material granular.	EL material granular para ser utilizado como material de sub base debe cumplir con las especificaciones descritas en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013.	Análisis granulométrico.	%	Peso retenido, peso que pasa	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación de comportamiento físico mecánico.
		Abrasión Los Ángeles.	%	Porcentaje de desgaste	
		Límites de Atterberg	%	Limite Líquido.	
			%	Limite plástico e índice de plasticidad.	
Partículas chatas y alargadas.	%	Porcentaje de partículas chatas y alargadas			
X1: Termoplástico ABS:	Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno).	Termoplástico ABS	Kg	Cantidad de termoplástico ABS	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación.
VARIABLES DEPENDIENTES					
Y1: Densidad del material de Sub base	Valor de la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.	Densidad húmeda	gr/cm ³	Peso húmedo, volumen	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación de densidad.
		Densidad seca		Peso seco, volumen	
Y2: Capacidad de soporte.	La capacidad de soporte de la sub rasantes, es la capacidad que tiene el suelo de soportar los esfuerzos verticales transmitidos por las cargas de tránsito. La deformación del suelo la deflexión resultante deberán ser menores a las admisibles.	CBR	%	Densidad Deformación	Guía de observación de laboratorio. Formato de evaluación CBR.

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DE LA TESIS

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Título: “ANÁLISIS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUB BASE PARA PAVIMENTOS CON LA ADICIÓN DE FILAMENTOS DE FIBRA DE VIDRIO UTILIZANDO AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE QUILLAHUATA Y MORRO BLANCO – CUSCO”

Autores: Antoni Parra Sullcacori

Lugar: Cusco, Perú.

Fecha: Diciembre del 2013

Institución: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

La tesis intenta desarrollar y demostrar la influencia que tiene la adición de fibra de vidrio en un material usado para la sub base de un pavimento, de esta manera se agregaron diferentes porcentajes de fibra de vidrio: 0.025%; 0.05%; 0.10% y 0.15% a un material de sub base granular de CBR = 82%. Los agregados utilizados para el diseño de la sub base granular fueron de las Canteras de Morro Blanco y Quillahuata y los filamentos de fibra de Vidrio usados fueron del tipo AR.

La razón por la que se optó por utilizar estos filamentos es porque al existir esfuerzos horizontales y verticales en la estructura del pavimento (especialmente en un pavimento flexible), estos filamentos ayuden a amortiguar las cargas impuestas por el tráfico que generan dichos esfuerzos. Así evitar la falla por deformación permanente del pavimento además de dotar a la estructura del pavimento de mayor vida útil.

**Conclusiones:**

- Al incorporar Fibra de Vidrio a un material de Sub base, se logra aumentar su capacidad de soporte (CBR), sin embargo este incremento se limita a porcentajes menores al 0.15% de adición de Fibra de Vidrio.
- La variación en la capacidad de soporte del material de Sub base convencional frente al material de Sub base adicionado con 0.10% de fibra de vidrio es de 9%; teniendo para la sub base convencional un CBR = 82% y para la Sub base adicionada con 0.10% de Fibra de Vidrio un CBR = 91%.
- La densidad del material y el porcentaje de adición de fibra de vidrio tienen una relación inversamente proporcional, es decir que, la densidad disminuye a medida que aumenta el porcentaje de adición de fibra de vidrio. (Parra Sullcacori, 2013)

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

- a) Título: REUTILIZACIÓN DEL DESECHO DE PVC COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUB-BASES GRANULARES.

Autores: Tatiana Carolina Blanco Diaz; Yiseth Paola Brango Negrete y Jose Miguel Rivera Gonzalez

Lugar: Barranquilla, Colombia.

Fecha: Diciembre del 2012

Institución: UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

Esta investigación analizo materiales granulares normalmente utilizados aplicándole un proceso de estabilización mecánica al mezclarlas con un porcentaje de material plástico derivado del reciclaje de pvc por medio del método gráfico, esta mezcla de materiales tendrá uso en capas sub-bases con fines de pavimentación, determinando las características físicas y mecánicas de la mezcla, como: Granulometría, Limites de Atterberg, Resistencia (C.B.R.) y Durabilidad.



Conclusiones:

- En el desarrollo del proyecto se determinó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CBR de un material granular tipo Sub-base a partir del 4% hasta el 6%, caso en el cual mantiene las propiedades originales, se comprobó que al incluir porcentajes mayores de 6% de pvc en la Sub-base esta pierde densidad, debido a que el material de desecho es liviano.
- Se notó que a medida que aumentábamos el porcentaje de inclusión de material de desecho de pvc la resistencia a la penetración aumentaba, pero por lo dicho anteriormente no se debe incluir porcentaje mayores de 6% a la Sub-base para su estabilización. (Diaz, Negrete, & Gonzalez, 2012)

b) Título: “MEJORAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE INCLUSIONES DE FIBRA”

Autores: David Hurtado Rosales

Lugar: Mexico.

Fecha: Septiembre del 2014

Institución: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO.

Se trató el mejoramiento de suelos expansivos mediante la aplicación del concepto de suelo reforzado en su modalidad de fibro reforzamiento. El suelo en cuestión se trata de una arcilla de alta compresibilidad (CH) considerada con un alto potencial expansivo con base en la utilización de diversos criterios. El refuerzo del suelo se planteó a través de inclusiones aleatorias de fibras sintéticas discretas (polipropileno), las cuales fueron distribuidas de manera aparentemente homogénea en la masa de suelo generando un composite. Previo muestreo, se realizó una caracterización geotécnica y posteriormente fue realizado un ensayo de compactación del tipo Proctor estándar para obtener los parámetros de peso específico seco máximo y contenido de agua óptimo para poder realizar el programa experimental bajo estos parámetros. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión no confinada al suelo remoldeado y a distintas combinaciones de suelo fibro reforzado. Las variables que se tomaron en



cuenta para el suelo fibro reforzado fueron la longitud y el porcentaje de dosificación. Se utilizaron las longitudes de 4.75, 9.5 y 19 mm bajo los porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%. De los resultados de las pruebas a compresión no confinada se comprobó que las fibras mejoraron el comportamiento mecánico del compuesto obteniendo mejoras de hasta 85%. De los resultados de las pruebas a la compresión no confinada, se optó por considerar a la combinación que obtuvo el mayor esfuerzo resistente (5.42 kg/cm^2) como la óptima (9.5 mm a 2%). Posteriormente fueron realizados ensayos de expansión-consolidación unidimensional, de valor de soporte de California (CBR) y de tensión indirecta (ensayo brasileño) al suelo en estado remoldeado y al suelo fibro reforzado con la combinación óptima. Del comparativo de resultados, se presentan las conclusiones finales.

Conclusiones:

- A pesar de que la longitud de la fibra no es una variable estadísticamente significativa en la obtención de mejores resultados, sí lo es en el proceso de mezclado, teniéndose un mejor mezclado al ir disminuyendo la longitud de la fibra.
- Del análisis estadístico se concluye que las variables predictivas densidad seca y longitud, no tienen un efecto estadísticamente significativo, siendo las variables de contenido de agua y porcentaje de dosificación las que tienen la mayor importancia en la obtención de esfuerzos en el suelo fibro reforzado.
- Existe una relación de aumento de resistencia conforme aumenta la dosificación de la fibra, sin embargo, debe aclararse que entre mayor es la dosificación de la fibra, el proceso de mezclado y la obtención de una mezcla homogénea se vuelve más difícil.
- Ante pruebas de penetración como el CBR las fibras comienzan a actuar y presentar mejoras ante longitudes de penetración mayores a las consideradas por la prueba.
- En un ensayo de consolidación-expansión, las fibras lograron una disminución de expansión respecto al suelo remoldeado (12.8% respecto a

expansión libre y 4.2% en cuanto a presión de expansión), sin embargo en el proceso de secado presentaron un mejor comportamiento al no presentar grietas ni fracturas considerables.

- La inclusión de las fibras genera un comportamiento más dúctil ante pruebas de tensión en comparación al suelo sin refuerzo, el cual presenta una falla frágil.

2.2 BASES TEÓRICO – CIENTÍFICAS

2.2.1 Cantera de Quillahuata

La cantera de Quillahuata se ubica en el departamento del Cusco, provincia del Cusco, distrito de San Sebastián y Comunidad de Quillahuata, situada en la región sur de la república del Perú.

Figura 1: Ubicación Geográfica de la Cantera Quillahuata

UBICACIÓN GEOGRÁFICA			
Coordenadas		Coordenadas UTM	
Oeste	Sur		
71°56'11.23"	13°30'22.44"	182100 E	8504977 N



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas sobrepuestas que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo, 2002)

Según el (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015), el pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por capa de rodadura, base y sub base.

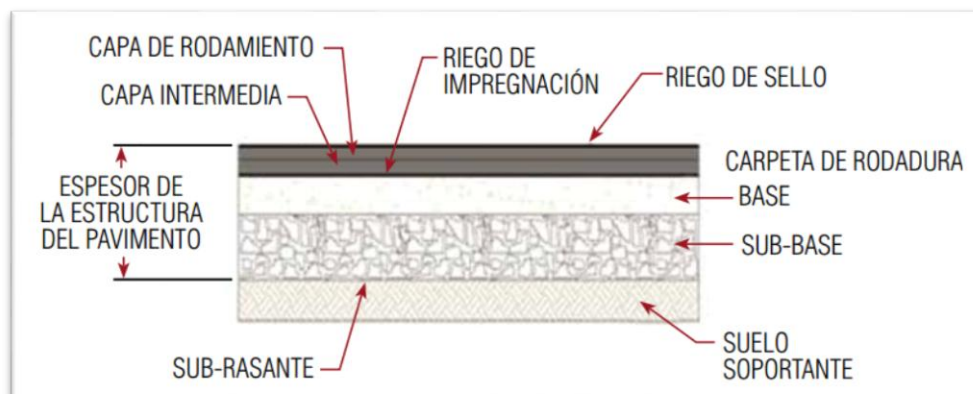
- ➔ Capa de rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- ➔ Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que sostiene, distribuye y trasmite las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR > 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- ➔ Sub base: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($CBR > 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

2.2.2.1 Tipos de Pavimentos

➔ Pavimentos Flexibles:

Es una estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y, de ser el caso, aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

Figura 2: Estructura de un pavimento flexible



Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015)

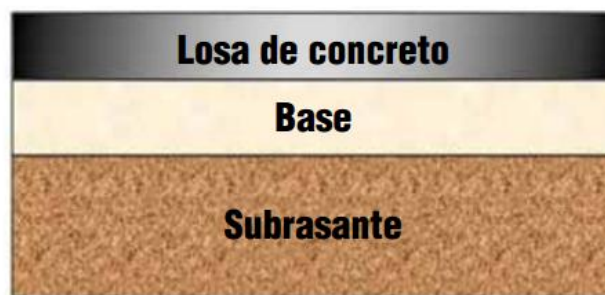
➔ Pavimentos Semi-rígidos:

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

➔ Pavimentos Rígidos:

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de sub base granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

Figura 3: Estructura de un pavimento rígido



Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015)

2.2.2.2 Diferencias entre un pavimento rígido y flexible

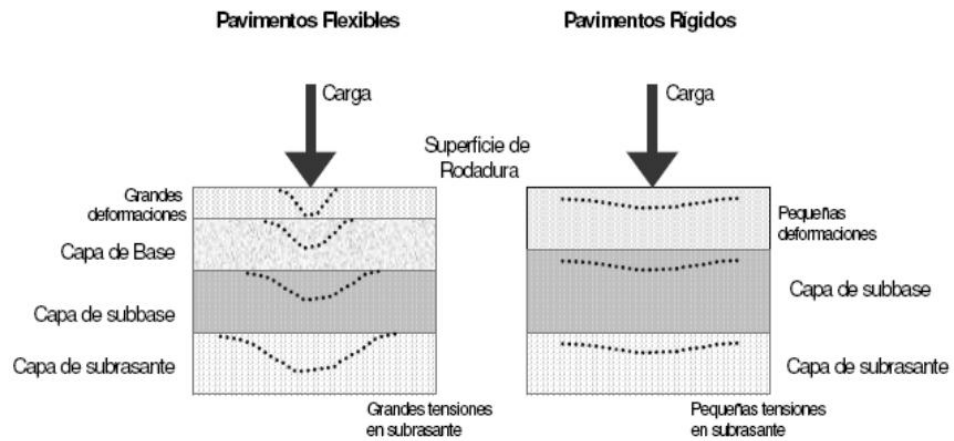
El comportamiento del pavimento frente a las cargas es diferente de acuerdo a al tipo de firme (flexible o rígido), siendo su principal diferencia la transmisión de cargas hacia la sub rasante.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura (alta rigidez de la losa de concreto) le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la sub rasante, transmitiendo presiones muy bajas a las capas inferiores. Por sí misma, la losa proporciona la mayor parte de la capacidad estructural del pavimento rígido.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, construido con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la sub rasante las cargas de manera más concentrada. La superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se

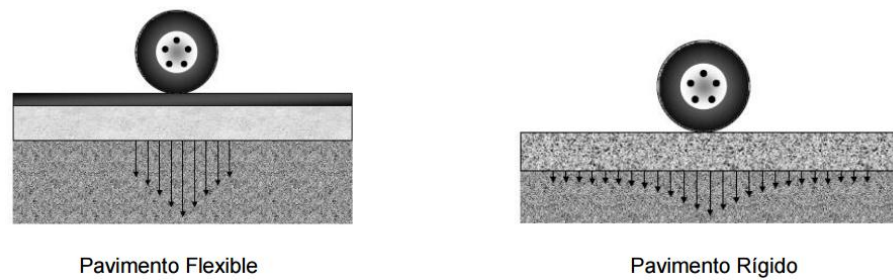
producen mayores tensiones en la sub rasante. Por todo lo antes mencionado, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la sub rasante.

Figura 4: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos



Fuente: (Coronado, 2002)

Figura 5: Cargas distribuidas en un pavimentos flexible y rígido

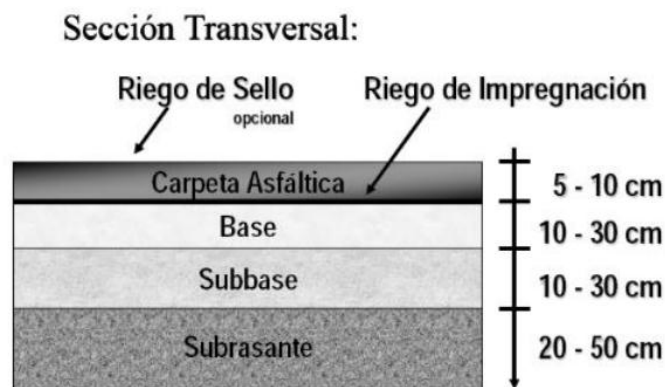


Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2005)

2.2.2.3 Clasificación de capas de un firme o pavimento flexible

El pavimento flexible o asfáltico está formado por varias capas, como se observa en la Figura N°6, dentro de las cuales se encuentra la sub-rasante, la sub-base, la base, estas dos últimas son elementos estructurales, que al estar ligados con la superficie, tienen por objetivo distribuir las cargas del tránsito a las sub-rasante, y por último encontramos la carpeta asfáltica, aquí se presentan las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, que están constituidas por gravas, arena y ligante, se pueden encontrar cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados. (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2005)

Figura 6: Sección transversal de las capas de un pavimento flexible



Fuente: (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2005)

Dentro de las principales funciones en conjunto de las capas del Firme flexible tenemos:

- ➔ Tener la impermeabilidad necesaria para que impida la filtración del agua, afectando principalmente la capacidad de soporte del suelo.
- ➔ Resistir de la mejor manera las cargas generadas por el tránsito, sin que estén produzcan deformaciones de ningún tipo en la estructura, considerando el espesor como factor fundamental.



- ➔ Soportar los diferentes agentes atmosféricos, esperando que no se generen problemas como la meteorización y alteración de los materiales que forman el pavimento, por lo que se debe poner atención en los materiales para que resistan los agentes físicos y químicos.
- ➔ Debe contar con una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y confort durante el tránsito de vehículos, siendo esta de aspecto agradable y entregarles seguridad a los usuarios.
- ➔ Poseer flexibilidad para adaptarse a las posibles fallas que se pueden presentar durante su vida de servicio.

(Torres, 2007)

1) Sub base de un pavimento flexible

Esta capa juega un rol meramente económico en los pavimentos flexibles, buscando obtener el espesor necesario utilizando el material más barato posible, lo que trae un aumento en el espesor total del pavimento. La sub-base también aporta sirviendo de transición entre la base y la sub-rasante; siendo ocupada como un tipo de filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub-rasante, a su vez apoya en la absorción de las deformaciones que provienen de la sub-rasante. En general los espesores de las sub-base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suelen de 10 a 15 cm como dimensión mínima.

(Torres, 2007)

La sub base, es una capa que según el diseño puede o no colocarse. Se apoya sobre la sub rasante y los requisitos de calidad de los materiales que conforman la sub base son menos rigurosos que en la base, la razón de esto es que los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y van disminuyendo a medida que se profundizan. El módulo elástico de la sub base se evalúa con el módulo resiliente (MR). Una sub base granular con CBR del 40%



(CBR mínimo para sub bases granulares, según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000, Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, Oficina de Control de Calidad) tiene un MR de 17,000 psi (1,200 kg/cm²). (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Su función es:

- ➔ Reducir el coste de pavimento disminuyendo el espesor de la base
- ➔ Impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub rasante.
- ➔ Actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub rasante la contaminen deteriorando su calidad.
- ➔ Disminuye las deformaciones en la capa de rodadura producidas por cambios volumétricos de la capa sub rasante (cambios en su contenido de agua o cambios extremos de temperatura).
- ➔ Debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores.
- ➔ Debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

(Montejo, 2002)

2) *Base de un pavimento flexible*

La función principal de esta capa, es proporcionar un elemento resistente que pueda transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub-base y la sub-rasante, con una intensidad adecuada, sirviendo así a reducir el espesor de la carpeta de rodado, que es la más costosa. Un factor fundamental en la base, es el material que la constituye, éste debe ser friccionante y provisto de vacíos, para poder garantizar la resistencia correcta y la permanecía de esta en el tiempo, bajo condiciones externas, como puede ser el contenido del agua.

Los espesores de las bases dependen del proyecto que se trate, pero suele considerarse que entre 10 a 15 cm, es el espesor mínimo para poder construir. Por ende de forma global en todo proyecto la base es la capa encargada de proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito.

(Torres, 2007)

La capa de base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre la sub base. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico, a la sub base y sub rasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. Esta capa está conformada por grava chancada, compactada al 100% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado. El módulo elástico de la base se evalúa con el módulo resiliente, MR. Una base granular con CBR del 100% tiene aproximadamente un valor MR de 30,000 psi (2,100 kg/cm²). (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Figura 7: Etapas para la preparación de la base



Fuente: (Miranda, 2010)

3) *Carpeta asfáltica o capa de rodadura de un pavimento flexible*

Esta capa se coloca sobre la base. Siendo su objetivo principal proteger la estructura del pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar las filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores, evitando que afecte directamente a las otras capas del pavimento. Esta capa también contribuye en la capacidad de soporte del pavimento, absorbiendo cargas, esto considerando un espesor mayor a 4 centímetros. (Torres, 2007)

La carpeta de rodamiento proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color adecuado, que debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente. Podemos mencionar también que la carpeta es una capa muy rígida con valores altos de módulo. El método de diseño AASHTO 1993 considera como parámetro de diseño de la carpeta asfáltico el módulo resiliente, para mezclas asfálticas en caliente estos valores varían de 400,000 a 450,000 PSI (28,000 a 32,000 kg/cm²) a 20°C. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

2.2.2.4 *Ventajas y desventajas de un pavimento flexible*

De acuerdo con (Dirección de Inversión Pública, 2015), tenemos:

1) *Ventajas:*

- ➔ Resulta más económico en su construcción inicial.
- ➔ Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.

2) *Desventajas:*

- ➔ Requiere mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.
- ➔ Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro de cuotas de peaje, rampas, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando. Las roderas llenas de

agua de lluvia en estas zonas, pueden causar derrapamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.

- ➔ Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- ➔ Una vez que se han formado roderas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.
- ➔ Las roderas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las roderas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.
- ➔ La reflexión de grietas es otra forma de falla de sobrecarpetas de asfalto, que puede reducir apreciablemente la vida útil esperada.
- ➔ La presencia de un nivel freático alto y/o de suelos débiles subyaciendo a un pavimento asfáltico que ha fallado, es muy probable que necesiten excavarse y rellenarse en un espesor a veces de más de un metro como etapa previa a la construcción.

2.2.2.5 Tipos de fallas en un pavimento flexible

Según (Miranda, 2010), los tipos de fallas presentes en una estructura de pavimento flexible son:

1) Fisuras y Grietas

➔ Fisuras y grietas por fatigamiento

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde

desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.

Figura 8: Pavimento con fisuras y grietas por fatigamiento



Fuente: (Miranda, 2010)

Posibles Causas:

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).
- Reparaciones mal ejecutadas, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

➔ *Fisuras y grietas en bloque*

En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo debido al tránsito.

Figura 9: Pavimento con fisuras y grietas en bloque



Fuente: (Miranda, 2010)

Posibles Causas:

- Es causada principalmente por la contracción del pavimento asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo que se produce en ciclos de esfuerzo – deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones
- Baja capacidad de soporte de la sub rasante o sub base.

→ *Fisuras y grietas longitudinales y transversales*

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Figura 10: Pavimento con fisuras y grietas longitudinales y transversales



Fuente: (Miranda, 2010)

Posibles Causas:

Las causas más a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de fisuras longitudinales es:

- Fatiga de la estructura, usualmente se presentan en las huellas de tránsito.

Otras causas para la conformación de fisuras transversales son:

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

2) Deterioro superficial

→ Ahuellamiento

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración.

Figura 11: Pavimento con ahuellamiento



Fuente: (Miranda, 2010)

Posibles Causas:

El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la sub rasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la sub rasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.


La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.

2.2.3 Suelos

Según (Duque & Escobar, 2002), son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

La estructura del suelo puede ser natural (la del suelo “in situ”), como un talud, canal en tierra o artificial (suelo como material de construcción), como un terraplén o un relleno.

Figura 12: Perfil del suelo (en geotecnia).

MECÁNICA DE SUELOS		VI Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
		V Suelo sin humus	
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS		IV Completamente descompuesto	Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.
		III Altamente descompuesto	
MECÁNICA DE ROCAS		II Parcialmente descompuesto	Fábrica estructural heredada.
		I Roca sana	Falla planar, en cuña o por caída.

Fuente: (Duque & Escobar, 2002)

2.2.3.1 Clasificación de Suelos

a. Sistema de Clasificación AASHTO

(Das, 2013) indica que este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras.

El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la tabla N° 02. De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7.

Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz # 200.

Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

- *Tamaño de grano Grava:* fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz #10 (2 mm).
- *Tamaño de Arena:* fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz # 200 (0.075 mm).
- *Tamaño de limo y arcilla:* fracción que pasa el tamiz # 200.
- *Plasticidad:* el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.
- Si se encuentran cantos y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.

Tabla 2: Sistema de clasificación de AASHTO

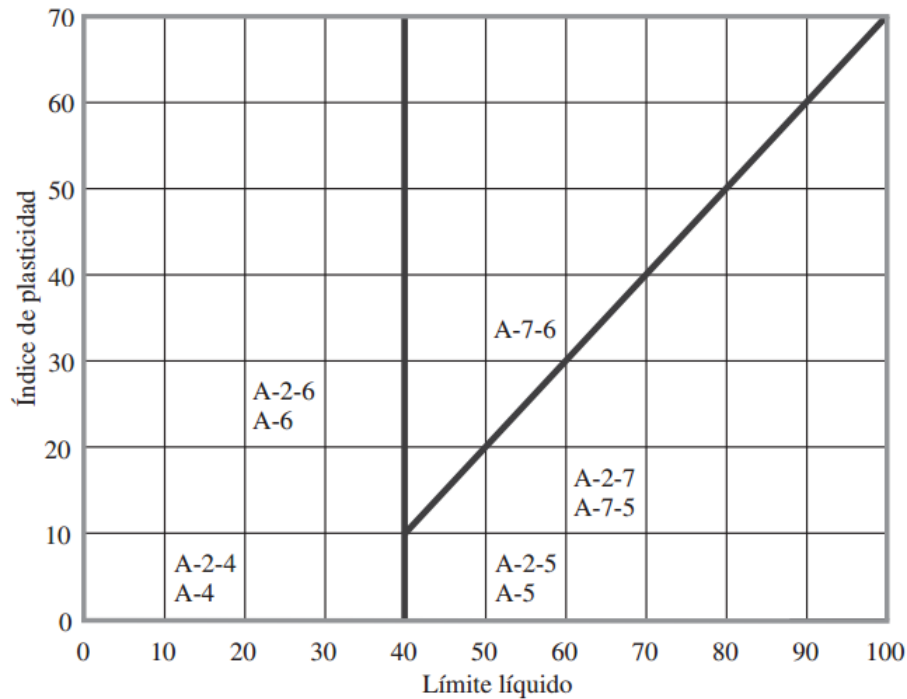
Grupo de clasificación	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante							
	Excelente a bueno						
Grupo de clasificación		A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†		
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200		36 mín.	36 mín.	36 mín.			36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido		40 máx.	41 mín.	40 máx.			41 mín.
Índice de plasticidad		10 máx.	10 máx.	11 mín.			11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
		Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante							
	Regular a malo						

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Fuente: (Das, 2013)

Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla N°02, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta. La figura N° 12 muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Figura 13: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7



Fuente: (Das, 2013)

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de sub base para carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación:

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

Donde:

F = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

A continuación se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

- Si la ecuación da un valor negativo para IG, se toma como 0.
- El índice de grupo calculado a partir de la ecuación, se redondea al número entero más próximo.
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para PI, o IG

$$IG = 0.01(F-15)(PI-10)$$

b. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

(Das, 2013) menciona que la forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1948. El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en la tabla N° 3 y clasifica los suelos en dos grandes categorías:

- Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso.
- Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- ✓ W: bien clasificado
- ✓ P: mal clasificado
- ✓ L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- ✓ H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Tabla 3: Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
		Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
			$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

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

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: (Das, 2013)

En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, la da el coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c .

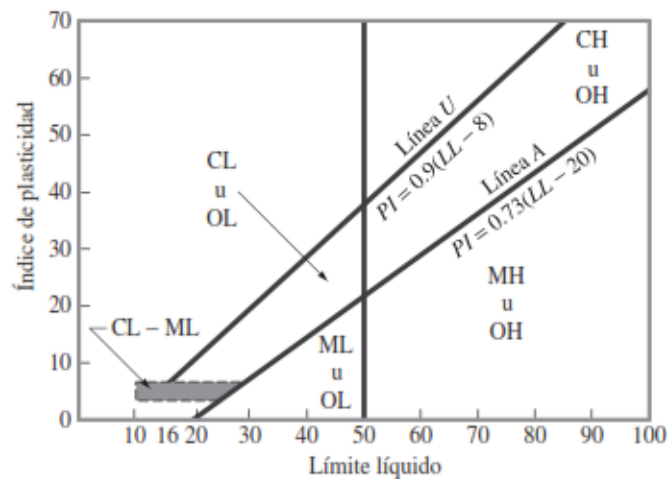
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \Rightarrow \text{bien gradado cuando } \begin{cases} C_u > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D_i ; $i = 10, 30, 60$ son los tamaños de las partículas, para el cual el i % del material es más fino que ese tamaño.

