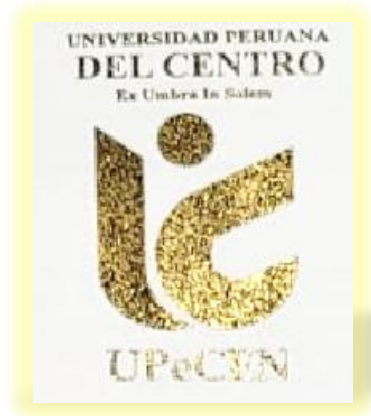


**“Año del fortalecimiento de la soberanía Nacional”**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTABILIZACION DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE  
USANDO TERRAZYME EN PISTAS Y VEREDAS DE HUANCAYO”**

Para obtener el título profesional de

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por el bachiller:

CALDERON PIVE WILFREDO RUBEN

Asesor:

DR. JOSE LUIS LEON UNTIVEROS

ING. RAUL CURASMA RAMOS

HUANCAYO – PERÚ

2022

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**  
(EX UMBRA IN SOLEM)  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 0010-2022/FI-UPeCEN**

Huancayo, 29 de agosto de 2022

**EL DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VISTO:**

El Expediente presentado por el señor **WILFREDO RUBEN CALDERON PIVE**, identificado con DNI **42792375** y Código de alumno **2014100506**, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana del Centro - UPeCEN, quien solicita optar el Título Profesional de Ingeniero Civil en la modalidad de Sustentación de Tesis.

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana del Centro – UPeCEN como institución de formación profesional, goza de autonomía universitaria, la cual se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 – Ley Universitaria y demás normativa aplicable; en este contexto y según lo dispuesto por el artículo 8° de la Ley N° 30220 – Ley Universitaria, la autonomía universitaria implica la potestad auto-determinativa, en los regímenes normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico;

Que la comisión revisora y asesora designadas han emitido dictamen favorable respecto de la Tesis titulada **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE USANDO TERRAZYME EN PISTAS Y VEREDAS DE HUANCAYO”**, presentada por el señor **WILFREDO RUBEN CALDERON PIVE**.

Que de conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Peruana del Centro – UPeCEN, aprobado mediante Resolución Rectoral N° 008-2020/R-UPeCEN, se aprecia que el expediente del visto se encuentra Expedido para la sustentación, siendo que ello deberá observarse estrictamente lo previsto por la Resolución Rectoral N° 071-2020/R-UPeCEN, la cual aprueba de forma temporal y excepcional las sustentaciones de tesis de manera no presencial o virtual; así como por lo previsto por la Resolución Rectoral N° 095-2020/R-UPeCEN, mediante la cual se aprueba el Protocolo para la Sustentación Virtual Temporal y Excepcional para la obtención de Grados y Títulos;

**SE RESUELVE:**

**PRIMERO. - AUTORIZAR** la sustentación de manera no presencial o virtual de la Tesis del señor **WILFREDO RUBEN CALDERON PIVE**, identificado con DNI **42792375** y Código de alumno **2014100506**, para optar el Título de Ingeniero Civil, acto que se realizará en el día y hora siguientes:

**HORA** : **08:30 p.m.**  
**FECHA** : **sábado, 03 de septiembre de 2022**  
**MODALIDAD** : **Virtual – Plataforma Classroom (Código de aula uu3zoey)**

**SEGUNDO. - DESIGNAR** a los miembros integrantes del Jurado Evaluador de la Sustentación

**Presidente** : **Dr. José Luis León Untiveros**  
**Secretario** : **Ing. Melquiades Elmer Hinojosa Bartolo**  
**Vocal** : **Ing. Raul Curasma Ramos**

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE**

*Cc.: Miembro del Jurado Evaluador  
Sustentante  
Oficina de Grados y Títulos*



UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
Facultad de Ingeniería  
DECANO  
MURCAYO

Dr. José Luis León Untiveros  
UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS  
DNI: 20071012



**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**  
**(EX UMBRA IN SOLEM)**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS**

En la ciudad de Huancayo, siendo las **08:30 p.m.** del día **sábado 03 de septiembre de 2022**, en el Aula Virtual **uu3zoey** de la plataforma Classroom (Google Meet), dominio de la Universidad Peruana del Centro – UPeCEN, estando presentes y conectados los Miembros del Jurado Evaluador conformado por:

**Presidente** : **Dr. José Luis León Untiveros**  
**Secretario** : **Ing. Melquiades Elmer Hinostroza Bartolo**  
**Vocal** : **Ing. Raul Curasma Ramos**

Con la lectura de la RESOLUCIÓN N° **0010-2022/FI-UPeCEN** de fecha **29 de agosto de 2022**, leída por el Secretario Docente, se procedió a la sustentación de la Tesis titulada **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE USANDO TERRAZYME EN PISTAS Y VEREDAS DE HUANCAYO”**, presentada por el señor **WILFREDO RUBEN CALDERON PIVE**, identificado con DNI **42792375** y Código de alumno **2014100506**

Concluida la Sustentación y luego de la correspondiente deliberación del Jurado Evaluador, se llegó al siguiente resultado:

**APROBADO POR MAYORÍA**

Siendo las **09:30 p.m.** horas se dio por concluido el Acto de Sustentación Virtual, haciendo conocer el resultado obtenido al interesado, procediéndose conforme lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos, así como lo previsto por el Protocolo para la Sustentación Virtual Temporal y Excepcional para la obtención de Grados y Títulos, remitiéndose la documentación en la forma prevista a las áreas correspondientes según protocolo.

**DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE**

**PRESIDENTE**  
**DR. JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS**

**SECRETARIO**  
**ING. MELQUIADES E. HINOSTROZA BARTOLO**

**VOCAL**  
**ING. RAUL CURASMA RAMOS**

**“Año del fortalecimiento de la soberanía Nacional”**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTABILIZACION DE SUELOS A NIVEL DE SUBRASANTE  
USANDO TERRAZYME EN PISTAS Y VEREDAS DE HUANCAYO”**

Para obtener el título profesional de

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por el bachiller:

CALDERON PIVE WILFREDO RUBEN

Asesor:

DR. JOSE LUIS LEON UNTIVEROS

ING. RAUL CURASMA RAMOS

HUANCAYO – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud e inspiró mi espíritu para la culminación de esta tesis.

A mis padres quienes me dedicaron vida, educación, apoyo y consejos; a mis hermanos y hermanas quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer, para que siguiera adelante y perseverante con mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, doy gracias a Dios, por cuidarme y protegerme siempre, brindándome salud, sabiduría para realizarme como profesional.

Expresar mis más sinceros agradecimientos a las autoridades y a mis docentes de la Universidad Peruana del centro, quienes con su dedicación formaron buenos valores impartieron sus enseñanzas durante mi formación académica

Finalmente, a los amigos quienes siempre me incentivaron a terminar la tesis y mi familia por su amor, comprensión y apoyo incondicional

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE .....	6
LISTA DE TABLAS .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRAC.....	13
CAPITULO I: INTRODUCCION .....	14
1.1 Situación Problemática .....	14
1.2 Formulación del problema .....	15
1.2.1 Problema general.....	15
1.2.2 Problemas específicos.....	15
1.3 Justificación Teórica .....	15
1.3.1 Justificación social .....	15
1.3.2 Justificación científica .....	16
1.4 Justificación Práctica .....	16
1.4.1 Justificación metodológica .....	16
1.5 Objetivos .....	17
1.5.1 Objetivo general.....	17
1.5.2 Objetivos específicos .....	17
1.6 Hipótesis .....	17
1.6.1 Hipótesis general .....	17
1.6.2 Hipótesis específicos .....	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	18
2.2 Antecedentes .....	18
2.2.1 Antecedente internacional.....	18
2.2.2 Antecedente nacional .....	19
2.3 Bases Teóricas.....	20
2.3.1 Terrazyme.....	20
2.3.2 Estabilización de suelos.....	22
2.3.3 Subrasante .....	26
2.3.4 Suelos expansivos.....	28



2.3.5 Suelos cohesivos .....	29
2.3.6 Fuentes de materiales.....	30
2.3.7    Ensayos de suelos de fundación .....	32
2.3.8 Módulo resilente .....	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	43
3.1 Tipo y Diseño de Investigación .....	43
3.1.1 Método de la investigación .....	43
3.1.2 Tipo de investigación.....	43
3.1.3 Nivel de investigación.....	43
3.1.4 Diseño de investigación.....	43
3.2 Población y muestra .....	44
3.2.1 Población.....	44
3.5.2 Muestra.....	44
3.3 Variables .....	44
3.3.1 Definición conceptual de la variable .....	45
3.3.2 Definición operacional de la variable.....	45
3.3.3 Operacionalidad de la variable.....	45
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.4.1 Técnicas .....	48
3.4.2 Instrumentos .....	48
3.5 Procedimiento metodológico .....	49
CAPITULO IV: DESARROLLO DEL TEMA.....	50
4.1 Trabajos de campo .....	50
4.2 Calicatas.....	50
4.3 Registro de excavación.....	50
4.4 Lista de ensayos para la investigación.....	51
4.6 Recolección de muestras de la cantera (acopio).....	63
4.7 Preparación de cantera más el aditivo (terrazyme) .....	64
CAPÍTULO V: RESULTADOS .....	65
4.1 Variación de compactación que genera el uso de terrazyme a nivel de sub rasante.....	65
4.1.1 Propiedades físicas de la cantera .....	65
4.1.2 Propiedades mecánicas de la cantera .....	66
4.2 Cálculo de espesores para el mejoramiento en la carretera sin Aditivo .....	69

4.3 La influencia del terrazyme en el diseño estructural de la carretera .....	74
4.3.2 Metodología AASHTO 1993 .....	75
4.3.3 Diseño de espesores de pavimento por método AASHTO 1993 .....	77
4.3.4 Diseño de pavimento 1: cantera sin aditivo .....	79
4.3.5 Diseño de pavimento 2: cantera con aditivo.....	81
4.4 Efectos del aditivo en la estabilización de los suelos a nivel de sub rasante .....	83
4.4.1 Propiedades físicas del suelo.....	84
4.4.2 Propiedades mecánicas del material .....	91
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	95
5.1 Variación de compactación .....	95
5.2 Determinar las alturas de mejoramiento.....	96
5.3 El diseño estructural de la carretera.....	98
5.4 Determinar la influencia del terrazyme en la estabilización de los suelos a nivel de subrasante .....	99
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS .....	105

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Primera guía para determinar el estabilizador .....	23
<b>Tabla 2:</b> Segunda guía para determinar el estabilizador.....	24
<b>Tabla 3:</b> Categorías de la subrasante.....	27
<b>Tabla 4:</b> Numero de calicatas para explotación de suelos .....	28
<b>Tabla 5:</b> Grado de expansión de un suelo.....	28
<b>Tabla 6:</b> Tipo y tamaño de material.....	32
<b>Tabla 7:</b> Consistencia de suelos .....	35
<b>Tabla 8:</b> Explicación para determinar Proctor Estándar .....	38
<b>Tabla 9:</b> Explicación para determinar Proctor Modificado.....	39
<b>Tabla 10:</b> Modulo de Resiliencia analizado por analogía de CBR .....	41
<b>Tabla 11:</b> Operacionalidad de las variables.....	45
<b>Tabla 12:</b> Cantidad de ensayos realizados .....	46
<b>Tabla 13:</b> Número de ensayos analizados .....	47
<b>Tabla 14:</b> Proporción de material utilizado .....	48
<b>Tabla 15:</b> UTM de calicatas.....	50
<b>Tabla 16:</b> Lista de ensayos para la investigación.....	51
<b>Tabla 17:</b> Número de Golpes .....	55
<b>Tabla 18:</b> Recopilación de resultados de C.H.....	65
<b>Tabla 19:</b> Recopilación de resultados de LL, LP e IP .....	66
<b>Tabla 20:</b> Producto del OCH y Proctor Estándar .....	66
<b>Tabla 21:</b> Resumen de Proctor + aditivo .....	67
<b>Tabla 22:</b> Proctor Modificado del Suelo .....	69
<b>Tabla 23:</b> Resumen de CBR del Suelo.....	69
<b>Tabla 24:</b> CBR de la cantera Pichis .....	70
<b>Tabla 25:</b> CBR de la cantera con aditivo .....	70
<b>Tabla 26:</b> Resultados de Módulo Resiliente .....	73
<b>Tabla 27:</b> Parámetro de Diseño empleados .....	73
<b>Tabla 28:</b> coeficientes de diseño .....	73
<b>Tabla 29:</b> Número Estructural .....	74
<b>Tabla 30:</b> Resultados de espesores sin Aditivo.....	74
<b>Tabla 31:</b> Resultados de espesores con Aditivo.....	74
<b>Tabla 32:</b> Niveles recomendados de Confiabilidad (R).....	75
<b>Tabla 33:</b> Rangos de Desviación Estándar (So) .....	76
<b>Tabla 34:</b> Calidad de drenaje .....	76
<b>Tabla 35:</b> Coeficientes de capa .....	77
<b>Tabla 36:</b> Espesores mínimos recomendados (pulg) .....	79
<b>Tabla 37:</b> Parámetro de Diseño empleados .....	79
<b>Tabla 38:</b> Coeficientes de diseño .....	80
<b>Tabla 39:</b> Resultados de Espesores de Pavimento.....	83
<b>Tabla 40:</b> Propiedades físicas, mecánicas del suelo .....	83
<b>Tabla 41:</b> Propiedades físicas, mecánicas de la cantera.....	84
<b>Tabla 42:</b> Resultados de la granulometría de suelo .....	85
<b>Tabla 43:</b> Resultados de la granulometría de suelo .....	85

<b>Tabla 44:</b> Síntesis de resultados del C.H.....	88
<b>Tabla 45:</b> Síntesis de resultados del LL. LP. Y IP.....	88
<b>Tabla 46:</b> Clasificación SUCS de las Muestras.....	90
<b>Tabla 47:</b> Clasificación AASHTO de las Muestras.....	90
<b>Tabla 48:</b> Clasificación AASHTO de muestras representativas.....	91
<b>Tabla 49:</b> Proctor Modificado sin Aditivo.....	92
<b>Tabla 50:</b> PUS, OCH + Aditivo.....	93
<b>Tabla 51:</b> extracto de California Bearing Ratio del suelo.....	93
<b>Tabla 52:</b> C.B.R. de la Cantera.....	93
<b>Tabla 53:</b> CBR cantera con Aditivo.....	94
<b>Tabla 54:</b> Resumen de Proctor Ochoa y Rojas (2015).....	95
<b>Tabla 55:</b> Resumen de Proctor Cantera.....	95
<b>Tabla 56:</b> Resumen de Proctor Ugaz (2006).....	96
<b>Tabla 57:</b> Resumen de Fracción del Material.....	96
<b>Tabla 58:</b> Espesores de Mejoramiento Con y Sin Aditivo.....	96
<b>Tabla 59:</b> Resultados de espesores de mejoramiento.....	97
<b>Tabla 60:</b> Sectorización del tramo de mejoramiento.....	97
<b>Tabla 61:</b> Evaluación de mejoramiento por criterio de suelos blandos.....	98
<b>Tabla 62:</b> Propiedades Físicas del suelo.....	98
<b>Tabla 63:</b> resultados del paquete estructural.....	99
<b>Tabla 64:</b> Espesores mínimos.....	99
<b>Tabla 65:</b> Resultados de visualización.....	100

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Comportamiento de un suelo cohesivo .....	30
<b>Figura 2:</b> Apreciación de la curva granulométrica .....	34
<b>Figura 3:</b> Aclaración de los Límites de Atterberg .....	35
<b>Figura 4:</b> Molde para Proctor y respectivo Pistón .....	38
<b>Figura 5:</b> Explicación de la Relación de Soporte .....	40
<b>Figura 6:</b> Equipo para determinar M.R.....	42
<b>Figura 7:</b> Ubicación de las Calicatas.....	44
<b>Figura 8:</b> preparación de la muestra para el secado al horno .....	52
<b>Figura 9:</b> Elaborando el LL .....	54
<b>Figura 10:</b> preparando la muestra para tamizar .....	58
<b>Figura 11:</b> realizando la mezcla con % agua; realizando apisonado con el pistón .....	60
<b>Figura 12:</b> Control de la Penetración CBR .....	63
Figura 13: Comparación de muestra 1 y 2 .....	67
Figura 14: Variación de la compactación.....	68
<b>Figura 15:</b> Comparación en porcentaje con el aditivo .....	68
<b>Figura 16:</b> Esquema de la estructura de pavimento .....	79
<b>Figura 17:</b> Cálculo del número estructural .....	80
<b>Figura 18:</b> Cálculo del número estructural .....	82
<b>Figura 19:</b> Curva granulométrica de suelo de la calicata 01 .....	86
<b>Figura 20:</b> Curva granulométrica de suelo de la calicata 02 .....	86
<b>Figura 21:</b> Curva granulométrica de suelo de la calicata 03 .....	86
<b>Figura 22:</b> Curva granulométrica de suelo de la calicata 04 .....	87
<b>Figura 23:</b> Curva granulométrica de la cantera.....	87
<b>Figura 24:</b> LL a, b, c, d y e, de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 y cantera respectivamente .....	90
<b>Figura 25:</b> Curva de Humedad vs Densidad a, b, c, d de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 respectivamente .....	92
<b>Figura 26:</b> Curva de Humedad vs Densidad Cantera sin Aditivo.....	92

## RESUMEN

El mejoramiento de suelos es la modificación de cualquiera de sus propiedades físicas y mecánicas, para mejorar su comportamiento ingenieril. La presente tesis evalúa un producto del mercado: Terrazyme, este es un aditivo a bases de enzimas, elaborado a partir de extractos de plantas naturales mediante el uso de la tecnología de la fermentación, fabricado y distribuido por la empresa STASOIL SAC, en la presente información se evalúa el terreno ínsito y el mejoramiento de la sub rasante.

Se llevaron al laboratorio las calicatas a investigar de las cuales se determinaron los límites de Atterberg, contenido de humedad, granulometría, Proctor modificado y CBR dichas pruebas se determinaron en el laboratorio según las normas técnicas peruanas donde se determinaron (cantera, calicatas y calicatas y aditivo).

En conclusión, se obtuvo una mejora en el Proctor modificado de 2.162gr/cm<sup>3</sup> a 2.214gr/cm<sup>3</sup>; aumento de 5.00 y 10 cm de alturas de mejoramiento y disminución de la carpeta asfáltica en 1.5 pulg.

**Palabras claves:** Aditivo, estabilización, sub rasante, compactación.

## **ABSTRAC**

Soil improvement is the modification of any of its physical and mechanical properties, to improve its engineering behavior. This thesis evaluates a market product: Terrazyme, this is an enzyme-based additive, made from natural plant extracts through the use of fermentation technology, manufactured and distributed by the company STASOIL SAC, in the present information, the innate terrain and the improvement of the subgrade are evaluated.

The pits to be investigated were taken to the laboratory, from which the Atterberg limits, moisture content, granulometry, modified Proctor and CBR were determined. These tests were determined in the laboratory according to the Peruvian technical standards where they were determined (quarry, pits and pits and additive).

In conclusion, an improvement was obtained in the modified Proctor from 2162gr/cm<sup>3</sup> to 2214gr/cm<sup>3</sup>; increase of 5.00 and 10 cm of improvement heights and decrease of the asphalt layer in 1.5 in.

Keywords: Additive, stabilization, subgrade, compaction.

## **CAPITULO I: INTRODUCCION**

### **1.1 Situación Problemática**

Es un gran problema en los mejoramientos de subrasante en las pistas y veredas donde encontramos diferentes tipos de suelo, según los estudios de mecánica de suelos los ingenieros se toman las decisiones para mejorar la subrasante.

“El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es muy antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo solo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad”. (De Solminihac, 2012).

En las construcciones de las carreteras muchas veces se encuentran diferentes tipos de terreno, temperatura y climas adversos y lluvias intensas por ende requiere muchas veces mejorar o sustituir por material de cantera que cumplen los requisitos de la norma MTC, hoy en día una manera de mejorar el suelo arcilloso es adicionar el cemento, cal productos químicos, geosintéticos según las características de la vía, pero en el siguiente trabajo de investigación se ha mejorado con material cantera.

En la obra “Mejoramiento de pistas y veredas de las Av. Próceres y Av. General Córdova en el distrito de Chilca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín” se pudo observar grandes presencias de arcillas y corroborando con el estudio de mecánica de suelos de las cuales se requiere ser mejorada o sustituida ya que, según los resultados, es un suelo de baja capacidad portante, por la cual en la presente investigación se presentó una manera de estabilizar con material cantera, determinando las alturas de mejoramiento y cálculo de diseño de pavimento con el aditivo Terrazyme.



“El Terrazyme es un producto basado en la fermentación de enzimas biológicas y se usa para incrementar y mantener la rigidez de los suelos, el producto es una formulación especial líquida de enzimas orgánicas, que actúa como catalizador”. (Stasiol 1998).

