

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO  
ASFÁLTICO RECICLADO EN EL PJ. DOS DE MAYO -  
CHIMBOTE”**

**TESISTAS:**

BACH. CAMPOS RODRIGUEZ JOSE LORENZO

BACH. VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

**ASESOR:**

ING. CIRILO LINO OLASCUAGA CRUZADO

**Nuevo Chimbote – Diciembre 2019**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO  
ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -  
CHIMBOTE”

REVISADO POR:

ING. CIRILO LINO OLASCUAGA CRUZADO

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.

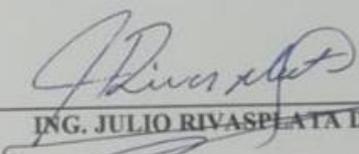


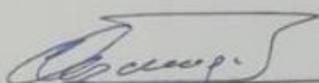
**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

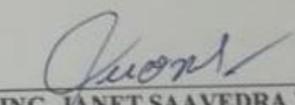
TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO  
ASFÁLTICO RECICLADO EN EL PJ. DOS DE MAYO -  
CHIMBOTE”**

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUENTE JURADO: EL 30 DE  
DICIEMBRE DEL 2019

  
ING. JULIO RIVAS PLATA DIAZ  
PRESIDENTE

  
ING. CIRILO LINO OLASCUAGA CRUZADO  
INTEGRANTE

  
ING. JANET SAAVEDRA VERA  
INTEGRANTE



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 11:00 a.m., del día treinta de diciembre del dos mil diecinueve se instaló el Jurado Evaluador, designado mediante Resolución N° 635-2019-UNS-CFI integrado por los docentes:

- > **Ms. Julio Rivasplata Díaz** (Presidente)
- > **Ms. Janet Saavedra Vera** (Secretaria)
- > **Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado** (Integrante); para dar inicio a la

Sustentación y Evaluación de Tesis titulada:

**“ESTABILIZACION DE SUELOS CON CONCRETO ASFALTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE”**, elaborada por los bachilleres en Ingeniería Civil: Campos Rodríguez José Lorenzo y Vega Arroyo Alexander Eduardo.

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado**

Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
<b>CAMPOS RODRIGUEZ JOSE LORENZO</b>	<b>16</b>	<b>BUENO</b>

Siendo las 12:30 p.m. del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 30 de Diciembre del 2019.

**Ms. Julio Rivasplata Díaz**  
 Presidente

**Ms. Janet Saavedra Vera**  
 Secretario

**Ing. Cirilo L. Olascuaga Cruzado**  
 Integrante



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 11:00 a.m., del día treinta de diciembre del dos mil diecinueve se instaló el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 635-2019-UNS-CFI integrado por los docentes:

- > **Ms. Julio Rivasplata Díaz** (Presidente)
- > **Ms. Janet Saavedra Vera** (Secretaria)
- > **Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado** (Integrante); para dar inicio a la

Sustentación y Evaluación de Tesis titulada:

**“ESTABILIZACION DE SUELOS CON CONCRETO ASFALTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE”**, elaborada por los bachilleres en Ingeniería Civil: Campos Rodríguez José Lorenzo y Vega Arroyo Alexander Eduardo.

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado**

Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
<b>VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO</b>	<b>16</b>	<b>BUENO</b>

Siendo las 12:30 p.m. del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 30 de Diciembre del 2019.

**Ms. Julio Rivasplata Díaz**  
 Presidente

**Ms. Janet Saavedra Vera**  
 Secretario

**Ing. Cirilo L. Olascuaga Cruzado**  
 Integrante



## **DEDICATORIA**

A **DIOS**, quien me guía con su luz y verdad y está presente en todos los momentos de mi vida.

A **mi Abuelita**, por darme ese amor incomparable, sabios consejos, abnegada labor y enseñarme los valores de la vida todos los días de mi vida y que pesar de ya no estar conmigo en este mundo siempre es mi luz y mi guía en mi camino.

A **mi madre y mis Tías**, por esa unidad, por su cariño, por ese apoyo incondicional y por ser también mis motivos para seguir adelante.