Para una clasificación adecuada se debe considerarse:

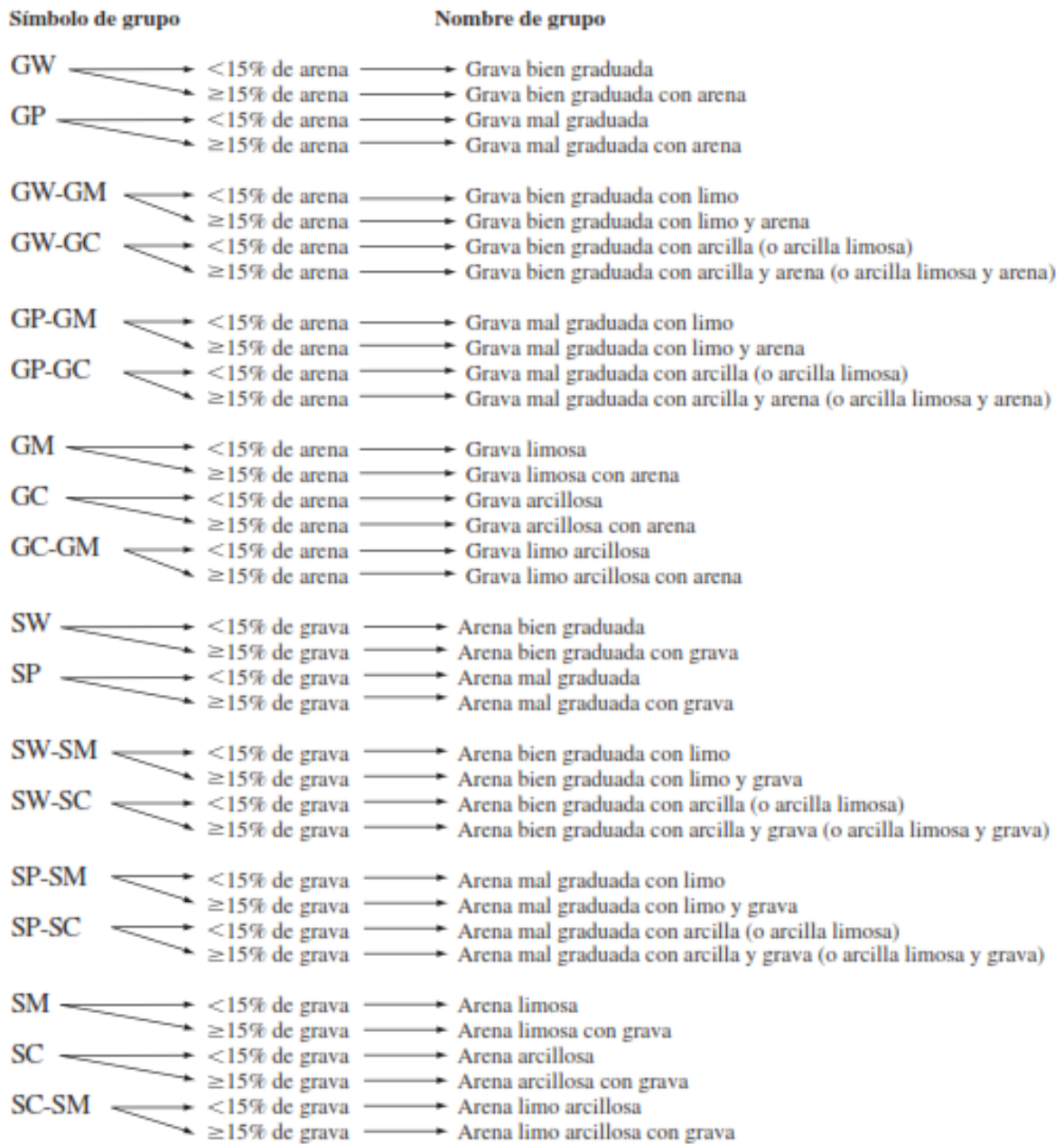
1. Porcentaje de grava, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura)
2. El porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
3. El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
4. El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de gradación (C_c)
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz núm. 40.

Figura 14: Gráfico de plasticidad



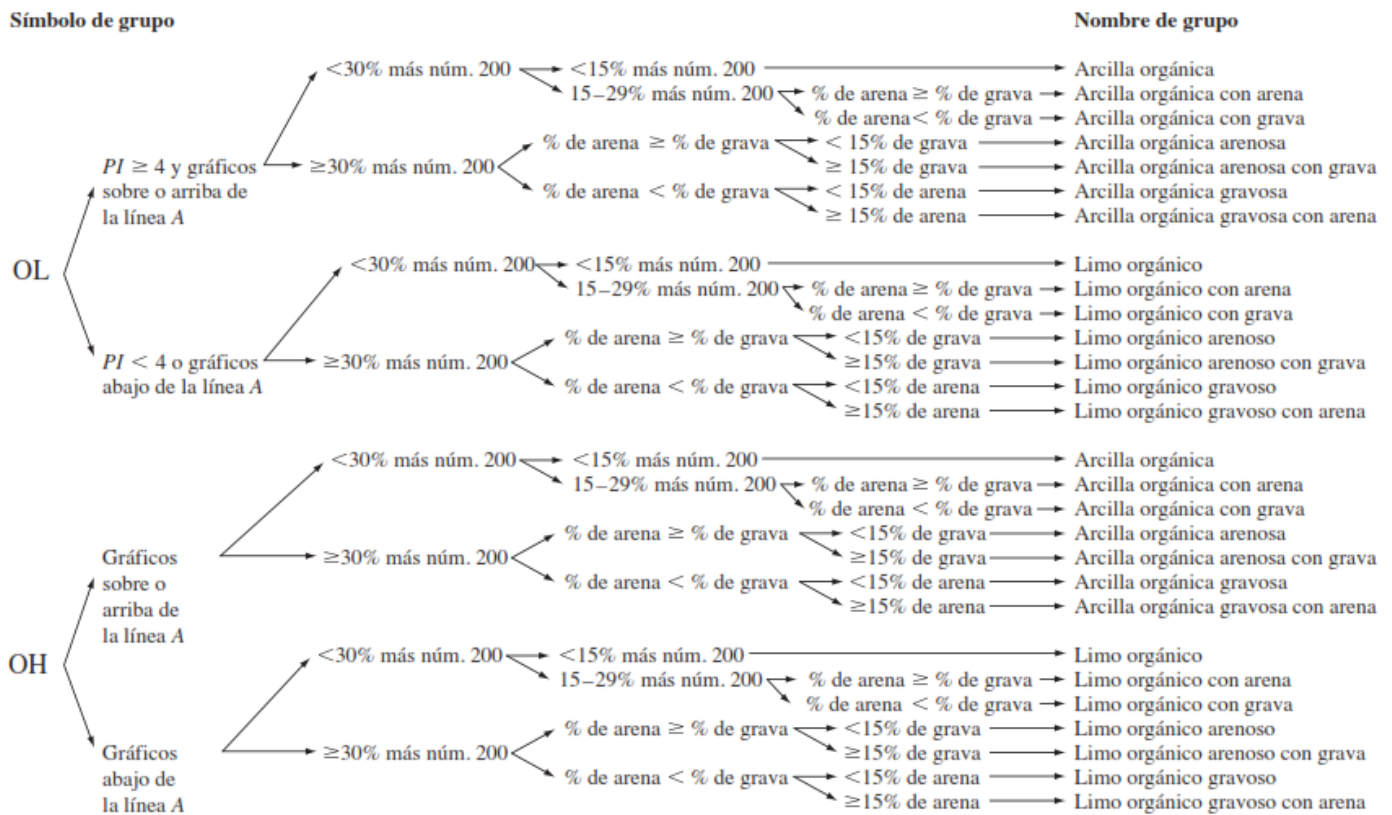
Fuente: (Das, 2013)

Figura 15: Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo



Fuente: (Das, 2013)

Figura 17: Diagrama de flujo de nombres de los grupos para limoso orgánico y suelos arcillosos



Fuente: (Das, 2013)

2.2.4 Plásticos en la construcción

“Plástico” proviene de la palabra griega PLASTIKOS que significa susceptible de ser moldeado o modelado. Los plásticos son aquellos materiales que, compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear y alterar su forma de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura. Lo que hace posible que por sus propiedades logren alcanzar un balance entre las necesidades de construcción de la población, la protección del medio ambiente y por qué no un equilibrio económico.

De acuerdo con (Construmática, 2010), el uso del plástico en la construcción ha tenido una gran aceptación e importancia; tanto en pavimentos, revestimientos,



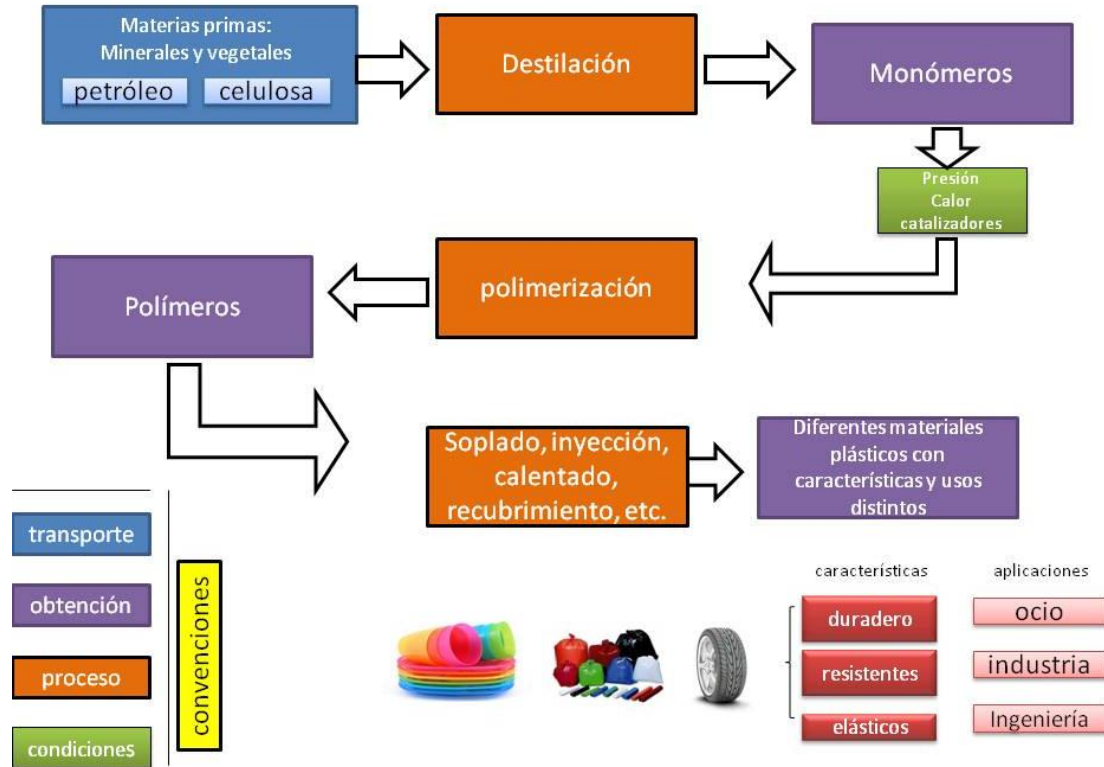
impermeabilización, aislamientos y en la elaboración de distintos elementos para instalaciones. Su costo reducido de fabricación, su resistencia al deterioro, la impermeabilidad y la posibilidad de colorearlos en diferentes tonos son algunos de los motivos que hacen que los plásticos sean tan populares. Sin embargo, también experimentan diversos contras; muchos de ellos no son idóneos al reciclaje por lo que pueden contribuir a la contaminación; por otra parte, los plásticos no suelen resistir el calor excesivo, derritiéndose y liberando, en ocasiones, sustancias tóxicas.

(Lastivida, 2007) cita algunas de sus propiedades más importantes y son:

- Durables y resistentes a la corrosión: Por eso los plásticos son ideales en aplicaciones como los marcos de ventanas y cañerías, y en algunos casos en donde se requieren aditivos especiales que les confieran propiedades de resistencia a la luz UV, pudiendo así estas aplicaciones durar por décadas sin requerir reparaciones o tareas de mantenimiento.
- Efectivos aislantes: tanto del frío como del calor, lo cual permite ahorrar energía, por lo tanto disminuir riesgos de contaminación.
- Tienen una muy buena relación costo/beneficio.
- Son de fácil procesado e instalación: así protegen la salud de quienes deben manipular con estos materiales al disminuir las posibilidades de accidentes.
- Son amigables con el medio ambiente: al finalizar su vida útil, los plásticos de la construcción pueden ser reutilizados, reciclados o transformados en una fuente de energía.
- Son livianos: por su bajo peso específico frente a otros materiales utilizados en la construcción y la posibilidad de utilizar menores espesores para iguales resistencias mecánicas y/o químicas reducen las horas hombre y protegen la salud de quienes manipulan los plásticos, al no exponerlos a grandes esfuerzos físicos. También minimizan la necesidad de equipos pesados, como grúas. Los plásticos son más fáciles de transportar y almacenar. Todos estos factores disminuyen los riesgos de accidentes, de contaminación y protegen la salud.

2.2.4.1 Proceso de producción del plástico

Figura 18: Proceso de producción del plástico



Fuente: (Sanchez, 2012)

2.2.4.2 Tipos de plásticos con sus respectivas aplicaciones y usos

La (Universidad de Salamanca, 2010) señala que para favorecer el conocimiento de los distintos materiales plásticos, especialmente en el momento de su clasificación, la Sociedad de Industrias Plásticas de los Estados Unidos (SPI) ha difundido un código de identificación de uso corriente a nivel internacional.

Existen más de 100 tipos de plásticos, los más comunes son sólo 6 y se los identifica con un número dentro de un triángulo (símbolo de reciclaje) para efecto de facilitar su clasificación para el reciclado.

**a. Polímeros termoplásticos**

Son polímeros (lineales, ramificados o no), que de manera reiterativa se pueden reblandecer (plastificar) por la acción del calor y endurecer al enfriarse.

Por lo general los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas.

- Poliolefinas
- Polimerizados del estireno
- Polímeros halogenados
- Ésteres de polivinilo y polimetacrilato
- Óxidos, sulfonas y similares

b. Polímeros termoestables

Son aquellas materias poliméricas que por la acción del calor o mediante endurecedores apropiados, endurecen de forma irreversible y al fundirse se descomponen químicamente.

Puesto que no funden y no reblandecen son materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas. Junto con su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, etc.

Entre algunos ejemplos de polímeros termoestables tenemos:

- Fenoplastos
- Aminoplasto
- Otras resinas
- Poliésteres
- Poliuretanos y similares
- Polímeros silicónicos

c. Polímeros elastómeros

Son sustancias constituidas por macromoléculas lineales unidas entre sí transversalmente, por puentes de enlace. En los elastómeros o cauchos las cadenas de polímero se encuentran enrolladas y retorcidas de forma arbitraria, lo que les confiere gran flexibilidad para permitir que el material sea capaz de soportar deformaciones muy grandes.

Son materiales muy tenaces, resistentes a aceites, grasas, al ozono y presentan buena flexibilidad a bajas temperaturas. Sin embargo poseen la desventaja de requerir un procesado lento, lo que consume grandes cantidades de tiempo y energía.

2.2.5 Termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

2.2.5.1 Descripción

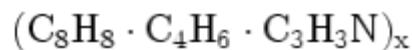
El acrilonitrilo butadieno estireno o ABS es un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos. Es un polímero obtenido de la polimerización del estireno y acrilonitrilo en la presencia del polibutadieno, resultado de la combinación de los tres monómeros, originando un plástico que se presenta en una gran variedad de grados dependiendo de las proporciones utilizadas de cada uno.

Básicamente, el estireno contribuye a la facilidad de las características del proceso, el acrilonitrilo imparte la resistencia química e incrementa la dureza superficial y el butadieno contribuye a la fuerza de impacto y dureza total. Las porciones pueden variar del 15-35% de acrilonitrilo, 5-30% de butadieno y 40-60% de estireno.

El resultado es una larga cadena de polibutadieno entrecruzada con cadenas más cortas de poli (estireno-co-acrilonitrilo). Los grupos nitrilo de las cadenas vecinas, siendo polares, atacan cada una de las bandas de las cadenas juntas haciendo el ABS más fuerte que el poliestireno puro.

El ABS se originó por la necesidad de mejorar algunas propiedades del poliestireno de alto impacto.

Su fórmula química es:

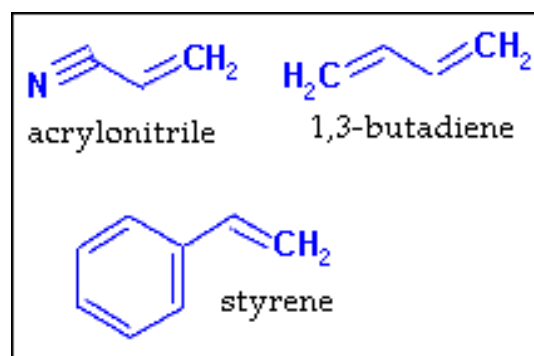


Para obtenerlo, originalmente se mezclaban emulsiones de dos polímeros, SAN y polibutadieno. La mezcla era coagulada para obtener el ABS.

Como ya se había comentado, se prefiere polimerizar estireno y acrilonitrilo en presencia de polibutadieno. De esa manera, una parte del estireno y del acrilonitrilo se copolimerizan formando SAN y otra porción se injerta sobre las moléculas de polibutadieno.

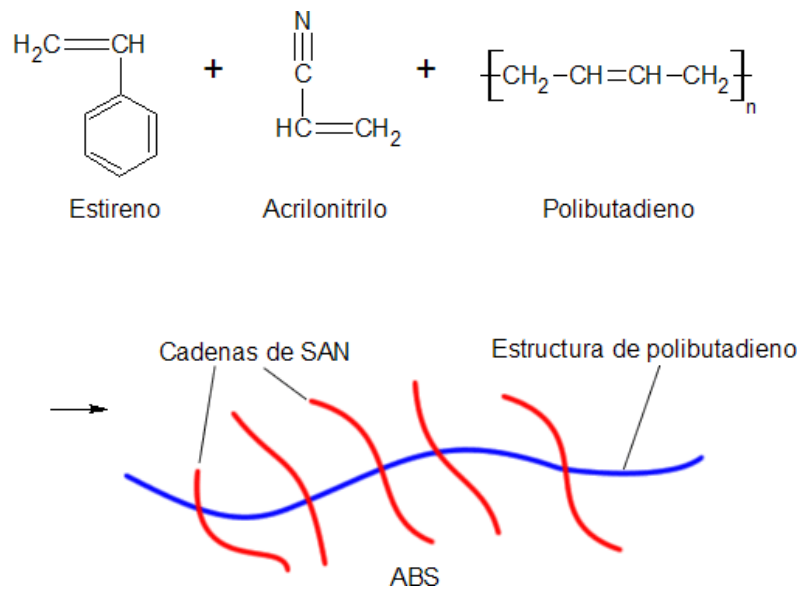
Fuente: (QuimiNet, 2016)

Figura 19: Fórmula estructural del ABS



Fuente: (QuimiNet, 2016)

Figura 20: Reacción del ABS



Fuente: (QuimiNet, 2016)

2.2.5.2 Propiedades

Cada uno de los monómeros le da diversas características, QuimiNet (2016) indica que:

La incorporación del acrilonitrilo, estireno y butadieno, da ciertas características al material, que son listadas a continuación:

Acrilonitrilo:

- Resistencia química
- Resistencia a la fatiga
- Dureza y rigidez
- Resistencia a la fusión

Butadieno:

- Ductilidad a baja temperatura
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fusión



Estireno:

- Facilidad de procesado (fluidez)
- Brillo
- Dureza y rigidez

Dentro de sus propiedades físicas se encuentran:

- Fuerza tensil: 40-50 Mpa
- Fuerza al impacto (Notched Impact Strength) : 10-20 Kj/m²
- Coeficiente de expansión térmica: 70-90 x10⁻⁶
- Temperatura de uso máximo (Max Cont Use Temp) : 80-95 °C
- Densidad: 1.0-1.05 g/cm³

Alguna de la resistencia a químicos se enlista a continuación:

- Ácido diluido: muy bueno
- Alkali diluido: muy bueno
- Aceites y grasas: muy bueno
- Hidrocarburos alifáticos: moderado
- Hidrocarburos aromáticos: pobre
- Hidrocarburos halogenados: pobre
- Alcoholes: pobre (variable)

Además de ello, Tecnología de los Plásticos (2011) menciona que:

- Excepto en películas delgadas, es opaco y puede ser de color oscuro o marfil y se puede pigmentar en la mayoría de los colores, obteniéndose partes lustrosas de acabado fino.
- La mayoría de los plásticos ABS son no tóxicos e incoloros.
- Pueden ser extruidos, moldeados por inyección, soplado y prensado. Generalmente los grados de bajo impacto son los que más fácil se procesan. Los de alto impacto son más dificultosos porque al tener un mayor contenido en caucho los hace más viscosos.
- A pesar de que no son altamente inflamables, mantienen la combustión. Hay algunos tipos autoextinguibles para cuando se

requiere algún producto incombustible, otra solución consiste en aplicar algún retardante de llama.

Dentro de una variedad de termoplásticos el ABS es importante por sus balanceadas propiedades. El ABS se destaca por combinar dos propiedades muy importantes como ser la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto en un mismo material, además de ser un material liviano.

Tabla 4: Propiedades cualitativas

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Cap. de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente buena aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados
Formado	Se adaptan bien a las operaciones secundarias de formado. Cuando se calientan, los perfiles extruidos, se pueden doblar y estampar.

Facilidad de maquinado	Sus características son similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, torneare, aserrar y troquelar
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electro plateado
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg mm ²
Recocida	Se mantiene 5° C arriba de la Temp. de distorsión durante 2 a 4 h.

Fuente: (Tecnología de los Plásticos, 2011)

Tabla 5: Propiedades Cuantitativas:

Prueba No. (ASTM o UL)	Propiedades	ABS
<i>Propiedades Físicas</i>		
D792	Densidad (lb/plg ³)	0.038
	(g/cm ³)	1.04
D570	Absorción de Agua, 24 h (%)	–
<i>Propiedades Mecánicas</i>		
D638	Fuerza Tensil (psi)	6,500
D638	Módulo Elástico (psi)	340,000
D638	Elongación Tensil al Quiebre (%)	25
D790	Fuerza de Flexión (pis)	11,000
D790	Módulo de Flexión (psi)	320,000
D695	Fuerza de Compresión (psi)	–
D695	Módulo de Compresión (psi)	–
D785	Dureza (escala Rockwell)	R105
D256	Prueba de Impaco IZOD (pie-lb/plg)	7
<i>Propiedades Térmicas</i>		
D696	Coefficiente de Expansión Térmica Lineal [(x 10 ⁻⁵ in.)/in./°F]	5.3
D648	Temperatura de Deflexión Térmica (°F / °C) a 264 psi	215 / 102
D3418	Temperatura de Fusión (°F / °C)	– / –
–	Temperatura Máxima de Operación (°F / °C)	140 / 60
C177	Conductividad Térmica (BTU-in/ft ² -hr-°F)	–
	(x 10 ⁻⁴ cal/cm-sec-°C)	–
UL94	Índice de Flamabilidad (índice “UL”)	H-B
<i>Propiedades Eléctricas</i>		
D149	Rigidez Dieléctrica (V/ml) tiempo corto, espesor 1/8”	–
D150	Constante Dieléctrica a 60 Hz	–
D150	Factor de Disipación a 60 Hz	–
D257	Resistividad Específica (ohm-cm) a 50% RH	10 ⁱ⁵

Fuente: (BASF, 2005)

2.2.6 California Bearing Ratio (C.B.R.)

Los métodos de diseño de pavimentos relacionan el valor de la capacidad de soporte del suelo o CBR con el módulo resiliente del material. El módulo resiliente es el parámetro que se utiliza en el diseño del pavimento.

El módulo resiliente se obtiene de ensayos triaxiales mediante ciclos de carga y descarga; sin embargo, AASHTO 2002 presenta una ecuación que permite correlacionar el valor del módulo resiliente con el del CBR. De aquí la importancia de evaluar adecuadamente el CBR del material.

El ensayo de “California Bearing Ratio” o CBR, es un ensayo relativamente simple, comúnmente usado para obtener un índice de la resistencia del suelo de subrasantes, material de base, sub base o afirmado.

Para materiales de base, sub base y afirmado, así como subrasantes granulares, el CBR puede estar asociado a la máxima densidad seca del próctor modificado; sin embargo, para subrasantes finas (subrasantes arenosas, arcillosas o limosas) el valor del CBR debe estar asociado a su densidad de campo. Investigaciones han demostrado que el CBR de suelos finos en muestras compactadas al OCH y MDS, arrojan valores de CBR muy por encima de su valor real. Tranquilamente una arcilla compactada al OCH y MDS puede tener un CBR de 15%, pero ensayada en su condición natural el CBR puede ser menor a 2 ó 3%.

Los especímenes pueden ensayarse en su condición natural o saturada, luego de un período de inmersión en agua, la condición saturada es la más desfavorable.

El CBR es la relación (expresada en porcentaje) entre la resistencia a la penetración requerida para que un pistón de 3 pulg² de área penetre 0.1 pulg dentro de un suelo entre 1000 psi que es la resistencia a la penetración de una muestra patrón. La muestra patrón es una piedra chancada. El CBR se expresa como:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{1,000 \text{ lb / pulg}^2} \times 100$$

En ocasiones, el CBR calculado para una penetración de 0.2 pulg con su correspondiente resistencia a la penetración estándar de 1500 psi, puede ser mayor que el obtenido para una penetración de 0.1 pulg. Cuando esto ocurre, se debe realizar un nuevo ensayo, si los resultados son similares, el valor del CBR para 0.2 pulg de penetración, se reporta como el CBR representativo de la muestra. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Los valores de índice de CBR oscilan entre 0 y 100. Cuando mayor es su valor, mejor es la capacidad portante del suelo. Valores por debajo de 6, deben descartarse

2.2.7 Módulo resiliente

El módulo resiliente se define, como aquel que relaciona las tensiones aplicadas y las deformaciones recuperables (AASHTO, 1993). Se introdujo el término módulo resiliente como la relación que existe entre la magnitud del esfuerzo desviador cíclico en compresión triaxial y la deformación axial recuperable. (Reyes & Rondón, 2007)

Matemáticamente la ecuación del módulo resiliente está dada por:

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r}$$

Donde:

Mr: Modulo resiliente

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$: Esfuerzo desviador dinámico

ε_r : Deformación unitaria recuperada

σ_1 : Esfuerzo axial. Esfuerzo principal mayor

σ_3 : Presión de confinamiento. Esfuerzo principal menor

Sobre las capas del pavimento se producen deformaciones permanentes y recuperables o resilientes. Después de un cierto número de ciclos de carga, el material tiende a poseer casi en su totalidad deformaciones resilientes.

En la teoría elástica tradicional el módulo de elasticidad (E) y la relación de Poisson define las propiedades elásticas de un material. Para describir el comportamiento recuperable de un material sujeto a cargas cíclicas cargado en un aparato triaxial se utiliza M_r . El módulo resiliente es no lineal y dependiente del esfuerzo.

2.2.8 Especificaciones Técnicas de Material de Sub Bases

Los agregados empleados en la construcción de carreteras, deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida

Los materiales para la construcción de la subbase granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013.

2.2.8.1 Especificaciones Granulométricas

Los materiales granulares que conformaran las capas de afirmado, sub base y base, deben cumplir con rangos granulométricos especificados por el MTC.