Con la adicción correcta del terrazyme se busca incrementar las propiedades mecánicas como la relación de Soporte del material cantera así dando mayor estabilidad al terreno de fundación.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cómo influye el terrazyme en la estabilización de los suelos a nivel de subrasante en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son las variaciones de compactación adicionando terrazyme a la estabilización de suelos a nivel de sub rasante en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo?
- b) ¿Cómo determinar las alturas de mejoramiento adicionando terrazyme en la estabilización de suelos a nivel de sub rasante en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo?
- c) ¿Cómo influye la utilización del terrazyme, en el diseño estructural de la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo?

## **1.3 Justificación Teórica**

### **1.3.1 Justificación social**

El Terrazyme mejora las propiedades mecánicas de nuestra cantera así que en todo tipo de obra la cimentación es el ente principal para una buena obra en nuestro trabajo un terreno de fundación estable conduce una carretera de buena calidad así brindando desarrollo, comunicación, transporte a la sociedad.

Durante el trabajo que llevé realizando en el área de control de calidad de la obra “Mejoramiento de pistas y veredas de las Av. Próceres y Av. General Córdova en el distrito de Chilca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín”, pude apreciar la deficiencia de la carretera en las temporadas de lluvias donde los afectados son la población por ello opté mejorar la sub rasante sustituyéndola con material cantera y adicionando el terrazyme para un buen soporte de la capa estructural del pavimento.

### **1.3.2 Justificación científica**

El estudio de estabilización de suelos es amplio ya que nos encontramos inmersos a varias obras a nivel nacional de cuales encontramos diferentes tipos de suelos por esta razón los ingenieros están capacitados para solucionar este tipo de problemas es por ello nuestro aporte a la ciencia es brindando información, cálculos, estudios para llegar a una solución; en la norma (MTC) encontramos métodos de estabilizar un suelo, los ingenieros deben tener la capacidad de solución utilizando algún método que nos recomienda o realizar otro estudio para estabilizar un suelo, esta investigación determina variación de compactación, espesores de mejoramiento y cálculo de capa estructural aportando a la ciencia como una manera de solución.

## **1.4 Justificación Práctica**

### **1.4.1 Justificación metodológica**

Una manera de estabilizar un suelo en la investigación fue adicionando un aditivo a nuestra cantera donde se puede mejorar las propiedades mecánicas de un suelo así obteniendo mejor la resistencia y capacidad de soporte.

Así mismo se explica la metodología de la utilización de un producto nuevo que es el terrazyme para ser usado como una alternativa para mejorar la máxima densidad seca y CBR a nivel de mejoramiento de las Av. Próceres y Av. General Córdova en el distrito de Chilca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Determinar la influencia del terrazyme en la estabilización de los suelos a nivel de subrasante en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar la variación de compactación adicionando terrazyme a la estabilización de suelos a nivel de sub rasante en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca – Huancayo.
- b) Determinar las alturas mejoramiento adicionando terrazyme, en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo
- c) Determinar la influencia del terrazyme en el diseño estructural de la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

- La influencia del terrazyme en la estabilización de suelos a nivel de subrasante es significativamente mejor con respecto a las normas técnicas peruanas en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo

### **1.6.2 Hipótesis específicos**

- a) La variación de compactación adicionando terrazyme influye en la estabilización de suelos a nivel de subrasante de la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo
- b) El uso del terrazyme influye para determinar las alturas de mejoramiento en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo
- c) Influye de manera positiva la utilización del aditivo el diseño estructural en la pavimentación flexible de la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.2 Antecedentes

#### 2.2.1 Antecedente internacional

**Valle (2018)** buscó: “El máximo aprovechamiento del terreno en presencia de sulfatos solubles y yesos, en la construcción de terraplenes con métodos de estabilizaciones adecuados. Como resultado de los ensayos de compresión de suelos cohesivos, con cemento tipo v, reflejan un estilo excelente todos los ensayos incrementaron la dosificación y periodo de curado que registró una dosificación del 5% fue de un 350% a los 3 días y 500% a los 14 días. Con una dosificación del 10% a los 3 días de curado registro un aumento del 700% y a los 14 días del 900%. Donde concluyó que el RBI-81 proporciona un aumento significativo de la capacidad de soporte y su disminución del límite líquido y plástico (Límites Atterberg) e expansión de las capas estabilizadas así que los suelos con RBI -81 sirven como superficie de rodadura directa”.

**Gavilanes (2019)** analizó y evaluó: “Las propiedades de la modificación y estabilización de suelos en el sector de su proyecto empleando adiciones de cal y cemento en diferentes porcentajes para determinar estabilización de plasticidad del material de subrasante en la vía. Se analizó que existe una reducción significativa del IP con el incremento del cemento; provocando un ligero aumento del IP y decrecimiento del LL. La relación de porcentajes que pasa el tamiz N°200 al que pase el tamiz N°40, no será mayor en 0.65 realizando esta operación tenemos: el porcentaje que pasa en el tamiz N° 40 es de 98% y el pasante del tamiz 200 es de 62%. Se define que  $62/98=0.632$  la obtención de resultados es conveniente porque no pasa lo requerido de la especificación por lo tanto el suelo del lugar satisface para realizar una estabilización. El uso de cemento para estabilizar el suelo es ventajoso, ya que, al dimensionar la estructura de rodadura, se logra disminuir el espesor de la estructura de rodadura ya sea hormigón rígido o asfalto, en relación a su estado natural. En este aspecto constructivo esto nos favorece en una disminución de los costos de construcción”.

**Ruano (2016)** estabilizó: “Los suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados. La cal viva tiene un bajo costo en el mercado comparada con la cal hidratada y se pudo comprobar que su uso es muy eficaz en la estabilización de suelos cohesivos, ya que se pueden lograr una estabilización de bajo costo mezclándola con la arena sílice y arena azul.

Las mezclas propuestas van del 10 %, 25% y 50% de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6% a 91,5%, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar. Se determinó que al utilizar cualquiera de las dos arenas tanto la sílice como la azul, ambas consiguen un CBR similar, sin embargo, su mayor valor de densidad específica y la composición mineralógica de la arena azul, logra que alcance valores un poco más altos que la arena sílice”.

### **2.2.2 Antecedente nacional**

**Ugaz (2016)** estudió: “El comportamiento de distintos estabilizadores químicos de suelos aplicados a diferentes muestras del territorio nacional para su aplicación en vías de transporte, así como sus cambios en las propiedades de capacidad de soporte, durabilidad, compresibilidad, permeabilidad y estabilidad volumétrica a corto y largo plazo. Brindando nuevos productos en el mercado y su adecuada utilización en obras viales los estabilizadores fueron: RBI-81, Cal Viva, Enzimas Orgánicas (Endurazyme), Cloruro de Calcio (Quim KD-40) y Aceites Sulfatados (CON AID). Se concluye el incremento son significativos por parte de diferentes aditivos estabilizadores el RBI-81 el cual se obtiene incrementar un CBR en 161%, el aditivo, Quim KD 40 logra un incremento de 137% y el Con Aid un 117%”.

**Ochoa y Rojas (2018)** determinaron: “La implicancia del índice de congelación y el tipo de suelo en el proceso de compactación para el mejoramiento de la carretera del proyecto de investigación. Se concluye que las bajas temperaturas que existen generan una dificultad en los procesos de compactación en vías afirmadas donde en el año 2005 se pudo apreciar uno de los años más fríos de

la historia con un índice de congelación de 580, donde se ve afectado hasta una profundidad de 1.50 m hace reflexionar diferentes actividades de construcción y mejoramiento de suelos. En la vía afirmada Ananea – Cojata, carece de material granular en las canteras y una solución aceptable es el uso recomendado de aditivos como es el Terrazyme para climas frígido que aumentan las características mecánicas del suelo para su mejor duración de las cuales la mejor compactación de llevaría a cabo entre 12°C y 19°C a estas temperaturas alcanza significativas densidades secas”.

**Palomino (2016)** determinó: “La capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100.

Se llegó a la conclusión que la capacidad portante (CBR) del suelo arcilloso estabilizado con de 2%, 4%, y 6% de Maxxseal 100, se obtuvo los siguientes valores para un CBR a 0.1” con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 9.60 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; para un CBR al 0.2”, con la muestra patrón un CBR de 5.40 %, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7.30 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 10.10 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11.70%”.

## **2.3 Bases Teóricas**

### **2.3.1 Terrazyme**

Según la empresa Stasiol nos afirma: “Es un aditivo elaborado a partir de extractos de plantas naturales mediante el uso de la tecnología de fermentación para los suelos. La formulación final contiene productos de un proceso metabólico microbial, incluyendo enzimas. Las partículas de este aditivo interactúan con las partículas cohesivas del suelo para mejorar los límites de solidez en el tiempo. El desarrollo reduce la permeabilidad y plasticidad en suelos arcillosos, al ser hidrofóbico elimina el agua y aumenta los límites de solidez entre las partículas cohesivas. Este incremento de límites ayuda a estabilizar los suelos y minimiza el daño y deformación que generalmente se produce como resultado de

determinadas condiciones húmedas de los suelos. El incremento de la densidad y solidez de los suelos tiene un importante impacto en la performance de las carreteras”.

#### **2.3.1.1 Características del aditivo (Terrazyme)**

- Alto rendimiento bajo costo.
- Equipos tradicionales.
- Uso en suelos de baja capacidad.
- Totalmente natural (100%)
- Compatible con el medio ambiente.
- Ecológico
- De manejo fiable.
- No inflamable.
- Hay formulaciones para suelos de alto contenido de arcilla.

#### **2.3.1.2 Áreas de aplicación del aditivo (Terrazyme)**

- En carreteras de afirmados, rehabilitación de carreteras.
- Para mejorar las estructuras del pavimento como base, sub base.
- En espacio ecológicos, parques y otros.
- Reparaciones para bacheo y caminos.

#### **2.3.1.3 Especificaciones del aditivo (Terrazyme)**

Las soluciones óptimas para estabilizar con el aditivo deben darse cuando se mezcla al 100% con el estabilizador considerando el diseño que se aprecia en lo siguiente:

- **Granulometría.** Como todo producto debe cumplir con los requisitos de la granulometría por lo tanto este Método de ensayo: ASTM E-11, D-422 o análisis de graduación similar. Terrazyme cataliza las reacciones con finos cohesivos (plásticos). Los finos pasan la malla N° 200 y deben

de constituir por lo menos el 15% del material de construcción. La arcilla cohesiva deberá estar presente en un 6% como mínimo.

- **Plasticidad.** Método de ensayo: ASTM D-4318 (Límites Atterberg). Suelos ideales tratados con Terrazyme deberán tener un límite líquido (LL) menor que 30% y un índice plástico (IP) entre 5% a 18%.
- **PH.** Método de ensayo según instrucción del fabricante, para cada equipo. Un suelo con PH de 4.5 - 9.5 es el mejor. Suelos con PH bajos pueden tratarse con carbonato de calcio (cal). Suelos con alto PH se podrán tratar con sulfato de sodio, sulfato de magnesio o ácido muriático. Terrazyme concentrado tiene un PH de 3,2 - 5,1.
- **Humedad Natural.** El porcentaje de humedad natural del suelo usarse servirá para determinar los rangos y diluido del aditivo con agua el riego para el óptimo.

### **2.3.2 Estabilización de suelos**

La estabilización en suelos según la norma es incrementar la fuerza o resistencia de mecánica en sus propiedades en el tiempo. De las cuales existen diferentes técnicas que van desde adicionar los suelos o la incorporación de una o más estabilizadores y deben cumplir con la compactación (MTC, 2014)

#### **2.3.2.1 Métodos geotécnicos para constituir la estabilización de suelos**

Se estudiarán los suelos idóneos para capas que cumplan un CBR  $\geq$  6% para la subrasante en caso contrario (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o en presencia de humedades o suelos blandos se realizarán estudios especiales para su estabilización, mejoramiento o reemplazo de suelo.

Si existiese en la capa de la subrasante material arcilla o limo se propone adicionar una capa de 10 cm de otro material para que este no contamine y afecta a la estructura del pavimento o colocar una malla de geotextil según el ingeniero responsable lo justifique.



**Tabla 1: Primera guía para determinar el estabilizador**

Área	Clase de Suelo	Tipo de Estabilizador recomendado	Restricción en LL e IP del Suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones	
1A	SW o SP	(1) Asfalto				
		(2) Cemento Portland				
		(3) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no excede de 25			
1B	SW-SM o SP - SM o SW - SC o SW - SC o	(1) Asfalto		IP no excede de 10		
		(2) Cemento Portland		IP no excede de 30		
	SP - PC	(3) Cal		IP no menor de 12		
		(4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no excede de 25			
1C	SM o SC o SM-SC	(1) Asfalto		IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Portland	(b)			
		(3) Cal		IP no menor de 12		
		(4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no excede de 25			
2A	GW o GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado	
		(2) Cemento Portland			El material debera contener cuando menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4	
		(3) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no excede de 25			
2B	GW-GM o GP-GM o GW-GC o GP-GC	(1) Asfalto		IP no excede de 10	Solamente material bien graduado	
		(2) Cemento Portland		IP no excede de 30	El material deberá contener cuando menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4	
		(3) Cal		IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25			
					No debe exceder el 30%	Solamente material bien
		(1) Asfalto		IP no excede de 10	en peso	graduado
2C	GM o GC o GM-GC	(2) Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuando menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4	
		(3) Cal		IP no menor de 12		
		(4) Cal - Cemento - Cenizas	IP no menor de 25			
		CH o	3	GL o MH o ML o	OH o ML-CL	

(1)	Cemento Portland	LL no m en or de 40  IP no m en or de 20	Suelo s organ icos y fuert emen te ácido s conte nidos en esta área no son susce ptible s a a estab ilizaci ón por meto dos ordin arios
(2)	Cal no menor de 12	IP	

IP = Índice Plástico  

$$20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200}) / 4$$

(b) IP Sin restricción u observación No es Necesario  
 aditivo estabilizador

Fuente: US Army Corps of  
 Engineers

**Fuente:** *US Army Corps of Engineers, 2013*

**Tabla 2: Segunda guía para determinar el estabilizador**

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo (1)	Dosificación (3)	Curado (Apertura al Tránsito) (5)	Observaciones
		A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) < 0.2%			Diseño de mezcla de acuerdo a
<b>Cemento</b>	Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	Abrasión < 50% Durabilidad SO <sub>4</sub> Ca (4) - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO <sub>4</sub> Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
<b>Emulsión</b>	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2, A-3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO <sub>4</sub> Ca (4) - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO <sub>4</sub> Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
<b>Cal</b>	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D6276
<b>Cloruro de Calcio</b>	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
<b>Cloruro de Sodio</b>	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m <sup>3</sup>	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
<b>Cloruro de Magnesio</b>	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Ph: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m <sup>3</sup>	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
	EG-CBT-2008	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5		De acuerdo a	

<b>Enzimas</b>	Sección 308B	CMO (2) no debe contener	1L / 30-33m3	Especificaciones
	MTC E 1109	Abrasión < 50% % < N° 200: 10-35%		del fabricante
<b>Aceites sulfonados</b>		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plasticos CMO (2) < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante

**Fuente:** *Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014*

### **2.3.2.2 Propiedades en la estabilización de suelos**

#### **a. Estabilidad volumétrica**

“Los cambios de volumen con respecto a la humedad de muchas veces del suelo también llamado expansión y contracción ya que pueden generar graves deformaciones del suelo y esto genera consecuencias con la estructura del pavimento, es por ello necesario detectar los suelos expansivos para su tratamiento respectivo.

En la actualidad hay soluciones como introducir humedad al material y por un periodo ejercer tráfico o cargas, donde se utiliza membranas impermeables donde modifica la arcilla expansiva transformando a una masa rígida”. (Alfonso, 2002, pág. 75).

La estabilidad volumétrica que se realizó en el proyecto de investigación reemplazando el material malo por materia que cumplen los requisitos de la norma.

#### **b. Resistencia**

“La resistencia es baja cuanto mayor sea su contenido de humedad en el material, una arcilla puede alcanzar altas resistencia cuando están expuestas a altas temperaturas y al adicionar humedad es donde la disminución de la resistencia”. (Montejo 2002).

Para incrementar el peso volumétrico de un suelo son:

- Compactación
- Vibro flotación
- Precarga
- Drenaje.

#### **c. Permeabilidad**

“En suelos la permeabilidad se plantea en problemas básicos con la disipación de poro y el flujo de agua a través del suelo. Al tener excesivas presiones de poros pueden traer consecuencias como los deslizamientos de explanaciones. Cuando se compacta un suelo arcilloso con humedades bajas

se obtiene una alta permeabilidad ya que se forman vacíos intersticiales y se llega que a más alta sea la humedad de compactación se produce menores permeabilidades en el suelo compacto y disminuyéndose grandes vacíos”. (Montejo 2002).

#### **d. Comprensibilidad**

“El cambio de volumen o comprensibilidad influye en las propiedades de los suelos donde se altera la permeabilidad. Y las fuerzas entre partículas tanto en sentido y magnitud en consecuencia modifican su resistencia al esfuerzo cortante. Donde la humedad es un factor importante en la comprensibilidad de los suelos compactados”. (Montejo 2002).

#### **e. Durabilidad**

“Se involucran varios factores a este concepto; resistencia al intemperismo, erosión, y la abrasión a al tráfico de esta manera las dificultades de durabilidad en las vías terrestres suelen estar muy asociado a la superficie de rodamiento. La durabilidad es uno de los aspectos difíciles de cuantifica y la reacción común ha sido la de sobre diseñar también no puede ser lo más adecuado”. (Montejo 2002).

### **2.3.3 Subrasante**

La sub rasante es la superficie terminada del movimiento de tierras y que soporta toda la capa estructural del pavimento.

La sub rasante es quien soporta toda la capa de la estructura del pavimento y conforma y es parte de una carretera que se constituye entre el terreno de fundación o terreno natural y el terraplén.

**Tabla 3:** Categorías de la subrasante

<b>Categorías de Sub rasante</b>	<b>CBR</b>
<b>S0 : Sub rasante Inadecuada</b>	CBR<3%
<b>S1 : Sub rasante insuficiente</b>	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
<b>S2 : Sub rasante Regular</b>	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
<b>S3 : Sub rasante Buena</b>	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
<b>S4 : Sub rasante Muy Buena</b>	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
<b>S5 : Sub rasante Excelente</b>	De CBR ≥ 30%

*Fuente:* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

Según la tabla N° 3 nuestro suelo a estabilizar es una sub rasante inadecuada ya que presenta una sub rasante menor a 3.00% y por esta razón que se reemplazó con un material excelente que es la cantera Pichis para su estabilización de suelos a nivel de sub rasante (mejoramiento).

### **2.3.3.1 Caracterización de la subrasante**

Para desarrollar los estudios físico mecánicas del suelo en la subrasante se realizarán estudios en pozos a una profundidad mínima de 1.50 m y el número de calicatas mínimas estará dada por la tabla N° 4

Las calicatas de extraerán de forma alternada y longitudinalmente a distancias aproximadas iguales.

**Tabla 4:** Numero de calicatas para explotación de suelos

**TABLA 2**

TIPO DE VÍA	NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Notas:

- Quando no existan los proyectos de lotización y trazado y solamente se ejecutara el proyecto de habilitación urbana, se requiere de 1 punto de investigación por hectárea, con un mínimo de 4.
- Quando no existan los proyectos de lotización y trazado y se ejecute el proyecto de habilitación urbana y la construcción simultanea de viviendas, se requiere de un punto de investigación adicional por hectárea. a los requeridos en la Tabla N° 6 de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.