A **mi esposa**, por brindarme siempre el apoyo y ayuda incondicional durante mi desarrollo como profesional, y darme el empuje para saber sobreponerme frente a cualquier adversidad, y **a mi hijo** que es el motor y motivo de seguir siempre adelante y sobreponerme frente a cualquier tropiezo.

**ALEXANDER EDUARDO**



## **DEDICATORIA**

**A DIOS**, por darme las fuerzas e iluminar Mi camino para ser un profesional.

**A mi familia y en especial a mis padres**, que me han apoyado incondicional mente pudiendo así lograr parte de mis metas.

Para ellos todo mi sacrificio y corazón

**A mis hermanos**, porque ellos han sido un claro ejemplo para culminar mis estudios y ser un profesional.

**JOSÉ LORENZO**



## AGRADECIMIENTO

En forma muy especial agradecemos a Dios, a nuestros padres, hermanos y familiares; por estar siempre presentes, por ese cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A nuestros amigos de ayer, hoy y siempre, por los consejos, la motivación y el apoyo que nos brindaron oportunamente para dar un paso más en nuestra vida profesional.

A nuestro asesor Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado, por su orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente Tesis.

A nuestros Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos brindados en las aulas, dándonos una formación ética y profesional.

A todas muchas gracias, nuestro agradecimiento infinito pues a veces no las palabras nos son suficiente para expresa lo que uno siente desde el fondo del corazón, GRACIAS.

**CAMPOS RODRIGUEZ & VEGA ARROYO.**



## INDICE

INDICE.....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>13</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>15</b>
CAPÍTULO I: INTRODUCCION.....	19
1.1. ANTECEDENTES .....	19
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	22
1.3. OBJETIVOS.....	23
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	23
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	24
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS. ....	24
1.5. JUSTIFICACION ES IMPORTANCIA. ....	24
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. PAVIMENTOS .....	27
2.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE. ....	28
2.2.1. Sub rasante.- .....	28
2.2.2. Sub Base.-.....	30
2.2.3. Base.-.....	30



---

2.2.4.	Carpeta Asfáltica.-.....	31
2.3.	EXPLORACIÓN DEL SUELO. ....	31
2.4.	Muestreo de Suelos, obtención de Muestras Inalteradas y Alteradas.....	35
2.4.1.	Muestras Inalteradas.....	35
2.4.2.	Muestras Inalteradas.....	36
2.5.	Identificación Visual y Manual de Muestras de Suelo ASTM D 2488 Pruebas de Campo para Clasificación.....	36
2.5.1.	Identificación y Descripción de Suelos Finos.....	37
2.5.2.	Granulometría.....	37
2.5.3.	Ensayo Proctor Modificado.....	39
2.5.4.	California Bearing Ratio (C.B.R.).....	40
2.5.5.	Límites de Atterberg.....	44
3.2.11	a.- Límite Líquido.....	45
3.2.12	b.- Límite Plástico .....	46
	c.- Índice de Plasticidad (IP) .....	47
2.6.	Clasificación de suelos. ....	48
2.6.1.	Clasificación Aashto. ....	49
2.6.2.	Clasificación SUCS.....	52
2.7.	Asfalto. ....	53
2.7.1.	Refinamiento del Petróleo.....	55



---

2.8.	Estabilización de suelos.....	57
2.9.	Criterios Geotécnicos para establecer la Estabilización de Suelos.....	58
2.9.1.	Tipos de estabilización de Suelos.....	64
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS.....		76
3.1.	Ensayos de Laboratorio. ....	76
3.1.1.	Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E108. ....	76
3.1.2.	Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E108. ....	80
3.1.3.	Determinación del límite líquido de los suelos MTC E 110.....	85
3.1.4.	Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP) MTC E 111 .....	91
3.1.5.	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) MTC E 115.....	95
3.1.6.	CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132.....	108
3.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	119
3.2.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	119
3.3.	POBLACIÓN MUESTRAL.....	121
3.4.	DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA .....	121
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	122
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	122
3.6.1.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	122