Tabla 6: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

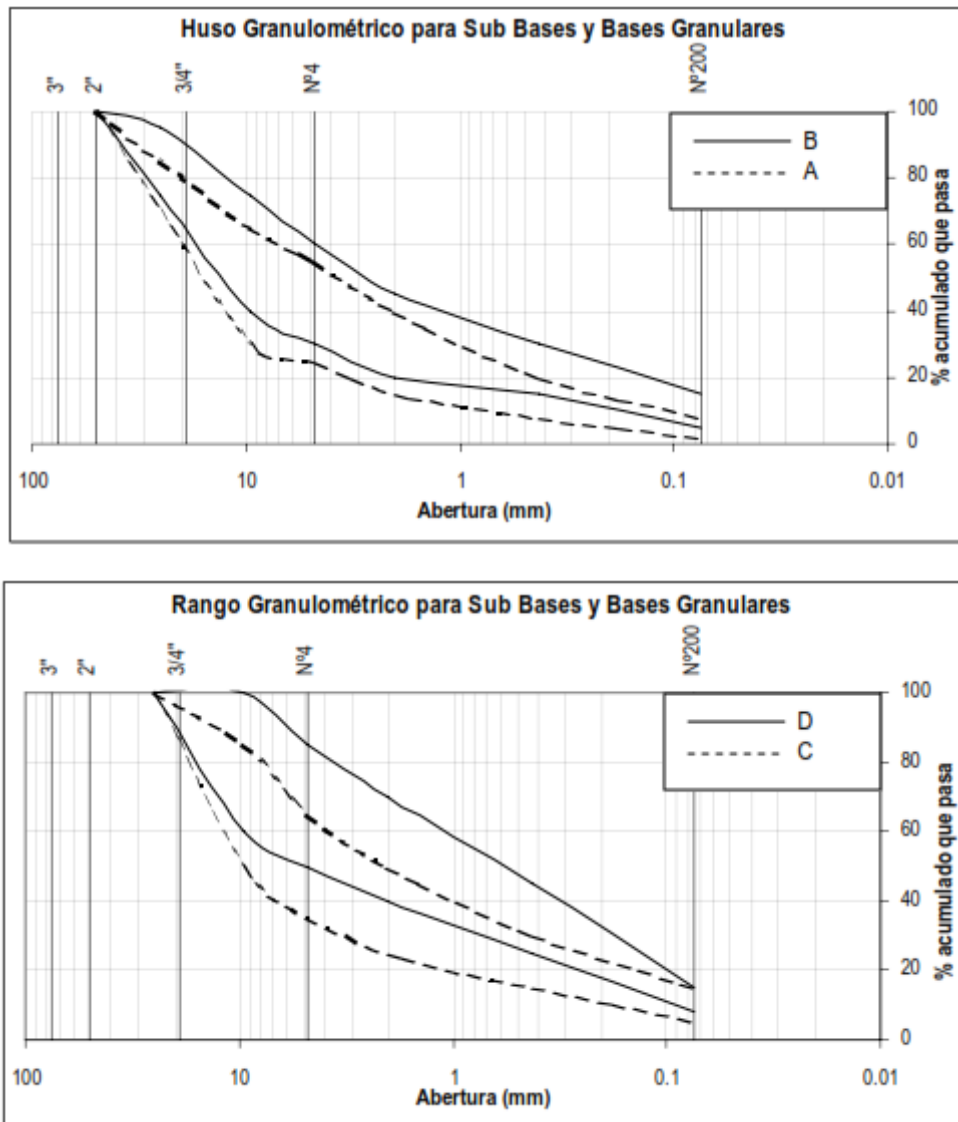
Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. ($\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 μ m. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 μ m. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241

Notas: (1) La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

La forma de la curva de distribución de tamaños de partículas, indica si los tamaños varían en un rango amplio (curva C) o estrecho (curva B); si el rango tiende a los tamaños mayores del suelo grueso (A) o a los menores del suelo fino (C). Si todos los tamaños tienen proporciones en peso relativamente iguales, el rango es amplio y la curva suave, el suelo así será bien gradado (A y C). La mala gradación puede ser por falta de extensión (B) o por discontinuidad.

Figura 21: Rangos granulométricos para materiales de sub base y base granulares (MTC)



Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

2.2.8.2 Calidad de Agregados

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos de suelos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas emitidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG-2013.

Los ensayos y rangos aceptados dentro de los mismos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 7: Subbase Granular: Requerimientos de Ensayos Especiales

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-.-	-.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-.-	D 4791	-.-	20% máx.	20% máx.

Notas:

- (1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)
- (2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013)

2.2.9 Ensayos pertinentes

2.2.9.1 *Ensayo Proctor Modificado, ASTM D 1557*

La compactación de suelos constituye un capítulo importantísimo y se halla íntimamente relacionada con la pavimentación de carreteras, vías urbanas y pistas de aterrizaje. El ensayo de compactación mediante el ensayo de proctor modificado, relaciona la humedad del suelo versus su densidad seca, empleando un martillo de 4.54 kg (10 lb) soltado desde una altura de 457 mm (18 pulg), transmitiendo una energía de compactación de 56,000 lb-pie/pie ó 2,700 kN-m/m.

El suelo extraído de campo es compactado en un molde de dimensiones conocidas, con diferentes contenidos de humedad. Para contenidos bajos de humedad el suelo no se compactará adecuadamente, porque no existe la lubricación que permita el acomodo de las partículas. Para altos contenidos de humedad el suelo pierde densidad, porque el agua entre las partículas impide que estas se junten. Solo se tendrá una máxima densidad seca, MDS.

La humedad a la que la muestra alcanza su máxima densidad seca, se denomina óptimo contenido de humedad. Los resultados de este ensayo son graficados como se muestra en la figura 9.

Los resultados de la figura 9 indican que el suelo ensayado alcanza su máxima densidad seca, MDS, a 2.176 gr/cm³ y el contenido de agua asociado a esta densidad, OCH, es 7.88%.

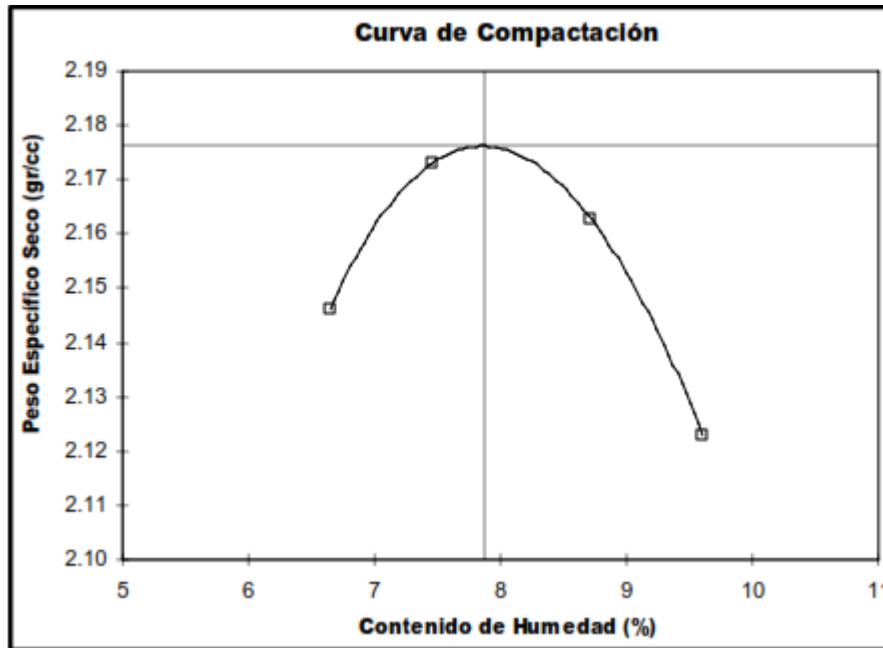
En suelos granulares densos, la densidad de campo es muy cercana a la MDS del proctor modificado; sin embargo, en suelos finos como las arenas y arcillas limosas, la densidad de campo, generalmente, es mucho menor que la MDS.

La Humedad Natural de Suelos Arenosos y Limo-Arcillosos muchas veces alcanzan valores muy por encima del O.C.H. y la Densidad Natural presenta valores mucho menores al Ensayo Proctor Modificado. En Conclusión, el terreno de fundación no alcanzará y/o estará lejos de la

Densidad Equivalente al 95% ó 100% de la MDS, criterio que se asume como regla general.

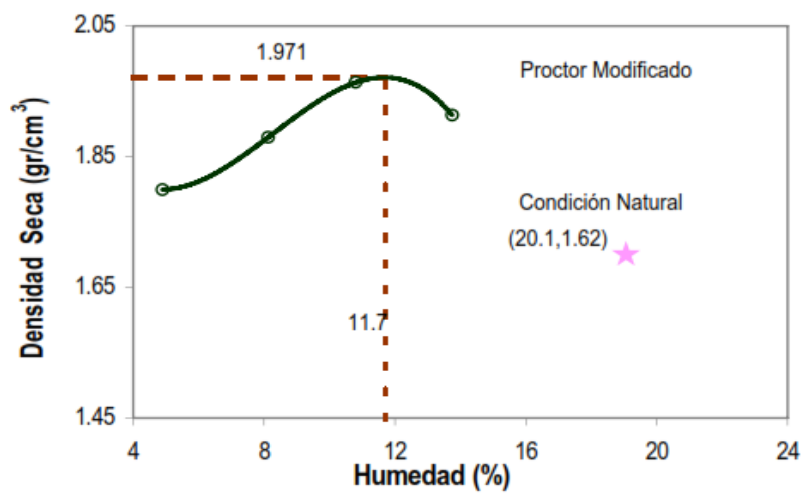
(Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Figura 22: Curva de compactación del proctor modificado



Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Figura 23: Curva Densidad Seca –Humedad.



Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

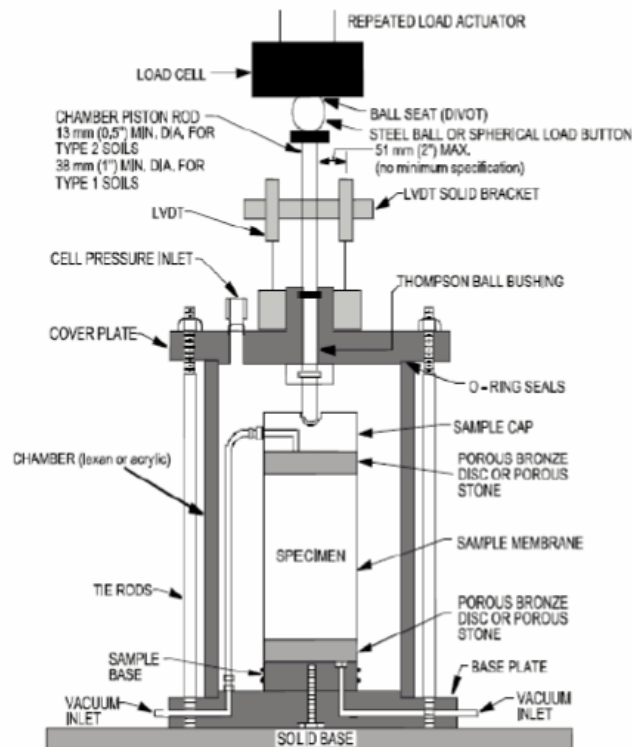
2.2.9.2 Ensayo del módulo resiliente para suelos

El ensayo del módulo resiliente es similar a un ensayo triaxial, se aplica un esfuerzo desviador cíclico a la muestra previamente confinada. El esfuerzo desviador está en función de la velocidad, carga y confinamiento.

La norma AASHTO T274 que estandariza el ensayo del módulo resiliente, en su última revisión de 1999, considera que el espécimen puede alcanzar una deformación máxima de 5%. Si la muestra tiene valores mayores de deformación, el módulo resiliente ya no es representativo.

El esfuerzo desviador está en función de la velocidad directriz de la vía. Si el vehículo se desplaza lentamente, como en zonas agrestes de fuerte pendiente (carretera central, velocidad entre 10 a 20 km/h), el terreno de fundación podrá deformarse mucho más que en el caso el vehículo circulase rápidamente. (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

Figura 24: Celda triaxial cíclico ensayo de resiliencia.



Fuente: (Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)



Cuando la carga aplicada es lenta el módulo resiliente (M_r) se acerca al módulo elástico (E). El ensayo de módulo resiliente se realiza para las condiciones a las que estará sometida la vía.

2.2.9.3 *Ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207*

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Abrasión de Los Ángeles, ASTM C-131 ó MTC E 207, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

El porcentaje de desgaste se calcula como la diferencia del peso inicial menos el peso final de la muestra ensayada, entre el peso inicial.

(Minaya González & Ordóñez Huamán, 2006)

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

Figura 25: Máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

2.2.9.4 *Determinación de los Límites de Atterberg*

De acuerdo con (Shuan, 2004), la consistencia de un suelo es la relativa facilidad con la que puede ser deformado y depende de un contenido de humedad determinado. Para los suelos cohesivos se definen cuatro estados de consistencia:

- Sólido
- Semisólido
- Plástico
- Líquido

La frontera entre tales estados son los llamados límites de Atterberg y estos se utilizan para clasificar e identificar los suelos.

- **Límite Líquido ASTM D-4318, AASHTO T-89, MTC E 110-2000**

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

➔ *Determinación del Límite Líquido*

El procedimiento general consiste en colocar una muestra húmeda en la copa de Casagrande, dividirlo en dos con el acanalador y contar el número de golpes requerido para cerrar la ranura.

Si el número de golpes es exactamente 25, el contenido de humedad de la muestra es el contenido de humedad de la muestra es el límite líquido.

El procedimiento estándar es efectuar por lo menos tres determinaciones para tres contenidos de humedad diferentes, se anota el número de golpes y su contenido de humedad. Luego se grafican los datos en escala semilogarítmica y se determina el contenido de humedad para $N= 25$ golpes.

Figura 26: Copa de Casagrande



Fuente: (Shuan, 2004)

Tabla 8: Relación entre el grado de expansión y el límite líquido según Dakshanamurthy y Raman (1973)

Límite Líquido (%)	Grado de Expansión
0-20	No hay hinchamiento
20-35	Bajo hinchamiento
35-50	Hinchamiento medio
50-70	Alto hinchamiento
70-90	Hinchamiento muy alto
mayor que 90	Hinchamiento extra alto

Fuente: (Shuan, 2004)

▪ **Límite Plástico e Índice de Plasticidad MTC E 111-2000**

Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico. El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos ó cilindros pequeños y se puede utilizarse para estimar asentamientos en problemas de consolidación.

Tabla 9: Relación entre el potencial de hinchamiento y el índice de plasticidad según Seed, Woodward y Luddgren, 1962

Índice Plástico	Potencial de Hinchamiento
0-15	Bajo
10-35	Medio
20-55	Alto
35 o más	Muy Alto

Fuente: (Shuan, 2004)

$$\text{Índice Plástico} = \text{Límite líquido} - \text{Límite Plástico}$$

2.2.10 Estabilización de suelos

Se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos. La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

2.2.10.1 Mecanismos convencionales para la estabilización de suelos

Existen varios medios para mejorar la condición de un suelo que ha de ser utilizado para bases y sub bases, (Garnica Anguas, Gómez López, & Sesma Martínez, 2002) los dividen en 3 grupos:

- a) **Procedimientos mecánicos (compactación):**
 - Amasado (rodillos pata de cabra)
 - Impactos de carga (pisones)
 - Presión estática (rodillos lisos y neumáticos)
 - Vibración (rodillos vibratorios)
 - Métodos mixtos (combinación de los métodos anteriores)
- b) **Procedimientos químicos (estabilizaciones):**
 - Cal
 - Cemento Portland
 - Ceniza Volante (Fly Ash)
 - Asfaltos
 - Otros
- c) **Procedimientos físicos:**
 - Mezcla (suelo con suelo)
 - Confinamiento (suelos friccionantes)
 - Consolidación previa (suelos finos arcillosos)
 - Vibroflotación

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE LA TESIS

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa porque según (Landeau, 2007): *“buscan la verificación o comprobación deductiva de proposiciones causales elaboradas fuera del lugar en el que se realiza la investigación; es por ello por el que se construyen hipótesis específicas entre las variables y luego comprueban la medida de tales efectos”*.

Es por ello que establecimos teorías iniciales de investigación de las cuales derivamos hipótesis, medimos las variables formuladas en la matriz de consistencia, evaluamos estas mediciones y elaboramos conclusiones al finalizar la investigación.

3.1.2 Nivel de la investigación

La investigación es descriptiva puesto a que según (Landeau, 2007) : *“busca evaluar diversos aspectos de un universo, con la finalidad de identificar características o establecer propiedades importantes que permitan informar sobre el fenómeno estudiado”*.

La investigación es también aplicativa porque enmarca la innovación técnica en cuanto a su proceso, resultados e impacto.

3.1.3 Método de investigación

Es Hipotético – Deductivo porque según (Landeau, 2007): *“se inicia con la teoría, se desarrolla las proposiciones y conceptos que se requieren, para luego aplicarlos de manera empírica a algún conjunto de datos donde se espera ratificar el sistema teórico”*.

Es por ello que se planteó una hipótesis la cual se demostró en base a la deducción de los valores obtenidos al cuantificar las variaciones.



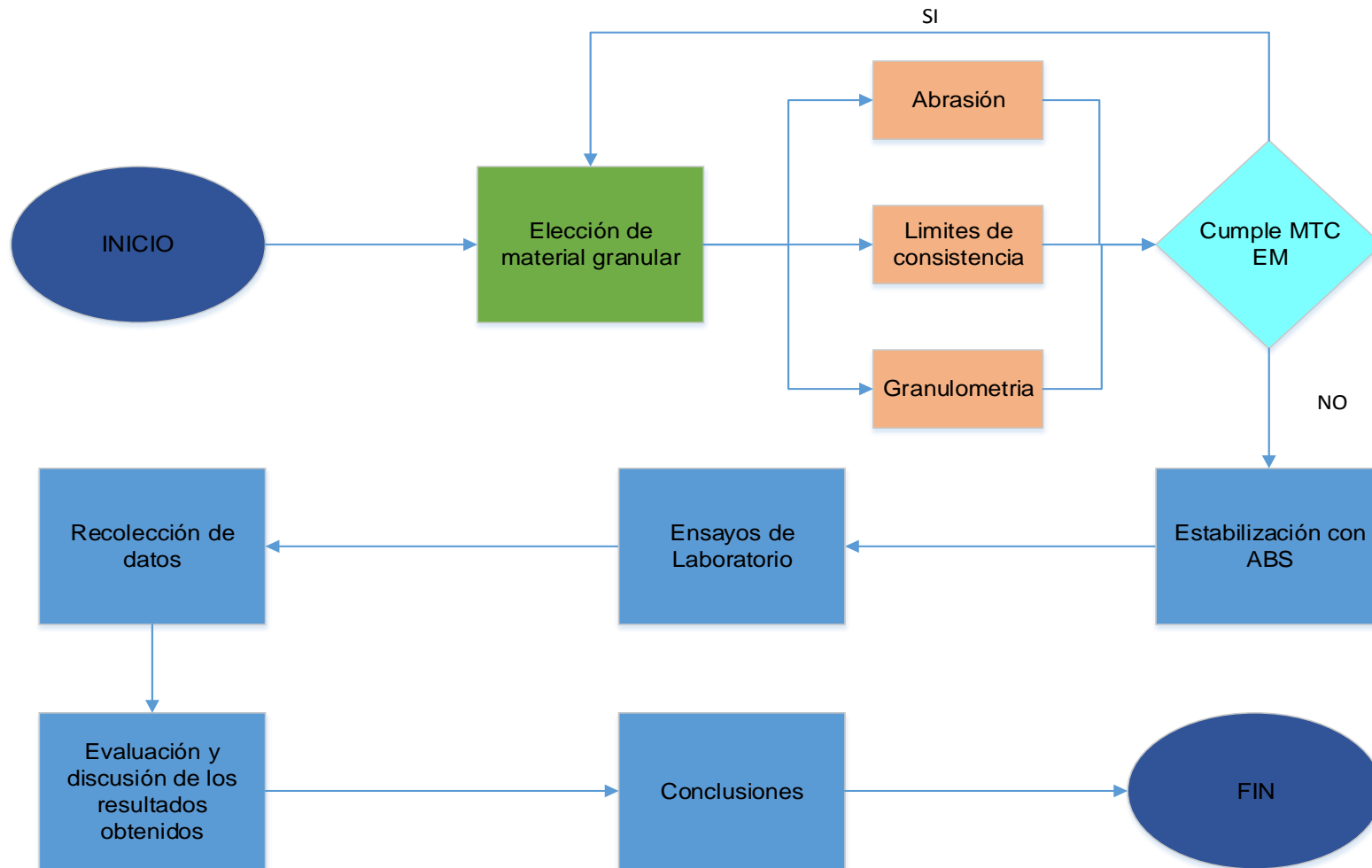
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Diseño metodológico

En la presente investigación que se desarrolló, el tipo de diseño metodológico a emplearse será el experimental, ya que el tema de nuestra tesis consiste en el análisis de la capacidad de soporte del material de sub base estabilizada con Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). Según el autor (Arias, 2012), define: *“La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”*.

3.2.2 Diseño de ingeniería

Figura 27: Diseño de ingeniería



Fuente: Elaboración Propia



3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción

Según (Hernández, 1997) define a la población como: “*El conjunto de todos los casos que concuerden con una serie de especificaciones*”.

La población que consideramos para el trabajo de investigación es el material granular de sub base, extraído de la cantera de Quillahuata, adicionado con el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población que consideramos son de 6 moldes de CBR con material patrón de sub base convencional más 24 moldes de CBR con el mismo material de sub base adicionado con termoplástico ABS, que nos daría en total 30 moldes de CBR.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra está conformada por el material patrón de sub base y el mismo pero adicionado exclusivamente con termoplástico ABS en porcentajes de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% del peso seco del material granular que ingresa en el molde de CBR.

Para esta investigación el agente aditivo (ABS) tiene un diámetro estándar de 3 mm y una forma esférica.

El material de sub base que se utilizó fue extraído únicamente de la cantera de Quillahuata, distrito de San Sebastián, provincia Cusco y departamento Cusco.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

La muestra incluye el total de 30 moldes de CBR; 6 moldes con material patrón de sub base y 24 con el mismo material pero adicionado con diferentes porcentajes de termoplástico ABS.

Tabla 10: Cuantificación de la muestra

Ensayos de CBR	Moldes de CBR con material patrón de sub base convencional	Moldes de CBR con material de sub base adicionado con porcentajes de termoplástico ABS			
		1.5%	2.5%	3.5%	4.5%
12 golpes	2	2	2	2	2
26 golpes	2	2	2	2	2
55 golpes	2	2	2	2	2
TOTAL	6	6	6	6	6

NÚMERO TOTAL DE MOLDES CBR = 30

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo empleado es de no probabilístico dado que nuestra población es finita y los elementos puestos a evaluación se fabricaron por conveniencia (accesibilidad).

3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Se evaluaron las muestras tomando como referencia el *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013* y el *Manual de Ensayo de Materiales, 2016*, utilizando el equipo de laboratorio como es la Máquina de Penetración (CBR) y realizando ensayos físicos y mecánicos para determinar si la adición del termoplástico ABS optimiza al material de sub base para pavimentos flexibles.

3.3.3 Criterios de inclusión

- ➔ El material granular para sub base fue extraído de la cantera de Quillahuata, distrito de San Sebastián, provincia del Cusco y departamento del Cusco.
- ➔ El agua para la dosificación en cada muestra fue potable.
- ➔ Se usó como aditivo el termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) que tiene una forma esférica y diámetro estándar de 3 mm.

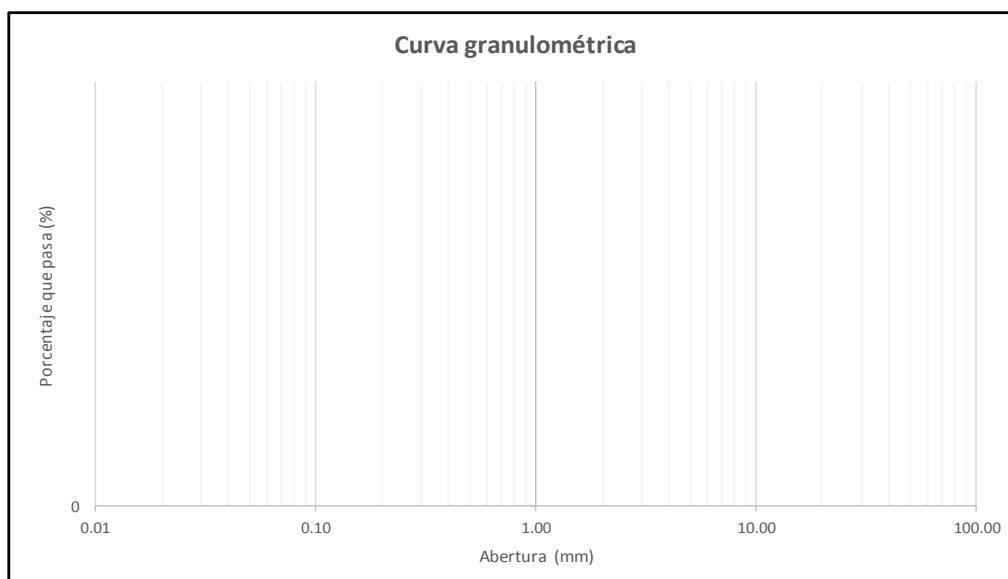
3.4 INSTRUMENTOS

3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1.1 Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado de Agregados

Tabla 11: Formato para recolección de datos – Ensayo de granulometría por tamizado

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)		DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES		ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO		ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)	
Ensayo	Análisis granulométrico por tamizado												
Referencia	MTC E 107-2016												
Fecha													
DATOS													
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Peso retenido reajustado (gr)	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Porcentaje que pasa %							
3"	75.000						Descripción					Peso (gr)	
2"	50.800						S. seco sin lavar						
1 1/2"	38.100						S. seco lavado						
1"	25.400						Material lavado (malla 200)						
3/4"	19.000						Datos del análisis						
3/8"	9.500						Peso perdido (gr)						
N°4	4.760						% de pérdida						
N° 10	2.000												
N° 40	0.425												
N° 50	0.297												
N° 100	0.106												
N° 200	0.075												
Fondo + lavado													
Total													

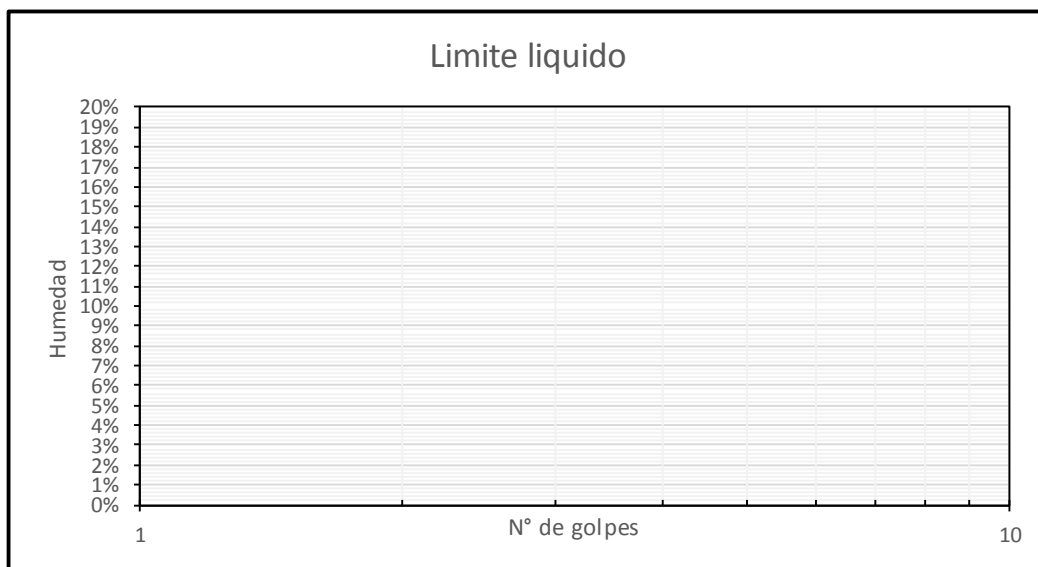


Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2 Ensayos de Límites de Consistencia

Tabla 12: Formato para recolección de datos – Ensayos de Límites de Consistencia

 UAC	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)				
Ensayo	Límites de consistencia				
Referencia	MTC E 110-2016, MTC E 11-2016				
Fecha					
LIMITES DE CONSISTENCIA					
	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
Ensayo N°	1	2	3	1	2
N° de golpes					
Recipiente N°					
R + Suelo H.					
R + Suelo S.					
Peso de agua					
Peso de R					
Peso de Suelo S.					
% de humedad					




Limite liquido		Limite plástico	
	Índice de plasticidad		

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 *Ensayo de Abrasión de Agregados*



Tabla 13: Formato para recolección de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles

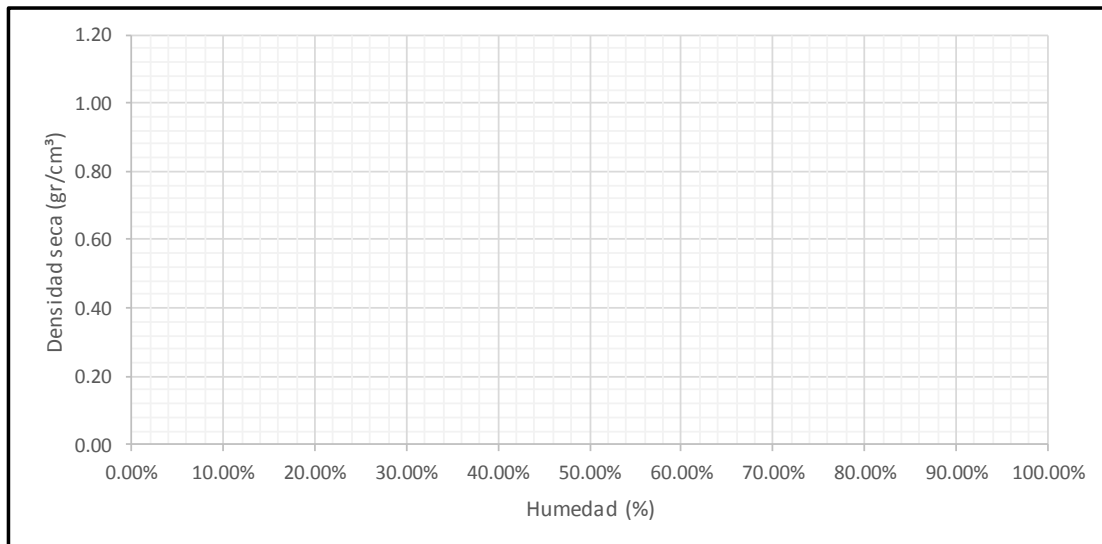
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)					
Ensayo	Abrasión mediante la máquina de los ángeles						
Referencia	MTC E 207-2016						
Fecha							
DATOS							
Gradación	N° de revoluciones	N° de billas	Peso de muestra antes del ensayo (gr)	Peso de muestra después del ensayo (gr)	% total de pérdida		

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

Tabla 14: Formato para recolección de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)



 UAC	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)				
Ensayo	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado)				
Referencia	MTC E 115-2016				
Fecha					
Datos iniciales	Volumen de molde (cm ³) Peso de molde (gr)				
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde + suelo (gr)					
Peso de suelo compactado (gr)					
Densidad húmeda (gr/cm ³)					
Recipiente N°					
P. muestra h. + recipiente					
P. muestra s. + recipiente					
Peso de agua					
Peso de recipiente					
Peso de muestra seca					
Contenido de humedad (%)					
Densidad seca (gr/cm ³)					



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.5 *Ensayo de CBR*

Tabla 15: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR de suelos

 UAC		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)												
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)													
Referencia	MTC E 132-2016													
Muestra														
Fecha														
COMPACTACIÓN														
Molde N°														
N° de capas	5				5				5					
N° de golpes	55				26				12					
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado			No Saturado	Saturado			No Saturado	Saturado				
Peso suelo + molde (gr)														
Peso molde (gr)														
Peso suelo compactado (gr)														
Volumen del molde (cm ³)														
Densidad húmeda (gr/cm ³)														
Densidad seca (gr/cm ³)														
CONTENIDO DE HUMEDAD														
Tara N°														
Tara + suelo húmedo (gr)														
Tara + suelo seco (gr)														
Peso de agua (gr)														
Peso de tara (gr)														
Peso de suelo seco (gr)														
Humedad (%)														
EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión				
				mm	%		mm	%		mm	%			
AGUA ABSORBIDA														
% de agua absorbida														
PENETRACIÓN														
Penetración														
mm	pul		Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)		Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)		Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)				
0.63	0.025													
1.27	0.050													
1.90	0.075													
2.54	0.100													
3.17	0.125													
3.81	0.150													
5.08	0.200													
7.62	0.300													
10.16	0.400													
12.70	0.500													

Fuente: Elaboración propia



3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

3.4.2.1 *Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados*

- Tamizador Mecánico.
- Balanza: Con una sensibilidad de 0.1 gr.
- Juego de Tamices: 75 mm (3"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,76 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,425 mm (N° 40), 0,297 mm (N° 50), 0,106 mm (N° 100) y 0,075 mm (N° 200).
- Estufa: Con temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Recipientes, brochas y cepillos.