*Fuente:* Reglamento Nacional de Edificaciones

### 2.3.4 Suelos expansivos

“Es aquel que tiende a cambiar su volumen en presencia de la humedad. Se puede describir que los suelos con este fenómeno se muestran en suelos que presenta arcilla y en condiciones ambientales se da la reducción de la humedad ya sea por distintos factores y se llega que los suelos expansivos son abundantes donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación”. (Beltrán M. 2009. pag 4)

#### 2.3.4.1 Evaluación y determinación de suelos expansivos

“Este método nos ayuda a determinar si un suelo es altamente expansivo y esto se determinan con los límites de Atterberg empleando este método nos ayuda a determinar el potencial de expansividad del suelo se muestra en la siguiente tabla”. (Manual de Carreteras Paraguayas. Pag 166)

**Tabla 5:** Grado de expansión de un suelo

Grado de Expansión	LL%	IP%	T nat (Ton/pie)
Elevado	> 60	>35	>4
Marginal	50-60	25-35	1.5-4



---

<b>Bajo</b>	<50	<25	<1.5
-------------	-----	-----	------

---

*Fuente: Manual de Carreteras del Paraguay, 2009*

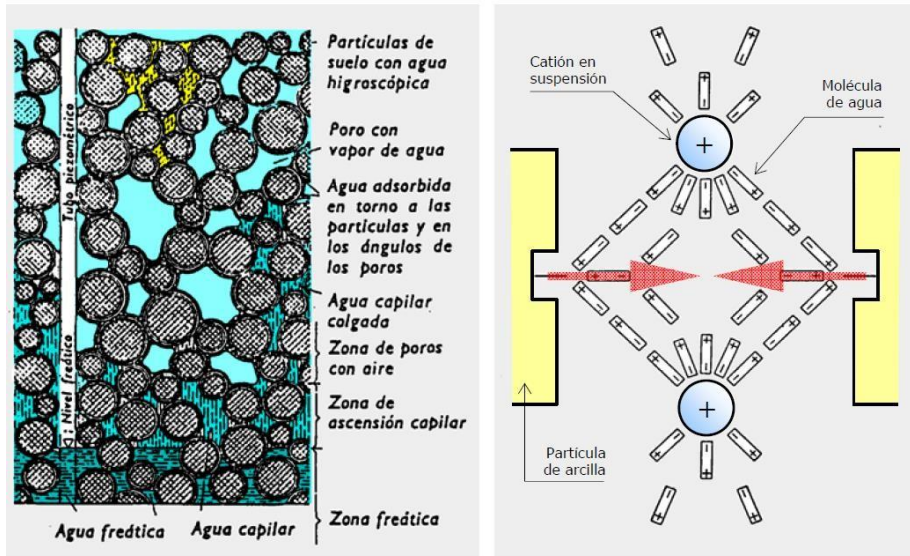
Según la tabla N° 19; el resultado del suelo de la carretera presenta como máximo 21.4 % por el cual es considerado un suelo bajo en el grado de expansión.

### **2.3.5 Suelos cohesivos**

Este tipo de suelo se caracteriza por el tamaño más fino (0.08 mm) lo que les da un aporte importante en la relación entre superficie y el volumen de un cuerpo.

“La cohesión es una propiedad importante en el ámbito mecánico que se define como la fuerza interparticular con ayuda del agua de la constitución del suelo siempre y cuando este no este encuentre saturado. Esto es muy importante para todo tipo de estabilidad de taludes y aumenta la capacidad de soporte una superficie a los esfuerzos cortantes”. (Bañon,2000 pág. 3).

Ya que nuestra cantera cuenta con una granulometría bien graduada esto predijo que es un suelo casi cohesivo porque cuenta con material mixto como grava área y limo.



**Figura 1:** Comportamiento de un suelo cohesivo  
**Fuente:** Bañón Blázquez, 2000

### 2.3.6 Fuentes de materiales

La adquisición de materiales naturales como la roca, grava, arenas y suelos deben cumplir papel importante en la potencia del material para las obras de carreteras. La mayor o menor disponibilidad de estos materiales puede afectar los costos de la construcción por el cual se debe explorar el área del proyecto ya que pueden reducir razonables de la distancia del transporte y de los procesos de transformación.

Es por esta razón el ingeniero tiene los criterios necesarios para poder seleccionar y clasificar las fuentes de materiales para su diseño. (MTC 2014)

- Reconocimiento e identificación
- Localización y evaluación preliminar
- Delimitación, calificación y cuantificación

### 2.3.6.1 Estudio de cantera de suelo

- a) **Ubicación:** Los materiales serán ubicados: “En lugares en función a la distancia de la obra (centro de gravedad) tener en consideración la menor distancia posible a la obra y que cumpla la calidad y cantidad (Potencia) requeridas a la obra. Se realizará un levantamiento topográfico desde la cantera a la obra precisando el kilometraje y longitud de esta y se ubicará los linderos y la fuente de material”. (MTC 2014).
- b) **Descripción:** Las fuentes de material se seleccionará: “De acuerdo a la cantidad y cantidad (potencia) y como así la menor distancia posible a la construcción luego se realizarán los estudios de mecánica de suelos haciendo las calicatas con una cierta cantidad de material para su estudio y/o análisis”. (MTC 2014)
- c) **Muestreo:** El contratista deberá: “Ceñirse al manual de ensayos de materiales MTC vigente 2016. Las muestras serán sometidas a los ensayos y determinar sus características y propiedades para sus diversos usos como por ejemplo (rellenos, afirmado, subbase, base, tratamientos superficiales, carpeta asfáltica, obras de concreto hidráulico, etc.)”. (MTC 2014)

### 2.3.6.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de mecánica de suelos para determinar características físicas químicas y mecánicas de los materiales de cantera se realizarán de acuerdo al manual de ensayos de materiales para carreteras del MTC (vigente). Los ensayos de se realizarán por dos tipos estratos por estrato y del conjunto de los materiales

#### a) Ensayos estándar

- **Materiales para terraplenes**

- ✓ Análisis granulométrico MTC E 107
- ✓ Humedad natural MTC E 108
- ✓ Limite Líquido ASTM D-4318, MTC E 110.
- ✓ Limite Plástico e Índice de Plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111
- ✓ Gravedad Específica de los suelos, MTC E 113

**b) Ensayos especiales**

- ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132
- ✓ Relación Humedad – densidad ASTM D-1557, MTC E 115.

**2.3.7 Ensayos de suelos de fundación**

**2.3.7.1 Contenido de humedad**

El porcentaje de humedad del material es una relación del peso de agua con el material seco. (MTC E 108, ASTM D 2216).

**2.3.7.2 Granulometría**

Realizar el tamaño de partículas con una serie de mallas normalizados y determinar el porcentaje que pasan dichas partículas de las cuales la última malla es la N°200. (MTC E 107, ASTM D 422).

*Tabla 6: Tipo y tamaño de material*

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
<b>Grava</b>		75 mm - 4.75 mm
		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
<b>Arena</b>		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
<b>Material Fino</b>	Arcilla	menor a 0.005mm

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014*

**Interpretación de los resultados**

La manera de interpretar la curva de granulometría del suelo nos proporciona es un pronóstico del material y sus futuros comportamientos de las cuales encontramos dos tipos: Granulometría Discontinua y Continua

Para determinar numéricamente la gradación continua del suelo se emplea la siguiente formula:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

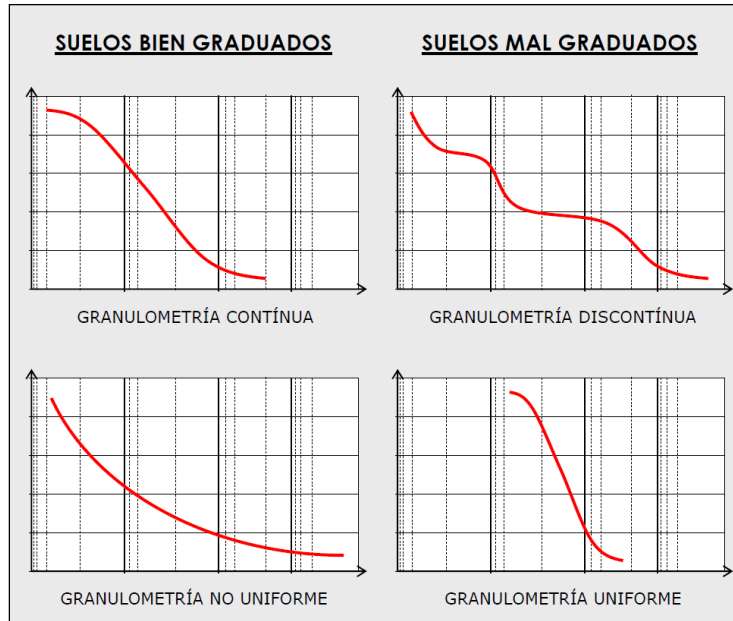
Dónde:

$D_x$  : es la que pasa el porcentaje en peso de total de la muestra

Es muy importante que el suelo presenta una curvatura de buena gradación ya que este será un suelo cohesivo como anteriormente lo definimos ya que un suelo bien graduado está entre 1 y 3

Otra fórmula empleada es de Hazen para el grado de uniformidad del suelo cuando el resultado es menor a 2 muy uniforme y menor a 5 solo uniforme según la siguiente formula:

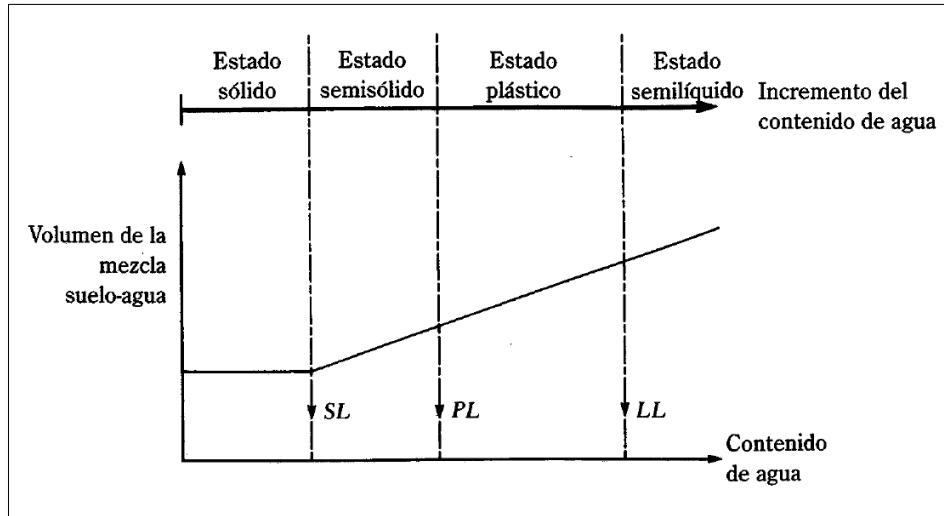
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$



**Figura 2:** *Apreciación de la curva granulométrica*  
**Fuente:** *Bañón Blázquez, 2000*

### 2.3.7.3 Plasticidad de los suelos

Juárez y Rico 2005 pág. 126, afirma en su publicación según la definición de suelos plásticos: “Se encuentra suelos que al ser adicionado su contenido de agua presentan una consistencia característica. Estos tipos de suelo fueron llamados arcillas ya que la mecánica de suelos puede definir la plasticidad como la propiedad las partículas de suelo por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin alteración del volumen y sin cambios de deformación y agrietamiento”.



**Figura 3:** Aclaración de los Límites de Atterberg

*Fuente:* Baja, 1999

- El **límite líquido** se determina con la copa Casagrande con 25 golpes a una altura determinada según la norma (D-4318 ASTM).
- El **límite plástico** es el contenido de humedad formando un rollito de 1/8 de pulgada (D-4318 ASTM).
- El **índice de plasticidad** se define como la diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo.

**Tabla 7:** Consistencia de suelos

Parámetro	Tipo de Suelo		
	Arena	Limo	Arcilla
LL	15 - 20	30 - 40	40 - 150
LP	15 - 20	20 - 25	25 - 50
IP	<b>0 - 3</b>	<b>10 - 15</b>	<b>10 - 100</b>

*Fuente:* Bañón Blázquez, 2000

#### 2.3.7.4 Clasificación SUCS

“Esta clasificación fue propuesta por Arturo Casagrande como una adaptación más general a su sistema de clasificación en el año 1942. La clasificación se divide en suelos de grano grueso, fino y suelos orgánicos”. (Montejo. Pag 49).

**a) Suelos gruesos**

Están dados por gravas y arenas de las cuales los separa el tamiz N° 4 en ello se divide en (G, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC)

**b) Suelos finos**

Los suelos finos están divididos en tres familias: Limos Inorgánicos, arcillas inorgánicas, y limos-arcillas orgánicas; M, C, y O respectivamente

**2.3.7.5. Clasificación AASHTO**

“De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8. En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en un total de 12 subgrupos”. (Montejo Pag 44)

**- Descripción de los grupos de clasificación**

**a) Suelos granulares:** Son suelos conformados por los grupos A-1, A-2, A-3.

- **Grupo A-1:** Es material que contiene los tres tipos de materiales, grava, arena, y fino también conocido como el ligante y el grupo se divide en dos Sub grupos: Subgrupo A-1a y Subgrupo A-1b.
- **Grupo A-2:** Este material contiene el 35% de material fino y esta divididos en Subgrupos: A-2-4 y A-2-5, Subgrupos A-2-6 y A-2-7.
- **Grupo A-3:** En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además, las arenas de rio que contengan poca grava y arena gruesa.



b) **Suelos finos limo arcillosos:** son materiales que pasan la malla N°200 más del 35% de las cuales están divididos en grupos: A-4, A-5, A-6 y A-7 donde el grupo A-7 se subdivide en Subgrupos A-7-5 y A-7-6.

#### **2.3.7.6 Compactación**

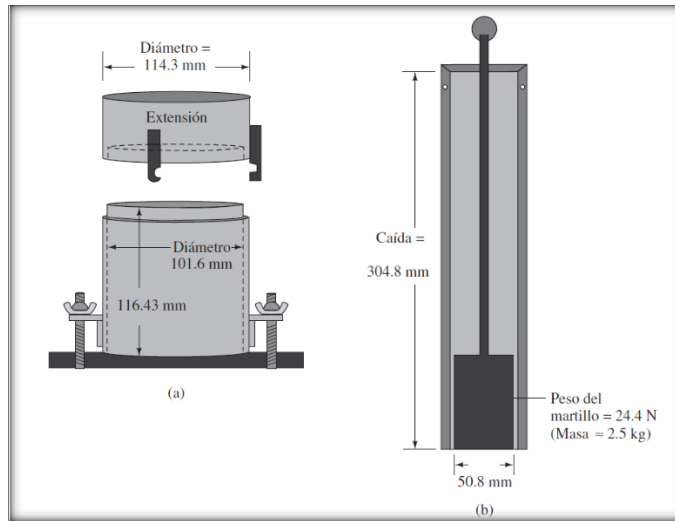
La compactación es: “La fuerza de consolidación ya que esto elimina el aire, lo que requiere energía mecánica para su obtención de esta. El grado de compactación se calculará o se evaluará de acuerdo a sus términos de peso unitario seco”. (Braja M. Das. 2013 pag 91).

“Proctor inicio a producir resultados de investigaciones que se hizo posibles muchas técnicas de uso actual. En la actualidad esto se define incremento del peso volumétrico seco (o densidad seca) del material por medio mecánicos y que a mayor peso volumétrico mejor es la obra que se está ejecutando”. (Montejo. Pag 476).

Las mejorar de una compactación es la resistencia, Permeabilidad, Flexibilidad, Comprensibilidad, etc.

#### **a) Prueba de proctor estándar**

En la prueba Proctor: “El suelo se compacta en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>. El diámetro del molde es de 101.6 mm. Durante la prueba de laboratorio el molde se une a una placa de base en la parte inferior y a una extensión en la parte superior. El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego es compactado en tres capas iguales por un martillo que entrega 25 golpes a cada capa. El martillo pesa 24.4 N (masa 2.5 kg) y tiene una caída de 304.8 mm” (Braja Das pag 93).



**Figura 4:** Molde para Proctor y respectivo Pistón  
**Fuente:** Braja, 1999

**Tabla 8:** Explicación para determinar Proctor Estándar

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del martillo	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de la caída del martillo	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>	591.3 kN-m/m <sup>3</sup>
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

**Fuente:** 698-91 de la ASTM.

## b) Prueba de proctor modificado

“Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo. La prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor

modificado (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180). Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (masa = 4.536 kg) y tiene una caída de 457.2 mm. El número de golpes de martillo para cada capa se mantiene en 25, como en el caso de la prueba Proctor estándar. La figura N° 5 muestra los martillos utilizados para pruebas proctor estándar y modificada. La energía de compactación por unidad de volumen de suelo en la prueba modificada puede ser calculada mediante” (Braja M. Das) pag 98.

$$E = \frac{(25 \text{ golpes/capa})(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ kN})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ kN-m/m}^3$$

**Tabla 9:** Explicación para determinar Proctor Modificado

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm.	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm.

**Fuente:** 1557-91 de la ASTM

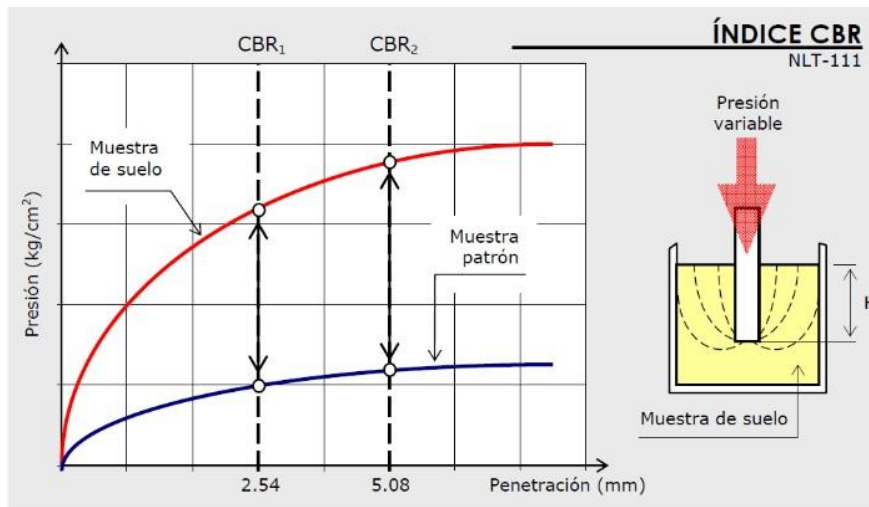
### 2.3.7.7 Resistencia del suelo

Es el comportamiento mecánico del suelo recordemos: “Que el suelo es una estructura resistente es sin duda el factor más importante; de hecho, las propiedades y ensayos vistos anteriormente van encaminados a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible, de forma que la tensiones se transmitan uniforme y progresivamente, y no se produzcan asientos excesivos o incluso un colapso de fatales consecuencias”. (Bañón Blázquez. pag 15.17).

- **Capacidad portante**

“Generalmente se toman diversos pares de calores presión – penetración, construyéndose una gráfica como la de la siguiente figura N° 6; en ella, se toman los valores correspondientes a una profundidad de 2.54 y 5.08 mm (0.1 y 0.2 pulgadas), comparándose con los de la muestra patrón para dichas profundidades. El índice CBR del suelo será el mayor de los dos obtenidos”. (Bañón Blázquez pag 15.18)

$$\text{CBR} = \frac{\text{Presión en muestra problema}}{\text{Presión en muestra patrón}} \cdot 100$$



**Figura 5:** Explicación de la Relación de Soporte  
**Fuente:** ASTM D 1883

### 2.3.8 Módulo resiliente

“Para ejecutar el ensayo de Módulo Resiliente se utilizará la norma MTC E 128 (AASHTO T274). Pero en el laboratorio de la empresa no cuenta con este equipo por su difícil adquisición y costo del mismo. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la subrasante (valor K)”. (Manual de carreteras, pág. 37)

Para calcular el MR se define por una formula o por la siguiente tabla según la norma que nos recomienda.

$$Mr(\text{psi}) = 2555x(\text{CBR})^{0.64} \text{ para } \text{CBR} < 12\%$$

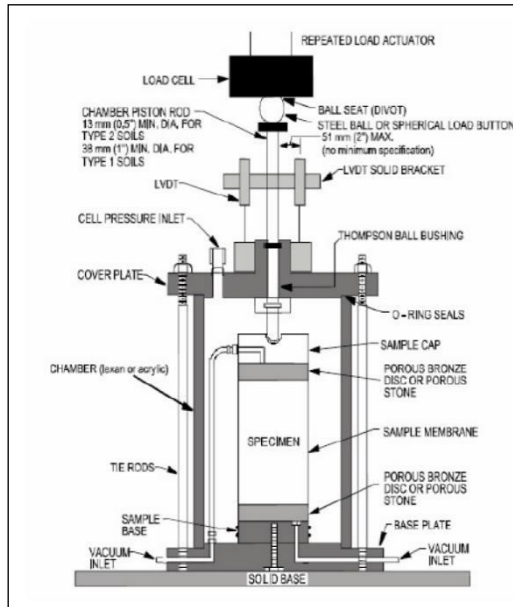
$$Mr(\text{psi}) = 3205.33x(\text{CBR})^{0.55} \text{ para } 12\% < \text{CBR} < 80\%$$

**Tabla 10:** Modulo de Resiliencia analizado por analogía de CBR

CBR % SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUB RASANTE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUB RASANTE (MR) (MPA)	CBR % SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUB RASANTE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUB RASANTE (MR) (MPA)
6	8043	55.45	20	17380	119.83
7	8877	61.20	21	17931	123.63
8	9669	66.66	22	18473	127.37
9	10426	71.88	23	19006	131.04
10	11153	76.90	24	19531	134.66
11	11854	81.73	25	20048	138.23
12	12533	86.41	26	20558	141.74
13	13192	90.96	27	21060	145.21
14	13833	95.37	28	21556	148.62
15	14457	99.68	29	22046	152.00
16	15067	103.88	30	22529	155.33
17	15663	107.99			
18	16247	112.02			
19	16819	115.96			

**Fuente:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

- **Ensayo de 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” (ICG pag 7)



**Figura 6:** Equipo para determinar M.R.

**Fuente:** Instituto de Construcción de Gerencia – 2006

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y Diseño de Investigación**

#### **3.1.1 Método de la investigación**

El método de investigación es método hipotético deductivo

“El método hipotético deductivo consiste en un procedimiento que parte de unas afirmaciones en calidad de hipótesis y busca objetar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos”. (Bernal 2006 pag 56)

#### **3.1.2 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada

“Se diferencia por poseer propósitos prácticos inmediatos bien definidos, se investiga para elaborar, transformar modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad”. (Carrasco 2006).