---

3.6.2. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	122
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	126
5.1. CONCLUSIONES .....	130
5.2. RECOMENDACIONES .....	132
6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	134
CAPÍTULO VII ANEXOS .....	136
ANEXO 1 .....	137
UBICACIÓN DE CALICATAS .....	137
ANEXO 2 .....	139
ENSAYOS PARA DETERMINAR .....	139
CARACTERIZACION FÍSICA DE LA SUBRASANTE .....	139
ANEXO 3 .....	148
GRANULOMETRIA CONCRETO .....	148
ASFÁLTICO RECICLADO.....	148
ANEXO 4 .....	152
ENSAYOS SUELO-CONCRETO .....	153
ASFÁLTICO RECICLADO.....	153
ANEXO 5 .....	166
DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE .....	166
MEDIANTE EL METODO ASSTHO -93.....	166



ANEXO 6: ..... 171

PANEL FOTOGRAFICO..... 171



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de Puntos de Investigación en vías Urbanas .....	33
Tabla 2: Clasificación de Suelos Según su Partículas .....	38
Tabla 3: Categoría de Sub rasante .....	43
Tabla 4: Clasificación de suelos según su índice de Plasticidad .....	48
Tabla 5: Correlación de Tipos de Suelos.....	49
Tabla 6: Sistema de Clasificación AAshto .....	51
Tabla 7: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador .....	62
Tabla 8: Selección del tipo de Estabilizador .....	63
Tabla 9: Rango de Cemento requerido en la Estabilización de Suelos .....	68
Tabla 10: Características Típicas de Sal.....	70
Tabla 11: Tamices de Malla Cuadrada .....	81
Tabla 12: Tabla Estimados de Precisión .....	94
Tabla 13: Penetración en milímetros y en Pulgadas.....	115
Tabla 14: Características de la muestra patrón CBR.....	118
Tabla 15: Operacionalización de Variables: Concreto asfaltico Reciclado .....	123
Tabla 16: Operacionalización de variable Dependiente: Estabilización de Suelo Limoso .....	124
Tabla 17: Resultados del CBR y Proctor Modificado. ....	126



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de Pavimentos Asfálticos .....	27
Figura 2: Posteadora manual .....	34
Figura 3: Molde CBR Con Anillo .....	35
Figura 4: Curva granulométrica.....	38
FIGURA 5: Curva de Compactación del Proctor Modificado .....	40
Figura 6: Límites de Consistencia .....	44
Figura 7: Copa de Casa Grande.....	45
Figura 8: Ranuador de Copa de Casa grande .....	45
Figura 9: Copa de Casa Grande con muestra .....	46
Figura 10: Ensayo Límite Líquido .....	47
Figura 11: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO. 50	
Figura 12: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS.....	53
Figura 13: Cemento Asfáltico .....	54
Figura 14: Productos y Temperatura de Destilación .....	55
Figura 15: Refinamiento del Petróleo.....	56
<i>Figura 16: Proceso para la Identificación del Tipo de Suelo .....</i>	<i>60</i>
Figura 17: Proceso de Selección de Tipo de Estabilización.....	61
Figura 18: Proporción de Muestra según el tamaño de Partículas .....	82
Figura 19: Copa de Casa grande.....	89
Figura 20: Molde Proctor 4" .....	99
Figura 21: Molde Proctor 6".....	99



Figura 22: Curva Proctor .....	107
Figura 23: Molde CBR y sus Partes .....	110
Figura 24: m Determinación del valor de la relación de .....	113
Figura 25: Curva para cálculo de índice de CBR: .....	117
Figura 26: Diseño experimental con estímulo creciente .....	120
Figura 27: Variación del CBR, con diferentes Adiciones .....	127
Figura 28: Variación del Proctor, con diferentes Adiciones de CAR .....	128
Figura 29: Variación del OCH,.....	128



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación de CBR.....	42
Ecuación 2: Formula del Indice de Plasticidad .....	47
Ecuación 3: Contenido de Humedad de un Suelo .....	79
Ecuación 4: Cálculo del Limite Plástico.....	94
Ecuación 5: Índice de Plasticidad.....	95
Ecuación 6: Ecuación de densidad Húmeda y Densidad Seca .....	107
Ecuación 7: Humedad de Compactación.....	116
Ecuación 8: Expansión del CBR .....	117



## RESUMEN

El presente trabajo de tesis pretende dar a conocer La aplicación de mezcla asfáltica reciclada en la estabilización de suelos.