3.4.2.2 *Ensayos de Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico)*

- Aparato de Casagrande o Límite Líquido.
- Vasija de Porcelana de 115 mm de diámetro aproximadamente.
- Acanalador.
- Calibrador: Barra de metal de 10 ± 0.2 mm ($0.394'' \pm 0.008''$) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- Balanza: Con una sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno: Con una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Superficie de rodadura (Vidrio grueso esmerilado).
- Espátula, recipientes.

3.4.2.3 *Ensayo de Abrasión de Agregados*

- Balanza: Con una sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno: Con una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Tamices.
- Máquina de Los Ángeles: Cilindro hueco de acero con una longitud interior de 508 ± 5 mm ($20 \pm 0.2''$) y un diámetro de 711 ± 5 mm ($28 \pm 0.2''$).

3.4.2.4 *Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)*

- Molde metálico: De $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm).
- Horno: Con una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Balanza: Con una sensibilidad de 0.1 gr.
- Tamices: De $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm), $\frac{3}{8}$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm).
- Martillo de compactación.
- Probeta, recipientes, cucharón, espátula.

3.4.2.5 *Ensayo de CBR*

- Máquina o Prensa de Penetración: El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0.05") por minuto.
- Molde metálico: De $152,4\text{mm} \pm 0.66$ mm (6 ± 0.026 ") de diámetro interior y de $177,8 \pm 0.46$ mm (7 ± 0.018 ") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor.
- Disco espaciador metálico de 150.8 mm ($5 \frac{15}{16}$ ") de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127$ mm ($2,416 \pm 0,005$ ") de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pesas circulares y ranuradas.
- Martillo de Compactación.
- Aparato medidor de expansión: Compuesto por una placa de metal equipado en el centro con un sistema de tornillo que permite regular su altura.
- Un trípode sujeto a un dial (deformímetro).
- Depósito o tanque con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Balanza: Con una sensibilidad de 0.1 gr.
- Estufa: Con temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Tamices: De 4.76 mm (No. 4), 19.05 mm(3/4")

➔ Cápsulas, recipientes, probetas, papel filtro circular, espátulas.

3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos de la investigación se realizó en el siguiente orden:

- Muestreo de los agregados.
- Ensayo del Análisis Granulométrico de los agregados.
- Ensayos de Límites de Consistencia (Límite Plástico y Límite Líquido).
- Ensayo de Abrasión de los agregados
- Ensayo de Compactación de suelos (Proctor modificado)
- Ensayo de CBR.

3.5.1 Muestreo de los Agregados

- a. Se extrajeron 200 kg de material granular aproximadamente como muestras representativas de la cantera de Quillahuata para poder realizar los respectivos ensayos en laboratorio.

Figura 28: Cantera de Quillahuata



Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Extracción de material granular de la cantera de Quillahuata



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

El análisis granulométrico de los agregados, se realizó de la siguiente manera:

- a. Se realizó el cuarteo del material, se tomó una muestra de 7 kg aproximadamente.

Figura 30: Cuarteo del material granular de la cantera de Quillahuata



Fuente: Elaboración propia

- b. Esta muestra se secó en el horno a 110° C durante 24 horas.

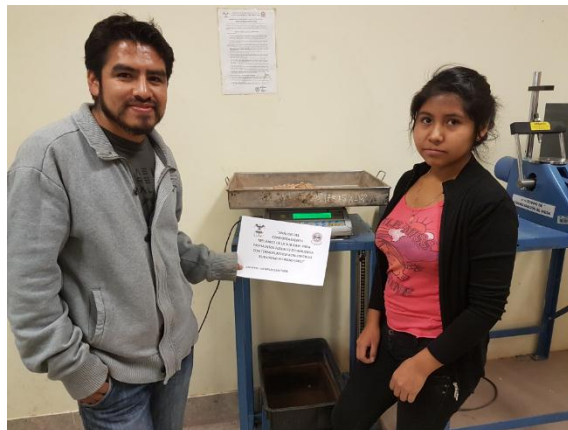
Figura 31: Secado de la muestra en el horno



Fuente: Elaboración propia

- c. Pasadas las 24 horas se registra el peso de la muestra y se procede a lavar por el tamiz N° 200. Seguidamente se secó en el horno durante 24 horas y transcurrido el tiempo se registra el peso del material seco y lavado.

Figura 32: Registro del peso del material seco y lavado



Fuente: Elaboración Propia

- d. La muestra se dividió en dos: una retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasó dicho tamiz (fracción gruesa y fina). Seguidamente se realizó el tamizado mecánico de ambas fracciones del material.

Figura 33: Tamizado mecánico del material



Fuente: Elaboración propia



- e. Finalmente registramos los datos obtenidos en la tabla N°: 16

Figura 34: Registro de los datos obtenidos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Formato para recolección de datos – Ensayo de granulometría por tamizado

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)						
Ensayo		Análisis granulométrico por tamizado						
Referencia		MTC E 107-2016						
Fecha								
DATOS								
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Peso retenido reajustado (gr)	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Porcentaje que pasa %		
3"	75.000	0					Descripción	Peso (gr)
2"	50.800	0					S. seco sin lavar	7284.9
1 1/2"	38.100	59.5					S. seco lavado	7160.6
1"	25.400	413.1					Material lavado (malla 200)	124.3
3/4"	19.000	677.0					Datos del análisis	
3/8"	9.500	2193.7					Peso perdido (gr)	
N°4	4.760	1639.9					% de perdida	
N° 10	2.000	1363.6						
N° 40	0.425	285.3						
N° 50	0.297	103.9						
N° 100	0.106	163						
N° 200	0.075	181.6						
Fondo + lavado		188.2						
Total								

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Ensayos de Límites de Consistencia (Límite Plástico y Límite Líquido)

Se obtuvo una porción representativa de la muestra total de aproximadamente 300 gr de material pasante del tamiz 425 µm (N° 40).

▪ **Ensayo de determinación del Límite Líquido de los suelos**

- a. Se humedeció la muestra y se procedió a mezclar totalmente en un recipiente con una espátula.
- b. Colocamos una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de Casagrande, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta alcanzar una profundidad aproximada de 10 mm en su punto más profundo.
- c. Utilizamos el acanalador, para dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo.

Figura 35: Humedeciendo la muestra en un recipiente



Fuente: Elaboración propia

- d. Utilizando la máquina de Casagrande para levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto a una longitud de 13 mm (1/2 pulg).
- e. Registramos el número de golpes (N) necesarios para cerrar la ranura y tomamos una muestra de suelo de la máquina de Casagrande colocándola seguidamente en un recipiente de peso conocido, para calcular su humedad.

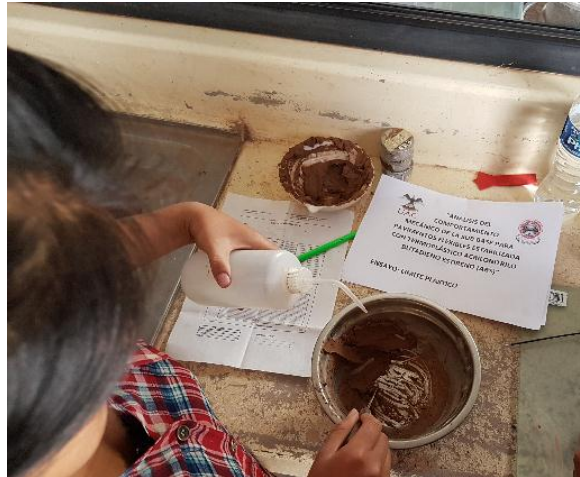
Figura 36: Registro del número de golpes



Fuente: Elaboración propia

- f. Regresamos el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Mezclamos nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato añadiéndole agua para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetimos los pasos anteriores para conseguir el número de golpes adecuado.

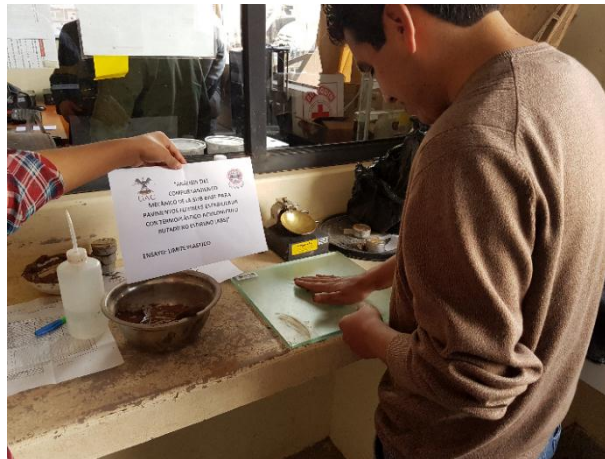
Figura 37: Añadiendo agua para incrementar el contenido de humedad del material



Fuente: Elaboración Propia

- g. Los datos obtenidos se registraron en la tabla N° 17.
- **Ensayo de determinación del Límite Plástico de los suelos.**
 - a. Se tomó aproximadamente 20 g de la muestra que se utilizó para el Ensayo de Límite Plástico.
 - b. Se dividió la muestra en dos. De una de las mitades se moldeó aproximadamente entre 1 y 3 gr de material en forma de elipsoide y a continuación se manipuló la muestra con los dedos de la mano sobre una superficie lisa a una presión necesaria para formar cilindros.

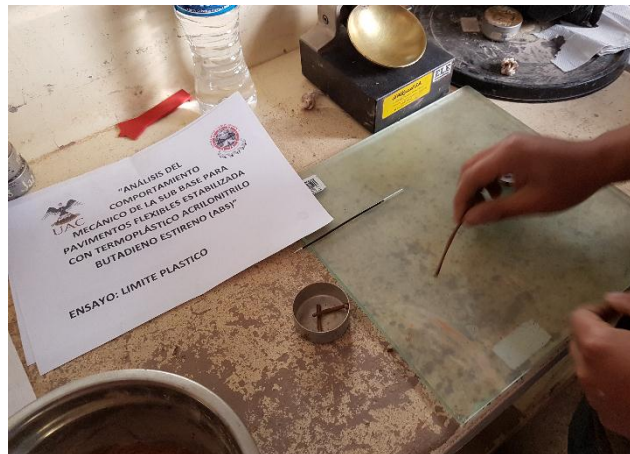
Figura 38: Manipulación de la muestra húmeda sobre la placa de vidrio



Fuente: Elaboración propia

- c. Amasamos la muestra en un cilindro de un diámetro de unos 3,2 mm, al no desmoronarse, se volvió a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, hasta que se desmorono aproximadamente con dicho diámetro.



Figura 39: Manipulación de la muestra húmeda sobre la placa de vidrio



Fuente: Elaboración propia

- d. Reunimos suficiente muestra para su registro de humedad.
- e. Realizamos el mismo procedimiento con la otra mitad de la muestra y apuntamos los datos obtenidos del ensayo, como se muestran en la tabla N° 17.

Tabla 17: Formato para recolección de datos – Ensayos de Límites de Consistencia

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)				
Ensayo	Límites de consistencia					
Referencia	MTC E 110-2016, MTC E 11-2016					
Fecha						
LIMITES DE CONSISTENCIA						
	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO	
	1	2	3		1	2
Ensayo N°						
N° de golpes	31	25	19			
Recipiente N°	M-1	P-3	I-1		3-A	P-5
R + Suelo H.	25.66	25.74	27.28		21.02	25.53
R + Suelo S.	23.84	23.63	24.61		20.31	24.02
Peso de agua						
Peso de R	15.81	15.79	15.83		15.82	15.78
Peso de Suelo S.						
% de humedad						

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Ensayo de Abrasión de los Agregados

- a. La muestra consistió en lavar y secar el material en el horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C, separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la tabla N°18.

Figura 40: Lavado del material



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Gradación de las muestras de ensayo

Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ± 10	5 000 ±10

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

- b. La cantidad de muestra y la determinación de la carga abrasiva elegida para la investigación fue en base a la gradación “B”, ya que la mayor parte de los agregados fueron retenidos en las de ½” y 3/8”.
- c. La carga abrasiva para la gradación “B”, corresponde a 11 billas como se observa en la tabla N° 19. Es así que se colocaron la muestra y las billas en la máquina de Los Ángeles.

Tabla 19: Categorías de gradación con su respectivo número de esferas

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

- d. Se hizo girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas fue 500.

Figura 41: Material lavado y seco dentro de la Máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

- e. Una vez cumplido el número de vueltas, se descargó el material del cilindro y se procede al lavado de la muestra ensayada por el tamiz N° 12.

Figura 42: Lavado del material después del ingreso a la Máquina de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia


- f. El material retenido se pesa y se seca en horno. Luego de 24 horas de secado a temperatura constante se registró el peso de la muestra seca y lavada en la tabla N° 20.

Figura 43: Ingreso del material lavado al horno



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20: Formato para recolección de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)			
Ensayo	Abrasión mediante la maquina de los ángeles				
Referencia	MTC E 207-2016				
Fecha					
DATOS					
Gradación	N° de revoluciones	N° de billas	Peso de muestra antes del ensayo (gr)	Peso de muestra después del ensayo (gr)	% total de pérdida
B	500	11	5001.2	3415.1	

Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

- a. Para determinar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo del material se realizó el ensayo de Proctor modificado, con cinco puntos para el material de sub base. Para esto, se eligió el método C, debido a la granulometría obtenida.
- b. Entonces, se pesó el molde y se hallaron sus dimensiones.
- c. Se secó el material en el horno a 110°C. Consecuentemente se procedió al tamizado por la malla 3/4” del material seco.
- d. Una vez seco y tamizado el material, se prepararon cinco especímenes de 6 kg cada uno con contenidos de agua con una diferencia de 2% entre ellas, de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado.
- e. Para este paso se empezó con 2% de agua y se prosiguió con 4%, 6%, 8% y 10% de contenido de humedad.
- f. Ya con las cinco muestras preparadas para cada ensayo Proctor, se procedió a la compactación en cinco capas cada una compactada por 56 golpes.

Figura 44: Compactación de las cinco capas, cada una por 56 golpes



Fuente: Elaboración Propia

- g. Luego de esto se quitó el collarín y se procedió a enrasar el molde. Se registró el peso del molde + suelo húmedo en la tabla N° 21.
- h. Finalmente se removió el contenido del molde, se cortó axialmente por el medio del espécimen y se tomó aproximadamente 500g de las mitades cortadas para determinar el contenido de humedad.

Tabla 21: Formato para recolección de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor modificado)

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 					
Ensayo	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado)				
Referencia	MTC E 115-2016				
Fecha					
Datos iniciales	Volumen de molde (cm ³)		2006.56		
	Peso de molde (gr)		6050.00		
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso de molde + suelo (gr)	10320.00	10620.00	10745.00	10730.00	10680.00
Peso de suelo compactado (gr)					
Densidad húmeda (gr/cm ³)					
Recipiente N°					
P. muestra h. + recipiente	642.30	590.00	602.40	555.99	803.71
P. muestra s. + recipiente	631.40	571.40	574.30	520.20	743.80
Peso de agua					
Peso de recipiente	90.20	93.00	100.50	59.00	122.30
Peso de muestra seca					
Contenido de humedad (%)					
Densidad seca (gr/cm ³)					

Fuente: Elaboración propia

3.5.6 Ensayo de CBR

Los ensayos CBR se realizaron con los resultados del Proctor Modificado para el material convencional, ya que, el peso de ABS añadido es pequeño en comparación al peso del material utilizado. Se hicieron ensayos CBR para: material convencional, material con 1.5 %, 2.5 %, 3.5% y 4.5% de ABS. Los ensayos se realizaron siguiendo los siguientes pasos:

- a. Se prepararon 18 kilos de muestra para cada ensayo CBR, es decir, 18 kilos de material para Sub base convencional, 18 kilos de material para Sub base adicionado con 1.5 % de ABS, 18 kilos de material para Sub base adicionado con 2.5 % de ABS, 18 kilos de material para Sub base adicionado con 3.5 % de ABS y 18 kilos de material para Sub base

adicionado con 4.5 % de ABS; cabe recalcar que el porcentaje de ABS que se agregó para cada muestra es en relación al peso seco del material.

Figura 45: Registro del peso del termoplástico ABS que ingresará a cada molde



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Material de granular adicionado con los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 3.5% de ABS



Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Adicionando 4.5% de ABS al material granular



Fuente: Elaboración propia

- b. Para calcular la cantidad de agua que debía añadirse a la muestra se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H= Humedad prefijada

H= Humedad natural

Figura 48: Dosificación de agua para la posterior mezcla entre los elementos



Fuente: Elaboración propia

- c. Se prepararon los moldes CBR, se colocó un disco espaciador sobre la placa de la base de cada molde y sobre el disco un papel filtro. Para luego compactar el material en cinco capas, cada molde a diferente energía de Compactación: 55, 26 y 12 golpes.

Figura 49: Compactación del material granular adicionado con el termoplástico ABS



Fuente: Elaboración propia

- d. Se retiró el collarín y se procedió a enrasar el espécimen por medio de una hoja resistente y bien recta. Toda depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenó con material sobrante sin gruesos con ayuda del tamiz N° 04. Se tomó una muestra del material sobrante para hallar la humedad.

Figura 50: Enrasado de los moldes de CBR



Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Tamizado del material sobrante para lograr una superficie uniforme



Fuente: Elaboración propia

- e. Se desmontó el molde y se volvió a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se colocó sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga. Finalmente se pesó.
- f. A continuación, se sumergió el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se tomó la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada.

Figura 52: Nivelación de los moldes CBR después de su inmersión



Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Colocación del dial (deformímetro) sobre los moldes CBR



Fuente: Elaboración propia

- g. Los moldes se mantuvieron en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante. Se hicieron lecturas de hinchamiento durante los 4 días posteriores a la misma hora.

Figura 54: Moldes CBR sumergidos en agua



Fuente: Elaboración propia

- h. Después de cuatro días, se sacó el molde, se dejó drenar durante 15 minutos aproximadamente, se colocó el molde sobre el soporte de carga de la prensa y se ajusta de manera que el pistón quede centrado con la muestra.
- i. Se coloca en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación.

- j. La velocidad de penetración del pistón en el suelo fue de 1.27 mm/min. La velocidad se controló por medio con un cronómetro y el deformímetro.

Figura 55: Colocación de los moldes CBR en la máquina de penetración



Fuente: Elaboración propia

- k. Se registraron las lecturas de la presión a 0.63, 1.27, 1.90, 2.54, 3.17, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16 y 12.70 mm de penetración.

Figura 56: Penetración de los moldes CBR



Fuente: Elaboración propia

- l. Luego de terminada la prueba, se retiró la probeta de la máquina, se recuperó el suelo ensayado, se cortó axialmente por el medio y se tomó muestra para determinar la humedad final.

- m. Se colocan todas las muestras que se obtuvieron al horno después de la penetración de cada molde. Luego de 24 horas se toma registro del peso de cada muestra para determinar su contenido de humedad.


Figura 57: Registro de la muestra seca obtenida de los moldes penetrados



Fuente: Elaboración propia

- n. Y de esta forma se tienen las siguientes tablas con los datos recolectados.

Tabla 22: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo
ABS- Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base convencional										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	3			2			1				
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11860.00			11610.00			11460.00				
Peso molde (gr)	7001.00			6890.00			7003.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2100.52			2116.01			2100.52				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	455.10	432.70	521.30	832.10	433.40	651.40					
Tara + suelo seco (gr)	436.25	407.30	497.70	781.80	416.69	611.20					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	93.00	70.10	70.10	122.70	122.70	93.00					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración											
mm	pulg		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)			
0.63	0.025		1.86		1.18		0.87				
1.27	0.050		3.56		2.37		1.76				
1.90	0.075		5.09		3.47		2.41				
2.54	0.100		6.89		4.52		3.06				
3.17	0.125		8.21		5.56		3.70				
3.81	0.150		9.27		6.23		4.36				
5.08	0.200		10.27		7.13		4.62				
7.62	0.300		12.91		9.14		5.64				
10.16	0.400		14.99		10.59		6.59				
12.70	0.500		16.45		11.72		7.50				


Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo
ABS- Ensayo 2

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base convencional										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	3			2			1				
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	12290.00			11560.00			11710.00				
Peso molde (gr)	7340.00			6860.00			7260.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2125.17			2117.46			2121.93				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	410.40	502.20	498.30	526.20	472.30	558.70					
Tara + suelo seco (gr)	394.70	477.30	478.20	497.70	451.30	523.40					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	112.10	161.40	93.00	122.70	71.80	70.10					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración		Carga (KN)		Esfuerzo (MN/m ²)		Carga (KN)		Esfuerzo (MN/m ²)			
mm	pulg										
0.63	0.025	2.02				1.06			0.91		
1.27	0.050	3.83				2.25			1.82		
1.90	0.075	5.59				3.74			2.48		
2.54	0.100	6.94				4.73			3.23		
3.17	0.125	8.23				5.67			3.83		
3.81	0.150	9.27				6.49			4.41		
5.08	0.200	10.57				7.32			4.76		
7.62	0.300	13.27				9.63			5.78		
10.16	0.400	15.22				11.47			6.73		
12.70	0.500	16.61				12.77			7.62		


Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo		CBR de suelos (laboratorio)									
Referencia		MTC E 132-2016									
Muestra		Sub base + 1.5% de ABS									
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas		5			5			5			
N° de golpes		55			26			12			
Condición de la muestra		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado			
Peso suelo + molde (gr)		11780.00				11520.00		11390.00			
Peso molde (gr)		7001.00				6890.00		7003.00			
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)		2100.52				2116.01		2100.52			
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)		696.50		651.40		589.00		513.60		511.10	543.90
Tara + suelo seco (gr)		666.87		611.10		563.20		482.90		488.60	510.70
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)		121.80		93.00		93.10		90.10		93.00	92.46
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)				
mm	pulg										
0.63	0.025	1.76		1.05		0.55					
1.27	0.050	3.60		2.30		1.34					
1.90	0.075	4.92		3.38		2.14					
2.54	0.100	6.46		4.22		2.60					
3.17	0.125	7.55		5.05		3.06					
3.81	0.150	8.56		5.71		3.50					
5.08	0.200	9.79		6.87		4.37					
7.62	0.300	13.38		9.21		5.51					
10.16	0.400	15.51		11.58		6.57					
12.70	0.500	17.39		13.18		7.54					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 2

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 1.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11780.00			11520.00			11390.00				
Peso molde (gr)	7001.00			6890.00			7003.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2100.52			2116.01			2100.52				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	696.50	651.40	589.00	513.60	511.10	543.90					
Tara + suelo seco (gr)	666.87	611.10	563.20	482.90	488.60	510.70					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	121.80	93.00	93.10	90.10	93.00	92.46					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración			
mm	pulg			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63	0.025	1.76		1.05		0.55					
1.27	0.050	3.60		2.30		1.34					
1.90	0.075	4.92		3.38		2.14					
2.54	0.100	6.46		4.22		2.60					
3.17	0.125	7.55		5.05		3.06					
3.81	0.150	8.56		5.71		3.50					
5.08	0.200	9.79		6.87		4.37					
7.62	0.300	13.38		9.21		5.51					
10.16	0.400	15.51		11.58		6.57					
12.70	0.500	17.39		13.18		7.54					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 2.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11690.00			11450.00			11390.00				
Peso molde (gr)	7001.00			6890.00			7003.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2100.52			2116.01			2100.52				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	493.30	445.30	432.10	603.10	474.50	487.90					
Tara + suelo seco (gr)	473.60	418.20	412.08	564.80	454.34	459.10					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	93.00	61.40	61.40	71.80	106.20	93.30					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración			
mm	pulg			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63	0.025	1.86		1.02		0.64					
1.27	0.050	3.59		2.36		1.42					
1.90	0.075	5.47		3.73		2.61					
2.54	0.100	7.42		5.09		3.50					
3.17	0.125	8.63		6.46		4.37					
3.81	0.150	9.94		7.26		4.97					
5.08	0.200	11.84		8.74		5.85					
7.62	0.300	15.34		10.64		7.54					
10.16	0.400	17.82		12.47		8.59					
12.70	0.500	20.54		14.74		9.96					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)									
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 2.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	12020.00			11950.00			11250.00				
Peso molde (gr)	7260.00			7340.00			6860.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2121.93			2115.46			2117.57				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	521.40	495.20	485.20	571.30	496.80	526.70					
Tara + suelo seco (gr)	502.30	468.30	464.70	539.10	474.30	495.30					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	137.10	112.10	93.00	122.70	71.80	93.30					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración											
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)				
0.63	0.025	1.96		1.15		0.79					
1.27	0.050	3.93		2.48		1.59					
1.90	0.075	5.41		3.79		2.56					
2.54	0.100	7.49		5.24		3.56					
3.17	0.125	8.67		6.34		4.37					
3.81	0.150	10.10		7.27		5.04					
5.08	0.200	11.74		8.62		5.71					
7.62	0.300	15.25		10.88		7.67					
10.16	0.400	18.11		12.75		8.86					
12.70	0.500	20.84		14.82		10.19					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS-Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 3.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11585.00			11425.00			11320.00				
Peso molde (gr)	7001.00			6890.00			7003.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2100.52			2116.01			2100.52				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	431.00	581.20	472.50	404.30	373.00	687.30					
Tara + suelo seco (gr)	414.40	546.90	452.40	381.00	359.08	644.20					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	104.40	90.90	90.30	80.60	106.40	92.80					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Penetración			
mm	pulg			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)			Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63	0.025	1.73		0.74		0.39					
1.27	0.050	3.56		2.24		1.21					
1.90	0.075	6.03		4.10		2.43					
2.54	0.100	8.01		5.39		3.47					
3.17	0.125	10.01		6.67		4.52					
3.81	0.150	11.35		7.96		5.56					
5.08	0.200	13.25		10.02		7.33					
7.62	0.300	17.89		13.02		8.60					
10.16	0.400	21.24		15.65		10.22					
12.70	0.500	23.54		17.35		11.63					