#### **3.1.3 Nivel de investigación**

La presente investigación es de nivel descriptivo – experimental

“Luego de entender las características del fenómeno o hecho que se estudia (variables) y conociendo estas causas que han determinado que tenga características es decir sabiendo dichos factores que han dado origen a al problema entonces se le puede dar un tratamiento metodológico aplicando un nuevo sistema, modelo, tratamiento, método para mejorar y corregir la situación del problema”. (Carrasco 2006).

#### **3.1.4 Diseño de investigación**

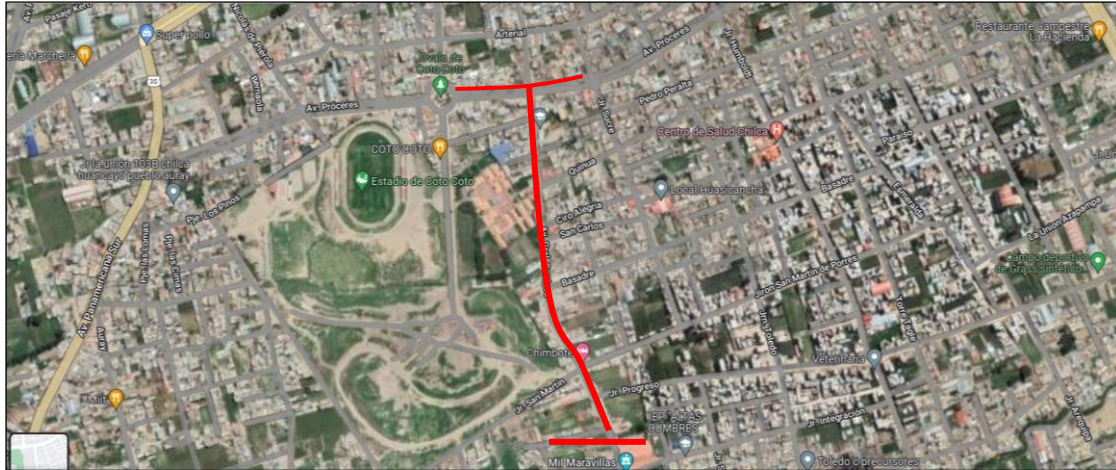
El diseño de investigación es diseño experimental.

“La investigación está determinada por la hipótesis que se va a demostrar durante el desarrollo de la investigación esto consiste en la modificación de una variable independiente (causa) ocasiona un cambio predecible a la variable dependiente (efecto)”. (Bernal 2006 pag 147)

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

En el caso de nuestra investigación, la población está conformada en la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo.



*Figura 7: Ubicación de las Calicatas*

### 3.5.2 Muestra

El tipo de muestreo es no aleatorio, en este caso está constituido por de 04 calicatas dentro de la Av. Próceres y Av. General Córdova en el Distrito de Chilca - Huancayo mayor a 1.50 m de profundidad a nivel de subrasante y las calicatas de la cantera que se tomaron en el acopio

### **Numero de ensayos requeridos para la caracterización de la resistencia de la sub rasante**

La norma nos establece la cantidad de calicatas que se van a extraer del campo de acuerdo al IMDA en la tabla 12 describe la cantidad de ensayos y el tipo de carretera.

## 3.3 Variables

“Es una particularidad, atributo, propiedad o cualidad que puede o no estar en los individuos, grupos o sociedades, que se puede manifestarse en matices o



modalidades diferentes o en grados, magnitudes a lo largo de un continuum”.  
(Bernal 2006)

### 3.3.1 Definición conceptual de la variable

“Se compone de una abstracción en palabras para simplificar su comprensión y su adecuación a los requisitos prácticos de la investigación. La construcción de teorías para explicar los resultados de la investigación”. (Uap/intranet)

### 3.3.2 Definición operacional de la variable

“Consiste en definir el método a través del cual las variables serán medidas y analizadas. En resumen, una definición operacional puede indicar el instrumento por medio del cual se medirá las variables”. (Uap intranet)

“Una definición operacional está fundada por una serie de procedimientos o indicadores para elaborar la medida de una variable definida conceptualmente”.  
(Kerlinger, F. 1979)

### 3.3.3 Operacionalidad de la variable

*Tabla 11: Operacionalidad de las variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES
<b>Independiente</b> Terrazyme	Aditivo para suelos elaborado a partir de extractos de plantas naturales mediante el uso de la tecnología de fermentación	Especificaciones	Plasticidad Granulometría MDS CBR Reh. De Carreteras
		Áreas de Aplicación	Bases Subbase Mejoramientos
<b>Dependiente</b> Estabilización de Suelos	Mejoramiento de las propiedades de un suelo a través de procedimientos mecánicos	Físicas	Tamaño de Partículas Humedad Natural LP

incorporando  
productos químicos,  
naturales o sintéticos

LL  
Capacidad de Soporte

Mecánicas

Compactación

**Tabla 12:** Cantidad de ensayos realizados

<b>NÚMERO DE CALICATAS PARA EXPLOTACIÓN DE SUELOS</b>			
<b>TIPO DE CARRETERA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>NUMERO MINIMO DE CALICATAS</b>	<b>OBSERVACION</b>
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 calicatas x km</li> </ul>	

Carreteras de Segunda Clase: 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 3 calicatas x km	las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Terceras Clase: 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volúmenes de tránsito: 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 1 calicatas x km	
Carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles		
Carreteras con un IMDA entre 400 -201 veh/día, de una calzada de dos carriles		
Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada		

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014*

- **Cantidad de ensayos elaborados**

*Tabla 13: Número de ensayos analizados*

CANTIDAD DE ENSAYOS					
ENSAYOS	CANTIDAD				
	C-01	C-02	C-03	C-04	CANTERA
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>					
Análisis Granulométrico	1	1	1	1	7
CH	1	1	1	1	7
LL	4	4	4	4	28
LP	2	2	2	2	14
<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>					
Proctor Modificado	4	4	4	4	2
CBR	3	3	3	3	2
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS DE LA SUBRASANTE MAS ADICION DEL TERRAZYME</b>					
Proctor Modificado	4				
Relación de Soporte (CBR)	3				

- **Cantidad requerida de material**

Realizamos un cuadro donde determinamos la cantidad de material para poder ensayarlo de acuerdo a las normas vigentes.

**Tabla 14: Proporción de material utilizado**

ENSAYOS	TOTAL DE MATERIAL					
	NORMA	C-01	C-02	C-03	C-04	CANTERA
Contenido de w%	MTC E 108	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	1.40 kg
Análisis Granulométrico	MTC E 107	0.70 kg	0.70 kg	0.70 kg	0.70 kg	210.00 kg
LL de la muestra	MTC E 110	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	1.40 kg
LP e IP de la muestra	MTC E 111	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	0.20 kg	1.40 kg
proctor modificado	MTC E 115	12.00 kg	12.00 kg	12.00 kg	12.00 kg	36.00 kg
CBR	MTC E 132	18.00 kg	18.00 kg	18.00 kg	18.00 kg	36.00 kg
proctor modificado + Aditivo	MTC E 115	0.00 kg	0.00 kg	0.00 kg	0.00 kg	36.00 kg
CBR + aditivo	MTC E 132	0.00 kg	0.00 kg	0.00 kg	0.00 kg	36.00 kg

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los datos son los elementos básicos para poder estudiarlo, analizarlo o conocerlo que se obtuvo en campo.

#### 3.4.1 Técnicas

La manera o método que se utilizó fue la observación al terreno para tomar datos ya que tiene con la visualización del terreno Km 0 al Km 1 donde se obtuvo las calicatas y llevarlo al laboratorio para sus estudios respectivos.

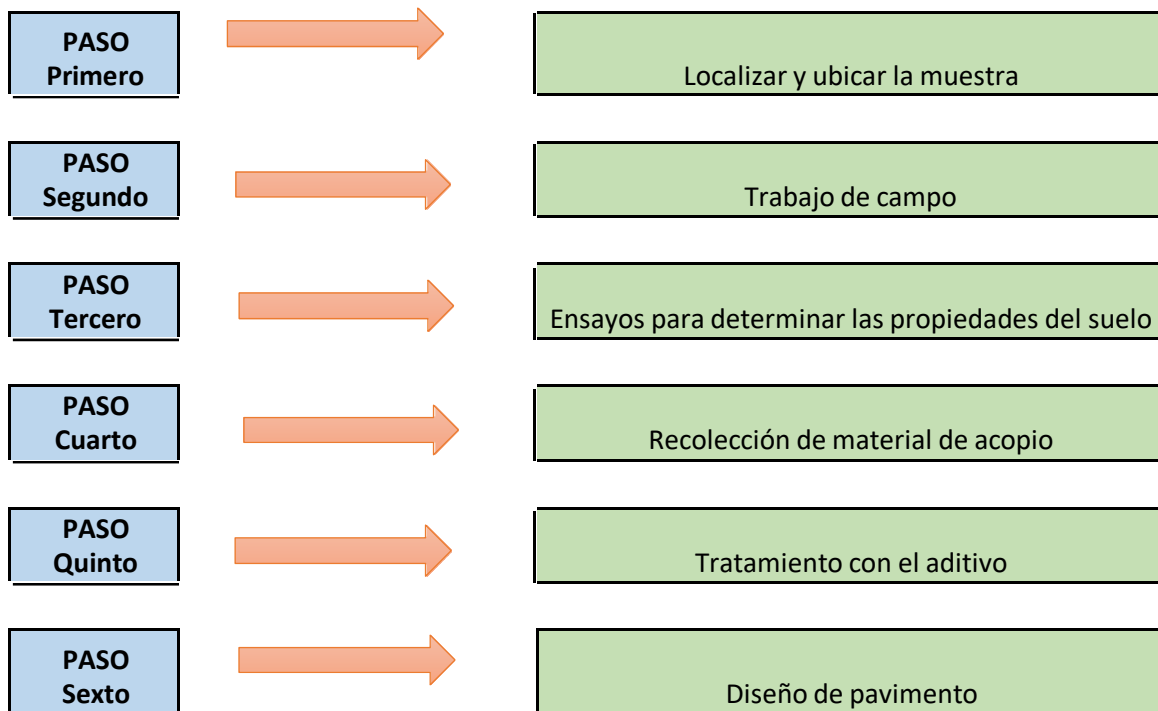
#### 3.4.2 Instrumentos

Los equipos que fueron empleados son:

- Horno electrónico
- Martillo para prueba de compactación proctor modificado
- Molde para prueba de compactación CBR
- Molde para prueba de compactación proctor modificado
- Prensa de carga CBR
- Tamices para análisis granulométricos

- Máquina de los Ángeles
- Copa Casagrande
- Balanzas Electrónica
- Diales
- Cocinas
- Laptop para su procesamiento
- Libros y Normas
- Cámara fotográfica
- Materiales de apuntes
- Utensilios de mano

### 3.5 Procedimiento metodológico



## CAPITULO IV: DESARROLLO DEL TEMA

### 4.1 Trabajos de campo

Se ha registrado los espesores de los estratos durante la extracción de las calicatas y la clasificación se corrobora realizando los ensayos en laboratorio mediante la clasificación SUCS.

### 4.2 Calicatas

Se hicieron (4) pozos (calicatas) para el estudio con una altura de 150cm a nivel de sub rasante donde las alturas encontramos en los planos de secciones transversales (anexos), distribuidas convenientemente a 250 metros entre ellas o dependiendo el criterio del ingeniero especialista.

*Tabla 15: UTM de calicatas*

CUADRO DE CALICATAS					
PROGRESIVA (KM)	CALICATA	PROFUNDIDAD	COORDENADAS		LADO
0+150	C-01	1.50 m	500173.09	8874876.26	LD
0+300	C-02	1.50 m	500034.94	8875004.65	LI
0+450	C-03	1.80 m	499665.57	8875347.90	LD
0+600	C-04	1.70 m	499509.19	8875493.25	LI

### 4.3 Registro de excavación

Juntamente en la extracción de muestras se realizaron las anotaciones como humedad, color, textura, y un nombre aproximado del material, no existe un tamaño máximo porque es material fino (arcilla), color, así mismo se realizo toma de fotografías del terreno.

#### 4.4 Lista de ensayos para la investigación

Los ensayos fueron determinados según el manual de carreteras del MTC (EM 2016) aprobado por RD N° 18-2016-MTC/14 (03.06.2016) que a continuación se indican.

*Tabla 16: Lista de ensayos para la investigación*

ENSAYOS	NORMA
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
Contenido de Humedad de un suelo	MTC E 108
Análisis Granulométrico	MTC E 107
LL	MTC E 110
LP	MTC E 111
Clasificación SUCS	NTP 339.134
Clasificación AASHTO	NTP 339.135
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	
Proctor Modificado	MTC E 115
CBR	MTC E 132

##### **a) Contenido de humedad de la muestra (MTC E - 108)**

El contenido de humedad es la relación en porcentaje del material de la cantidad de agua con el peso seco del suelo.

Este método se elimina el agua del material en un horno a temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C por un lapso de tiempo de 24 horas la pérdida de humedad representa la cantidad de agua

##### **Equipos y materiales**

###### **Equipos**

- *Horno de secado:* Horno de secado termostáticamente controlado a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C
- *Balanzas:* De capacidad conveniente 0.01 g para muestras de menos de 200 g, 0.1 g para muestras de más de 200g

## Materiales

- *Recipientes o taras*
- *Utensilios. para manipulación de recipientes*
- *Otros utensilios*

## Muestra

Muestra alterada extraída del estrato de estudio

## Procedimiento

- Separar el material
- Pesar la fuente o tara
- Pesar la tara incluye el material
- Colocar en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas
- Retirar el material y pesar el material seco.



*Figura 8: preparación de la muestra para el secado al horno*

## Calculo

El cálculo es mediante la fórmula mostrada:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$



Donde:

W	= Humedad en porcentaje
MCWS	= peso del material más el material húmedo
Mcs	= material seco más la tara
Mc	= peso de la tara
Mw	= peso del agua
Ms	= peso del material

## b) Explicación del LL del material (MTC E-110)

El LL (Limite Líquido) es expresado en porcentaje ya que se determina el límite entre el límite líquido y límite plástico del material esto se determina con la copa de casa grande colocando el material al fondo de este equipo y realizando un surco con el ranurador y esto debe cerrarse (1/2 pulg) con 25 golpes a una altura de 1 cm con una velocidad de 2 golpes por segundo.

### Equipos, materiales e insumos

#### Equipos

- Recipiente de almacenaje
- Aparato del límite líquido (o de casa grande)
- Acanalador
- Calibrador
- Balanza sensibilidad de 0.01 g
- Estufa

#### Materiales

Espátula de hoja flexible

#### Insumos

Agua

#### Muestra

Se obtiene una porción representativa de la muestra de 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425  $\mu\text{m}$  (N°40)

## Procedimiento

- Situar el material en la copa con una humedad aproximada, esparcirla a una altura de 1 cm.
- Visualizar que no queden material por debajo de la copa ya que amortiguara el golpe.
- Utilizar el acanalador y separar el material por la mitad
- Empezar a girar con una velocidad de 2 golpes por segundo hasta que crea un contacto de media pulgada.
- Si en caso hay un cierre antes de los 10 golpes o no se cierra después de los 35 golpes realizar nuevamente aumentando liquido o material según lo requiera.
- Después de tener los tres resultados quitar el material de la parte media de la copa y seguir los pasos del contenido de humedad.



*Figura 9: Elaborando el LL.*

## Cálculo

Para determinar el Limite Líquido se deben realizar las siguientes operaciones que se muestra:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

N = Numero de golpes que se empleó

$W^n$  = Resultado del CH

K = factor

**Tabla 17:** Número de Golpes

N (Numero de Golpes)	K (Factor para Límite Líquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

*Fuente:* Ensayo de Materiales 2016

### c) Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (MTC E-111)

El LP es la humedad baja cuando se obtiene realizando barritas con un grosor de 1/8 pulg (3.2 mm), rodando dicho material en la palma de la mano o un vidrio esmerilado hasta que esté presente dicho diámetro caso contrario repetir este ensayo hasta obtener

#### Equipos, materiales e insumos

##### Equipo

- Espátula

- Recipiente de almacenaje
- Balanza con aproximación a 0.01 g
- Horno o estufa
- Tamiz (N° 40)
- Agua destilada
- Vidrio grueso esmerilado

### **Muestra**

Pasar el material por la malla 426 mm con 30 gramos

### **Procedimiento**

- Después de realizar el ensayo del Limite Liquido adicionar material para que disminuya la humedad.
- Realizar rollitos del material con la palma de las manos o yemas de los dedos con un grosor de 3.2 mm sobre un vidrio esmerilizado hasta que presenta pequeñas fisuras.
- Una vez obtenido pesar dicho material y llevarlo al horno durante las 24 horas

### **Cálculos**

De la cantidad de material ensayados se tiene que determinar el promedio de dicho material.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

**Cálculo del I.P.**

Se calcula con la diferencia de ambos ensayos del LL y LP según se muestra en la formula.

$$\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$$

Donde:

L.L. = Limite Liquido

L.P. = Limite Plástico

- Se encuentra situaciones donde el LP y LL son dificultosos determinarlo por ello se considera con las siglas NP

#### **d) Análisis granulométrico por tamizado (MTC E -107)**

Es análisis granulométrico de un material es determinar de manera cuantitativamente la distribución de tamaños del material y esto se determina con porcentajes que pasan por diferentes mallas o tamices establecidos por la norma hasta el tamiz de 74 mm (N° 200).

#### **Equipos y materiales**

##### **Equipos**

- *Balanzas de sensibilidad de 0.01 gr*
- *Estufa que pueda mantener una temperatura de 110°C*

##### **Materiales**

- Tamices
- Envases
- Cepillo y brocha

##### **Muestra**

Muestra seca aproximadamente 500 gr

##### **Procedimiento**

- Separar el material y dejarlo secar
- Pesar la muestra seca en un recipiente
- Cubrir el recipiente con agua para que deshacer fácilmente la arcilla o material limo que se encuentre
- Lavar el material con la malla N° 200 para que no existe desperdicio de material
- Pasar el material por un conjunto de tamices agitando de manera manual o mecánico
- Pesar el material por cada tamiza que se haya retenido



**Figura 10:** preparando la muestra para tamizar

### Cálculo

Se tiene que calcular el material que pasa por el tamiz N° 200 de la siguiente manera:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se tiene que determinar el porcentaje de cada material retenido en las mallas de la manera siguiente:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Calcular restando el 100% a todos los tamices así se obtiene el porcentaje retenido.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

### **e) Proctor Modificado (MTC E-115).**

Este tipo de ensayo es aplicar una energía modificada al material en unos moldes estandarizado.

Este ensayo busca la compactación en el laboratorio la curva de compactación con la relación del contenido de agua y el peso unitario seco del material en un molde con un pistón a una altura determinada produciendo una energía de compactación.

### **Equipos y materiales**

#### **Equipos**

- Molde de 4 in
- Pistón
- Extractor de muestras
- Balanza con sensibilidad de 1 gr
- Horno que mantiene una temperatura de 110°C

#### **Materiales**

- Regla o ranurador metálica
- Tamices
- Herramientas para la mezcla

#### **Muestra**

La masa requerida para el método que se emplea es de 16 kg (35 lb) para el método A

#### **Procedimiento**

- Secar el material puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C.
- Tamizar por las mallas que nos recomienda la norma para luego determinar el método adecuado a nuestro material.
- Para el método A se estima con 3 kilogramos por molde y para el método B 6 kilogramos por molde.

- Agregar agua u mezclar uniformemente ya que cada punto para incrementar en 2% de agua
- Echar el material al molde y realizar los 25 o 26 golpes según el método que se utilice.
- Los golpes que se realizará, deberán ser uniformemente por toda el área.
- Al realizar la última capa retirar el collarín para luego enrasarse
- Anotar el peso del material con el molde que se trabajó.
- Retirar el material del molde y extraer un pequeño volumen del centro del espécimen para determinar su contenido de humedad
- Repetir este proceso 4 o 5 puntos con diferencias puntos de humedad.