Es muy bien conocido por todos que nuestra ciudad, Chimbote presenta en gran parte de toda su extensión un suelo de mala calidad, motivo por la cual se dificulta la construcción de obras de gran envergadura. Mediante Diversos métodos de estabilización como estabilización química y mecánica, se puede modificar y mejorar las propiedades geotécnicas de los suelos del lugar, en forma tal que se permita su utilización, evitando así utilizar material de remplazo.



## ABSTRACT

The present research work aims to publicize the application of recycled asphalt mix in the stabilization of soils.

It is very well known by all that our city, Chimbote presents in a large part of all its extension a soil of poor quality, which is why it is difficult to build large-scale works. By means of various stabilization methods such as chemical and mechanical stabilization, the geotechnical properties of the local soils can be modified and improved, in such a way that their use is allowed, thus avoiding the use of replacement material.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN



## CAPÍTULO I: INTRODUCCION

### 1.1. ANTECEDENTES

Pérez (1992) investigó sobre de la relación estabilidad/propiedades físicas a través de la permeabilidad ha sido estimada de una forma general para distintos tipos de suelos, sin haberse podido establecer la relación que mejor se ajuste para cada uno de los tipos de suelo, los objetivos de esta investigación fueron conocer a más profundidad los mecanismos que rigen la estabilidad estructural en suelos de distinta tipología, estudio sobre la aplicación de distintos productos mejoradores en algunos casos de la estabilidad estructural. La metodología empleada para esta investigación fue la de realizar ensayos de los especímenes de prueba con dos tipos de cemento portland PA-350 y P-450, las muestras se han mantenido a una humedad cercana a la capacidad de campo durante una semana, posteriormente se han dejado secar al aire, y se han pasado por un tamiz de 2 mm de malla, para luego realizar los análisis de estabilidad estructural obteniendo el índice de inestabilidad.

Los resultados considerados en su conjunto, y avalados por los datos estadísticos de las correlaciones obtenidas, permiten afirmar que la aplicación de las siguientes metodologías, el análisis de agregados, la medida de la conductividad hidráulica en muestra alterada y la determinación de la granulometría naturalmente dispersa, permiten resolver un gran número de casos relativos al tema de la estructura del suelo, en muchos de los que



consideramos como característicos. Se concluye finalmente que las metodologías disponibles permiten una evaluación del comportamiento de la estructura, que explique, tanto algunos mecanismos edafogénicos en la que esté implícita, como el comportamiento de los horizontes superficiales frente a las modificaciones tecnológicas.

Montalvo y Vaquero (1993) informan de una alternativa ecológica de estabilización de suelos, sus objetivos fueron lograr una estabilización in situ de la capa de base de un camino de bajo volumen de tránsito, este método consiste en el reacondicionamiento de las partículas del suelos con emulsión asfáltica, las ventajas de este procedimiento es impermeabilidad, resistencia a compresión y a deformación plástica, aumento de capacidad portante. La metodología empleada fue escarificar el suelo existente, aireación del mismo o riego con agua hasta alcanzar la humedad adecuada, distribuir la emulsión bituminosa de la forma más regular posible. Se empleara las mismas cisternas que para un riego asfáltico, se realiza el batido de la mezcla con la motoniveladora, posteriormente se debe iniciar la compactación, para lo cual debe procurarse que el contenido de humedad sea óptimo, si hay exceso es necesario un oreo previo y si hay defecto un riego con agua, se recomienda utilizar rodillos vibratorios y de neumáticos conjuntamente, el tratamiento termina después de un período de veinticuatro horas de haberse alcanzado la densidad óptima de compactación, es muy conveniente, si se va a utilizar como capa de rodadura, hacer un tratamiento final de sellado, ejecutando un tratamiento superficial asfáltico. Las conclusiones que se deducen de este