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS-Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)										
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)											
Referencia	MTC E 132-2016											
Muestra	Sub base + 3.5% de ABS											
Fecha												
COMPACTACIÓN												
Molde N°												
N° de capas	5				5				5			
N° de golpes	55				26				12			
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado	
Peso suelo + molde (gr)	11870.00			11870.00			11240.00					
Peso molde (gr)	7205.00			7340.00			6860.00					
Peso suelo compactado (gr)												
Volumen del molde (cm ³)	2122.28			2125.17			2117.46					
Densidad húmeda (gr/cm ³)												
Densidad seca (gr/cm ³)												
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tara + suelo húmedo (gr)	383.10	526.40		486.90	449.50		425.70	521.40				
Tara + suelo seco (gr)	371.90	495.90		466.20	423.60		409.40	492.60				
Peso de agua (gr)												
Peso de tara (gr)	161.40	87.90		90.30	92.42		106.40	121.80				
Peso de suelo seco (gr)												
Humedad (%)												
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO												
PENETRACIÓN												
Penetración												
mm	pulg		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)				
0.63	0.025		1.85		0.84		0.48					
1.27	0.050		3.91		2.34		1.46					
1.90	0.075		6.14		4.20		2.62					
2.54	0.100		8.12		5.48		3.66					
3.17	0.125		9.38		6.67		4.46					
3.81	0.150		11.03		7.82		5.34					
5.08	0.200		13.57		9.70		6.85					
7.62	0.300		17.74		12.62		8.53					
10.16	0.400		20.60		15.12		9.98					
12.70	0.500		23.64		16.95		11.33					



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 4.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11590.00			11350.00			11280.00				
Peso molde (gr)	7001.00			6890.00			7003.00				
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)	2100.52			2116.01			2100.52				
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	633.80	557.10	590.00	560.00	604.00	522.40					
Tara + suelo seco (gr)	606.50	525.20	564.20	525.80	576.90	490.70					
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)	84.50	92.90	101.30	90.20	92.20	93.00					
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
Penetración											
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)				
0.63	0.025	1.74		0.95		0.51					
1.27	0.050	4.01		2.64		1.73					
1.90	0.075	6.26		4.39		3.08					
2.54	0.100	8.88		6.10		4.18					
3.17	0.125	10.08		7.01		4.98					
3.81	0.150	11.27		8.12		5.39					
5.08	0.200	13.42		9.63		6.54					
7.62	0.300	19.38		13.57		9.41					
10.16	0.400	24.52		17.71		11.37					
12.70	0.500	29.50		20.59		14.21					

Fuente: Fuente propia

Tabla 31: Formato para recolección de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-Ensayo 2

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 											
Ensayo		CBR de suelos (laboratorio)									
Referencia		MTC E 132-2016									
Muestra		Sub base + 4.5% de ABS									
COMPACTACIÓN											
Molde N°											
N° de capas		5			5			5			
N° de golpes		55			26			12			
Condición de la muestra		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado			
Peso suelo + molde (gr)		11990.00				11760.00		11560.00			
Peso molde (gr)		7434.00				7260.00		7205.00			
Peso suelo compactado (gr)											
Volumen del molde (cm ³)		2115.46				2121.93		2125.94			
Densidad húmeda (gr/cm ³)											
Densidad seca (gr/cm ³)											
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)		240.30		492.80		372.10		476.30			
Tara + suelo seco (gr)		231.20		467.20		355.60		446.50			
Peso de agua (gr)											
Peso de tara (gr)		59.50		122.70		61.50		71.80			
Peso de suelo seco (gr)											
Humedad (%)											
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
Penetración											
mm		pulg		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63		0.025		2.65		1.25		0.81			
1.27		0.050		4.98		3.28		2.16			
1.90		0.075		6.93		4.55		3.19			
2.54		0.100		8.70		6.09		4.13			
3.17		0.125		9.95		6.96		4.82			
3.81		0.150		11.25		7.97		5.34			
5.08		0.200		13.39		9.47		6.46			
7.62		0.300		19.26		13.58		9.35			
10.16		0.400		24.86		17.51		11.71			
12.70		0.500		29.64		20.65		14.18			

Fuente: Fuente propia



3.6 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

d. Procesamiento de datos o cálculos

Se calculó la cantidad de muestra perdida durante el proceso del tamizado:

Peso perdido = Peso de la muestra antes del tamizado – sumatoria de pesos luego del tamizado

Se calculó el porcentaje del peso perdido el cual fue menor a 1 %, Ya que este es menor al 1% es aceptable.



Se procedió a corregir proporcionalmente con el porcentaje obtenido.

Luego de esto se calculó el % retenido mediante esta fórmula:

$$\%retenido = \frac{\text{Peso del material retenido en tamiz}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

En la siguiente columna se colocaron los porcentajes retenidos acumulados, para luego finalmente obtener el porcentaje acumulado que pasa, que es la diferencia entre 100 y el porcentaje retenido acumulado.

Tabla 32: Formato para análisis de datos – Ensayo de granulometría por tamizado

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)						
Ensayo		Análisis granulométrico por tamizado						
Referencia		MTC E 107-2016						
DATOS								
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Peso retenido reajustado (gr)	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Porcentaje que pasa %		
3''	75.000	0	0	0.00	0.00	100.00	Descripción	Peso (gr)
2''	50.800	0	0	0.00	0.00	100.00	S. seco sin lavar	7284.9
1 1/2''	38.100	59.5	59.6	0.82	0.82	99.18	S. seco lavado	7160.6
1''	25.400	413.1	414.0	5.68	6.50	93.50	Material lavado (malla 200)	124.3
3/4''	19.000	677.0	678.5	9.31	15.82	84.18	Datos del análisis	
3/8''	9.500	2193.7	2198.5	30.18	46.00	54.00	Peso perdido (gr)	16.1
N°4	4.760	1639.9	1643.5	22.56	68.56	31.44	% de perdida	0.22%
N° 10	2.000	1363.6	1366.6	18.76	87.32	12.68		
N° 40	0.425	285.3	285.9	3.92	91.24	8.76		
N° 50	0.297	103.9	104.1	1.43	92.67	7.33		
N° 100	0.106	163	163.4	2.24	94.91	5.09		
N° 200	0.075	181.6	182.0	2.50	97.41	2.59		
Fondo + lavado		188.2	188.6	2.59	100.00			
Total		7268.8	7284.9	100.00				

Fuente: Elaboración propia

e. Diagramas

Para graficar la curva granulométrica se consideran los porcentajes del material que pasa y la abertura de las mallas, para los límites de la granulometría de la sub base se utilizaron los límites establecidos en el Manual de carreteras Especificaciones técnicas generales para la construcción (EG-2013) tabla N° 33.

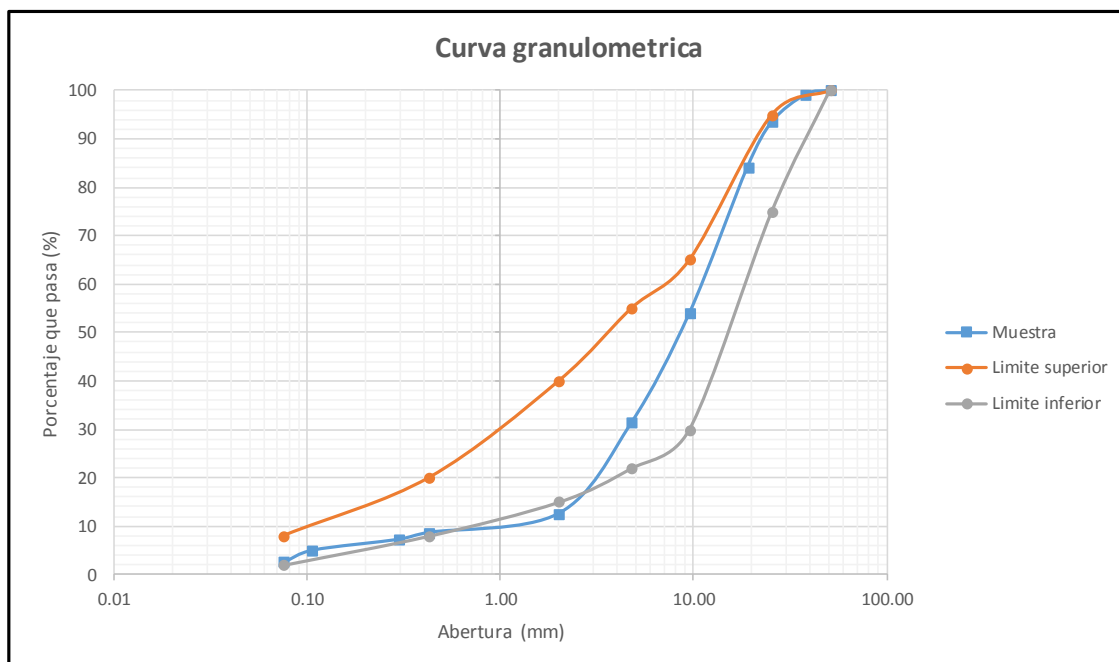
Tabla 33: Gradación de las muestras de ensayo

Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. (3/8 ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú, 2013)

Figura 58: Curva Granulométrica del material granular de la cantera de Quillahuata



Fuente: Elaboración propia

f. Análisis de a prueba

Se observa que la curva granulométrica obtenida del ensayo realizado con el material esta fuera de los límites establecidos por el MTC y el ASTM D 1241.

3.6.2 Ensayo de Límites de Consistencia

a) Procesamiento y cálculos de la prueba

Se procedió a calcular la humedad obtenida en cada ensayo, tanto para el límite líquido y el límite plástico.

Tabla 34: Formato para análisis de datos – Ensayos de Límites de Consistencia

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)				
Ensayo	Límites de consistencia					
Referencia	MTC E 110-2016, MTC E 11-2016					
LIMITES DE CONSISTENCIA						
	LÍMITE LIQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Ensayo N°	1	2	3		1	2
N° de golpes	31	25	19			
Recipiente N°	M-1	P-3	I-1		3-A	P-5
R + Suelo H.	25.66	25.74	27.28		21.02	25.53
R + Suelo S.	23.84	23.63	24.61		20.31	24.02
Peso de agua	1.82	2.11	2.67		0.71	1.51
Peso de R	15.81	15.79	15.83		15.82	15.78
Peso de Suelo S.	8.03	7.84	8.78		4.49	8.24
% de humedad	22.67	26.91	30.41		15.81	18.33

Fuente: Elaboración propia

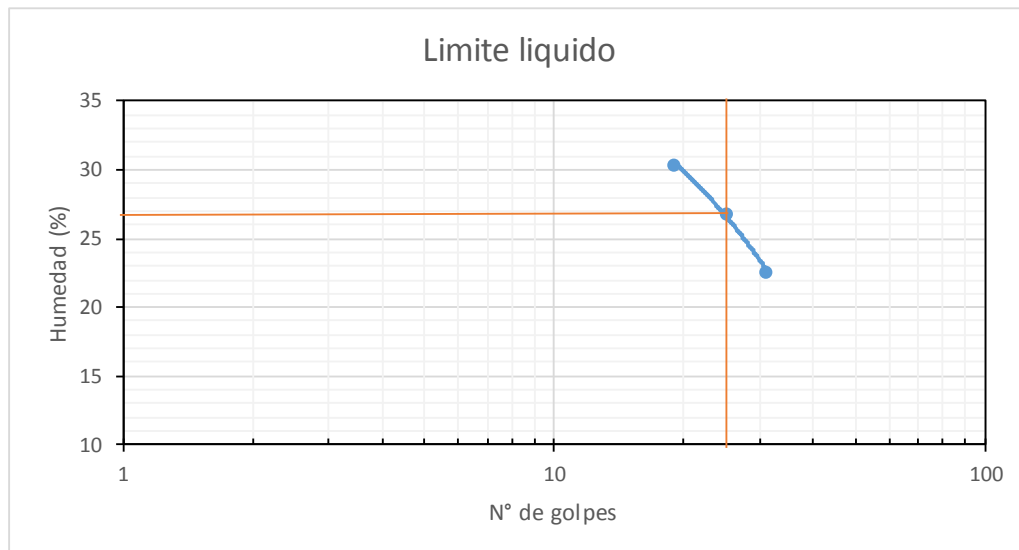
b) Diagramas

Para el Límite líquido se representó la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondientes (N) de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala

aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Se trazó una línea recta que pase por los tres puntos graficados.

Tomamos el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo.

Figura 59: Límite Líquido – N° de golpes vs. Humedad



Fuente: Elaboración propia

Para el límite plástico se calcula el promedio de las humedades obtenidas calculadas con anterioridad.

El índice de plasticidad (IP) se calcula mediante la diferencia del Límite líquido y el Límite plástico.

Límite líquido (%)	27
Límite plástico (%)	17
Índice de plasticidad (%)	10

c) Análisis de los resultados obtenidos

El Límite líquido es de 27 % lo cual es superior al 25% permitido según las especificaciones técnicas brindadas en el manual de carreteras (EM-2013). El índice de plasticidad obtenido de la muestra ensayada es de 10 % lo cual es superior a lo permitido por el MTC que es de 4 % en alturas superiores a los 3000 msnm.

3.6.3 Clasificación del suelo

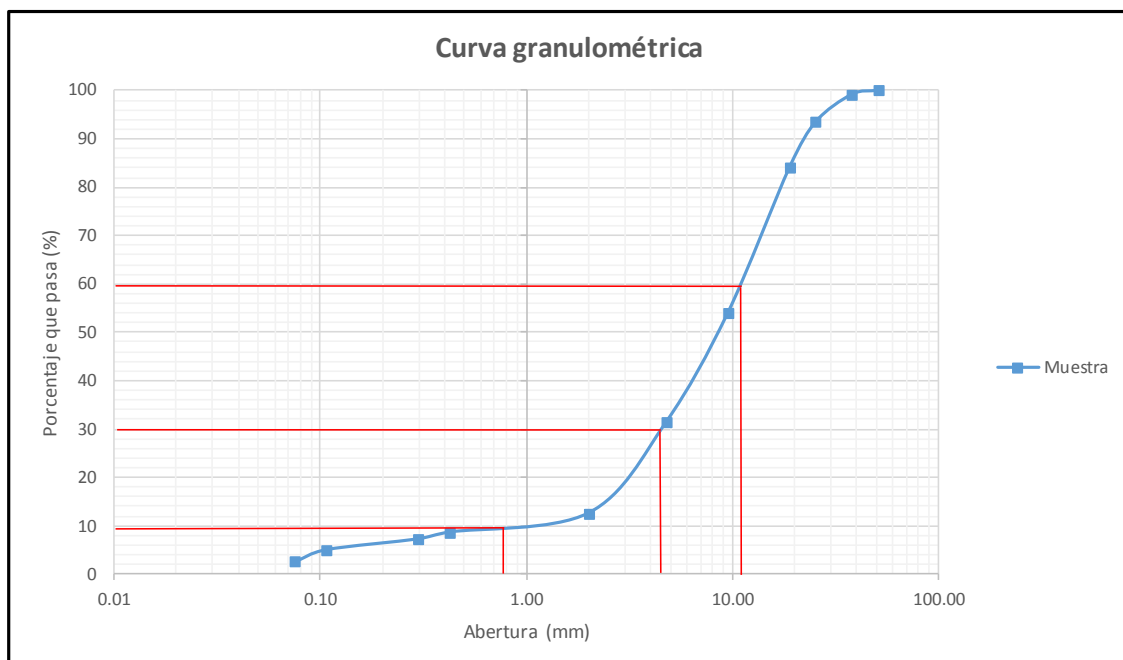
▪ *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)*

Respecto al ensayo de granulometría:

- El material retenido en el tamiz núm. 200 es de 97.41% y en el tamiz núm. 4 es más del 50% de la fracción gruesa, por lo tanto el material es una grava (G).
- Tenemos 2.59 % de material que pasa la malla núm. 200, entonces es clasificada como una grava limpia.

Para determinar D_{10} , D_{30} y D_{60} haremos uso de la curva granulométrica.

Figura 60: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

De donde obtenemos:

$$D_{10} = 0.79$$

$$D_{30} = 4.45$$

$$D_{60} = 10.10$$

Finalmente obtenemos el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc).

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

Cu = 12.78

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Cc = 2.48

Ya que Cu es mayor que 4 y Cc esta entre 1 y 3, el suelo está clasificado como GW.

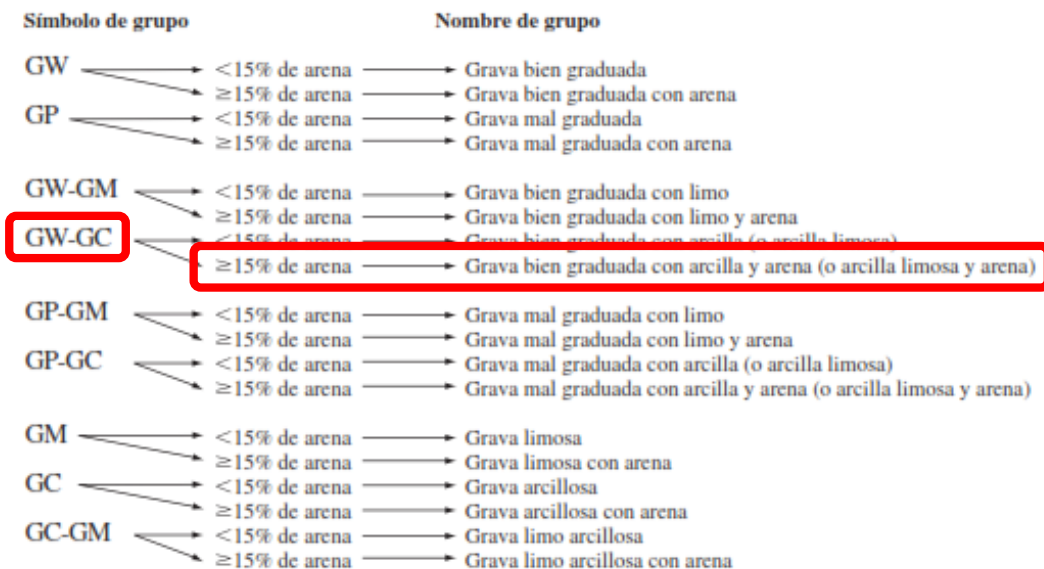
Tabla 35: Criterios de asignación SUCS

Criterio para la asignación de símbolos de grupo			Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos Más de 12% finos ^{a,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)
		Arenas limpias Menos de 5% finos ^b	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$
	Arenas con finos Más de 12% finos ^{b,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	
			SW
			SP
		SM	
		SC	

Fuente: (Das, 2013)

Entonces según el diagrama de flujo para los grupos de grava y arena del suelo, nuestro material granular viene a ser un GW-GC (Grava bien graduada con arcilla y arena).

Figura 61: Criterio de asignación según el diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo



Fuente: (Das, 2013)

▪ **Sistema de Clasificación AASHTO**

(Das, 2013) menciona que “El sistema AASHTO es utilizado principalmente por los departamentos de carreteras estatales y del condado, mientras que los ingenieros geotécnicos normalmente prefieren utilizar el Sistema Unificado” es por esto que clasificaremos nuestro suelo por el Sistema de Clasificación AASHTO.

Ubicamos los valores obtenidos en los ensayos de granulometría y límites de consistencia del suelo utilizado en la ejecución de esta tesis en la tabla N° 36.

Tabla 36: Clasificación de Suelos AASHTO del material granular de Quillahuata

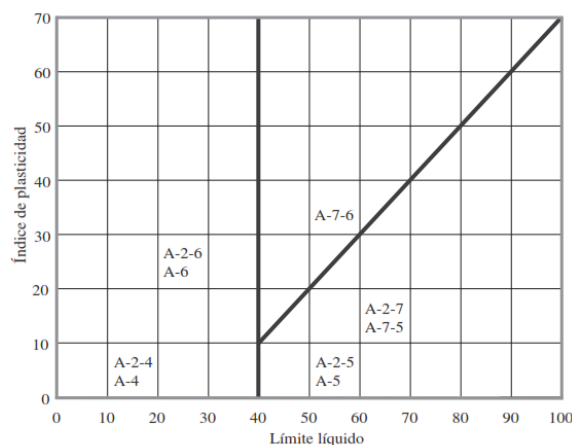
Grupo de clasificación	A-1			A-2-4	A-2		
	A-1-a	A-1-b	A-3		A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante							
	Excelente a bueno						
Grupo de clasificación							
		A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†		
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200		36 mín.	36 mín.	36 mín.			36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido		40 máx.	41 mín.	40 máx.			41 mín.
Índice de plasticidad		10 máx.	10 máx.	11 mín.			11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
		Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante							
	Regular a malo						

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Fuente: (Das, 2013)

Figura 62: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-1, A-4, A-5, A-6 y A-7 utilizado para la clasificación del material a analizar por AASHTO



Fuente: (Das, 2013)

La tabla N° 36 determina que nuestro suelo es clasificado como un material granular excelente a bueno, A-2-4 (0) grava y arena arcillosa o limosa.

3.6.4 Ensayo de Abrasión de los Agregados

a) Procesamiento y cálculos de la prueba

Se calculó la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo.

Tabla 37: Formato para análisis de datos – Ensayo de Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) 					
Ensayo	Abrasión mediante la maquina de los ángeles				
Referencia	MTC E 207-2016				
DATOS					
Gradación	N° de revoluciones	N° de billas	Peso de muestra antes del ensayo (gr)	Peso de muestra después del ensayo (gr)	% total de pérdida
B	500	11	5001.2	3415.1	31.71%

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de los resultados obtenidos

Según las especificaciones técnicas brindadas en el manual de carreteras (EM-2013) el resultado obtenido en este ensayo debe ser inferior al 50%, por lo tanto este material sería aceptable ya que se alcanza un 31.71%.

3.6.5 Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

a) Procesamiento y cálculos de la prueba

Se calculó el contenido de Agua, de acuerdo con Método de Ensayo desarrollado con anterioridad.



Se calculó la densidad húmeda mediante:

$$Densidad\ húmeda = \frac{\text{Peso del molde mas suelo} - \text{peso del molde}}{\text{volumen del molde}}$$

La densidad seca:

$$Densidad\ seca = \frac{Densidad\ húmeda}{1 + humedad}$$

Tabla 38: Formato para análisis de datos – Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)

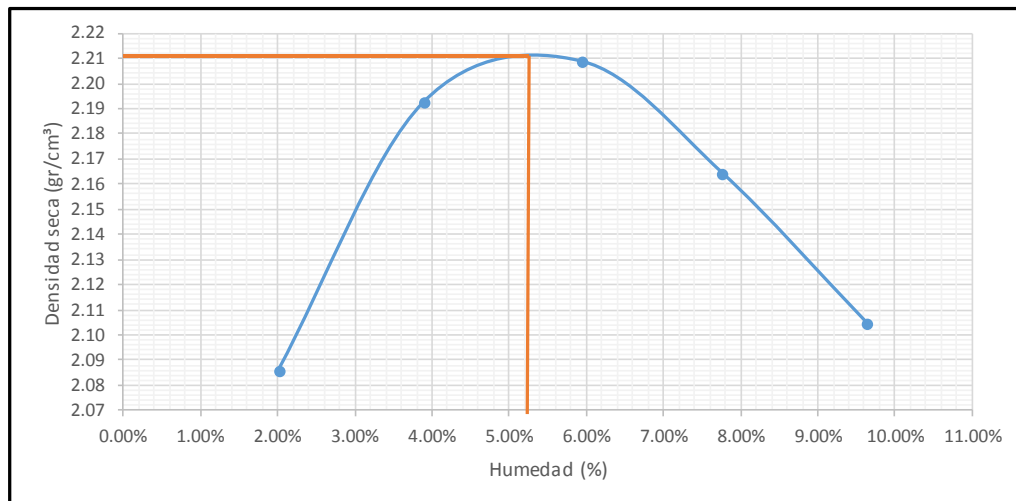
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)				
		Ensayo Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado) Referencia MTC E 115-2016				
Datos iniciales		Volumen de molde (cm³)		2006.56		
		Peso de molde (gr)		6050.00		
Ensayo N°		1	2	3	4	5
Peso de molde + suelo (gr)		10320.00	10620.00	10745.00	10730.00	10680.00
Peso de suelo compactado (gr)		4270.00	4570.00	4695.00	4680.00	4630.00
Densidad húmeda (gr/cm³)		2.13	2.28	2.34	2.33	2.31
P. muestra h. + recipiente		642.30	590.00	602.40	555.99	803.71
P. muestra s. + recipiente		631.40	571.40	574.30	520.20	743.80
Peso de agua		10.90	18.60	28.10	35.79	59.91
Peso de recipiente		90.20	93.00	100.50	59.00	122.30
Peso de muestra seca		541.20	478.40	473.80	461.20	621.50
Contenido de humedad (%)		2.01%	3.89%	5.93%	7.76%	9.64%
Densidad seca (gr/cm³)		2.09	2.19	2.21	2.16	2.10

Fuente: Elaboración propia

b) Diagramas

Se grafica una curva con la humedad en el eje de las abscisas y el densidad seca en el eje de las ordenadas.

Figura 63: Curva de compactación de proctor modificado – Humedad vs. Densidad seca



Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de resultados

En la curva se observa que se alcanza la mayor densidad seca de 2.212 g/cm³ al tener una humedad de 5.25 % la cual es la humedad óptima y será usada para realizar los ensayos de CBR.



3.6.6 Ensayo de CBR

a) Procesamiento y cálculos de la prueba

Para calcular la densidad o peso unitario se calculó a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

Para calcular el agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida se realizó a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta.

Para calcular el índice CBR se procedió como sigue:

Se dibujó una curva que relaciona las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), de la curva se tomaron los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y se calcularon los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa y 10.3 Mpa respectivamente, y se multiplico por 100.