**Figura 11:** realizando la mezcla con % agua; realizando apisonado con el pistón

### Calculo

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

**Donde:**

$\rho_m$  = Densidad del material



Mt = conjunto de peso material húmedo y molde

Mmd = Masa del molde

V = volumen del molde (interno)

#### **f) CBR de suelos (laboratorio) (MTC E – 132)**

Este método se realiza para determinar la capacidad de soporte conocido como CBR este ensayo se realiza en el laboratorio ya con datos conocido como es el óptimo contenido de humedad que se obtiene del proctor modificado.

#### **Equipos y materiales**

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión
- Molde de metal cilíndrico
- Disco espaciador
- Pisón de compactación
- Instrumento para medir la expansión
- Pesas para colocar en el molde
- Pistón para penetrar
- Dos diales
- Poza para colocar los moldes
- Estufa
- Balanzas
- Mallas normalizadas
- Otros instrumentos

#### **Muestra**

La masa de la muestra requerida es aproximadamente de 18 kg.

#### **Procedimiento**

##### **Determinación de la densidad y humedad**

- Se empieza colocando el disco espaciador y encima de ello el papel filtro con el mismo diámetro del molde.

- El material se tiene que humedecer poco a poco haciendo una mezcla uniformemente.
- La muestra podemos separar o dividir en cinco partes para finalmente empezar con los golpes que indica la norma EM 2016
- Se retira el collarín para su respectivo enrasado, se voltea el molde, se quita el disco espaciador y se coloca nuevamente en la base.
- Se pesará el molde con la muestra para proseguir con los cálculos

### **Determinación de la expansión del material**

- Una vez pesado el molde se colocará con otro papel filtro en la base y colocar el espécimen
- Sobre la superficie libre colocar las pesas con el instrumento para medir la expansión.
- Colocar los moldes dentro del agua
- Colocar el medidor extensómetro para medir la lectura inicial y reiterar por 24 horas.
- Después de 4 días (96 horas) retirar los moldes y dejar que se filtren el agua

### **Determinación de la resistencia a la penetración**

- Después que haya sido calculada el hinchamiento retirar el molde de la poza y dejar que drene.
- Nuevamente colocar las pesas para la sobrecarga para la prueba de penetración.
- Colocar el espécimen en el equipo para realizar la penetración con un peso de 10 lb
- Después que el pistón se haya asentado colocar los dos diales en cero para empezar la penetración.

- “Se hince el pistón en incrementos de 0.025” a la velocidad de 0.05” / minuto y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.50 pulgada”. (EM-2016)
- Después de terminar la 0.50 in se retira lentamente la sobrecarga y se quitan las pesas de 10 lb.
- Terminando el ensayo extraer la parte central de la muestra para determinar su contenido de humedad.



*Figura 12: Control de la Penetración CBR*

#### **4.6 Recolección de muestras de la cantera (acopio)**

Se realizan los mismos ensayos para la cantera como el análisis granulométrico, humedad natural, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y por último el CBR estos ensayos ya fueron descritos anteriormente.

- Toma de muestra del acopio:** Para la cantera se seleccionó la cantera Pichis que se encuentra en acopio en la obra
- Preparación de la cantera:** Se realizó los ensayos que nos recomienda la norma MTC, granulometría, límite líquido, límite plástico, gravedad específica, abrasión los ángeles.

- c) Abrasión los ángeles:** se realizó el ensayo abrasión los ángeles que consiste en el deterioro de los materiales menor 1 ½" para determinar la resistencia a la degradación, impacto y trituración utilizando la máquina de los ángeles.
- d) Dosificación Óptima:** Se realizaron diferentes dosificaciones con la finalidad de obtener la dosificación más óptimas con el porcentaje de agua 1% ,3%,4%, 5% y 7% y realizando el ensayo del CBR

#### **4.7 Preparación de cantera más el aditivo (terrazyme)**

Una vez obtenido el óptimo contenido de humedad de la cantera se realiza a hacer la dosificación de la cantidad de aditivo más agua.

##### **a. Preparación de la cantera más aditivo (terrazyme)**

Se realiza el ensayo del proctor modificado con adiciones de aditivo para poder apreciar el cambio volumétrico

##### **b. Dosificación óptima cantera más aditivo**

Se realizaron 4 ensayos de proctor modificado para encontrar la dosificación óptima.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 4.1 Variación de compactación que genera el uso de terrazyme a nivel de sub rasante

#### 4.1.1 Propiedades físicas de la cantera

##### 4.1.1.1 Contenido de humedad de la cantera

Si la humedad del material resulta menor o inferior al óptimo contenido de humedad del suelo a compactar el ingeniero encargado realizara el compactado normal del material y con la adición del porcentaje adecuado de agua. Caso contrario si el material se encuentra saturado se podrá airear el material, aumentar la energía de compactación o reemplazar dicho material. (MTC 2014).

**Tabla 18:** Recopilación de resultados de C.H.

Calicata	Muestra	Progresiva	Contenido de Humedad	Óptimo Contendo de Humedad	Promedio CH	Promedio OCH
Cantera	1	Acopio	8.70%	5.50%		
Cantera	2	Acopio	8.30%			
Cantera	3	Acopio	8.80%			
Cantera	4	Acopio	8.00%		8.67%	5.40%
Cantera	5	Acopio	9.40%	5.30%		
Cantera	6	Acopio	9.00%			
Cantera	7	Acopio	8.50%			

##### 4.1.1.2 Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Es uno de los requisitos importantes para la estabilidad de un suelo por tanto la plasticidad depende de su contenido de finos pasante la malla N° 40 ya que esto es para la cohesión del material y se determina con los límites de Atterberg.

**Tabla 19:** Recopilación de resultados de LL, LP e IP.

Calicata	Muestra	Progresiva	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
Cantera	1	Acopio	16.00%	15.10%	0.90%
Cantera	2	Acopio	19.00%	NP	NP
Cantera	3	Acopio	20.00%	NP	NP
Cantera	4	Acopio	19.00%	NP	NP
Cantera	5	Acopio	18.00%	NP	NP
Cantera	6	Acopio	17.00%	NP	NP
Cantera	7	Acopio	17.00%	NP	NP

#### 4.1.2 Propiedades mecánicas de la cantera

##### 4.1.2.1 Ensayo Proctor modificado sin adición

Se realizó la relación de peso unitario seco y el contenido de humedad de las calicatas de la misma manera de la cantera en donde se determina la humedad óptima y la densidad máxima seca.

**Tabla 20:** Producto del OCH y Proctor Estándar

ENSAYOS	NORMAS	CANTERA PICHIS		PROMEDIO
		muestra 1	muestra 5	
Óptimo Contenido de Humedad Proctor Modificado M.D.S	MTC E 115	5.3%	5.5%	5.4%
(gr/cm <sup>3</sup> ),		2.188 gr/cm <sup>3</sup>	2.180 gr/cm <sup>3</sup>	2.184 gr/cm <sup>3</sup>

En la figura se observa que el proctor de la muestra 1 sin adición resulta 2.188 gr/cm<sup>3</sup> y 2.180 gr/cm<sup>3</sup> de la muestra 2 de las cuales se promedió a **2.184 gr/cm<sup>3</sup>** que fue dato para calcular la dosificación de al aditivo.

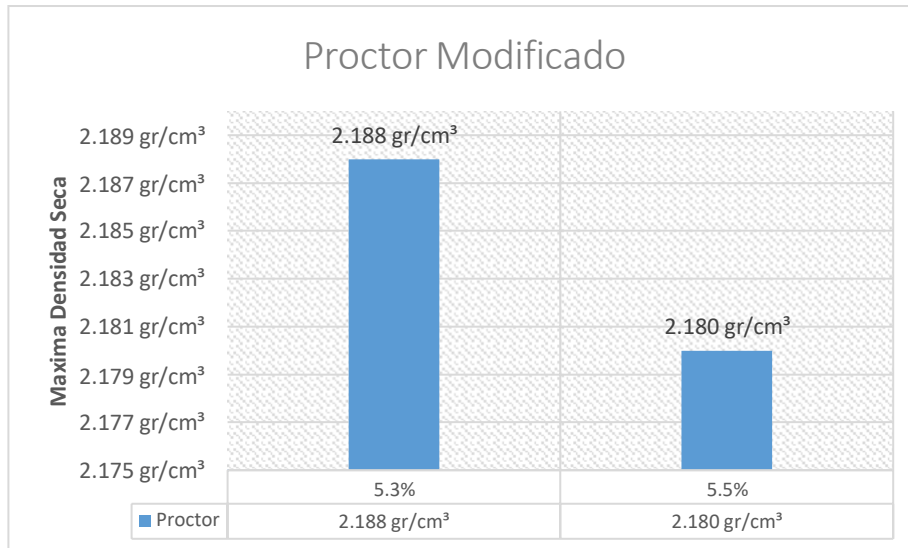


Figura 13: Comparación de muestra 1 y 2

#### 4.1.2.2 Ensayo proctor modificado con adición

Se realizó los ensayos de proctor modificado con adición del aditivo así haciendo una variación del óptimo contenido de humedad y calcular la variación de los resultados dicho esto los resultados fueron los siguientes.

Tabla 21: Resumen de Proctor + aditivo

ENSAYOS	NORMAS	CANTERA PICHIS + ADITIVO			
		Ensayo 1 3.00 gr/Lt	Ensayo 2 5.00 gr/Lt	Ensayo 3 7.00 gr/Lt	Ensayo 4 9.00 gr/Lt
Óptimo Contenido de Humedad		5.5%	5.2%	5.6%	5.4%
Proctor Modificado M.D.S (gr/cm <sup>3</sup> ),	MTC E 115	2.237 gr/cm <sup>3</sup>	2.226 gr/cm <sup>3</sup>	2.216 gr/cm <sup>3</sup>	2.207 gr/cm <sup>3</sup>

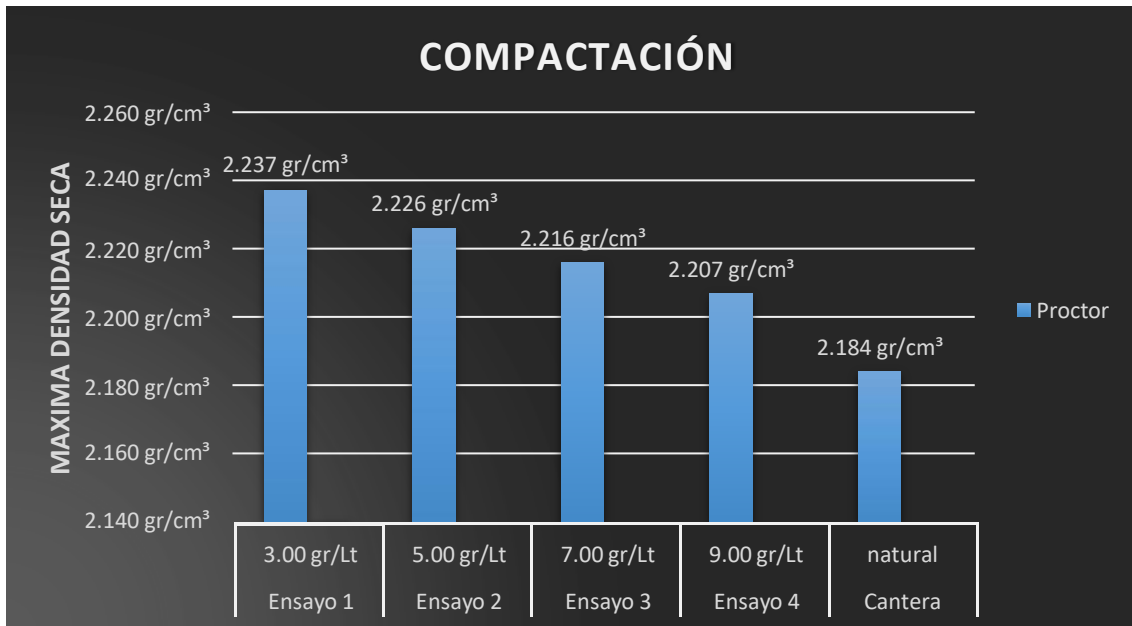


Figura 14: Variación de la compactación

El efecto del terrazyme incrementa los datos de compactación proctor modificado ya que al aumentar el contenido de aditivo este va disminuyendo la máxima densidad seca.

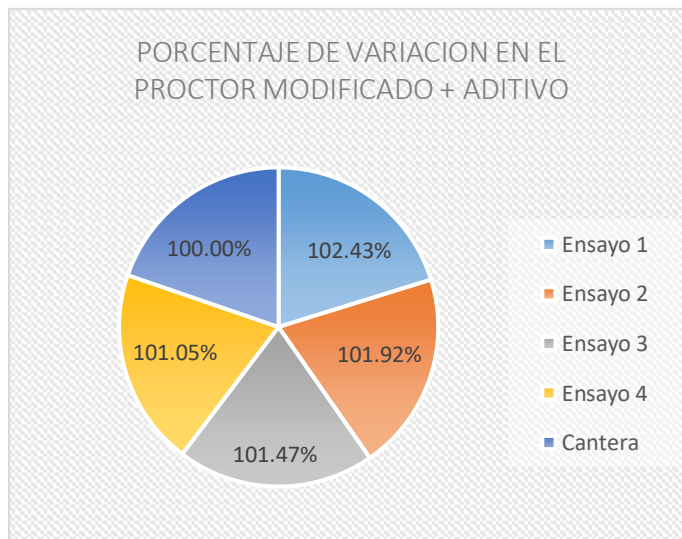


Figura 15: Comparación en porcentaje con el aditivo

La variación de porcentaje fueron mínimos donde la cantera es un 100% y el ensayo 1 incremento en un 2.43%, ensayo 2 un incremento de 1.92%, el ensayo 3 un



incremento de 1.47% y el último ensayo en un 1.05% según la dosificación incrementaba los porcentajes se reduce.

## 4.2 Cálculo de espesores para el mejoramiento en la carretera sin Aditivo

Para el cálculo de espesores de mejoramiento se debe tener en consideración algunos datos indispensables para dicho calculo

### 4.2.1 Propiedades mecánicas del suelo

#### 4.2.1.1 Proctor modificado del suelo

Para obtener la capacidad portante del suelo se tiene que realizar el proctor modificado ya que es un ensayo indispensable para este cálculo en la siguiente tabla N° 22 se muestra los resultados del ensayo mencionado.

*Tabla 22: Proctor Modificado del Suelo*

Calicata	Muestra	Progresiva (Km)	Humedad Optima	Densidad Máxima Seca (grs/cm3)
C-01	M-2	0+150	21.70%	1.774 gr/cm3
C-02	M-2	0+300	18.50%	1.795 gr/cm3
C-03	M-2	0+450	18.40%	1.749 gr/cm3
C-04	M-2	0+600	20.50%	1.758 gr/cm3

Según las tablas 22 se muestra los resultados de los ensayos de proctor modificado de las 4 calicatas realizadas en campo fueron: resultado mayor fue de 1.795 gr/cm3 y el resultado menor de 1.749 gr/cm3.

Los resultados de proctor modificado de la cantera sin adición se encuentra en la tabla 20 y el resultado de la cantera con adición se encuentra en la tabla 21.

#### 4.2.1.2 California Bearing Ratio (CBR)

##### a. CBR del suelo

Para la fórmula del cálculo de alturas de mejoramiento se tiene que realizar el ensayo de CBR según la MTC E-132 en la siguiente tabla se muestra los resultados de las calicatas.

*Tabla 23: Resumen de CBR del Suelo*

Calicata	Muestra	Progresiva	Humedad Optima		Expansión
			100% M.D.S.	95 % M.D.S.	

C-01	M-2	Km 0+150	1.60%	1.00%	8.50%
C-02	M-2	Km 0+300	1.50%	0.90%	9.10%
C-03	M-2	Km 0+450	1.40%	0.80%	8.80%
C-04	M-2	Km 0+600	0.90%	0.50%	10.00%

#### b. CBR de la cantera Pichis

Los datos a emplear es el material con la que se va a reemplazar por tanto la cantera Pichis fue nuestra cantera de reemplazo en la tabla 24 se muestra los resultados de CBR al 95% y 100%.

**Tabla 24:** CBR de la cantera Pichis

ENSAYOS	NORMAS	Muestra 1	Muestra 5	Promedio
C.B.R. 95 %	MTC E 132	43.90%	44.30%	44.10%
C.B.R. 100 %	MTC E 132	68.20%	67.90%	68.05%
Expansibilidad	MTC E 132	No Expansivo	No Expansivo	No Expansivo

#### c. CBR de la cantera Pichis con aditivo

Se realizó el CBR con adición de aditivo y el resultado mostró una elevación en porcentajes respecto a la cantera sin adición en 20.3 % y 19.15% al 95% y 100% respectivamente y los resultados se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25:** CBR de la cantera con aditivo

ENSAYOS	NORMAS	CANTERA PICHIS + ADITIVO
C.B.R. al 95 %	MTC E 132	60.40%
C.B.R. al 100%	MTC E 132	87.20%
Exoansibilidad	MTC E 132	No Expansivo

#### 4.2.2 Ecuación para determinar espesor de mejoramiento

Para determinar las alturas de mejoramiento se realizó de acuerdo MTC Manual para Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Transito donde se empleó la fórmula:

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_0}{a_4 \times m_4}$$

Donde:

$D_4$  = Espesor efectivo de la Sub rasante (in)

$SN_r$  = Número estructural con sub rasante a reemplazar

$SN_0$  = Número Estructural con Sub rasante del suelo muy pobre o pobre

$a_4$  = Coeficiente estructural de capa de la sub rasante mejorada y se recomienda los siguientes valores:

$a_4 = 0.024/\text{cm}$ , CBR 6 – 10%

$a_4 = 0.030/\text{cm}$ , CBR 11 – 19%

$a_4 = 0.037/\text{cm}$ , CBR  $\geq 20\%$

$a_4 = 0.035/\text{cm}$ , con la adición mínima de 3% de cal en peso de los suelos

$m_4$  = coeficiente de drenaje de la capa 4 según la tabla 34

#### 4.2.3 Ecuación de diseño para pavimento flexible

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}M_R - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  : ESAL

- Z<sub>R</sub>** : Confiabilidad.
- S<sub>o</sub>** : Desviación estándar.
- SN** : Número estructural.
- Mr** : Módulo resiliente de la subrasante.
- ΔPSI** : Pérdida de Serviciabilidad

Al tener esta ecuación solo se determina el numero estructural tanto del suelo y el material que se va a reemplazar.

#### 4.2.4 Modulo de resiliencia

La subrasante es la capa donde se apoya el paquete estructural, por lo que se ha tenido en cuenta que el terreno de fundación está conformando por suelos finos con CBR menores al 6% por lo que requieren mejoramientos.

El módulo resiliente se realiza con un equipo especial, por lo que se ha empleado son las relaciones determinadas por AASHTO

El método **AASHTO 1993** solicita al MR de las cuales las siguientes formulas:

Para los CBR < 10%  $Mr = 1500x CBR$

Para los CBR de 10% a 20%  $Mr = 3000x(CBR)^{0.65}$

Para los CBR > 20%  $Mr = 4326x \ln CBR + 241$

El método **AASHTO 2002** determina la correlación del MR con el CBR para todos los casos

$$Mr(psi) = 2555x(CBR)^{0.64}$$

**Tabla 26: Resultados de Módulo Resiliente**

Progresiva		Muestra	Tráfico EAL 20 años	Resistencia Suelo	
Inicio (Km)	Fin (Km)			CBR %	Mr (psi)
Km 0+000	Km 0+150	Calicata 01	7.38x10 <sup>6</sup>	1.00%	2555.00
Km 0+150	Km 0+300	Calicata 02	7.38x10 <sup>6</sup>	0.90%	2388.39
Km 0+300	Km 0+450	Calicata 03	7.38x10 <sup>6</sup>	0.80%	2214.97
Km 0+450	Km 0+600	Calicata 04	7.38x10 <sup>6</sup>	0.50%	1639.58
	Acopio	Cantera <b>sin</b> Adición	7.38x10 <sup>6</sup>	44.10%	28829.13
	Acopio	Cantera <b>con</b> Acción	7.38x10 <sup>6</sup>	60.40%	35257.75

#### 4.2.5 Cálculo del número estructural y espesor del mejoramiento

Para el cálculo de del número estructural debemos tener la ecuación de AASHTO 1993 con los parámetros de diseño en el acápite 4.3 en adelante se detalla dichos parámetros. Se utilizó el programa AASHTO 93 y una hoja Excel para el cálculo del SNr y SNo

**Tabla 27: Parámetro de Diseño empleados**

Parámetros		20 años
Número de ejes equiv.	<b>EAL</b>	7.38x10 <sup>6</sup>
Nivel de Confianza	<b>R%</b>	90%
confiabilidad	<b>Zr</b>	-1.282
Desviación Estándar	<b>So</b>	0.45
Serviciabilidad Inicial	<b>Pi</b>	3.5
Serviciabilidad Final	<b>Pf</b>	2
$\Delta$ PSI		1.5

**Fuente:** Expediente Técnico

Los coeficientes de diseño son variables de la ecuación para determinar espesores de mejoramiento en la siguiente tabla 28 se determina el coeficiente de drenaje y coeficiente estructural recomendados por la MTC en el acápite 4.3 se detalla el coeficiente de drenaje.