ensayo señala que es factible realizar la construcción de caminos económicos en zonas con suelos de mala calidad, sin acudir a la estabilización natural, cuando esta supone el deterioro del medio ambiente o un elevado costo y la solución más conveniente consiste en emplear las propias explanaciones, previo tratamiento mejorados con materiales bituminosos.

(Quiroz 2017), en su investigación titulada “Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR” cuyo objetivo fue: Comparar la estabilización del esfuerzo del suelo con emulsión asfáltica, y la estabilización con asfalto y diésel para determinar que estabilización proporciona mayor densidad aparente y valor relativo de soporte CBR. Mediante los ensayos de laboratorio.

El tipo de suelo con que se trabajó fueron arenas limosas (SM).

El investigador logro determinar que el suelo con el asfalto y emulsión asfáltica en caliente, dio como densidad aparente el valor de 2.484 gr/cm<sup>3</sup>, cuyo valor permite encontrar el CBR puntual, el mismo que da el esfuerzo portante del suelo. Numéricamente no se puede diferenciar una cantidad mayor, y se determina que son idénticos en capacidad portante.

Detallando los ensayos realizados el primer CBR tiene un valor de 60% correspondiente a la estabilización de suelo con el 9 % de Emulsión Asfáltica, el segundo valor es de 59% correspondiente a la estabilización de suelo con



el 3% de Asfalto y el 6% de Diésel, obteniendo el resultado base para cualquier estudio vial.

Marquina (2008), investigó si la escoria es un material adecuado para su uso en pavimentos. Las variables utilizadas en el presente estudio fueron las escorias del horno eléctrico de la planta de aceros Arequipa y áridos convencionales como variables dependiente e independiente respectivamente, la metodología empleada que utilizaron fue la determinación de las características físicas, química y mecánicas de cada uno de los materiales mencionados anteriormente; finalmente concluye que las escorias son un excelente agregado para fines de Base y Sub Base cumpliendo con la mayoría de parámetros de las normas ASTM y del manual de diseño AASHTO para pavimentos exceptuando los parámetros de porcentajes mínimos de finos. Motivo por el cual planteó como solución la incorporación de agregados finos a fin de poder cumplir dichos parámetros y dale liga a las escorias. (p. 167).

## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Se observa que el método tradicionalmente utilizado en el MEJORAMIENTO DE SUELOS, en la construcción de obras de gran envergadura, consiste en extraer el material defectuoso y reemplazarlo por material de préstamo, este método presenta como problemática su costo excesivo, como consecuencia del transporte masivo de material usado en reemplazo del material defectuoso, cuando se encuentra a distancias



considerables de la obra. Además de que la explotación masiva de canteras, genera depredación de las mismas, en la medida de que podría agotar las fuentes de materia prima y encarecer su costo en el mercado asimismo genera impactos negativos en el medio ambiente.

El suelo de dos de mayo es un suelo arcilloso con presencia de material orgánico, y arena fina mediana mente densa con material arcilloso separado por capas con napa freática ubicado entre los 5 – 7 mt propenso a sufrir licuación y densificación produciendo asentamientos diferenciales en las edificaciones. Es por eso que para la Pavimentación de Calles y construcción de obras de gran envergadura tendría que extraerse el material defectuoso

Es por esto que en esta investigación se hará uso de la estabilización química del suelo como método alternativo al empleo de material de préstamo en el MEJORAMIENTO DE SUELOS, para combatir la problemática expuesta, **¿En qué medida será más eficaz la estabilización de suelos con concreto asfáltico reciclado con la estabilización tradicional?**

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Estabilizar la sub rasante en la localidad de dos de mayo con concreto asfáltico reciclado.



### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar y comparar las características físicas y mecánicas del suelo en el Pj Dos de Mayo.
- Determinar las características Físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada y compararlas con la norma ASTM C 977.
- Realizar una propuesta de diseño estructural de pavimento para el suelo natural y el suelo con adición del 10%, 15% y 20% de mezcla asfáltica reciclada.

### 1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

- Si adicionamos mezcla asfáltica reciclada en la subrasante de las calles del Pj. Dos de mayo entonces obtendremos una sub rasante estabilizada con un CBR mayor al 6% para, fines de pavimentación.

### 1.5. JUSTIFICACION ES IMPORTANCIA.

- Se propone el empleo de mezcla asfáltica reciclada las cuales se generan en las obras de habilitación urbana como es: cambio de redes de agua potable y alcantarillado, mejoramiento de pavimentos, en algunos casos cambio total y en otros cambio parcial como es el fresado de capa de rodadura, en el mejoramiento de sub-rasantes en reemplazo del material granular convencional de cantera, con lo cual se promueve el reciclaje de este materiales residuales que por cierto ocupa espacios importantes, y reduciría en parte la explotación de materiales granulares en las canteras con todo el impacto que genera esta actividad significa



al medioambiente. Este planteamiento se basa en las experiencias de otras ciudades y países, de quienes hemos obtenido información valiosa al respecto. Se tienen resultados de experiencia en la construcción de dos tramos de camino pavimentado en la Planta de una acería en Pisco, en un caso empleando material convencional y en otro empleando las escorias de la acería para efectos de comparación. Los resultados demuestran la viabilidad del planteamiento con beneficios técnicos, económicos y medioambientales.

- Para el desarrollo del trabajo la principal limitación fue que no se tenía como dato real si el concreto asfáltico era una mezcla en frío o una mezcla en caliente.



## CAPÍTULO II

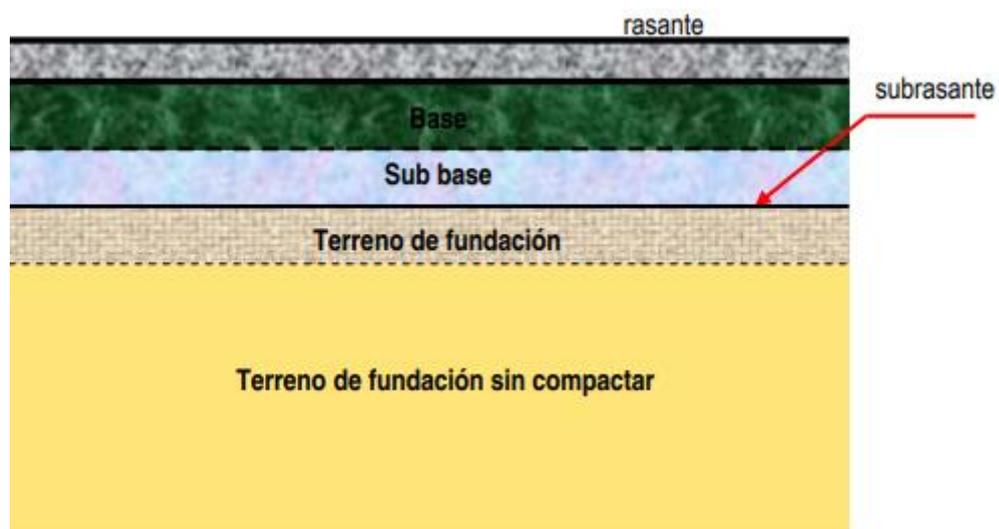
# MARCO TEÓRICO

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. PAVIMENTOS

Estructura de capas diseñada y construida para soportar cargas estáticas y dinámicas, con una transitabilidad adecuada. Se construye apoyada íntegramente sobre el terreno (natural en corte o terraplén compactado en relleno), preparado para recibirla, el cual recibe el nombre de sub-rasante. Los pavimentos por las características de los materiales de los que están hechos se clasifican de mayor a menor calidad en: rígidos de concreto hidráulico, flexibles de concreto asfáltico, semi-rígidos de adoquines (de piedra y de concreto hidráulico), tratamientos asfálticos superficiales (múltiples, dobles, simples), empedrados, afirmados y de suelo estabilizado no superficial. (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE]-CE-010, 2010, p. 43)

Figura 1: Estructura de Pavimentos Asfálticos



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.