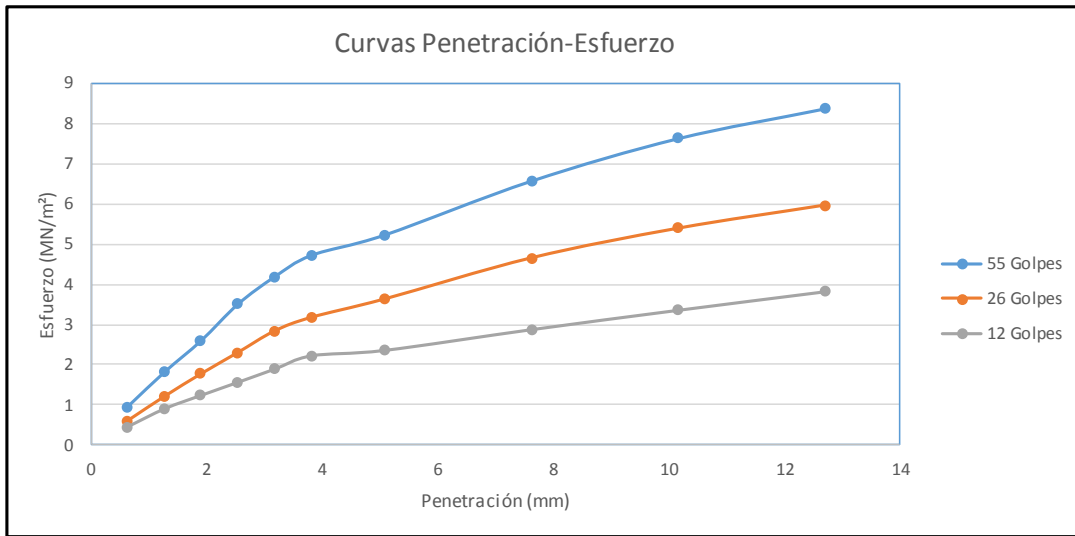
Tabla 39: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS- Ensayo 1

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base convencional										
COMPACTACIÓN											
Molde N°	3		2		1						
N° de capas	5		5		5		5				
N° de golpes	55		26		12		12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado					
Peso suelo + molde (gr)	11860.00	11954.01	11610.00	11704.49	11460.00	11547.46					
Peso molde (gr)	7001.00	7001.00	6890.00	6890.00	7003.00	7003.00					
Peso suelo compactado (gr)	4859.00	4953.01	4720.00	4814.49	4457.00	4544.46					
Volumen del molde (cm³)	2100.52	2100.52	2116.01	2116.01	2100.52	2100.52					
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.31	2.36	2.23	2.28	2.12	2.16					
Densidad seca (gr/cm³)	2.19	2.19	2.11	2.11	2.01	2.01					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	455.10	432.70	521.30	832.10	433.40	651.40					
Tara + suelo seco (gr)	436.25	407.30	497.70	781.80	416.69	611.20					
Peso de agua (gr)	18.85	25.40	23.60	50.30	16.71	40.20					
Peso de tara (gr)	93.00	70.10	70.10	122.70	122.70	93.00					
Peso de suelo seco (gr)	343.25	337.20	427.60	659.10	293.99	518.20					
Humedad (%)	5.49	7.53	5.52	7.63	5.68	7.76					
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración											
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)
0.63	0.025	1.86	0.95	1.18	0.60	0.87	0.44				
1.27	0.050	3.56	1.82	2.37	1.21	1.76	0.89				
1.90	0.075	5.09	2.59	3.47	1.77	2.41	1.23				
2.54	0.100	6.89	3.51	4.52	2.30	3.06	1.56				
3.17	0.125	8.21	4.18	5.56	2.83	3.70	1.88				
3.81	0.150	9.27	4.72	6.23	3.17	4.36	2.22				
5.08	0.200	10.27	5.23	7.13	3.63	4.62	2.35				
7.62	0.300	12.91	6.58	9.14	4.65	5.64	2.87				
10.16	0.400	14.99	7.63	10.59	5.39	6.59	3.36				
12.70	0.500	16.45	8.38	11.72	5.97	7.50	3.82				

	Dens.	CBR
Molde 1	2.01	22.55
Molde 2	2.11	33.33
Molde 3	2.19	50.84

Fuente: Elaboración propia

Figura 64: Curva de Esfuerzo – Penetración del material sin aditivo ABS- Ensayo 1



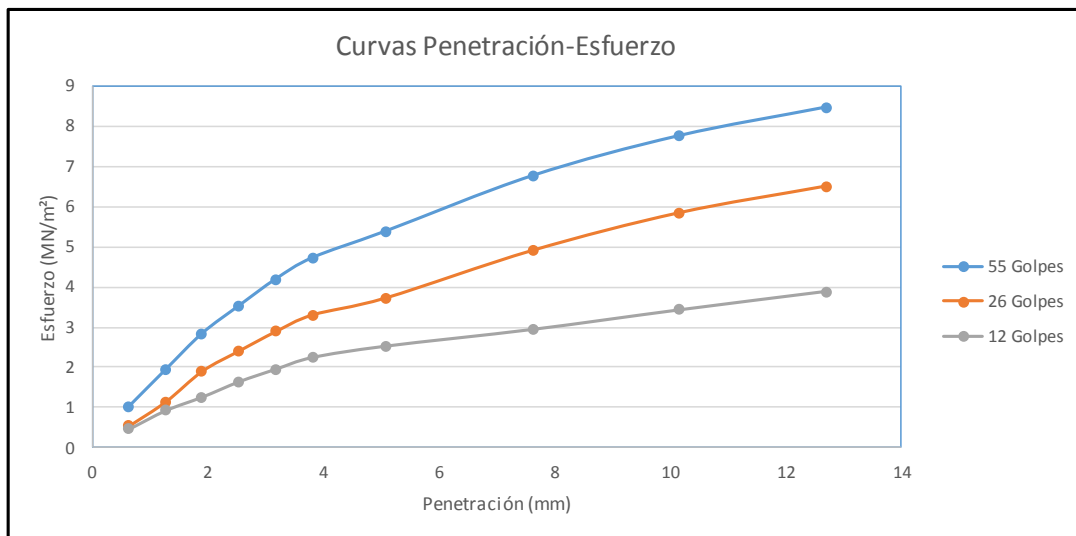
Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material sin aditivo ABS- Ensayo 2

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)											
Ensayo		CBR de suelos (laboratorio)									
Referencia		MTC E 132-2016									
Muestra		Sub base convencional									
COMPACTACIÓN											
Molde N°	3			2			1				
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	12290.00	12399.11	11560.00	11666.40	11710.00	11805.03					
Peso molde (gr)	7340.00	7340.00	6860.00	6860.00	7260.00	7260.00					
Peso suelo compactado (gr)	4950.00	5059.11	4700.00	4806.40	4450.00	4545.03					
Volumen del molde (cm³)	2125.17	2125.17	2117.46	2117.46	2121.93	2121.93					
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.33	2.38	2.22	2.27	2.10	2.14					
Densidad seca (gr/cm³)	2.21	2.21	2.11	2.11	1.99	1.99					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	410.40	502.20	498.30	526.20	472.30	558.70					
Tara + suelo seco (gr)	394.70	477.30	478.20	497.70	451.30	523.40					
Peso de agua (gr)	15.70	24.90	20.10	28.50	21.00	35.30					
Peso de tara (gr)	112.10	161.40	93.00	122.70	71.80	70.10					
Peso de suelo seco (gr)	282.60	315.90	385.20	375.00	379.50	453.30					
Humedad (%)	5.56	7.88	5.22	7.60	5.53	7.79					
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración											
mm	pulg		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m²)	
0.63	0.025	2.02	1.03	1.06	0.54	0.91	0.46				
1.27	0.050	3.83	1.95	2.25	1.15	1.82	0.93				
1.90	0.075	5.59	2.85	3.74	1.90	2.48	1.26				
2.54	0.100	6.94	3.54	4.73	2.41	3.23	1.64				
3.17	0.125	8.23	4.19	5.67	2.89	3.83	1.95				
3.81	0.150	9.27	4.72	6.49	3.30	4.41	2.25				
5.08	0.200	10.57	5.38	7.32	3.73	4.96	2.53				
7.62	0.300	13.27	6.76	9.63	4.91	5.78	2.94				
10.16	0.400	15.22	7.75	11.47	5.84	6.73	3.43				
12.70	0.500	16.61	8.46	12.77	6.50	7.62	3.88				
			Dens.	CBR							
		Molde 1	1.99	23.84							
		Molde 2	2.11	34.91							
		Molde 3	2.21	51.23							

Fuente: Elaboración propia

Figura 65: Curva Penetración- esfuerzo del material sin aditivo ABS- Ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores tenemos los resultados de los dos ensayos de CBR del material convencional que se realizaron, a continuación tenemos el resumen de resultados:

Tabla 41: CBR de material convencional

MATERIAL CONVENCIONAL			
CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	50.84	33.33	22.55
Prueba N° 2	51.23	34.91	23.84
Promedio	51.04	34.12	23.19

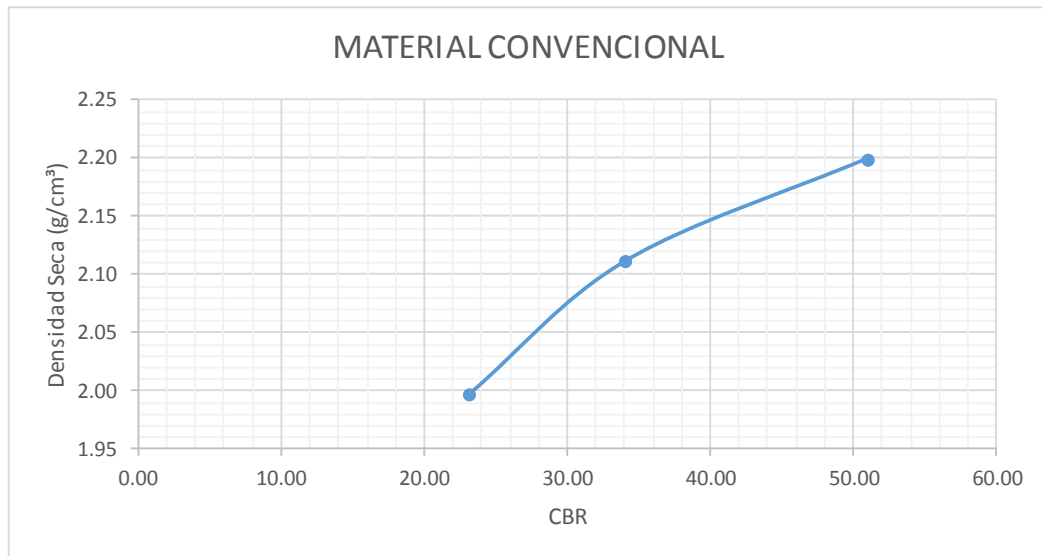
Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Densidad seca de material convencional

MATERIAL CONVENCIONAL			
DENSIDAD SECA (g/cm³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	2.19	2.11	2.01
Prueba N° 2	2.21	2.11	1.99
Promedio	2.20	2.11	2.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 66: Curva de CBR vs. Densidad seca del material sin aditivo ABS



Fuente: Elaboración propia

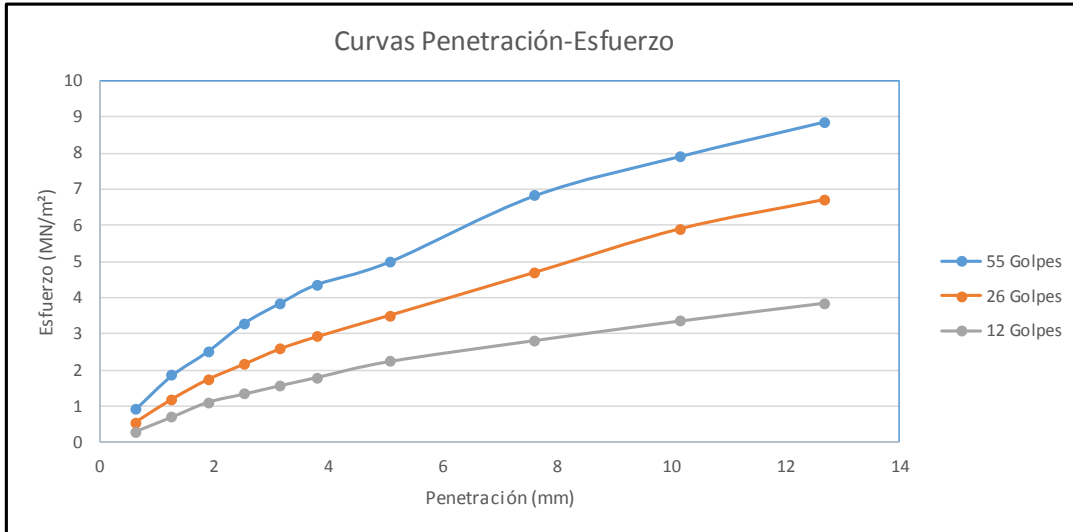
Tabla 43: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 1

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)									
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 1.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
N° de capas	5			5			5				
N° de golpes	55			26			12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11780.00	11886.17		11520.00	11622.16		11390.00	11483.41			
Peso molde (gr)	7001.00	7001.00		6890.00	6890.00		7003.00	7003.00			
Peso suelo compactado (gr)	4779.00	4885.17		4630.00	4732.16		4387.00	4480.41			
Volumen del molde (cm ³)	2100.52	2100.52		2116.01	2116.01		2100.52	2100.52			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.28	2.33		2.19	2.24		2.09	2.13			
Densidad seca (gr/cm ³)	2.16	2.16		2.07	2.07		1.98	1.98			
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	696.50	651.40		589.00	513.60		511.10	543.90			
Tara + suelo seco (gr)	666.87	611.10		563.20	482.90		488.60	510.70			
Peso de agua (gr)	29.63	40.30		25.80	30.70		22.50	33.20			
Peso de tara (gr)	121.80	93.00		93.10	90.10		93.00	92.46			
Peso de suelo seco (gr)	545.07	518.10		470.10	392.80		395.60	418.24			
Humedad (%)	5.44	7.78		5.49	7.82		5.69	7.94			
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
PENETRACIÓN											
Penetración											
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)
0.63	0.025	1.76	0.89	1.05	0.53	0.55	0.28				
1.27	0.050	3.60	1.84	2.30	1.17	1.34	0.68				
1.90	0.075	4.92	2.50	3.38	1.72	2.14	1.09				
2.54	0.100	6.46	3.29	4.22	2.15	2.60	1.32				
3.17	0.125	7.55	3.85	5.05	2.57	3.06	1.56				
3.81	0.150	8.56	4.36	5.71	2.91	3.50	1.78				
5.08	0.200	9.79	4.99	6.87	3.50	4.37	2.22				
7.62	0.300	13.38	6.81	9.21	4.69	5.51	2.80				
10.16	0.400	15.51	7.90	11.58	5.90	6.57	3.35				
12.70	0.500	17.39	8.86	13.18	6.71	7.54	3.84				

	Dens.	CBR
Molde 1	1.98	19.19
Molde 2	2.07	31.16
Molde 3	2.16	47.67

Fuente: Elaboración propia

Figura 67: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 1.5% de ABS-Ensayo 1



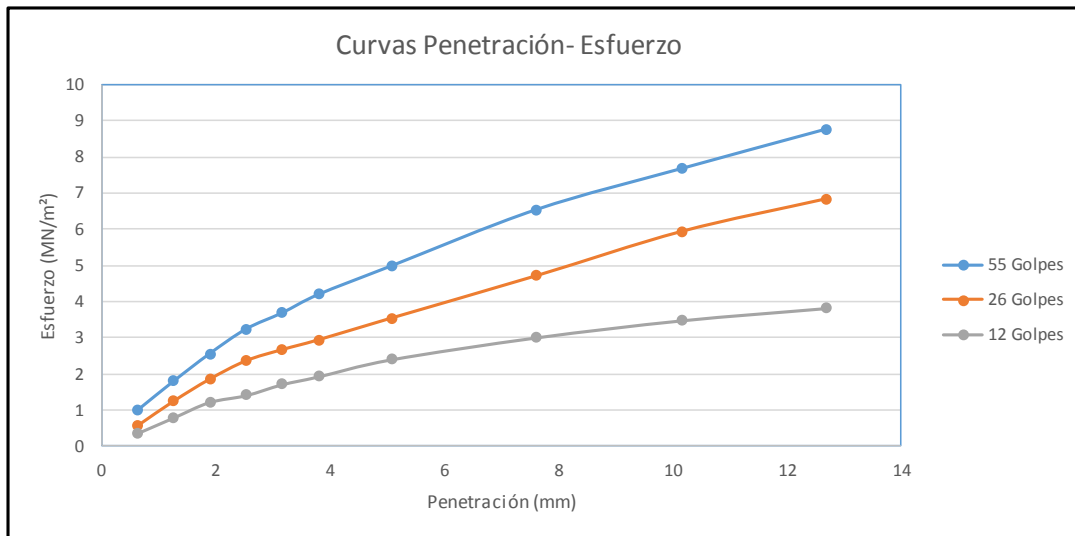
Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 1.5% de ABS- Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)										
Referencia	MTC E 132-2016										
Muestra	Sub base + 1.5% de ABS										
COMPACTACIÓN											
N° de capas	5		5		5						
N° de golpes	55		26		12						
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado					
Peso suelo + molde (gr)	11680.00	11791.12	11910.00	12022.63	11420.00	11515.80					
Peso molde (gr)	6860.00	6860.00	7205.00	7205.00	7003.00	7003.00					
Peso suelo compactado (gr)	4820.00	4931.12	4705.00	4817.63	4417.00	4512.80					
Volumen del molde (cm ³)	2108.36	2108.36	2125.94	2125.94	2100.52	2100.52					
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.29	2.34	2.21	2.27	2.10	2.15					
Densidad seca (gr/cm ³)	2.17	2.17	2.10	2.10	1.99	1.99					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Tara + suelo húmedo (gr)	462.80	551.40	498.30	472.90	485.30	521.60					
Tara + suelo seco (gr)	444.30	523.80	477.90	445.30	465.90	489.90					
Peso de agua (gr)	18.50	27.60	20.40	27.60	19.40	31.70					
Peso de tara (gr)	87.90	161.40	93.10	92.46	121.80	90.10					
Peso de suelo seco (gr)	356.40	362.40	384.80	352.84	344.10	399.80					
Humedad (%)	5.19	7.62	5.30	7.82	5.64	7.93					
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
SUELO NO EXPANSIVO											
AGUA ABSORBIDA											
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)				
mm	pulg										
0.63	0.025	1.94	0.99	1.09	0.55	0.68	0.35				
1.27	0.050	3.54	1.80	2.44	1.24	1.54	0.78				
1.90	0.075	5.03	2.56	3.63	1.85	2.39	1.21				
2.54	0.100	6.37	3.24	4.64	2.36	2.76	1.41				
3.17	0.125	7.24	3.69	5.24	2.67	3.35	1.71				
3.81	0.150	8.24	4.20	5.78	2.94	3.78	1.92				
5.08	0.200	9.78	4.98	6.95	3.54	4.70	2.40				
7.62	0.300	12.83	6.53	9.25	4.71	5.90	3.00				
10.16	0.400	15.05	7.66	11.65	5.93	6.82	3.47				
12.70	0.500	17.19	8.76	13.43	6.84	7.49	3.81				
				Dens.		CBR					
				Molde 1	1.99	20.37					
				Molde 2	2.10	34.22					
				Molde 3	2.17	46.98					

Fuente: Elaboración propia

Figura 68: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 1.5% de ABS-Ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores tenemos los resultados de los dos ensayos de CBR del material adicionado con 1.5% de ABS que se realizaron, a continuación tenemos el resumen de resultados:

Tabla 45: CBR de sub base + 1.5% de ABS

SUB BASE + 1.5% DE ABS			
CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	47.67	31.16	19.19
Prueba N° 2	46.98	34.22	20.37
Promedio	47.33	32.69	19.78

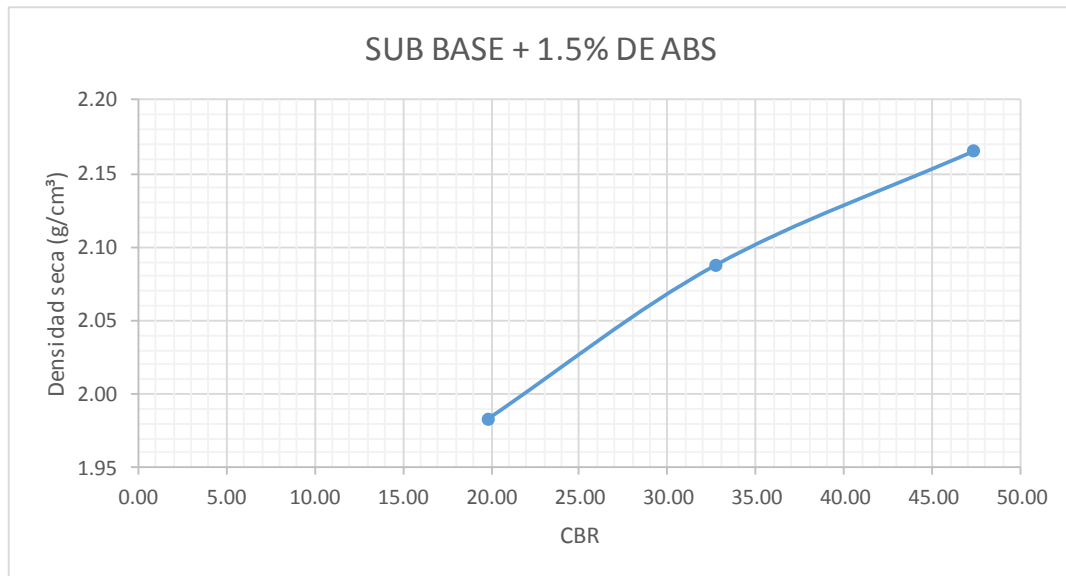
Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Densidad seca de sub base + 1.5% de ABS

SUB BASE + 1.5% DE ABS			
DENSIDAD SECA (g/cm³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	2.16	2.07	1.98
Prueba N° 2	2.17	2.10	1.99
Promedio	2.17	2.09	1.98

Fuente: Elaboración propia

Figura 69: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 1.5% de ABS



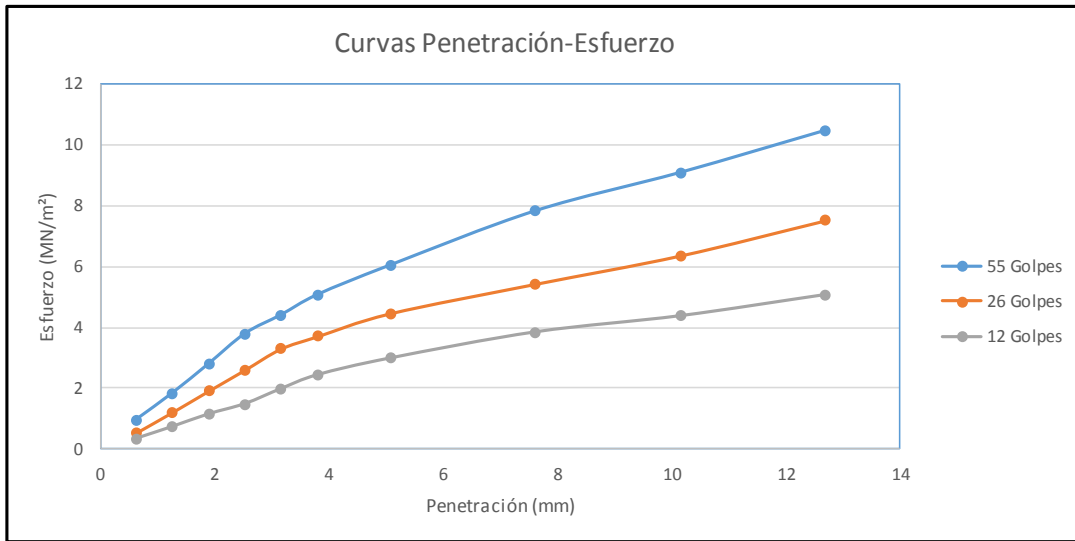
Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 1

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)										
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)											
Referencia	MTC E 132-2016											
Muestra	Sub base + 2.5% de ABS											
COMPACTACIÓN												
N° de capas	5				5				5			
N° de golpes	55				26				12			
Condición de la muestra	No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado	
Peso suelo + molde (gr)	11690.00	11797.86	11470.00	11559.25	11390.00	11476.35						
Peso molde (gr)	7001.00	7001.00	6890.00	6890.00	7003.00	7003.00						
Peso suelo compactado (gr)	4689.00	4796.86	4580.00	4669.25	4387.00	4473.35						
Volumen del molde (cm ³)	2100.52	2100.52	2116.01	2116.01	2100.52	2100.52						
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.23	2.28	2.16	2.21	2.09	2.13						
Densidad seca (gr/cm ³)	2.12	2.12	2.05	2.05	1.97	1.97						
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tara + suelo húmedo (gr)	493.30	445.30	432.10	603.10	474.50	487.90						
Tara + suelo seco (gr)	473.60	418.20	412.08	564.80	454.34	459.10						
Peso de agua (gr)	19.70	27.10	20.02	38.30	20.16	28.80						
Peso de tara (gr)	93.00	61.40	61.40	71.80	106.20	93.30						
Peso de suelo seco (gr)	380.60	356.80	350.68	493.00	348.14	365.80						
Humedad (%)	5.18	7.60	5.71	7.77	5.79	7.87						
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO												
PENETRACIÓN												
Penetración			Carga (KN)				Esfuerzo (MN/m ²)					
mm	pulg											
0.63	0.025	1.86	0.95	1.02	0.52	0.64	0.33					
1.27	0.050	3.59	1.83	2.36	1.20	1.42	0.72					
1.90	0.075	5.47	2.78	3.73	1.90	2.23	1.14					
2.54	0.100	7.42	3.78	5.09	2.59	2.90	1.48					
3.17	0.125	8.63	4.40	6.46	3.29	3.87	1.97					
3.81	0.150	9.94	5.06	7.26	3.70	4.77	2.43					
5.08	0.200	11.84	6.03	8.74	4.45	5.85	2.98					
7.62	0.300	15.34	7.81	10.64	5.42	7.54	3.84					
10.16	0.400	17.82	9.08	12.47	6.35	8.59	4.37					
12.70	0.500	20.54	10.46	14.74	7.51	9.96	5.07					
			Dens.	CBR								
			Molde 1	1.97	21.41							
			Molde 2	2.05	37.58							
			Molde 3	2.12	54.79							

Fuente: Elaboración propia

Figura 70: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 2.5% de ABS-Ensayo 1



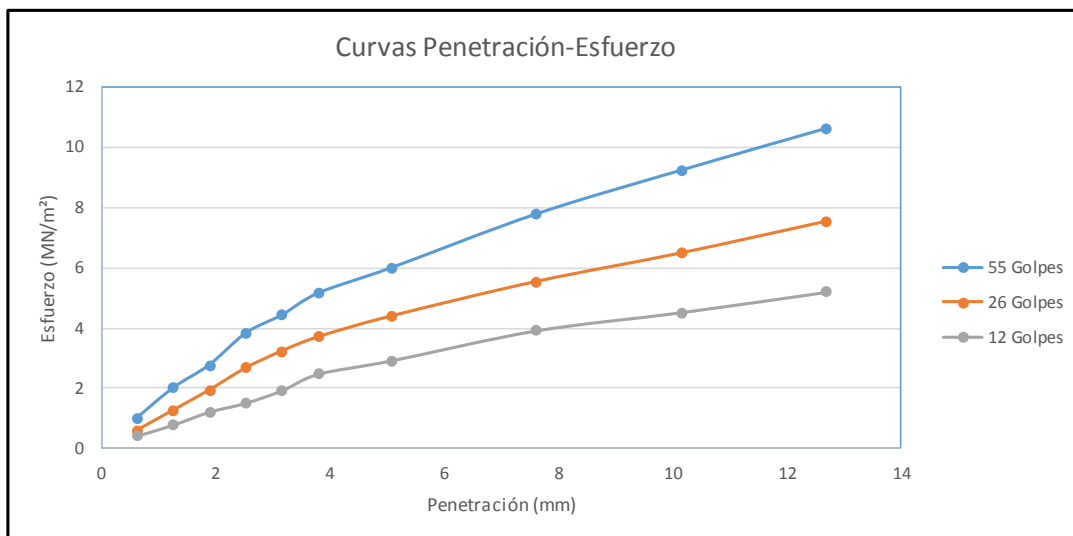
Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 2.5% de ABS- Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)										
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)											
Referencia	MTC E 132-2016											
Muestra	Sub base + 2.5% de ABS											
COMPACTACIÓN												
N° de capas	5				5				5			
N° de golpes	55				26				12			
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado	
Peso suelo + molde (gr)	12020.00	12125.03		11950.00	12046.89		11250.00	11342.34				
Peso molde (gr)	7260.00	7260.00		7340.00	7340.00		6860.00	6860.00				
Peso suelo compactado (gr)	4760.00	4865.03		4610.00	4706.89		4390.00	4482.34				
Volumen del molde (cm ³)	2121.93	2121.93		2115.46	2115.46		2117.57	2117.57				
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.24	2.29		2.18	2.23		2.07	2.12				
Densidad seca (gr/cm ³)	2.13	2.13		2.07	2.07		1.96	1.96				
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tara + suelo húmedo (gr)	521.40	495.20		485.20	571.30		496.80	526.70				
Tara + suelo seco (gr)	502.30	468.30		464.70	539.10		474.30	495.30				
Peso de agua (gr)	19.10	26.90		20.50	32.20		22.50	31.40				
Peso de tara (gr)	137.10	112.10		93.00	122.70		71.80	93.30				
Peso de suelo seco (gr)	365.20	356.20		371.70	416.40		402.50	402.00				
Humedad (%)	5.23	7.55		5.52	7.73		5.59	7.81				
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO												
PENETRACIÓN												
Penetración		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)					
mm	pulg											
0.63	0.025	1.96	1.00	1.15	0.59	0.79	0.40					
1.27	0.050	3.93	2.00	2.48	1.26	1.52	0.77					
1.90	0.075	5.41	2.76	3.79	1.93	2.36	1.20					
2.54	0.100	7.49	3.81	5.24	2.67	2.95	1.50					
3.17	0.125	8.67	4.42	6.34	3.23	3.76	1.91					
3.81	0.150	10.10	5.14	7.27	3.70	4.84	2.46					
5.08	0.200	11.74	5.98	8.62	4.39	5.71	2.91					
7.62	0.300	15.25	7.77	10.88	5.54	7.67	3.91					
10.16	0.400	18.11	9.22	12.75	6.49	8.86	4.51					
12.70	0.500	20.84	10.61	14.82	7.55	10.19	5.19					
			Dens.	CBR								
Molde 1			1.96	21.77								
Molde 2			2.07	38.67								
Molde 3			2.13	55.29								

Fuente: Elaboración propia

Figura 71: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 2.5% de ABS-Ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores tenemos los resultados de los dos ensayos de CBR del material adicionado con 2.5% de ABS que se realizaron, a continuación tenemos el resumen de resultados:

Tabla 49: CBR de sub base + 2.5% de ABS

SUB BASE + 2.5% DE ABS			
CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	54.79	37.58	21.41
Prueba N° 2	55.29	38.67	21.77
Promedio	55.04	38.13	21.59

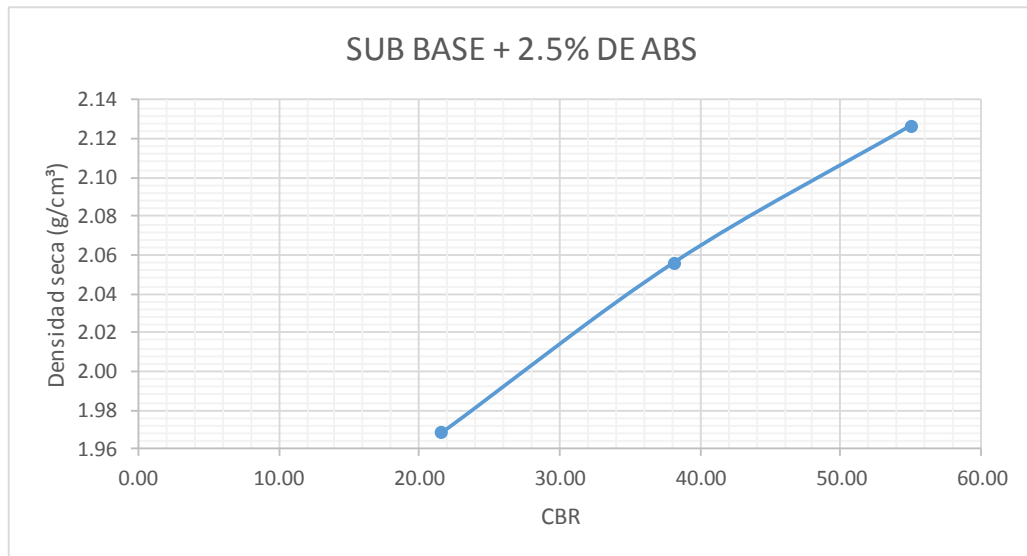
Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Densidad seca de sub base + 3.5% de ABS

SUB BASE + 2.5% DE ABS			
DENSIDAD SECA (g/cm³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	2.12	2.05	1.97
Prueba N° 2	2.13	2.07	1.96
Promedio	2.13	2.06	1.97

Fuente: Elaboración propia

Figura 72: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 2.5% de ABS



Fuente: Elaboración propia

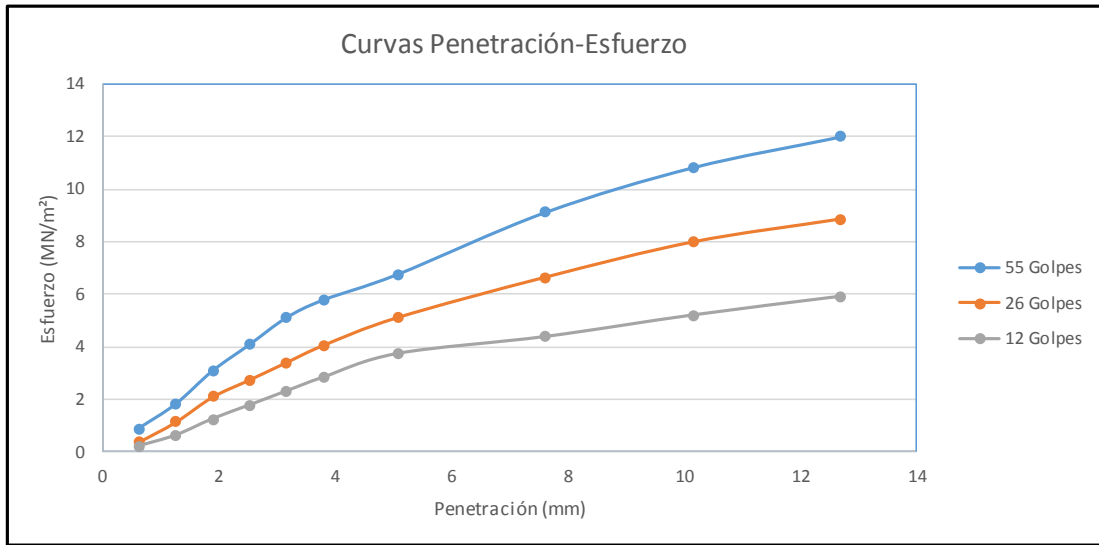
Tabla 51: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS- Ensayo 1

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)										
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)											
Referencia	MTC E 132-2016											
Muestra	Sub base + 3.5% de ABS											
COMPACTACIÓN												
N° de capas	5				5				5			
N° de golpes	55				26				12			
Condición de la muestra	No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado	
Peso suelo + molde (gr)	11585.00		11679.29		11425.00		11519.75		11320.00		11414.41	
Peso molde (gr)	7001.00		7001.00		6890.00		6890.00		7003.00		7003.00	
Peso suelo compactado (gr)	4584.00		4678.29		4535.00		4629.75		4317.00		4411.41	
Volumen del molde (cm ³)	2100.52		2100.52		2116.01		2116.01		2100.52		2100.52	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.18		2.23		2.14		2.19		2.06		2.10	
Densidad seca (gr/cm ³)	2.07		2.07		2.03		2.03		1.95		1.95	
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tara + suelo húmedo (gr)	431.00		581.20		472.50		404.30		373.00		687.30	
Tara + suelo seco (gr)	414.40		546.90		452.40		381.00		359.08		644.20	
Peso de agua (gr)	16.60		34.30		20.10		23.30		13.92		43.10	
Peso de tara (gr)	104.40		90.90		90.30		80.60		106.40		92.80	
Peso de suelo seco (gr)	310.00		456.00		362.10		300.40		252.68		551.40	
Humedad (%)	5.35		7.52		5.55		7.76		5.51		7.82	
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO												
PENETRACIÓN												
Penetración			Carga (KN)				Esfuerzo (MN/m ²)					
mm	pulg											
0.63	0.025	1.73	0.88		0.74		0.38		0.39		0.20	
1.27	0.050	3.56	1.82		2.24		1.14		1.21		0.61	
1.90	0.075	6.03	3.07		4.10		2.09		2.43		1.24	
2.54	0.100	8.01	4.08		5.39		2.74		3.47		1.77	
3.17	0.125	10.01	5.10		6.67		3.40		4.52		2.30	
3.81	0.150	11.35	5.78		7.96		4.05		5.56		2.83	
5.08	0.200	13.25	6.75		10.02		5.10		7.33		3.73	
7.62	0.300	17.89	9.11		13.02		6.63		8.60		4.38	
10.16	0.400	21.24	10.82		15.65		7.97		10.22		5.21	
12.70	0.500	23.54	11.99		17.35		8.84		11.63		5.92	

	Dens.	CBR
Molde 1	1.95	25.62
Molde 2	2.03	39.76
Molde 3	2.07	59.15

Fuente: Elaboración propia

Figura 73: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 3.5% de ABS-Ensayo 1



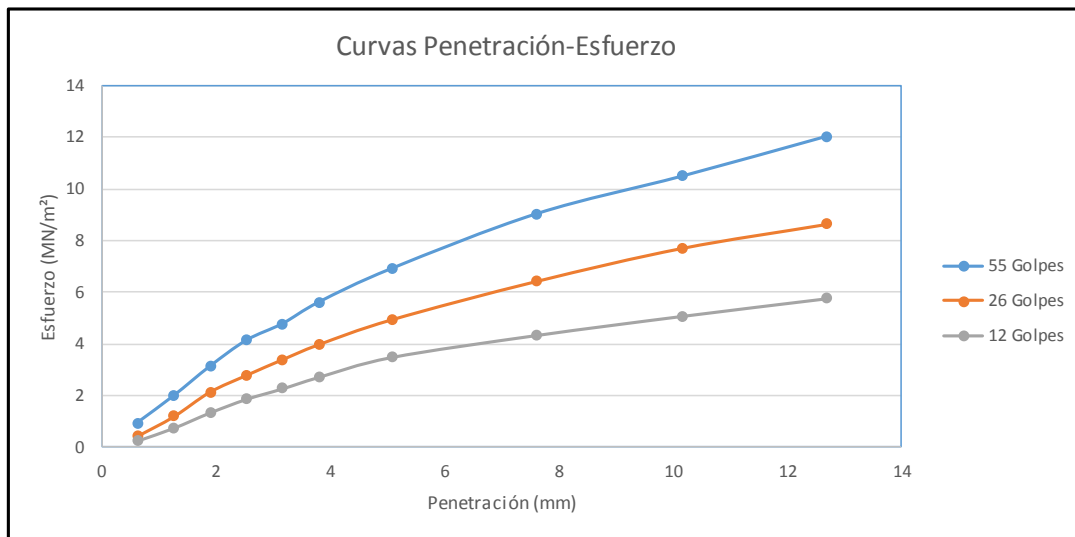
Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 3.5% de ABS- Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)										
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)											
Referencia	MTC E 132-2016											
Muestra	Sub base + 3.5% de ABS											
COMPACTACIÓN												
N° de capas	5				5				5			
N° de golpes	55				26				12			
Condición de la muestra	No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado	
Peso suelo + molde (gr)	11870.00	11761.44	11870.00	11969.34	11240.00	11339.23						
Peso molde (gr)	7205.00	7001.00	7340.00	7340.00	6860.00	6860.00						
Peso suelo compactado (gr)	4665.00	4760.44	4530.00	4629.34	4380.00	4479.23						
Volumen del molde (cm ³)	2122.28	2122.28	2125.17	2125.17	2117.46	2117.46						
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.24	2.13	2.18	2.07	2.12						
Densidad seca (gr/cm ³)	2.09	2.09	2.02	2.02	1.96	1.96						
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tara + suelo húmedo (gr)	383.10	526.40	486.90	449.50	425.70	521.40						
Tara + suelo seco (gr)	371.90	495.90	466.20	423.60	409.40	492.60						
Peso de agua (gr)	11.20	30.50	20.70	25.90	16.30	28.80						
Peso de tara (gr)	161.40	87.90	90.30	92.42	106.40	121.80						
Peso de suelo seco (gr)	210.50	408.00	375.90	331.18	303.00	370.80						
Humedad (%)	5.32	7.48	5.51	7.82	5.38	7.77						
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO												
PENETRACIÓN												
Penetración												
mm	pulg		Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63	0.025	1.85	0.94	0.84	0.43	0.48	0.24					
1.27	0.050	3.91	1.99	2.34	1.19	1.46	0.74					
1.90	0.075	6.14	3.13	4.20	2.14	2.62	1.33					
2.54	0.100	8.12	4.14	5.48	2.79	3.66	1.86					
3.17	0.125	9.38	4.78	6.67	3.40	4.46	2.27					
3.81	0.150	11.03	5.62	7.82	3.98	5.34	2.72					
5.08	0.200	13.57	6.91	9.70	4.94	6.85	3.49					
7.62	0.300	17.74	9.04	12.62	6.43	8.53	4.34					
10.16	0.400	20.60	10.49	15.12	7.70	9.98	5.08					
12.70	0.500	23.64	12.04	16.95	8.63	11.33	5.77					
				Dens.		CBR						
			Molde 1	1.96		27.01						
			Molde 2	2.02		40.45						
			Molde 3	2.09		59.94						

Fuente: Elaboración propia

Figura 74: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 3.5% de ABS-Ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores tenemos los resultados de los dos ensayos de CBR del material adicionado con 3.5% de ABS que se realizaron, a continuación tenemos el resumen de resultados:

Tabla 53: CBR de sub base + 3.5% de ABS

SUB BASE + 3.5% DE ABS			
CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	59.15	39.76	25.62
Prueba N° 2	59.94	40.45	27.01
Promedio	59.54	40.10	26.32

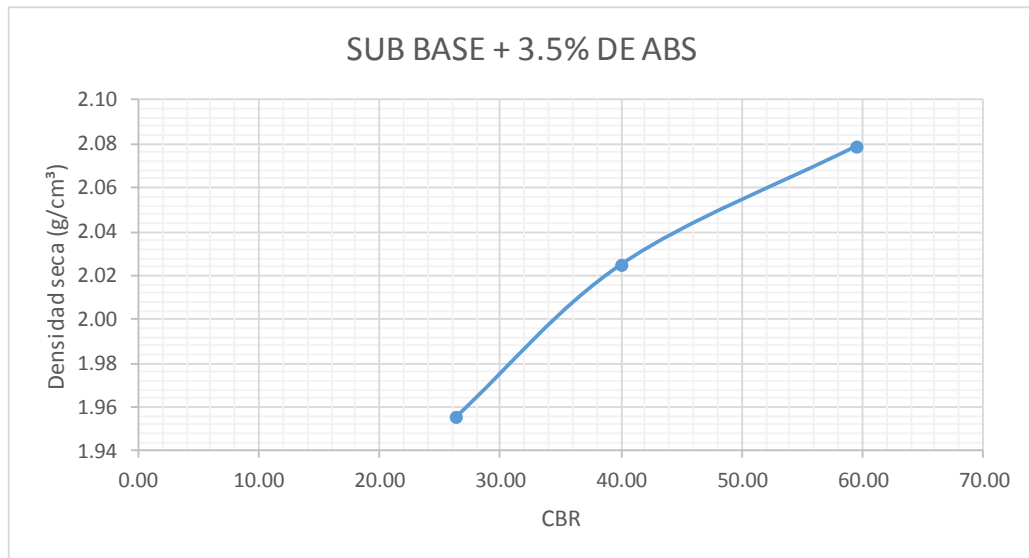
Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Densidad seca de sub base + 3.5% de ABS

SUB BASE + 3.5% DE ABS			
DENSIDAD SECA (g/cm³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	2.07	2.03	1.95
Prueba N° 2	2.09	2.02	1.96
Promedio	2.08	2.03	1.96



Fuente: Elaboración propia

Figura 75: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 3.5% de ABS



Fuente: Elaboración propia

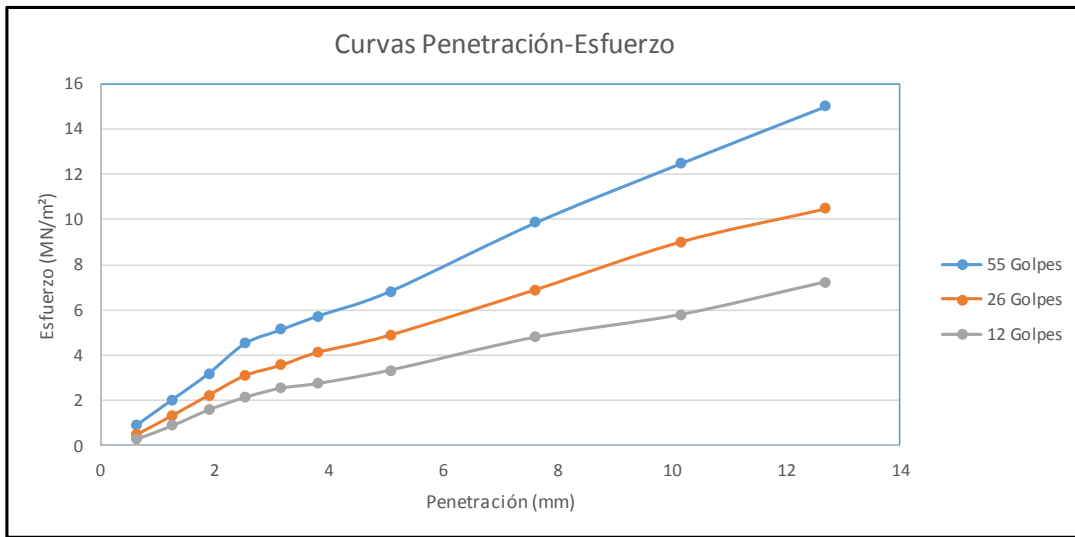
Tabla 55: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS-
Ensayo 1

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)							
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)								
Referencia	MTC E 132-2016								
Muestra	Sub base + 4.5% de ABS								
COMPACTACIÓN									
N° de capas	5		5		5				
N° de golpes	55		26		12				
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
Peso suelo + molde (gr)	11590.00	11683.73	11350.00	11446.22	11280.00	11376.39			
Peso molde (gr)	7001.00	7001.00	6890.00	6890.00	7003.00	7003.00			
Peso suelo compactado (gr)	4589.00	4682.73	4460.00	4556.22	4277.00	4373.39			
Volumen del molde (cm ³)	2100.52	2100.52	2116.01	2116.01	2100.52	2100.52			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.18	2.23	2.11	2.15	2.04	2.08			
Densidad seca (gr/cm ³)	2.08	2.08	2.00	2.00	1.93	1.93			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara + suelo húmedo (gr)	633.80	557.10	590.00	560.00	604.00	522.40			
Tara + suelo seco (gr)	606.50	525.20	564.20	525.80	576.90	490.70			
Peso de agua (gr)	27.30	31.90	25.80	34.20	27.10	31.70			
Peso de tara (gr)	84.50	92.90	101.30	90.20	92.20	93.00			
Peso de suelo seco (gr)	522.00	432.30	462.90	435.60	484.70	397.70			
Humedad (%)	5.23	7.38	5.57	7.85	5.59	7.97			
EXPANSIÓN									
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%	
SUELO NO EXPANSIVO									
Penetración									
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)		
0.63	0.025	1.74	0.89	0.95	0.48	0.51	0.26		
1.27	0.050	4.01	2.04	2.64	1.34	1.73	0.88		
1.90	0.075	6.26	3.19	4.39	2.24	3.08	1.57		
2.54	0.100	8.88	4.52	6.10	3.11	4.18	2.13		
3.17	0.125	10.08	5.13	7.01	3.57	4.98	2.54		
3.81	0.150	11.27	5.74	8.12	4.14	5.39	2.75		
5.08	0.200	13.42	6.83	9.63	4.90	6.54	3.33		
7.62	0.300	19.38	9.87	13.57	6.91	9.41	4.79		
10.16	0.400	24.52	12.49	17.71	9.02	11.37	5.79		
12.70	0.500	29.50	15.02	20.59	10.49	14.21	7.24		

	Dens.	CBR
Molde 1	1.93	30.86
Molde 2	2.00	45.04
Molde 3	2.08	65.58

Fuente: Elaboración propia

Figura 76: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 4.5% de ABS



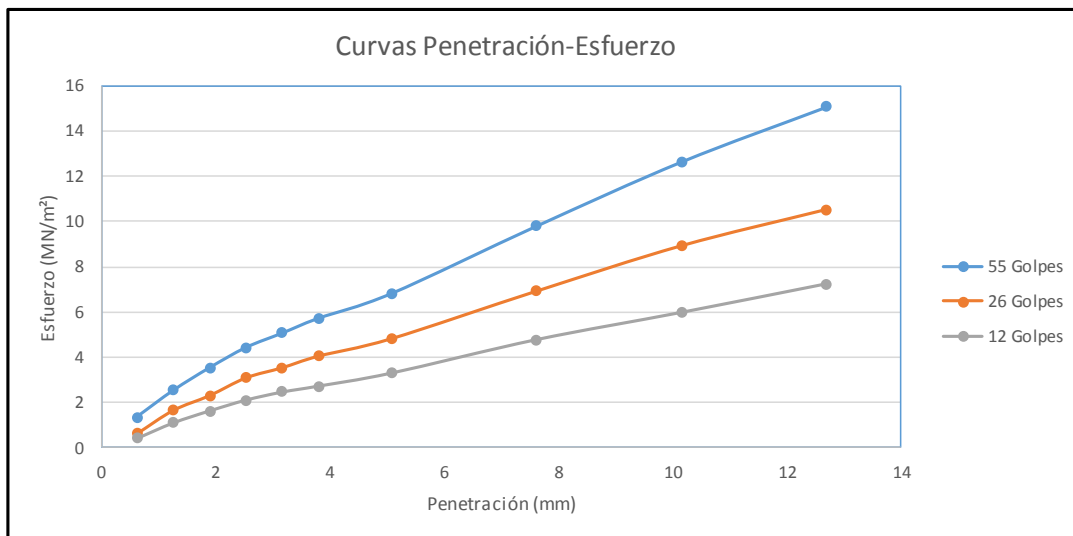
Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Formato para análisis de datos – Ensayo de CBR para el material con 4.5% de ABS- Ensayo 2

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADA CON TERMOPLÁSTICO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)											
Ensayo	CBR de suelos (laboratorio)												
Referencia	MTC E 132-2016												
Muestra	Sub base + 4.5% de ABS												
COMPACTACIÓN													
N° de capas	5				5				5				
N° de golpes	55				26				12				
Condición de la muestra	No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado		No Saturado		Saturado		
Peso suelo + molde (gr)	11990.00	12082.21	11760.00	11859.82	11560.00	11658.72							
Peso molde (gr)	7434.00	7434.00	7260.00	7260.00	7205.00	7205.00							
Peso suelo compactado (gr)	4556.00	4648.21	4500.00	4599.82	4355.00	4453.72							
Volumen del molde (cm ³)	2115.46	2115.46	2121.93	2121.93	2125.94	2125.94							
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.15	2.20	2.12	2.17	2.05	2.09							
Densidad seca (gr/cm ³)	2.05	2.05	2.01	2.01	1.94	1.94							
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Tara + suelo húmedo (gr)	240.30	492.80	372.10	476.30	532.60	512.70							
Tara + suelo seco (gr)	231.20	467.20	355.60	446.50	507.90	481.10							
Peso de agua (gr)	9.10	25.60	16.50	29.80	24.70	31.60							
Peso de tara (gr)	59.50	122.70	61.50	71.80	70.10	87.90							
Peso de suelo seco (gr)	171.70	344.50	294.10	374.70	437.80	393.20							
Humedad (%)	5.30	7.43	5.61	7.95	5.64	8.04							
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo (Hr)	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión			
				mm	%		mm	%		mm	%		
SUELO NO EXPANSIVO													
Penetración													
mm	pulg	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MN/m ²)
0.63	0.025	2.65	1.35	1.25	0.64	0.81	0.41						
1.27	0.050	4.98	2.53	3.28	1.67	2.16	1.10						
1.90	0.075	6.93	3.53	4.55	2.32	3.19	1.62						
2.54	0.100	8.70	4.43	6.09	3.10	4.13	2.10						
3.17	0.125	9.95	5.07	6.96	3.54	4.82	2.45						
3.81	0.150	11.25	5.73	7.97	4.06	5.34	2.72						
5.08	0.200	13.39	6.82	9.47	4.82	6.46	3.29						
7.62	0.300	19.26	9.81	13.58	6.92	9.35	4.76						
10.16	0.400	24.86	12.66	17.51	8.92	11.71	5.96						
12.70	0.500	29.64	15.10	20.65	10.52	14.18	7.22						
			Dens.	CBR									
			Molde 1	1.94	30.48								
			Molde 2	2.01	44.95								
			Molde 3	2.05	64.22								

Fuente: Elaboración propia

Figura 77: Curva de Penetración- Esfuerzo del material con 4.5% de ABS-Ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores tenemos los resultados de los dos ensayos de CBR del material adicionado con 4.5% de ABS que se realizaron, a continuación tenemos el resumen de resultados:

Tabla 57: CBR de sub base + 4.5% de ABS

SUB BASE + 4.5% DE ABS			
CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	65.58	45.04	30.86
Prueba N° 2	64.22	44.95	30.48
Promedio	64.90	45.00	30.67

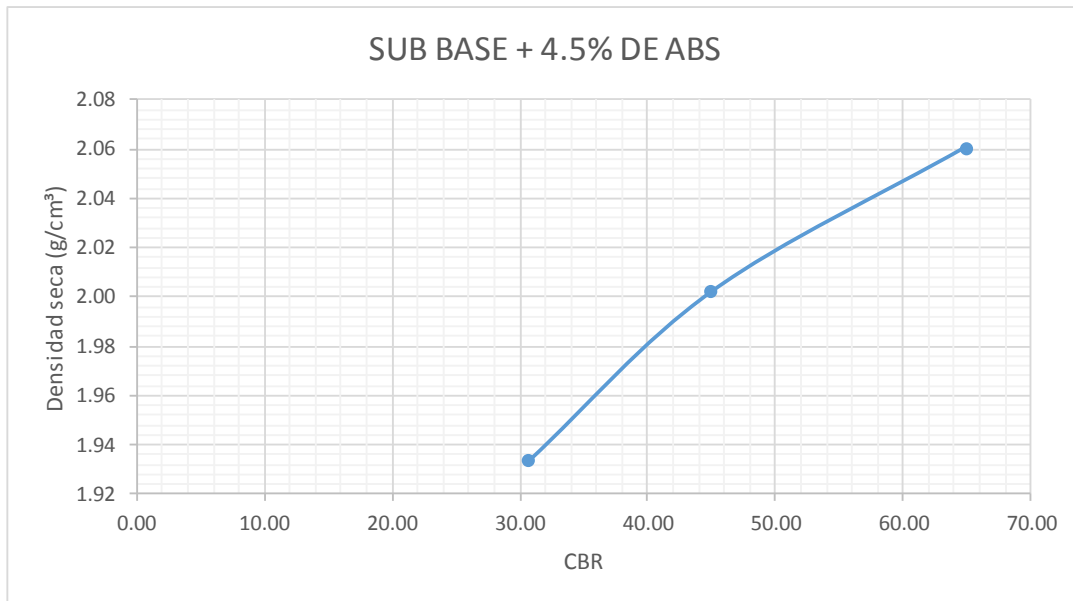
Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Densidad seca de sub base + 4.5% de ABS

SUB BASE + 4.5% DE ABS			
DENSIDAD SECA (g/cm³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Prueba N° 1	2.08	2.00	1.93
Prueba N° 2	2.05	2.01	1.94
Promedio	2.06	2.00	1.93

Fuente: Elaboración propia

Figura 78: Curva de CBR vs. Densidad seca del material con 4.5% de ABS



Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de resultados

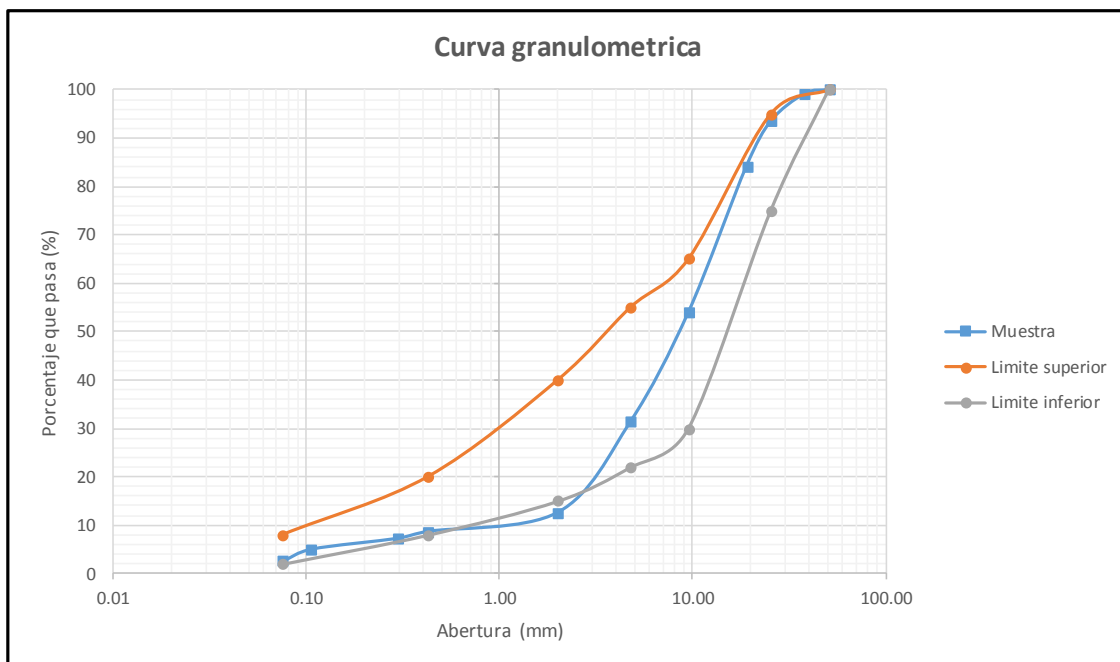
De los resultados obtenidos se observa que a mayor cantidad de aditivo (ABS) el CBR del material para sub base se incrementa y la densidad disminuye, a excepción de 1.5 % de ABS el CBR sufre una pequeña disminución.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

Luego de realizar los cálculos pertinentes se observa que la curva granulométrica del material de sub base obtenida no esta contenida dentro de la franja granulométrica dada por el MTC, por lo cual no cumple con esta especificación técnica.