**Tabla 28: coeficientes de diseño**

Parámetros de Diseño	Coef. Drenaje	Coef. Estructural
Sub Rasante	m4 = 1	a4 = 0.037/cm

**Fuente:** MTC 2008

Se determinó el número estructural requerido (SN<sub>r</sub>) y Número estructural del pavimento con sub rasante muy pobre o pobre en la siguiente tabla se detalla el producto del suelo, cantera sin adición y la cantera con adición.

**Tabla 29: Número Estructural**

Progresiva		Muestra	SN <sub>r</sub>	SN <sub>0</sub>
Inicio (Km)	Fin (Km)			
Km 0+000	Km 0+150	Calicata 01	6.93	
Km 0+150	Km 0+300	Calicata 02	7.06	
Km 0+300	Km 0+450	Calicata 03	7.22	
Km 0+450	Km 0+600	Calicata 04	7.88	
	Acopio	Cantera <b>sin</b> Adición		2.94
	Acopio	Cantera <b>con</b> Acción		2.71

En la tabla 30 se muestra los espesores de mejoramiento sin aditivo y con aditivo donde se puede apreciar mínimas variaciones de 5.00 y 10 cm.

**Tabla 30: Resultados de espesores sin Aditivo**

Progresiva		Espesor (Pulg)	Espesor (cm)	Espesor (m)
Inicio (Km)	Fin (Km)			
Km 0+000	Km 0+150	16.0	40.64	0.40
Km 0+150	Km 0+300	15.5	39.37	0.40
Km 0+300	Km 0+450	18.0	45.72	0.45
Km 0+450	Km 0+600	25.5	64.77	0.65

**Tabla 31: Resultados de espesores con Aditivo**

Progresiva		Espesor (Pulg)	Espesor (cm)	Espesor (m)
Inicio (Km)	Fin (Km)			
Km 0+000	Km 0+150	18.4	46.74	0.45
Km 0+150	Km 0+300	19.5	49.53	0.50
Km 0+300	Km 0+450	19.7	50.04	0.50
Km 0+450	Km 0+600	28.3	71.88	0.70

### 4.3 La influencia del terrazyme en el diseño estructural de la carretera

- Cálculo del Número Estructural

- Cálculo de los espesores de diseño

### 4.3.2 Metodología AASHTO 1993

El siguiente trabajo de diseño de pavimento será efectuado por el método AASHTO 93

#### a. Confiabilidad (R)

Generalmente, la confiabilidad se incorporó el grado de certeza para calcular el diseño de pavimento en condicione de tráfico y ecológico (medio ambiente) el valor están en el rango 99.9% en vías nacionales.

*Tabla 32: Niveles recomendados de Confiabilidad (R)*

Clasificación	Niveles de Confiabilidad Recomendado (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas Interestatales y otras	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 90	75 - 95
Colectoras de Tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras Locales	50 - 80	50 - 80

*Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures*

La confiabilidad se consideró en el diseño es de 90% para el periodo total vía netamente autopista interestatales en ZR es -1.282

#### b. Desviación Normal (So).

Es la desviación estándar define a la predicción del tráfico como factores que influye en la estructura del pavimento según AASHTO los valores serian de 0.40 a 0.50 para pavimentos.

**Tabla 33:** Rangos de Desviación Estándar (So)

Tipo de Pavimento	Rango para la desviación estándar total, So	So considerando la varianza del tránsito	So SIN considerar la varianza del tránsito
Flexible	0.40 - 0.50	0.49	0.44
Rígido	0.30 - 0.40	0.39	0.34

*Fuente:* AASHTO 1993, *Guide for Design of pavements structures*

Es por ello la desviación estándar se consideró de 0.45.

**c. Serviciabilidad**

En nuestro caso se ha definido el PSI se estableció vías asfaltadas nuevas (2.0) y el PSI final de se obtiene que:

PSI inicial : 3.5  
PSI final : 2.0  
 $\Delta$ PSI : 1.5

**d. Coeficientes De Drenaje**

Es la incidencia de la capacidad de drenaje y tiempo de exposición que esta la saturación.

**Tabla 34:** Calidad de drenaje

Calidad de Drenaje	Termino Remoción de Agua	% de Tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1 día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	El agua no drena	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

*Fuente:* AASHTO 1993, *Guide for Design of pavements structures*



Para nuestro proyecto de tesis los coeficientes de drenaje fue  $m_2=1.0$  y  $m_3=1.0$ .

**e. Periodo de diseño**

Capa	CBR (%)	Mr (psi)	Coef Estructural
Carpeta Asfáltica	-----	420,000	0.42/pulg (0.17/cm)
Base Granular	100	30,000	0.14/pulg (0.054/cm)
Sub Base Granular	40	17,000	0.12/pulg (0.043/cm)

El periodo de diseño que se empleó para la obtención de las estructuras del pavimento es de 20 años.

**f. Coeficiente de aporte estructural**

Los coeficientes se determinan con la formula según AASHTO presenta las siguientes ecuaciones:

$$a_2 = 0.249 (\log_{10} E_{BS}) - 0.977$$

$$a_3 = 0.227 (\log_{10} E_{SB}) - 0.839$$

Donde:

$E_{BS}$ : Módulo resilente de la base

$E_{SB}$ : Módulo resilente de la subbase

**Tabla 35:** Coeficientes de capa

**Fuente:** AASHTO 1993, *Guide for Design of pavements structures*

**4.3.3 Diseño de espesores de pavimento por método AASHTO 1993**

Para realizar un diseño de espesores del pavimento flexible que tenemos como objetivo calcular el número estructural.

**Ecuación:**

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

*Desviación estándar normal*      *Desviación estándar global*      *Número estructural*      *Cambio en la Serviciabilidad*  
*Ejes equivalentes*      *Módulo de resiliencia*

**Donde:**

- W<sub>18</sub>** : ESAL
- Z<sub>R</sub>** : Confiabilidad.
- S<sub>o</sub>** : Desviación estándar.
- SN** : Número estructural.
- Mr** : Módulo resiliente de la subrasante.
- ΔPSI** : Pérdida de Serviciabilidad

Ya conocido el número estructural, se continua con la siguiente calculo:

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i$$

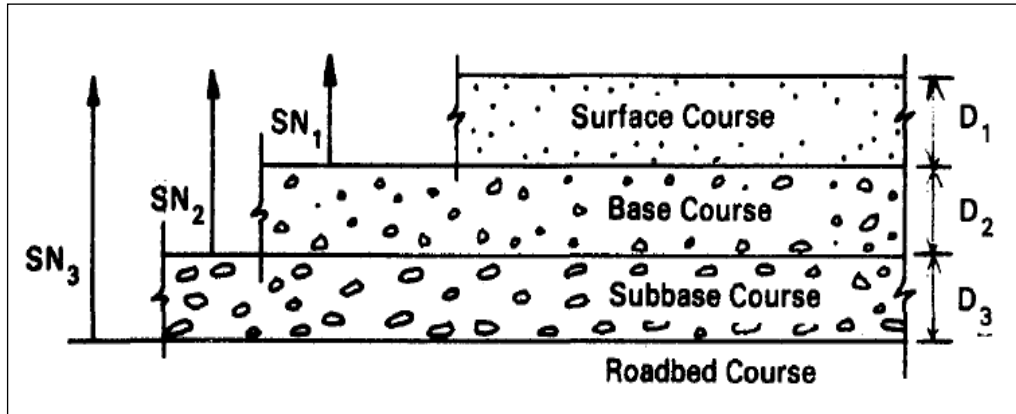
$$SN = a^1 D^1 + a^2 D^2 m^2 + a^3 D^3 m^3$$

Donde:

**a<sub>i</sub>**: coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales

**D<sub>i</sub>**: espesores

**m<sub>i</sub>**: coeficiente de drenaje



**Figura 16:** Esquema de la estructura de pavimento

**Fuente:** AASHTO 1993, *Guide for Design of pavements structures*

**Tabla 36:** Espesores mínimos recomendados (pulg)

ESAL	Concreto Asfáltico	Base Granular
> 50,000	1.0 (tratamiento superficial)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,001 - 2'000,000	3.0	6
2'000,001 - 7'000,000	3.5	6
>7'000,000	4.0	6

**Fuente:** AASHTO 1993, *Guide for Design of pavements structures*

La estructura de pavimento se diseñó con los datos del proyecto para 10 años.

#### 4.3.4 Diseño de pavimento 1: cantera sin aditivo

Se recolectaron todos los parámetros de diseño requeridos para determinar el número estructural del pavimento.

**Tabla 37:** Parámetro de Diseño empleados

Parámetros de Diseño	20 años
Número de ejes equivalentes	7.38x10 <sup>6</sup>
<b>Módulo Resiliente, Mr (psi)</b>	<b>28829.13</b>
R (%)	90%
Zr	-1.282
So	0.45

Serviciabilidad Inicial	3.5
Serviciabilidad Final	2.0
<u><math>\Delta</math>PSI</u>	<u>1.5</u>

**Tabla 38:** Coeficientes de diseño

Parámetros de Diseño	Coef Drenaje	Coef Estructural
carpeta Asfáltica	---	$a_1 = 0.420$
Base	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.140$
Sub Base	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.120$

Se calcula el SN del para la sub rasante CBR = 44.1%  $M_r=28829.13$

**Figura 17:** Cálculo del número estructural

**Fuente:** Programa de la ecuación AASHTO 93

Espesor de la estructura del pavimento

NUMERO ESTRUCTURAL	
SN	$a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$
2.94	2.94

Los espesores del pavimento

D1= 4.00 pulg                          carpeta asfáltica  
D2 = 6.00 pulg                          base granular

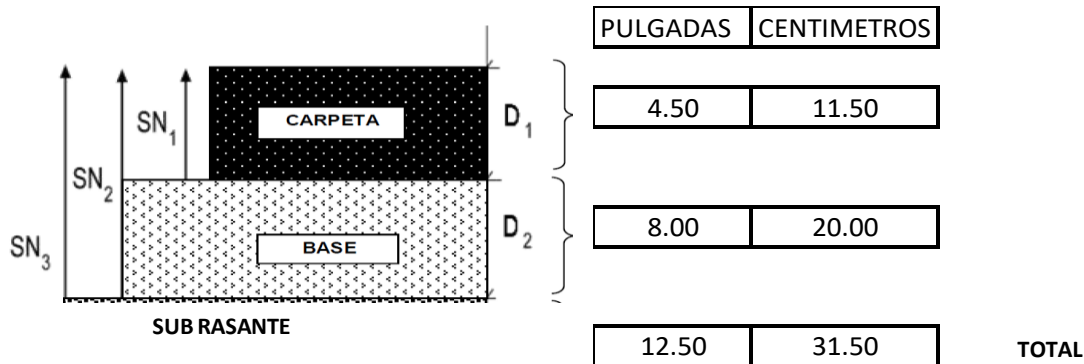
Reemplazando estos valores en la ecuación

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

$$2.94 = 0.42 \times 4.50 + 0.14 \times D_2 \times 1.00$$

$$D_2 = 7.5$$

$$D_2 \approx 8.00 \text{ pulg}$$



### 4.3.5 Diseño de pavimento 2: cantera con aditivo

Calculando el número estructural para sub rasante + adición del aditivo CBR= 60.4% - Mr= 35257.75

**Figura 18:** Cálculo del número estructural  
**Fuente:** Programa de la ecuación AASHTO 93

NUMERO ESTRUCTURAL	
SN	$a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$
2.71	2.74

Según la tabla los espesores mínimos recomendados, para el tránsito son

D1= 4.00 pulg                                  carpeta asfáltica

D2 = 6.00 pulg                                base granular

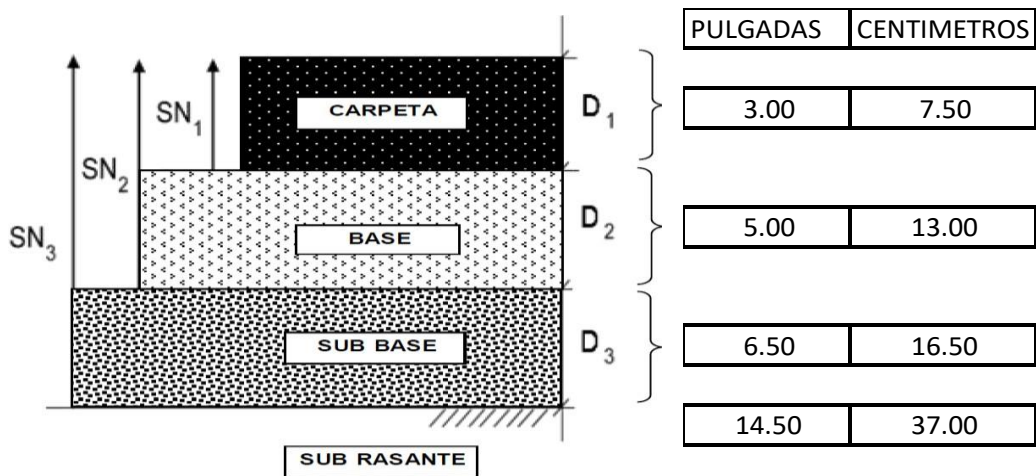
Reemplazar los valores obtenidos a la siguiente formula.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

$$2.71 = 0.42 \times 3.00 + 0.14 \times 5.00 \times 1.00 + 0.12 \times D_3 \times 1.00$$

$$D_3 = 6.25 \text{ pulg}$$

$$D_3 \approx 6.50 \text{ pulg}$$



**Tabla 39: Resultados de Espesores de Pavimento**

Capas	Sub rasante sin Aditivo CBR igual 44.10%	Sub rasante mas adiccion de Aditivo CBR igual a 60.40%
Carpeta Asfaltica	4.50 pulg	3.00 pulg
Base	8.00 pulg	5.00 pulg
Sub Base	0.00 pulg	6.50 pulg

#### 4.4 Efectos del aditivo en la estabilización de los suelos a nivel de sub rasante

De los resultados se puede apreciar que existe suelos homogéneos, de la progresiva Km 0+000 – Km 1+000 donde presentan suelos arcillosos según la clasificación SUCS y AASHTO.

**Tabla 40: Propiedades físicas, mecánicas del suelo**

ENSAYOS	NORMAS	C-01	C-02	C-03	C-04
C. Humedad	MTC E 108	34.3%	31.8%	38.8%	30.1%
Límite Líquido	MTC E 110	37.0%	39.0%	39.0%	38.0%
Límite Plástico	MTC E 111	18.7%	17.6%	19.7%	19.8%
Índice de Plasticidad	MTC E 111	18.3%	21.4%	19.3%	18.2%
SUCS	NTP 339.135	CL	CL	CL	CL
AASHTO	NTP 339.134	A-6 ( 11 )	A-6 ( 13 )	A-6 ( 12 )	A-6 ( 11 )
Proctor Modificado M.D.S (grs/cm <sup>3</sup> ), OCH	MTC E 115	1.774 gr/cm <sup>3</sup>	1.795 gr/cm <sup>3</sup>	1.749gr/cm <sup>3</sup>	1.758 gr/cm <sup>3</sup>
C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. a 0.1"	MTC E 132	1.0%	0.9%	0.8%	0.5%
Expansión	MTC E 132				

**Tabla 41:** *Propiedades físicas, mecánicas de la cantera*

<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMAS</b>	<b>CANTERA PICHIS</b>
LL	MTC E 110	16.0%
LP	MTC E 111	15.1%
IP	MTC E 111	0.9%
SUCS	NTP 339.135	GP-GM
AASHTO	NTP 339.134	A-1-a ( 0 )
Abrasion los Angeles	MTC 207	30.93%
Gravedad Especifica	MTC 206	2.60
Proctor Modificado	MTC E 115	2.184 gr/cm <sup>3</sup> 5.4%
C.B.R. para el 95 % de la M.D.S	MTC E 132	44.10%
Expansión	MTC E 132	

#### **4.4.1 Propiedades físicas del suelo**

##### **4.4.1.1 Análisis granulométrico por tamizado**

El ensayo se determina para clasificar el tipo de suelo



**Tabla 42:** Resultados de la granulometría de suelo

<b>TAMIZ</b>		<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>				
<b>PULGADAS</b>	<b>(mm)</b>	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>	<b>C-4</b>	<b>Cantera</b>
6"	152.400					
5"	127.000					99.7
4"	101.600					
3"	76.200					99.2
2 1/2"	63.300					99.0
2"	50.800					95.1
1 1/2"	38.100					87.6
1"	25.400					75.2
3/4"	19.000					67.8
1/2"	12.500					57.7
3/8"	9.500					51.1
1/4"	6.300					
Nº 4	4.750					40.1
Nº 8	2.360	100.0	100.0	100.0		
Nº 10	2.000	99.8	99.9	99.8	100.0	33.5
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840					
Nº 30	0.600					
Nº 40	0.425	99.2	99.0	98.7	99.5	13.7
Nº 50	0.300					
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.150	96.9	97.2	96.9	98.3	
Nº 200	0.075	92.4	93.4	92.4	93.1	6.2
< Nº 200	FONDO					

Manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC 2014, para los terraplenes o afirmado se requiere de porcentajes de material grueso para soportar las cargas. De la misma manera un porcentaje de arena para llenar el vacío que deja el material grava y dar estabilidad.

**Tabla 43:** Resultados de la granulometría de suelo

<b>SUELO</b>	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>	<b>C-4</b>	<b>Cantera</b>
Grava 3"- Nº4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	59.90%
Arena Nº 4 - Nº 200	7.60%	6.60%	7.60%	6.90%	33.90%
Finos < Nº 200	92.40%	93.40%	92.40%	93.10%	6.20%