## 2.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

La estructura que se apoya sobre el terreno de fundación o subrasante, y que está conformado por capas de materiales de diferentes calidades y espesores, que obedecen a un diseño estructural, se denomina pavimento. La estructura del pavimento está destinada a soportar las cargas provenientes del tráfico.

Tradicionalmente, los métodos de diseño de pavimentos, han sido empíricos; es decir, que la experiencia representaba un papel importante. Se requería que el ingeniero tuviese muchos años en el área para, de alguna manera, poder interpretar los resultados de las investigaciones de campo y realizar el diseño.

Los pavimentos asfálticos están conformados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y sub base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares del proyecto El pavimento de manera general está compuesto por una serie de capas de la siguiente manera: sub rasante, sub base, base y superficie de rodadura. (Minaya & Ordoñez, 2006, p.1)

### 2.2.1. Sub rasante.-

La Subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural



allanado o explanada y la estructura del pavimento. La sub rasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado (MTC EM 115).

Los suelos por debajo del nivel superior de la sub rasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso el suelo, debajo del nivel superior de la sub rasante, tenga un  $\text{CBR} < 6\%$  (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geo sintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.



### **2.2.2. Sub Base.-**

La sub base, es una capa que según el diseño puede o no colocarse. Se apoya sobre la subrasante y los requisitos de calidad de los materiales que la conforman son menos rigurosos, la razón de esto es que los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y van disminuyendo a medida que se profundizan. La sub base es la capa de material seleccionado, más profunda de la estructura del pavimento, razón por la que los materiales que la conforman cumplen requisitos menos rigurosos. El módulo elástico de la sub base se evalúa con el módulo resiliente, MR. Una sub base granular con CBR del 40% (CBR mínimo para sub bases granulares, según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000, Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, Oficina de Control de Calidad) tiene un MR de 17,000 psi (1,200 kg/cm<sup>2</sup>). (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2)

### **2.2.3. Base.-**

La capa de base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre la sub base. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico, a la sub base y subrasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. Esta capa está conformada por grava chancada, compactada al 100% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.



El módulo elástico de la base se evalúa con el módulo resiliente, MR. Una base granular con CBR del 100% tiene aproximadamente un valor MR de 30,000 psi (2,100 kg/cm<sup>2</sup>). (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2).

#### **2.2.4. Carpeta Asfáltica.-**

La carpeta asfáltica o capa de rodamiento proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color adecuado, que debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente. La nueva Guía de Diseño empírico-mecanístico AASHTO 2002 recomienda que el módulo elástico de la carpeta se evalúe con el Módulo Complejo Dinámico,  $E^*$ , sin embargo, podemos mencionar que la carpeta es una capa muy rígida con valores altos de módulo. El método de diseño AASHTO 1993 considera como parámetro de diseño de la carpeta asfáltico el módulo resiliente, para mezclas asfálticas en caliente estos valores varían de 400,000 a 450,000 psi (28,000 a 32,000 kg/cm<sup>2</sup>) a 20°C (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2).

### **2.3. EXPLORACIÓN DEL SUELO.**

En la ejecución de cualquier proyecto u obra de ingeniería civil es necesario realizar la exploración del lugar, como parte de un programa de investigaciones geotécnicas, el mismo que involucra aspectos de geología y mecánica de suelos. Del tamaño y tipo del proyecto, dependerán las consideraciones del programa de exploración.