Figura 79: Curva Granulométrica del material granular de la cantera de Quillahuata



Fuente: Elaboración propia

4.2 ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite líquido (%)	27
Límite plástico (%)	17
Índice de plasticidad (%)	10

En los requerimientos de ensayos especiales en el manual de carretera EM-2013 se tienen como especificaciones técnicas para sub base que el límite líquido máximo es de 25% y el índice plástico máximo es de 4 %, con los resultados

obtenidos se observa que el material sobrepasa estos valores, limite liquido 27 % e índice de plasticidad 10 % por lo tanto el material no sería aceptable como sub base de acuerdo a las especificaciones indicadas en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013.

4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LO ÁNGELES.

El MTC indica que el máximo porcentaje de abrasión aceptable para un material de Sub base granular es de 50%. Luego de realizar el ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles el resultado obtenido para el material utilizado en la Tesis fue de 31.71%, lo cual está dentro de lo permisible.

Tabla 59: Resultados del ensayo de abrasión

Gradación	N° de revoluciones	N° de billas	Peso de muestra antes del ensayo (gr)	Peso de muestra después del ensayo (gr)	% total de pérdida
B	500	11	5001.2	3415.1	31.71%

Fuente: Elaboración propia

4.4 COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

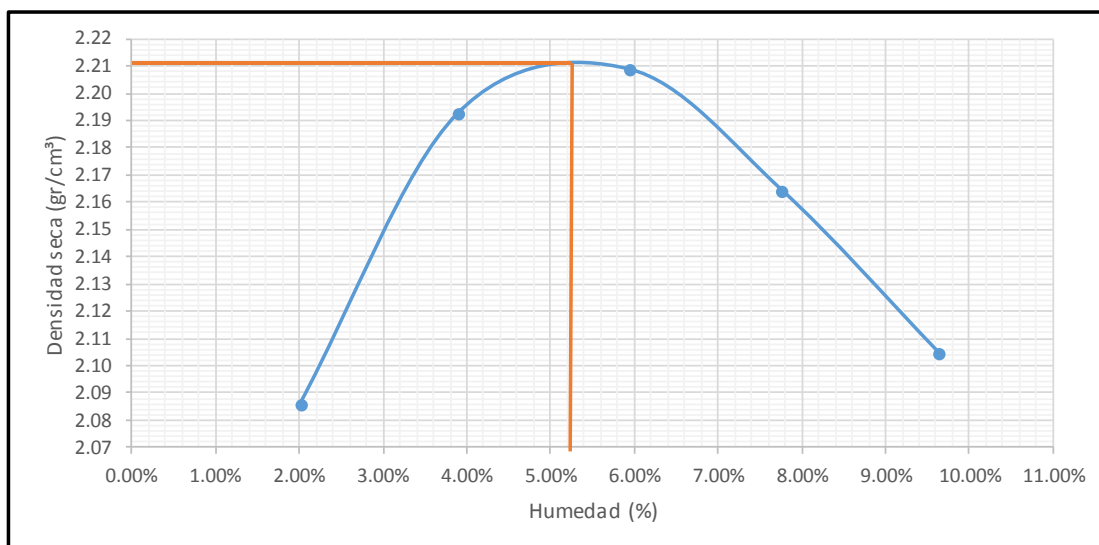
Para determinar la máxima densidad y el contenido de humedad óptimo del material de sub base se realizó el ensayo de proctor modificado, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 60: Resultados del ensayo de proctor modificado

Contenido de humedad					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Humedad	2.01%	3.89%	5.93%	7.76%	9.64%
Densidad					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.13	2.28	2.34	2.33	2.31
Densidad seca (gr/cm ³)	2.09	2.19	2.21	2.16	2.10

Fuente: Elaboración propia

Figura 80: Curva humedad vs densidad del ensayo de proctor modificado



Fuente: Elaboración propia

En la figura 80 se determinó que la máxima densidad seca del material para sub base es 2.212 gr/cm³ y el contenido de humedad óptima es 5.25%.

4.5 DENSIDAD SECA DEL MATERIAL DE SUB BASE MAS ADITIVO

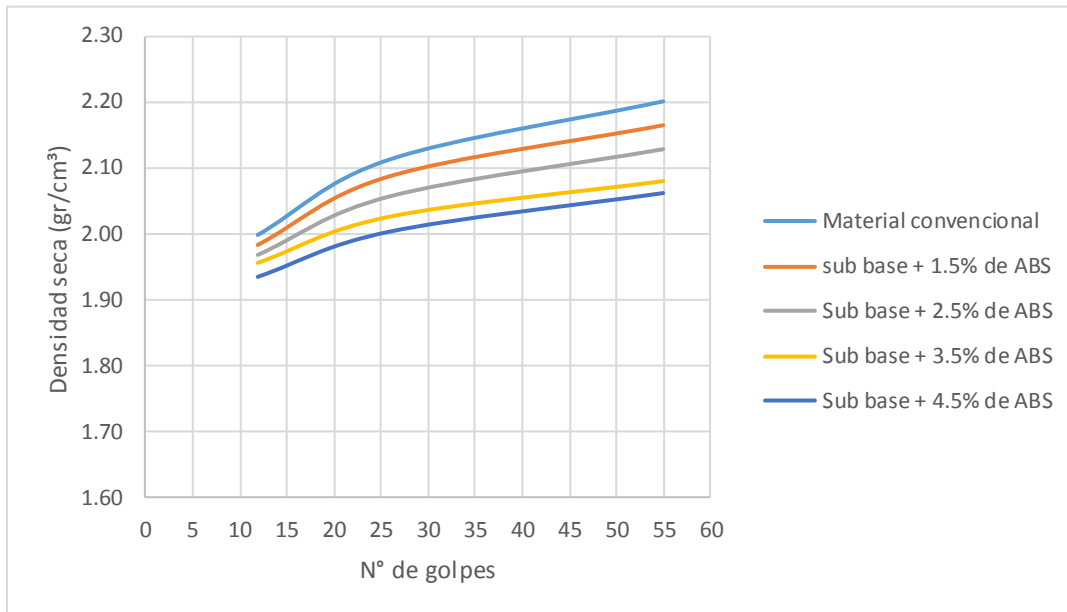
Luego de realizar los ensayos pertinentes se puede determinar la densidad seca de cada una de las muestras, con este valor se determina el grado de compactación de la sub base en el campo, por este motivo es muy importante conocer los valores y las relaciones que dicho parámetro posee con el % de ABS añadido. Estos valores se muestran en la tabla N° 61.

Tabla 61: Resultados Densidad seca máxima

	Densidad seca (gr/cm ³)		
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Material convencional	2.20	2.11	2.00
sub base + 1.5% de ABS	2.17	2.09	1.98
Sub base + 2.5% de ABS	2.13	2.06	1.97
Sub base + 3.5% de ABS	2.08	2.03	1.96
Sub base + 4.5% de ABS	2.06	2.00	1.93

Fuente: Elaboración propia

Figura 81: Nro de golpes de compactación vs Densidad seca



Fuente: Elaboración propia

En la figura 81 se observa que a mayor cantidad de golpes se tiene una mayor densidad seca, además que a mayor cantidad de ABS la densidad seca disminuye.

4.6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO CBR

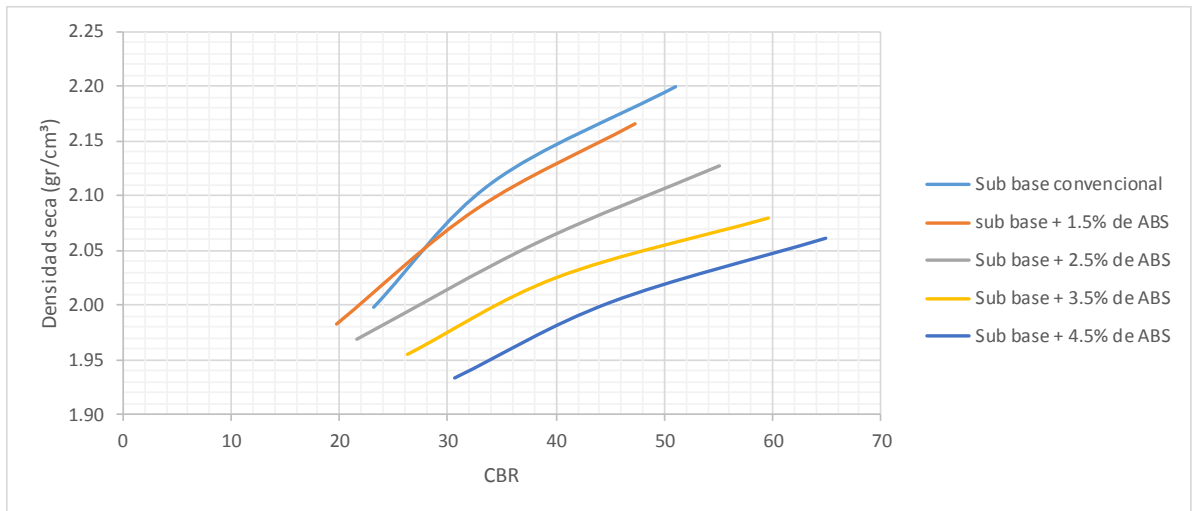
En la tabla N° 62 se presenta el resumen de los datos de CBR obtenidos para cada tipo de muestra evaluada.

Tabla 62: Resultados del ensayo de CBR en laboratorio

	CBR		
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Sub base convencional	51.04	34.12	23.19
sub base + 1.5% de ABS	47.33	32.69	19.78
Sub base + 2.5% de ABS	55.04	38.13	21.59
Sub base + 3.5% de ABS	59.54	40.10	26.32
Sub base + 4.5% de ABS	64.90	45.00	30.67

Fuente: Elaboración propia

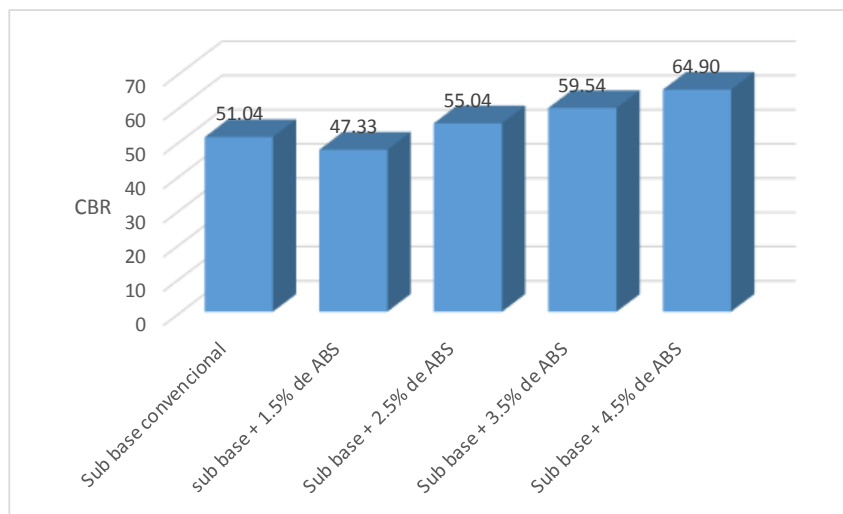
Figura 82: CBR vs Densidad seca



Fuente: Elaboración propia

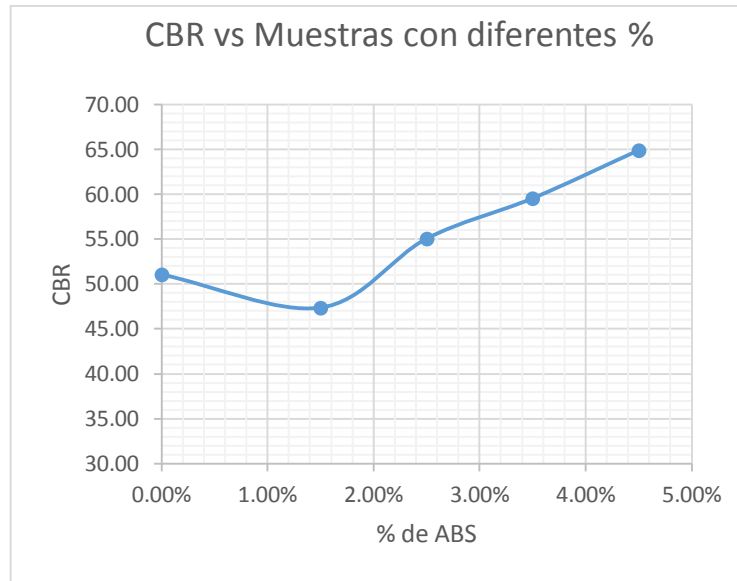
En la figura 82 encontramos que las mayores densidades corresponden a la muestra del material sin aditivo, mientras que al adicionar 4.5% de ABS se obtiene un mayor valor CBR. Así mismo observamos que las líneas muestran una tendencia similar que es de una relación directamente proporcional para el CBR y la Densidad e inversamente proporcional para proporcional para la Densidad y el porcentaje de adición de ABS.

Figura 83: CBR para cada adición de ABS



Fuente: Elaboración propia

Figura 84: Curva CBR vs % para cada adición de ABS



Fuente: Elaboración propia

En las figuras 83 y 84 se observa que el CBR se incrementa a medida que la cantidad de aditivo va en aumento, sin embargo se observa que con el 1.5% de inclusión de ABS este disminuye aunque este valor es pequeño.

4.7 ANÁLISIS DE COSTOS DEL ADITIVO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) QUE SE ADICIONARÁ A LA SUB BASE

A continuación presentamos en la tabla N° 64, el costo que se invertiría al utilizar ABS industrializado y ABS reciclado en la estabilización de 1 m³ de material de sub base. Teniendo en cuenta que el costo de 1 kg de ABS industrializado actualmente es de S/ 6.80 y el de ABS reciclado es de S/ 1.16 de acuerdo al aporte de (Rivera, 2004) que se observa en la tabla N° 63 (pellet negro).

Tabla 63: Precios referenciales de desechos de plásticos y plásticos reciclados procesados

Plástico Reciclado	
Material	Precio de venta (US\$/kg)
Scrap	0.35
Pellet negro	0.35
Pellet color	0.44
Pellet cristalino	0.49

Fuente: (Rivera, 2004)

Tabla 64: Análisis de costos de ABS que se adicionara al material de sub base.

ANÁLISIS DE COSTOS DE ABS ADQUIRIDO				
% de ABS	Densidad al 100% (gr/cm ³)	Peso de 1 m ³ de sub base (gr)	ABS para 1 m ³ de sub base (gr)	Costo (S/)
1.50%	2.17	2165445.24	32481.68	220.88
2.50%	2.13	2127094.63	53177.37	361.61
3.50%	2.08	2079226.18	72772.92	494.86
4.50%	2.06	2060695.50	92731.30	630.57
ANÁLISIS DE COSTOS DE ABS RECICLADO				
1.50%	2.17	2165445.24	32481.68	37.63
2.50%	2.13	2127094.63	53177.37	61.61
3.50%	2.08	2079226.18	72772.92	84.31
4.50%	2.06	2060695.50	92731.30	107.43

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: DISCUSIÓN

a. ¿La adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) optimiza la capacidad de soporte (CBR) de la sub base para pavimentos flexibles?

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio; la adición del termoplástico ABS optimiza considerablemente la capacidad de soporte (CBR) de la sub base para pavimentos flexibles.

b. ¿Por qué se utilizó los porcentajes de adición de ABS de 1.5 a 4.5?

Estos valores fueron determinados a base de nuestro criterio teniendo en cuenta también aportes internacionales como el de (Diaz, Negrete, & Gonzalez, 2012), donde utilizan valores más amplios: 2, 4 y 6% de adición de PVC al material de sub base.

c. ¿Cuál es el parámetro que nos indica que 4.5% puede ser el porcentaje óptimo para optimizar el valor de CBR del material granular?

Realizamos un espécimen con una adición de ABS del 6% respecto al peso seco del material de sub base y los resultados obtenidos demuestran que el valor de CBR baja. Por lo tanto determinamos que 4.5% de ABS adicionado al material puede ser el porcentaje óptimo en la presente investigación para incrementar el valor de CBR, aunque se recomienda continuar con la investigación adicionando el termoplástico ABS con porcentajes mayores a 4.5% y menores a 6% para mayor exactitud.

d. ¿Por qué no se modificó la forma original del termoplástico ABS importado para la investigación?

Se intentó alterar la forma de presentación del termoplástico ABS por métodos físicos (fusión) como también químicos (disolventes) pero no se logró con el cometido, puesto que en la ciudad del Cusco no contamos con maquinaria especial (trituradora para ABS) ni tampoco con permisos legales en nuestro país para el uso libre de disolventes (acetona, cloroformo, xilol) altamente tóxicos y contaminantes.



Por ello la presente investigación se limita a adicionar al material granular de sub base el termoplástico de ABS en su única presentación (esferas).

e. En cuanto a costos: ¿Añadir termoplástico ABS a 1 m³ de material granular de sub base es barata comparado a precios reales en el país?

Se realizó un análisis de costos con el porcentaje óptimo de 4.5% de ABS que demostró que para 1 m³ de material granular se debe adicionar 93 kg de ABS aproximadamente, lo cual tiene un costo total de S/ 630.57 nuevos soles. Con esto se comprueba que el precio total comparado con otros métodos de estabilización es muy caro, por lo tanto se propone investigar la influencia que tendrá reemplazar el termoplástico ABS por plásticos reciclados de ABS.

Asimismo, (Rivera, 2004) aporta una tabla con precios referenciales de plásticos reciclados procesados en la localidad de Piura, vista en la tabla N°63.

Entonces teniendo como guía las tablas N° 63 y 64 mostradas en el capítulo de resultados, el método de estabilización con termoplástico ABS disminuiría considerablemente.

Si usamos plásticos reciclados procesados (Pellet negro), el kg nos costará US\$ 0.35 que equivale a S/ 1.16 nuevos soles. Por lo tanto la cantidad de termoplástico ABS que ingresará en 1 m³ (93 kg aproximadamente) tendría un costo de S/ 107.43 nuevos soles aproximadamente para 4.5% de ABS respecto al peso seco del material de sub base.

f. ¿Maniobrar con el termoplástico ABS es dañino para la salud?

Trabajar con el termoplástico ABS no es dañino, más intentar transformar químicamente o a temperatura la estructura de este tipo de plástico es altamente tóxico para la salud por los gases que emana.

g. ¿Para qué otro tipo de estructuras podría utilizarse el termoplástico ABS?

Para capas de base, carpeta de rodadura (asfalto), vías férreas, ciclo vías, en zonas de estacionamiento, afirmados y/o explanadas. Y por qué no considerarlo como un componente en estructuras de concreto como elementos prefabricados, traviesas de hormigón, etc.



GLOSARIO

Afirmado: Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito.

Asentamiento: Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

Explanada: Superficie sobre la que se asienta el firme, no perteneciente a una estructura.

Firme: Superestructura de una carretera. Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, colocados sobre la explanada para permitir la circulación en las debidas condiciones de seguridad y comodidad.

Macadam: Pavimento formado con piedra machacada y arena y prensado con rodillos compresores.

Macromolécula: Es una molécula muy grande creada comúnmente por la polimerización de subunidades más pequeñas (monómeros).

Polímero: Es un compuesto, ya sea sintético, natural o químico, que se crea a través de un fenómeno conocido como polimerización, a partir de la repetición de unidades estructurales.

Polimerización: Reacción provocada por los monómeros que conforman un polímero.

Scrap: Palabra inglesa que se traduce como chatarra o residuo. En el sentido industrial, se refiere a todos los desechos y/o residuos derivados del proceso industrial.

Pellet: Cilindros o esferas diminutos de resina virgen o reciclada que están listos para fundirse.

Traviesa: Pieza alargada de madera, metal u hormigón armado que se atraviesa junto con otras en una vía férrea para asentar sobre ella los raíles.



GLOSARIO SIGLAS

AASHTO: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte
(American Association of State Highway and Transportation Officials)

ASTM: American Society for Testing and Materials

CBR: California Bearing Ratio

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

PET: Polietileno tereftalato

PE: Polietileno

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PVC: Cloruro de polivinilo

SPI: Sociedad de Industrias Plásticas de los Estados Unidos

CONCLUSIONES

1. CONCLUSIÓN N° 01

Se logró el OBJETIVO GENERAL y se demostró la HIPÓTESIS GENERAL la cual indica que, “La adición del termoplástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) incrementa la capacidad de soporte (CBR) y disminuye la densidad en la sub base para pavimentos flexibles”.

La adición del termoplástico ABS en porcentajes 2.5%, 3.5% y 4.5% optimiza considerablemente la capacidad de soporte (% CBR) de 51.04 a 55.04, 59.54 y 64.90 respectivamente, así mismo la densidad disminuye de 2.20 g/cm³ a 2.17 g/cm³ con 1.5 % de ABS, 2.13 g/cm³ con 2.5% de ABS, 2.08 g/cm³ con 3.5% de ABS y 2.06 g/cm³ con 4.5 % de ABS.

2. CONCLUSIÓN N° 02

Se logró el OBJETIVO N°01 y se demostró la SUB HIPÓTESIS N°01 la cual indica que, “Las propiedades físico-mecánicas del material granular de la cantera Quillahuata no cumplen con los requerimientos del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013 para ser utilizado como sub base del pavimento flexible”.

Debido a que la curva granulométrica no se encuentra dentro de los límites establecidos en la curva granulométrica dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así mismo los valores obtenidos en los ensayos de consistencia son superiores a los establecidos por el MTC.

3. CONCLUSIÓN N° 03

Se logró el OBJETIVO N°02 y se demostró la SUB HIPÓTESIS N°02 la cual indica que, “La densidad de la sub base para pavimentos flexibles disminuye al adicionarle el termoplástico ABS”.

Ya que se observa que la densidad es inversamente proporcional a la adición de aditivo ABS, es decir que a mayor cantidad del aditivo se tiene una menor densidad, como lo demuestra la tabla N° 65.

Tabla 65: Densidades de la sub base con los distintos porcentajes de adición de ABS

Densidad seca (gr/cm ³)			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Material convencional	2.20	2.11	2.00
sub base + 1.5% de ABS	2.17	2.09	1.98
Sub base + 2.5% de ABS	2.13	2.06	1.97
Sub base + 3.5% de ABS	2.08	2.03	1.96
Sub base + 4.5% de ABS	2.06	2.00	1.93

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIÓN N° 04

Se logró el OBJETIVO N°03 y se demostró la SUB HIPÓTESIS N°03 la cual indica que, “El termoplástico ABS incrementará el valor de CBR en la sub base para pavimentos flexibles”

La capacidad de soporte del material de sub base convencional se ve incrementada de 51.04 hasta 64.90 con la adición de 4.5% de ABS.

Tabla 66: Capacidad de soporte (CBR)

CBR			
	55 golpes	26 golpes	12 golpes
Sub base convencional	51.04	34.12	23.19
sub base + 1.5% de ABS	47.33	32.69	19.78
Sub base + 2.5% de ABS	55.04	38.13	21.59
Sub base + 3.5% de ABS	59.54	40.10	26.32
Sub base + 4.5% de ABS	64.90	45.00	30.67

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIÓN N° 05

No se logró el OBJETIVO N°04 y no se demostró la SUBHIPÓTESIS N°04 la cual indica que, “El porcentaje óptimo en peso que se adicionará a 1 m³ de la sub base para pavimentos flexibles será del 3.5% de termoplástico ABS”.

Ya que existe incertidumbre en saber si el porcentaje óptimo es de 4.5% de ABS, puesto que el presente tema de investigación no consideró mayores porcentajes a los establecidos y es por ello que se sugiere continuar con el análisis del material de sub base de la cantera de Quillahuata adicionando mayores porcentajes de termoplástico ABS mayores a 4.5% y menores a 6%.



RECOMENDACIONES

1. RECOMENDACIÓN N°01

Realizar un trabajo similar a éste, donde se varíe la forma de presentación del ABS por medios físicos y no químicos pues son altamente tóxicos.

2. RECOMENDACIÓN N°02

Analizar la influencia del aditivo ABS en suelos menos granulares para observar cómo trabaja este agente aditivo con otro tipo de suelos.

3. RECOMENDACIÓN N°03

Difundir esta investigación, puesto que con el uso de la nueva tecnología de impresiones 3D se generarán desechos de ABS lo que conllevará a buscar soluciones para reutilizar el producto creado por estas impresoras. Entonces, sería viable popularizar a futuro este agente aditivo (ABS) en el mercado.

4. RECOMENDACIÓN N°04

Utilizar plásticos reciclados procesados o triturados de ABS (juegos de lego, autopartes de automóviles, carcasas de computadoras, etc.); pues aparte de disminuir costos podemos contribuir al cuidado del medio ambiente.

Esto debido a que se realizó un análisis de costos del material granular adicionado con el 4.5% de termoplástico ABS, y el costo por m³ fue de S/ 630.57 nuevos soles. Con esto concluimos que el precio de utilizar el termoplástico ABS es muy caro debido a que este tipo de plástico es importado y en la ciudad no se cuentan con maquinarias especializadas en fabricar ni triturar ABS.

5. RECOMENDACIÓN N°04

Mantener homogeneidad durante la mezcla del material granular con el aditivo ABS para que haya una buena distribución entre aditivo y material.

6. RECOMENDACIÓN N°04

Adicionar porcentajes mayores a 4.5% de aditivo ABS y menores a 6% para obtener el porcentaje óptimo de dosificación al material granular de sub base de la cantera de Quillahuata.

**REFERENCIAS**

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: Episteme.
- BASF, T. C. (Abril de 2005). Product Information Terluran GP-22 ABS. Ludwigshafen, Alemania: BASF Aktiengesellschaft.
- Construmática, E. (18 de Agosto de 2010). Recuperado el 13 de Julio de 2016, de Construmática: <http://www.construmatica.com/>
- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). Boston: Cengage Learning.
- Díaz, T. C., Negrete, Y. P., & González, J. M. (2012). *Reutilización del desecho de pvc como agente estabilizador de sub-bases granulares*. Barranquilla: Universidad de la Costa, CUC.
- Dirección de Inversión Pública, B. (2015). *Guía Sectoral: Pavimentos*. Buenos Aires: Ministerio de Economía.
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de Suelos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Garnica Anguas, P., Gómez López, J. A., & Sesma Martínez, J. A. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. Sanfandila: Instituto mexicano del transporte.
- Hernández, R. F. (1997). *Metodología de la Investigación*. Colombia.
- Hurtado Rosales, D. (2014). *Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibra*. Querétaro: Universidad autónoma de Querétaro.
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, I. (2005). *Diseños y técnicas de construcción de pavimentos de concreto*. México: IMCYC.
- Landeau, R. (2007). *Elaboración de trabajos de investigación*. Caracas: ALFA.
- Lastivida, A. (2007). *Plásticos en la construcción su contribución a la salud y el medio ambiente*. Buenos Aires: Lastivida.
- Minaya González, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* (Segunda ed.). Lima: Universidad Nacional De Ingeniería.
- Ministerio de Economía y Finanzas, D. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG 2013)*. Lima.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, P. (9 de Septiembre de 2009). Obtenido de PROVIAS NACIONAL: www.proviasnac.gob.pe
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, P. (2013). *Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, P. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.
- Miranda, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Tercera ed.). Bogotá.
- Parra Sullcacori, A. (2013). *Análisis de la estabilización de sub base para pavimentos con la adición de filamentos de fibra de vidrio utilizando agregados de las canteras de Quillahuata y Morro Blanco – Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- QuimiNet. (12 de Enero de 2016). *Quiminet.com*. Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de <http://www.quiminet.com/articulos/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripcion-propiedades-y-aplicaciones-4433.htm>
- Reyes, F., & Rondón, H. A. (2007). Caracterización Mecánica de Granulares de Pavimentos en Triaxiales Cíclicos. *Revista Ingeniería de Pavimentos*.
- Rivera, R. (2004). *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Sanchez, J. (Abril de 2012). Recuperado el 15 de Julio de 2016, de Innovación: <http://plasticoscts.blogspot.pe/>
- Shuan, L. (19 de Abril de 2004). Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de Taller Básico de Mecánica de Suelos-Universidad Nacional de Ingeniería: http://www.lms.uni.edu.pe/EXPOSICIONES/Limite%20liquido%20%20y%20plastico_ppt.pdf
- Tecnología de los Plásticos. (08 de 06 de 2011). *tecnologiadelosplasticos.blogspot*. Recuperado el 30 de 03 de 2016, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/06/abs.html>
- Torres, Z. R. (2007). *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. Guatemala.
- Universidad de Salamanca, E. (2010). *Los plásticos*. Barcelona, España.