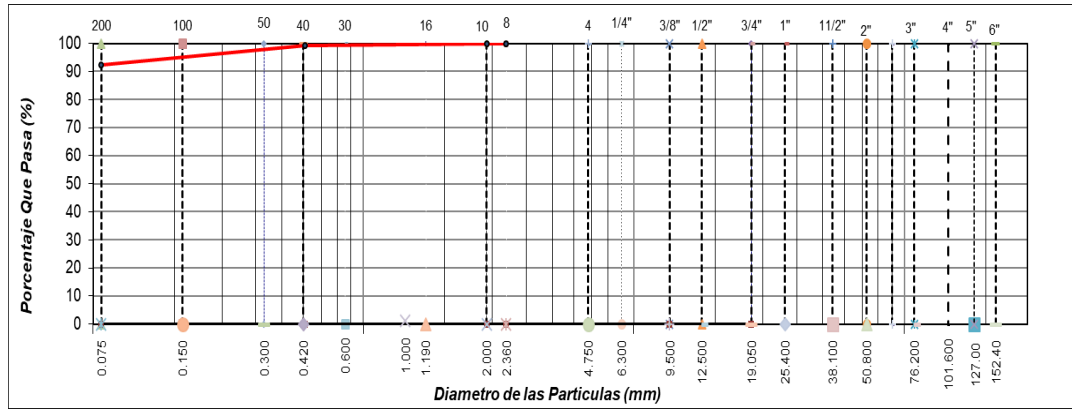


Figura 19: Curva granulométrica de suelo de la calicata 01

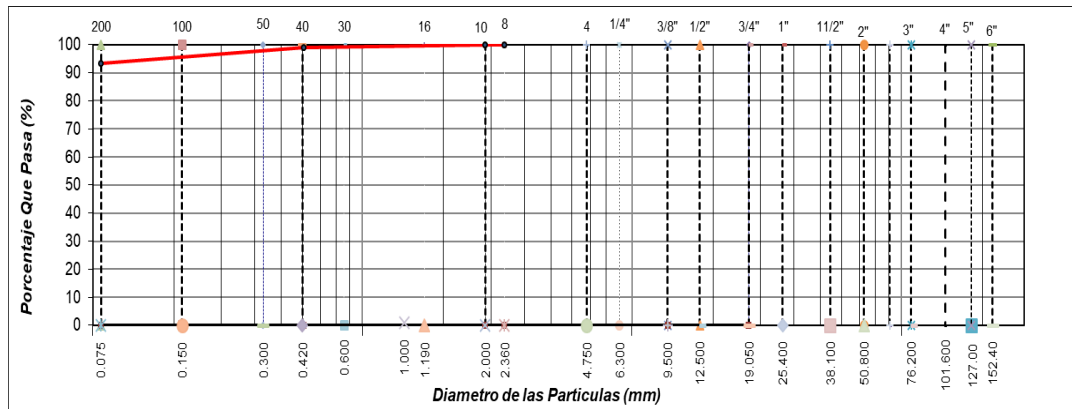


Figura 20: Curva granulométrica de suelo de la calicata 02

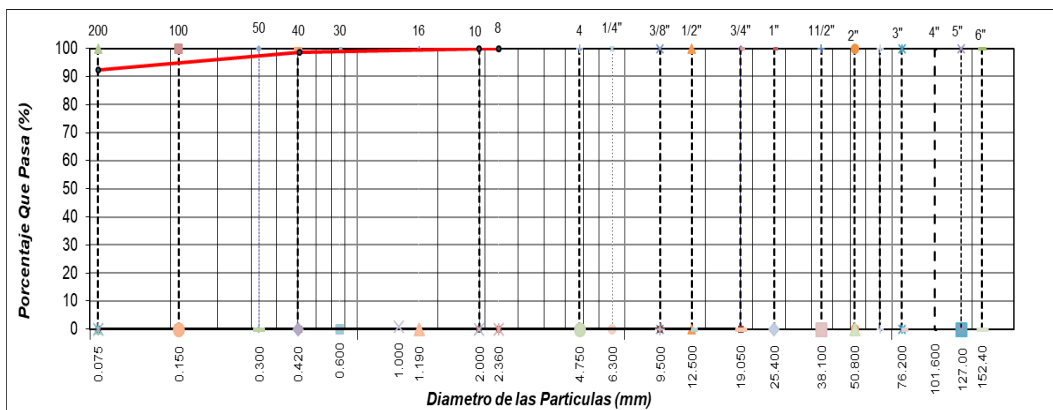


Figura 21: Curva granulométrica de suelo de la calicata 03

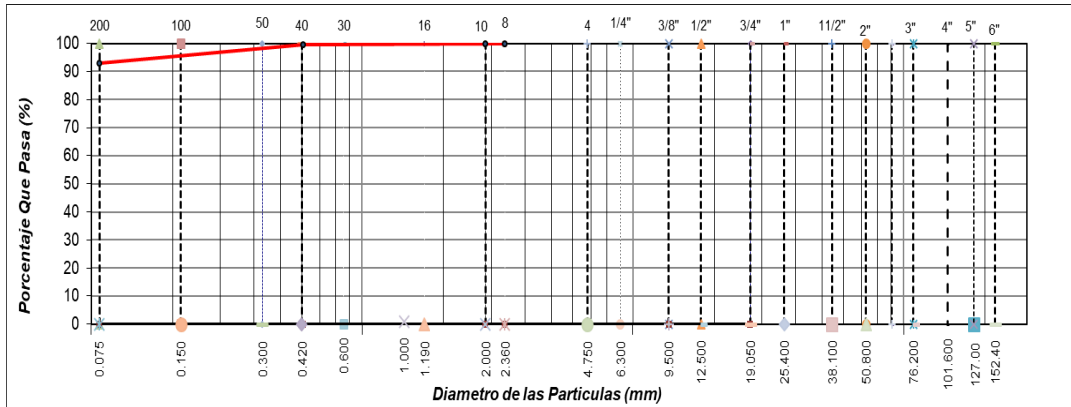


Figura 22: Curva granulométrica de suelo de la calicata 04

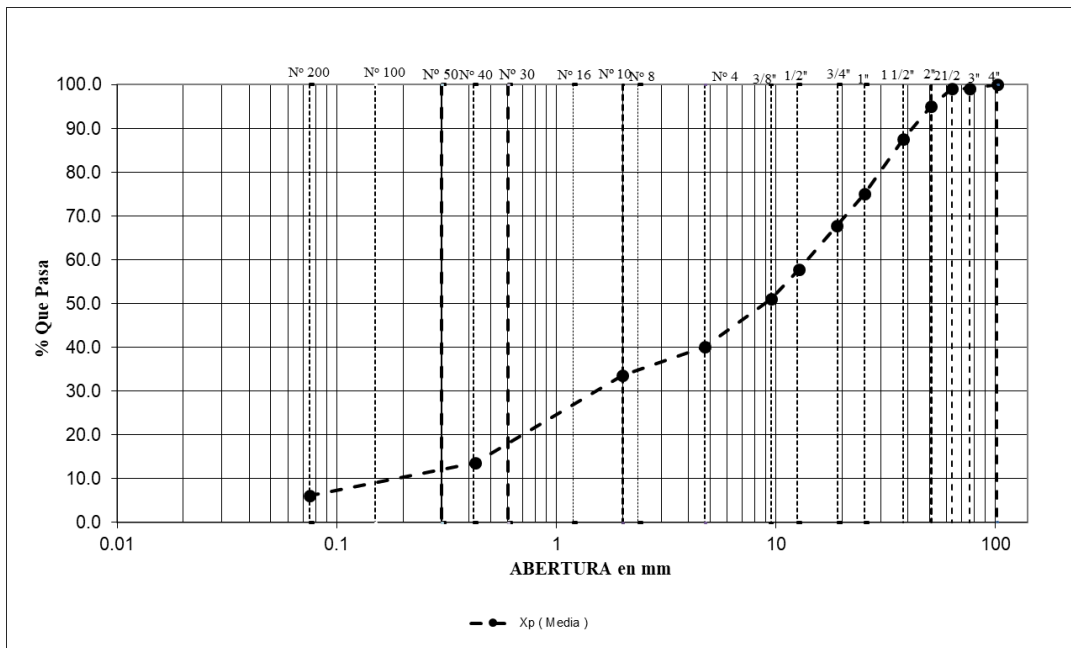


Figura 23: Curva granulométrica de la cantera

#### 4.4.1.2 Contenido de humedad

“Si la humedad del material resulta menor o inferior al óptimo contenido de humedad del suelo a compactar el ingeniero encargado realizara el compactado normal del material y con la adición del porcentaje adecuado de agua. Caso contrario si el material se encuentra saturado se podrá airear el material, aumentar la energía de compactación o reemplazar dicho material”. (MTC 2014)

**Tabla 44:** Síntesis de resultados del C.H.

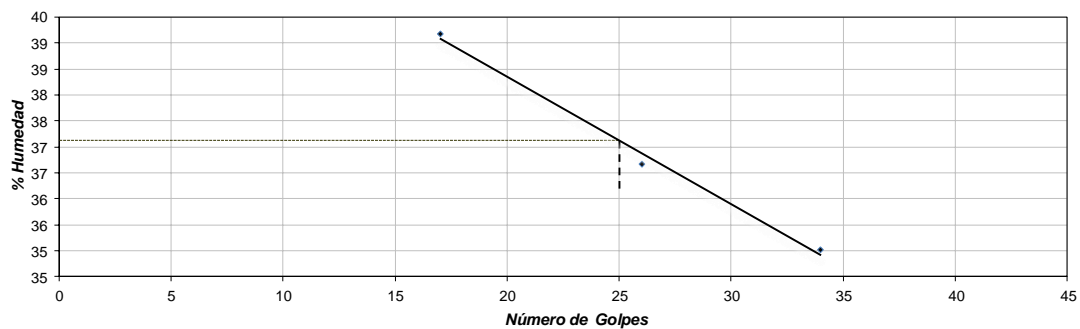
Calicata	Muestra	Progresiva	Contenido de Humedad	Óptimo Contenido de Humedad
C-01	M-1	Km 0+150	34.30%	21.70%
C-02	M-1	Km 0+300	31.80%	18.50%
C-03	M-1	Km 0+450	38.80%	18.40%
C-04	M-1	Km 0+600	30.10%	20.50%
Cantera	M-1	Acopio	8.70%	5.40%

#### 4.4.1.3 Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

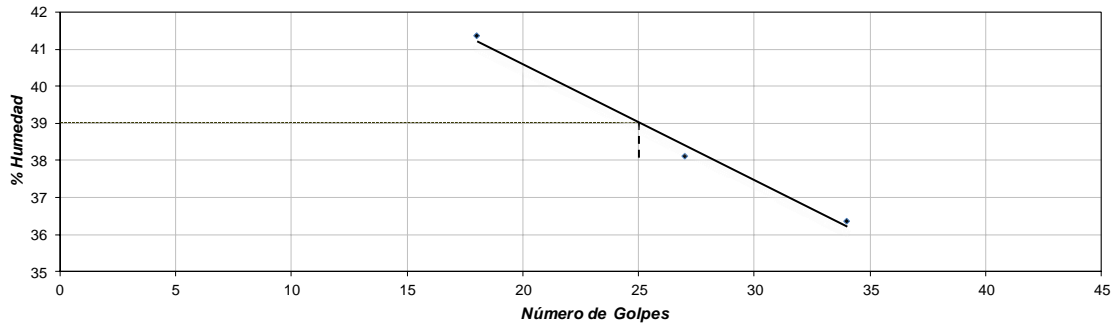
Es uno de los requisitos importantes para la estabilidad de un suelo por tanto la plasticidad depende de su contenido de finos pasante la malla N° 40 ya que esto es para la cohesión del material y se determina con los límites de Atterberg.

**Tabla 45:** Síntesis de resultados del LL, LP, Y IP

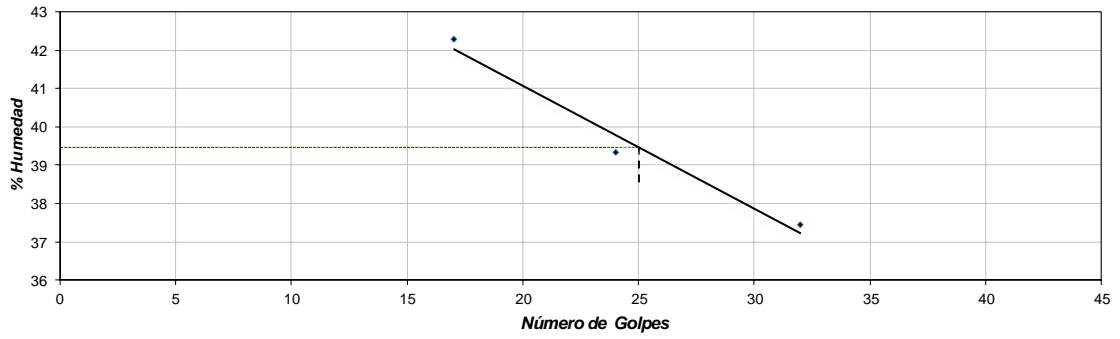
Calicata	Muestra	Progresiva	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
C-01	M-1	Km 0+150	37.00%	18.70%	18.30%
C-02	M-1	Km 0+300	39.00%	17.60%	21.40%
C-03	M-1	Km 0+450	39.00%	19.70%	19.30%
C-04	M-1	Km 0+600	38.00%	19.80%	18.20%
Cantera	M-1	Acopio	16.00%	15.10%	0.90%



(a)

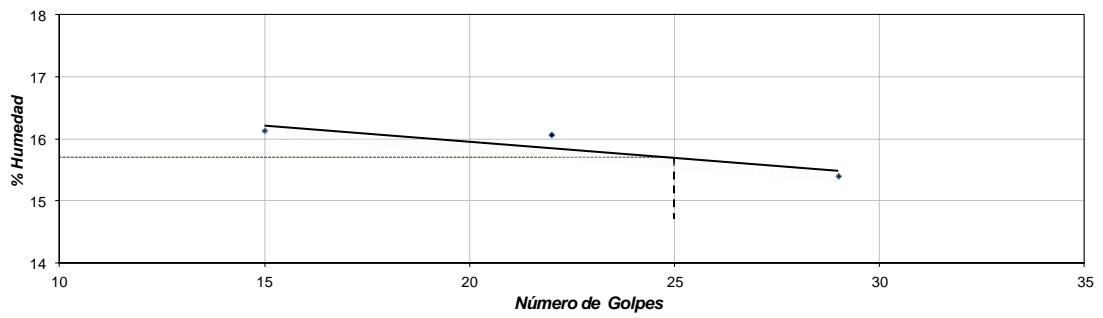


(b)



(c)

(d)



(e)

**Figura 24:** LL a, b, c, d y e, de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 y cantera respectivamente

#### 4.4.1.4 Clasificación de suelos

##### Clasificación SUCS

La clasificación del suelo nos permite predecir el comportamiento que puede tener el material esencialmente la granulometría, plasticidad, índice de grupo y luego clasificar el mismo material según los ensayos descritos en esta investigación.

**Tabla 46:** Clasificación SUCS de las Muestras

CALICATA	C-1	C-2	C-3	C-4	Cantera
PROF. (m)	0.20-1.50m	0.25-1.50m	0.15-1.80m	0.15-1.70m	Acopio
MUESTRA	M-2	M-2	M-2	M-2	M-1
PROGRESIVA	Km 0+150	Km 0+300	Km 0+450	Km 0+600	Acopio
Grava 3" - N°4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	59.90%
Arena N°4 - N° 200	7.60%	6.60%	7.60%	6.90%	33.90%
Finos < N° 200	92.40%	93.40%	92.40%	93.10%	6.20%
Límite Líquido	37.0%	39.0%	39.0%	38.0%	16.0%
Índice de Plasticidad	18.3%	21.4%	19.3%	18.2%	0.9%
Clasificación SUCS	CL	CL	CL	CL	GW
Denominación	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media	Arcillas inorgánicas de plasticidad <u>baja a media</u>	Arcillas inorgánicas de plasticidad <u>baja a media</u>	Arcillas inorgánicas de plasticidad <u>baja a media</u>	Grava bien graduada

##### Clasificación AASHTO

Para la clasificación AASHTO se toma en consideración las pasantes de los y tamices siguiente N°10, N°40 y N° 200; las características plásticas y el índice de grupo. Para su estudio, evaluación y comportamiento que este puede aportar a la subrasante de una carretera y es primordial determinar el índice de grupo (IG)

**Tabla 47:** Clasificación AASHTO de las Muestras

CALICATA	C-1	C-2	C-3	C-4	Cantera
----------	-----	-----	-----	-----	---------

PROF. (m)	0.20-1.50m	0.25-1.50m	0.15-1.80m	0.15-1.70m	Acopio
N° MUESTRA	M-2	M-2	M-2	M-2	M-1
KILOMETRO	Km 0+150	Km 0+300	Km 0+450	Km 0+600	Acopio
PORCENTAJE QUE PASA N°10	99.80%	99.90%	99.80%	100.00%	33.50%
PORCENTAJE QUE PASA N°40	99.20%	99.00%	98.70%	99.50%	13.70%
PORCENTAJE QUE PASA N°200	92.40%	93.40%	92.40%	93.10%	6.20%
Límite Líquido	37.00%	39.00%	39.00%	38.00%	16.00%
Índice de Plasticidad	18.30%	21.40%	19.30%	18.20%	0.90%
Índice de Grupo	11	12	11	12	0
Clasificación SUCS	A-6 (11)	A-6 (12)	A-6 (11)	A-6 (12)	A-1-a (0)
Denominación	Suelo Arcilloso	Suelo Arcilloso	Suelo Arcilloso	Suelo Arcilloso	Grava Bien Graduada

#### 4.4.2 Propiedades mecánicas del material

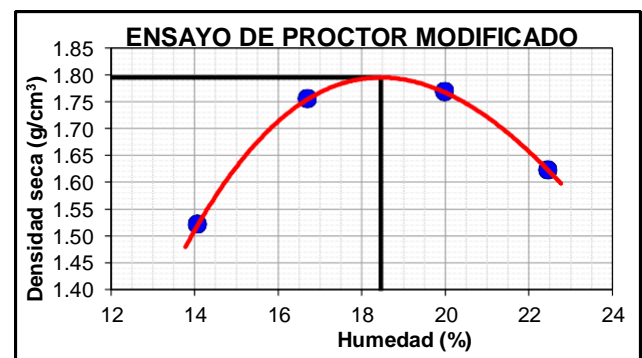
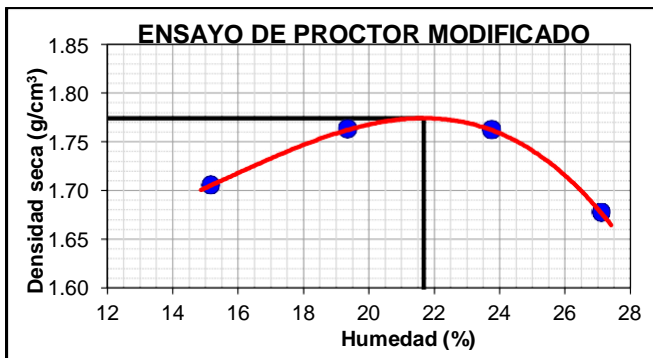
##### 4.4.2.1 Proctor modificado

###### a. Proctor modificado sin aditivo

Se realizó la relación MDS y el CH de las calicatas de la misma manera de la cantera en donde se determina la humedad óptima y la densidad máxima seca.

**Tabla 48:** Clasificación AASHTO de muestras representativas

Calicata	Muestra	Progresiva (Km)	Humedad Óptima	Densidad Máxima Seca (grs/cm <sup>3</sup> )
C-01	M-2	0+150	21.70%	1.774 gr/cm <sup>3</sup>
C-02	M-2	0+300	18.50%	1.795 gr/cm <sup>3</sup>
C-03	M-2	0+450	18.40%	1.749 gr/cm <sup>3</sup>
C-04	M-2	0+600	20.50%	1.758 gr/cm <sup>3</sup>



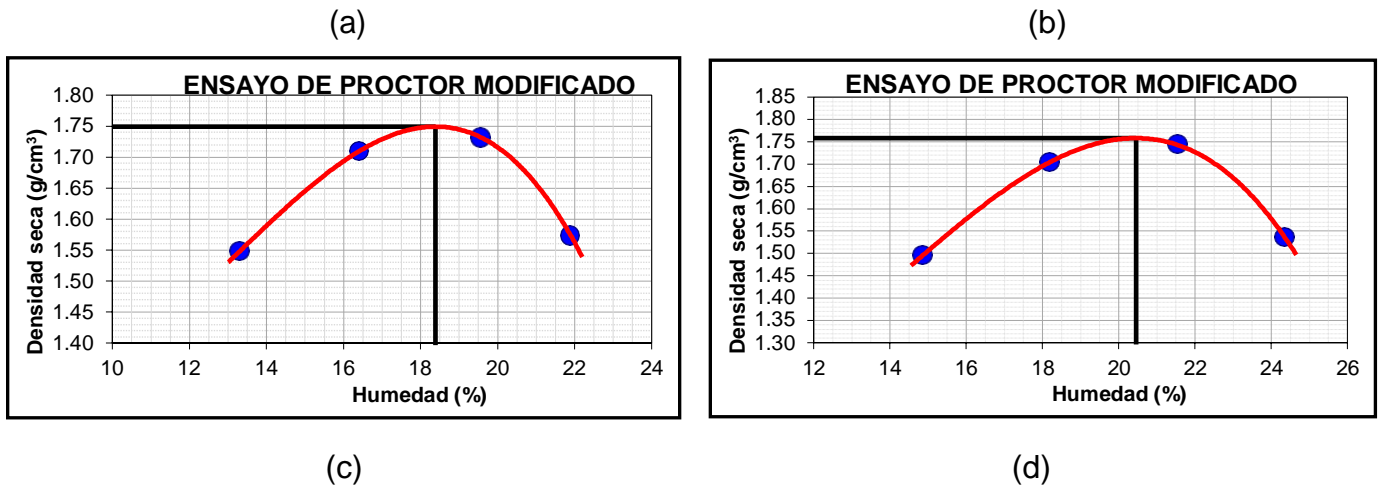


Figura 25: Curva de Humedad vs Densidad a, b, c, d de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 respectivamente

La relación de MDS y CH de la cantera sin adición donde se obtuvo en laboratorio los resultados se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 49: Proctor Modificado sin Aditivo

ENSAYOS	NORMAS	CANTERA PICHIS		PROMEDIO
		muestra 1	muestra 5	
Optimo Contenido de Humedad Proctor Modificado M.D.S		5.3%	5.5%	5.4%
(grs/cm3),	MTC E 115	2.188 gr/cm <sup>3</sup>	2.180 gr/cm <sup>3</sup>	2.184 gr/cm <sup>3</sup>

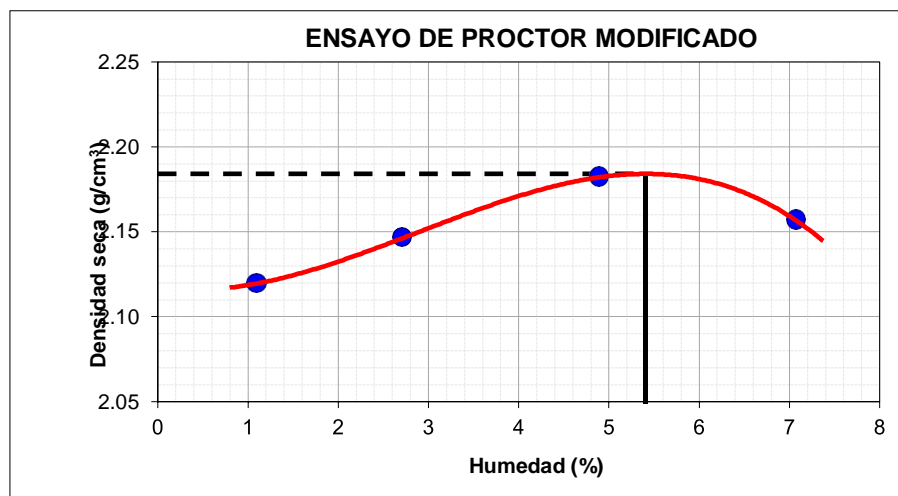


Figura 26: Curva de Humedad vs Densidad Cantera sin Aditivo



## b. Ensayo proctor modificado con aditivo

la relación de MSD y CH de la cantera con aditivo donde se determinó en el laboratorio de mecánica de suelos y los resultados se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 50:** PUS, OCH + Aditivo

Ensayo 1 3.00 gr/Lt	Ensayo 2 5.00 gr/Lt	Ensayo 3 7.00 gr/Lt	Ensayo 4 9.00 gr/Lt	Cantera natural
2.237 gr/cm <sup>3</sup>	2.226 gr/cm <sup>3</sup>	2.216 gr/cm <sup>3</sup>	2.207 gr/cm <sup>3</sup>	2.184 gr/cm <sup>3</sup>
5.5%	5.2%	5.6%	5.4%	5.4%

### 4.4.2.2 CBR (California Bearing Ratio)

#### a. Ensayo CBR sin Aditivo

se determina la capacidad de soporte del suelo y la cantera el resultado se muestra en la tabla 51 y 52 respectivamente

**Tabla 51:** extracto de California Bearing Ratio del suelo

Calicata	Muestra	Progresiva	Humedad Optima		Expansión
			100% M.D.S.	95 % M.D.S.	
C-01	M-2	Km 0+150	1.60%	1.00%	8.50%
C-02	M-2	Km 0+300	1.50%	0.90%	9.10%
C-03	M-2	Km 0+450	1.40%	0.80%	8.80%
C-04	M-2	Km 0+600	0.90%	0.50%	10.00%

**Tabla 52:** C.B.R. de la Cantera

ENSAYOS	NORMAS	Muestra 1	Muestra 5	Promedio
C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. a 0.1"	MTC E 132	43.90%	44.30%	44.10%
C.B.R. para el 100 % de la M.D.S. a 0.2"	MTC E 132	68.20%	67.90%	68.05%
Expansión	MTC E 132	No Expansivo	No Expansivo	No Expansivo

#### b. Ensayo CBR con Aditivo

el ensayo de CBR de la cantera con aditivo donde se muestra en la tabla 53 donde se observó que incremento en 20.30% al 95%

**Tabla 53:** CBR cantera con Aditivo

<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMAS</b>	<b>CANTERA PICHIS + ADITIVO</b>
C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. a 0.1"	MTC E 132	60.40%
C.B.R. para el 100 % de la M.D.S. a 0.2"	MTC E 132	87.20%
Expansión	MTC E 132	No Expansivo

## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Variación de compactación

A partir de los hallazgos encontrados en nuestra investigación según nuestra hipótesis con la variación de compactación se pudo apreciar un incremento respecto al proctor inicial sin aditivo al proctor con aditivo.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Ochoa y Rojas (2015) con el proyecto de investigación “implicancia de índice de congelación y el tipo de suelos en los procesos de compactación en el mejoramiento de la carretera Ananea – Cojata” con respecto al incremento del proctor modificado, según sus resultados que muestra según la tabla 54.

**Tabla 54:** *Resumen de Proctor Ochoa y Rojas (2015)*

	Cantera			
	Ccalluchani		Jachatira	
	Sin Aditivo	Con Aditivo	Sin Aditivo	Con Aditivo
Ensayo 1	1.720 gr/cm <sup>3</sup>	1.946 gr/cm <sup>3</sup>	1.695 gr/cm <sup>3</sup>	1.872 gr/cm <sup>3</sup>
Ensayo 2	1.810 gr/cm <sup>3</sup>	2.028 gr/cm <sup>3</sup>	1.808 gr/cm <sup>3</sup>	1.889 gr/cm <sup>3</sup>
Ensayo 3	1.990 gr/cm <sup>3</sup>	2.156 gr/cm <sup>3</sup>	1.995 gr/cm <sup>3</sup>	2.105 gr/cm <sup>3</sup>

*Fuente: Ochoa y Rojas (2015)*

Con respecto al resultado de esta investigación también se muestra el incremento del Proctor modificado de la cantera Pichis según la tabla 55.

**Tabla 55:** *Resumen de Proctor Cantera*

	Cantera Pichis	
	Sin Aditivo	Con Aditivo
Ensayo 1	1.804 gr/cm <sup>3</sup>	2.237 gr/cm <sup>3</sup>
Ensayo 2		2.226 gr/cm <sup>3</sup>
Ensayo 3		2.216 gr/cm <sup>3</sup>
Ensayo 4		2.207 gr/cm <sup>3</sup>

Pero en lo que no corresponde según el estudio del autor Ugaz (2006) en el proyecto de investigación “Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de sub rasante” en la máxima densidad seca se apreció una disminución de 0.140 gr /cm<sup>3</sup> con la aplicación del aditivo Endurazyme.

**Tabla 56: Resumen de Proctor Ugaz (2006)**

	Suelos de la zona de Camisea	
	Sin Aditivo	Con Aditivo
Ensayo 1	2.010 gr/cm <sup>3</sup>	1.870 gr/cm <sup>3</sup>

*Fuente: Ugaz (2016)*

Esto se debe a la granulometría que presenta dicho material según la autora Ugaz (2006)

**Tabla 57: Resumen de Fracción del Material**

Muestra	Clasificación		Fracción de Material (%)		
	SUCS	AASHTO	Finos	Arena	Gravas
Arcilla de Camisea	CL	A-4 (6)	65.86	34.14	0.00

*Fuente: Ugaz (2016)*

De la misma manera se ratifica el autor Palomino (2016) en la investigación que realizó con otro aditivo donde presenta una disminución de la densidad máxima seca sin que este afecte la resistencia del material con suelo natural de 1.750 gr/cm<sup>3</sup> y adicionando 2%, 4%, 6% del aditivo resulta 1.730 gr/cm<sup>3</sup>, 1.720 gr/cm<sup>3</sup> y 1.705 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

## 5.2 Determinar las alturas de mejoramiento.

De los cálculos realizados en la investigación encontramos variaciones de las alturas de mejoramiento según la tabla 58.

**Tabla 58: Espesores de Mejoramiento Con y Sin Aditivo**

Progresiva	Sin Aditivo	Con Aditivo
------------	-------------	-------------

Inicio	Fin	Espesor (m)	Espesor (m)
Km 0+000	Km 0+150	0.40	0.45
Km 0+150	Km 0+300	0.40	0.50
Km 0+300	Km 0+450	0.45	0.50
Km 0+450	Km 0+600	0.65	0.70

Estos resultados se no asemejan a los resultados según los autores Peche (2013) y Menéndez y Olarte (2016) con variaciones de 0.20m a 0.30m según sus resultados que muestran en sus proyectos de investigación.

**Tabla 59: Resultados de espesores de mejoramiento**

Tramo (Km)		Espesores de Mejoramiento (m)		
Inicio	Fin	Dados en Obra	Calculados de acuerdo a los materiales	Diferencia
78+113	78+213	0.60	0.90	0.30
77+785	77+825	0.70	0.90	0.20

*Fuente: Peche (2013)*

**Tabla 60: Sectorización del tramo de mejoramiento**

Nº	Sub Sector		Longitud (m)	Carril	Espesor de Mejoramiento (cm)
	Inicio	Final			
1	4+025	4+425	400	Izquierdo	60
2	6+850	7+000	150	Derecho	80
3	10+075	10+275	200	Izquierdo	60
4	10+425	10+525	100	Izquierdo	40
5	10+725	10+775	50	Izquierdo	40
6	10+950	11+000	50	Derecho	100
7	11+200	11+400	200	Derecho	80
8	11+325	11+575	250	Izquierdo	80
9	13+425	13+525	100	Izquierdo	80
10	15+775	15+975	200	Izquierdo	80

*Fuente: Menéndez y Olarte (2016)*

Este se debe que el autor Peche utilizó el mejoramiento por criterio de suelos Blandos, el modelo de Boussinesq y las evaluaciones de campo con el ensayo de

la viga benkelman, haciendo una comparación con el proyecto de investigación se presentan similares tipos de suelos donde mostramos en las siguientes tablas

**Tabla 61: Evaluación de mejoramiento por criterio de suelos blandos**

Tramo (Km)		Prof. Calicata	Constantes Físicas			W %	Clasificación		Cc (%)	Compresibilidad
Inicio	Fin		LL	LP	IP		AASHTO	SUCS		
78+113	78+213	1.50	44.9	23.7	21	26.7	A-7 (11)	CL	0.31	Media
77+785	77+825	1.00	34.8	16.4	18	24.3	A-6 (8)	CL	0.22	Media

Fuente: Menéndez y Olarte (2016)

**Tabla 62: Propiedades Físicas del suelo**

Tramo (Km)		Prof. Calicata	Constantes Físicas			W %	Clasificación	
Inicio	Fin		LL	LP	IP		AASHTO	SUCS
0+000	0+150	1.50	37.0%	18.7%	18.3%	34.30%	A-6 (11)	CL
0+150	0+300	1.50	39.0%	17.6%	21.4%	31.80%	A-6 (13)	CL
0+300	0+450	1.80	39.0%	19.7%	19.3%	38.80%	A-6 (12)	CL
0+450	0+600	1.70	38.0%	19.8%	18.2%	30.10%	A-6 (11)	CL

El autor Menéndez y Olarte (2016) realizaron los ensayos de FWD y/o viga Benkelman donde se calcula el Módulo Resiliente del suelo de fundación por retro cálculo y en consecuencia de dichos cálculos determinar el espesor de reemplazo donde no guarda relación con mi trabajo de investigación esto se debe que ambos trabajos realizaron el Módulo Resiliente en diferentes casos como retro cálculo y como dato de los números estructurales del pavimento (SN). En consecuencia, los métodos que se usaron son diferentes por la que existen diferentes alturas de mejoramientos con respecto al trabajo de investigación.

### 5.3 El diseño estructural de la carretera

Según el diseño de pavimento realizado en la tesis estamos dentro de los valores mínimos según las especificaciones de AASHTO 1993 por lo que se eliminó la sub base granular por el catálogo de la MTC 2014

**Tabla 63: resultados del paquete estructural**

Capas	Sub rasante sin Aditivo CBR igual 44.10%	Sub rasante mas adición de Aditivo CBR igual a 60.40%
Carpeta Asfáltica	4.50 pulg	3.00 pulg
Base	8.00 pulg	5.00 pulg
Sub Base	0.00 pulg	6.50 pulg

**Tabla 64: Espesores mínimos**

ESAL	Concreto Asfáltico	Base Granular
> 50,000	1.0 (tratamiento superficial)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,001 - 2'000,000	3.0	6
2'000,001 - 7'000,000	3.5	6
>7'000,000	4.0	6

*Fuente: AASHTO 1993*

Para base granular según el ESAL el espesor es 6.00 pulg y haciendo una comparación con nuestros resultados resulta 8.00 pulg y para concreto asfáltico 4.00 pulg según el proyecto resultó 4.50 pulg de las cuales guarda relación con dichos espesores de pavimento por lo que se adicionó la sub base granular

#### **5.4 Determinar la influencia del terrazyme en la estabilización de los suelos a nivel de subrasante.**

Como objetivo general la influencia del terrazyme incrementa el aglutinamiento de los materiales como lo corrobora el autor Ochoa y Rojas (2015) menciona el incremento de las características mecánicas de los suelos para su mejor durabilidad de la vía o trabajo realizado. De la misma manera con concuerda el autor Zapata (2004) utilizando el aditivo después de 43 días de elaborada el tramo Km 21+000 el siguiente comportamiento según la tabla

**Tabla 65:** Resultados de visualización

Baches	Grietas	Se visualiza presencia de	
		Despr. De Placas	Material suelto a nivel de superficie
No	No	No	100% de la superficie de la carpeta presenta material suelo (finos y gravilla); el cual se encuentra diseminado sobre la totalidad de la superficie en forma homogénea, registrando espesores inferiores a los visualizados en evaluación anterior (e=1 a 2 mm), fenómeno que se produjo por lluvia caída durante 2 días (carpeta evaluada un día después de lluvia caída); este material suelto proviene de la propia desintegración a nivel superficie que experimenta la carpeta

Fuente: Zapata (2004)



## CONCLUSIONES

1. El aditivo Terrazyme influye en el mejoramiento de la sub rasante, mediante el cambio de las propiedades mecánicas del material de reemplazo tanto como el proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio).
2. Con la adición del aditivo terrazyme que se determinó en el laboratorio y propuesta en obra; de las cuales las variaciones fueron en el proctor modificado 2.237gr/cm<sup>3</sup>, 2.226 gr/cm<sup>3</sup>, 2.216 gr/cm<sup>3</sup> y 2.207 gr/cm<sup>3</sup> ya que nuestro proctor modificado fue de 2.184 gr/cm<sup>3</sup> se presenta un cambio notablemente.
3. Con el cálculo de alturas de mejoramiento se determinó con y sin aditivo y la diferencia de alturas se incrementaron a 5.00cm donde el espesor de 0.40, 0.45 y 0.65 incrementaron 0.45, 0.50 y 0.70 respectivamente.
4. En el diseño estructural del pavimento flexible depende de la calidad de material a nivel de sub rasante de esta forma el cambio que se generó en los espesores de pavimento con un porcentaje de CBR 44.10% para Carpeta Asfáltica 4.50 pulg, Base 8.00 pulg y Sub base 0.00 pulg siguiendo las recomendaciones de la norma; con un porcentaje de CBR 60.40% con aditivo fueron Carpeta Asfáltica 3.00 pulg, Base 5.00 pulg y Sub Base 6.50 pulg

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios de comparación de espesores de mejoramiento con los métodos FWD y la Viga Benkelman
2. Se recomienda averiguar los criterios de mejoramientos ya que en la tesis solo se realizó un criterio para mejorar el suelo
3. Se recomienda realizar estudio de los comportamientos de la estructura de un mejoramiento también llamado terraplén como son: Base, cuerpo y corona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Badillo, J. (1995). *Mecánica de Suelos Tomo I*. México: Limusa Noriega Editores.
2. Bañón, L. & Bevia J. (2010). *Manual de Carreteras Elementos del Proyecto* (Vol. I).
3. Bañón, L. & Bevia, J. (2010). *Manual de Carreteras Construcción y Mantenimiento* (Vol. II).
4. De Solminihac, T., Echeverría, G., & Thenoux, Z. (2012). *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la Construcción de Pavimentos*. Chile.
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito*. Lima, Perú.
6. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). *Manuales de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú.
7. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima, Perú.
8. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Manuales de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcciones*. Lima, Perú.
9. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, (2011). *Manual de Carreteras del Paraguay, Normas para Materiales y Ensayos de Materiales*. (Vol. I). Paraguay.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, (2004). *Norma Técnica de Estabilizadores Químicos*. (1ra Edición). Lima, Perú.
11. Minaya G. & Ordoñez H. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: ICG.
12. Zapata S. (2004). *Análisis de Alternativas de Estabilizantes de Suelo para el Camino Industrial de Codelco Chile División Andina*. Chile: UACH.
13. Ruano L. (2012). *Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de Arenas Volcánicas y Cal Viva*. Guatemala: USCG.
14. Gavilanes B. (2015). *Estabilización y Mejoramiento de Sub Rasante Mediante Cal y Cemento para una Obra Vial en el Sector Pamba Barrio Colinas del Sur*. Quito: UIDE.

15. Valle A. (2010). *Estabilización de Suelos Arcillosos Plásticos con Mineralizadores en Ambientes Sulfatados o Yesíferos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
16. Ugaz P. (2006). *Estabilización de Suelos y su Aplicación en el Mejoramiento de Sub rasante*. Lima, UNI.
17. Palomino T. (2016). *Capacidad Portante (CBR) de un Suelo Arcilloso, con la Incorporación del Estabilizador Maxxseal 100*. Cajamarca, UPN
18. Ochoa P. & Rojas N. (2015). *Implicancia del Índice de Congelación y el Tipo de Suelos en los Procesos de Compactación en el Mejoramiento de la Carretera Ananea – Cojota*. Puno: NCV.
19. Peche Z. (2013). *Evaluación de Espesores de Mejoramiento del Suelo de la Sub rasante en la Carretera Lima – Canta*. Cajamarca: UNC.
20. Método de diseño AASHTO (1993). *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
21. Menéndez A. & Olarte P. (2015). *Método Mecánico Calibrado para Determinar el Espesor de Sub rasante Mejorada en Suelos Limo – Arcillosos*. Lima, Perú
22. Marcelo M. Gómez (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. (1° Edición). Argentina: Editorial Brujas.
23. Cesar Augusto Bernal Torres (2006). *Metodología de la Investigación*. (2° edición) Colombia: Pearson Educación.
24. Carrasco Díaz S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica* (1° Edición) Perú: Editorial San Marcos
25. Roberto H. S., Carlos F. C. y María B. L. (2010). *Metodología de la investigación* (5° Edición). México: Interamericana Editores S.A.
26. Alfonso, M. F. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carretera*. Bogota: Agora Editores.

## **ANEXOS**

Anexo 1 – Matriz de Consistencia

Anexo 2 – Operacionalidad de las variables

Anexo 3 – Ensayos de laboratorio de suelos a nivel de sub rasante

Anexo 4 – Ensayos de laboratorio de la cantera Pichis

Anexo 5 – Resumen de resultados

Anexo 6 – Ensayos de laboratorio de la cantera Pichis con el Aditivo

Anexo 7 – Mantenimiento periódico y rutinario

Anexo 8 – Otros

### **ANEXO 3 – ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS A NIVEL DE SUB RASANTE**

#### **CALICATA 1**

##### **Ensayos estándar**

1. A.EE. C-1 Registro de Calicata
2. A.EE. C-1 Análisis granulométrico por tamizado
3. A.EE. C-1 Contenido de humedad natural
4. A.EE. C-1 Límite Líquido – límite plástico e índice de plasticidad

##### **Ensayos Especiales**

5. A.EE. C-1 Proctor Modificado
6. A.EE. C-1 CBR en los suelos

#### **CALICATA 2**

##### **Ensayos estándar**

7. A.EE. C-2 Registro de Calicata

8. A.EE. C-2 Análisis granulométrico por tamizado
9. A.EE. C-2 Contenido de humedad natural
10. A.EE. C-2 Límite líquido – límite plástico e índice de plasticidad

### **Ensayos Especiales**

11. A.EE. C-2 Proctor Modificado
12. A.EE. C-2 CBR en los suelos

### **CALICATA 3**

#### **Ensayos estándar**

13. A.EE. C-3 Registro de Calicata
14. A.EE. C-3 Análisis granulométrico por tamizado
15. A.EE. C-3 Contenido de humedad natural
16. A.EE. C-3 Límite líquido – límite plástico e índice de plasticidad

#### **Ensayos Especiales**

17. A.EE. C-3 Proctor Modificado
18. A.EE. C-3 CBR en los suelos

### **CALICATA 4**

#### **Ensayos estándar**

19. A.EE. C-4 Registro de Calicata
20. A.EE. C-4 Análisis granulométrico por tamizado
21. A.EE. C-4 Contenido de humedad natural
22. A.EE. C-4 Límite líquido – límite plástico e índice de plasticidad

#### **Ensayos Especiales**

23. A.EE. C-4 Proctor Modificado
24. A.EE. C-4 CBR en los suelos

## **ANEXO 4 – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA CANTERA PICHIS**

### **CANTERA PICHIS**

#### **Ensayos estándar**

- 25. B.EE. C-P Análisis granulométrico por tamizado
- 26. B.EE. C-P Contenido de humedad natural
- 27. B.EE. C-P Límite Líquido – límite plástico e índice de plasticidad
- 28. B.EE. C-P Abrasión los ángeles

### **Ensayos Especiales**

- 29. B.EE. C-P Proctor Modificado
- 30. B.EE. C-P CBR en los suelos

## **ANEXO 5 – RESUMEN DE RESULTADOS**

- 31. Resumen de ensayos
- 32. Curva Granulométrica – Estadística

## **ANEXO 6 – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA CANTERA PICHIS CON EL ADITIVO**

### **Ensayos Especiales**

- 33. D.EE. C-P Proctor Modificado
- 34. D.EE. C-P CBR en los suelos

## **ANEXO 7 – PRESUPUESTO**

- 35. Presupuesto Sin Aditivo
- 36. Presupuesto Con Aditivo

## **ANEXO 8 – OTROS**

- 37. Plano de Ubicación de Calicatas
- 38. Plano de Perfil Longitudinal y Planta
- 39. Plano Secciones Transversales del Tramo
- 40. Plano de la Cantera Pichis
- 41. Mapeo de Mejoramiento del Tramo
- 42. Cálculo de Diseño de Pavimento
- 43. Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexible con Carpeta Asfáltica en Caliente Periodo de Diseño 20 años