Las etapas de la exploración de campo son:



1. Trabajo Preliminares de Gabinete: Es la recopilación de la información del lugar como mapas, fotografías, estudios anteriores, etc.
2. Exploración detallada del sitio y muestreo: Levantamiento estratigráfico y mineralogía de los estratos rocosos y condiciones del subsuelo, mediante la ejecución de pozos de prueba denominados “calicatas” se identifican los estratos que conforman la subrasante y se mide la densidad natural del estrato más desfavorable. Se debe identificar las condiciones de agua subterránea y toma de muestra para exámenes más detallados y ensayos de laboratorio.
3. Pruebas de laboratorio con las muestras: Ensayos con muestras alteradas y no alteradas representativas de la estratigrafía. Ensayos estándar con fines de caracterización física de suelos y clasificación, así como ensayos especiales para determinar su capacidad de soporte.
4. Ensayos in situ: Ensayos llevados a cabo en el propio lugar, ya sea antes o durante el proceso de construcción; controles de compactación de campo, ensayos de penetración ligera con DPL, etc.
5. Reporte de resultados: Detalles de estudio geológico, perfiles estratigráficos y mapeado de los resultados de penetración ligera, resultados de las pruebas de laboratorio, incluyendo los registros de excavaciones, referencias de muestras e interpretaciones estratigráficas.



*Tabla 1: Número de Puntos de Investigación en vías Urbanas*

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

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010.

Las calicatas son realizadas en la mayoría de los suelos, la presencia del nivel freático puede ser una de las limitaciones de este tipo de exploración. Tienen la ventaja de que se pueden realizar a mano o con una excavadora mecánica, y de exponer la sucesión de estratos para facilitar su inspección visual. No existen desventajas para este tipo de exploración.

La ejecución de las calicatas requiere un conocimiento de los suelos encontrados, la identificación visual es muy importante durante esta etapa. Las muestras pueden tomarse manualmente del fondo y de las paredes laterales de la calicata.

Las calicatas permiten extraer muestras inalteradas que serán remoldeadas en el laboratorio, también permite obtener muestras inalteradas que serán protegidas para que no pierdan humedad natural y se pueden realizar ensayos de densidad in situ.

El barrenador manual, posteadoras del tipo Iwan Auger es una herramienta manual muy simple que se usa para perforaciones o sondajes en suelos blandos

hasta una profundidad de 5 a 6 m. La forma usual es un barrenador para arcilla semicilíndrica de 10 cm. de diámetro, unido por medio de una serie de varillas de extensión de 1m a un mango en forma de cruceta que se hace girar manualmente desde la superficie. Las cucharas acopladas en el extremo para extraer muestras tienen diseño especial cuando se trate de suelos puramente cohesivos (arcillas) o friccionantes (arenas). Las posteadoras constituyen un método muy sencillo, económico y rápido de realizar perforaciones en suelos que no contengan presencia de gravas.

Figura 2: Posteadora manual



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.

## 2.4. Muestreo de Suelos, obtención de Muestras Inalteradas y Alteradas

Existen dos categorías principales de muestras de suelos:

### 2.4.1. Muestras Inalteradas

Se preserva, en la medida de lo posible, la estructura y el contenido de humedad para que representen las condiciones de campo, las muestras inalteradas son necesarios para ensayos de CBR en suelos finos como por ejemplo las arcillas, arenas limosas o arcillosas. Las muestras inalteradas se extraen con los moldes de CBR y un accesorio de este, que permite cortar el suelo. Se protege y traslada al laboratorio para su inmediato ensayo, el CBR así calculado, estará asociado a la densidad y humedad natural. Si el suelo está conformado por arenas y es difícil conseguir una muestra inalterada, se recomienda medir la densidad de campo y tomar una muestra para humedad, de manera que en el laboratorio se remolde los especímenes.

Figura 3: Molde CBR Con Anillo



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.



#### 2.4.2. Muestras Inalteradas

Las muestras alteradas se usan para la identificación del suelo y para pruebas de clasificación y calidad a medida que se recolectan, las muestras se introducen en recipientes de vidrio o plásticos y se sellan, también se pueden usar latas o bolsas de plásticos. Se debe tomar una porción de 100 kg. Aproximadamente para realizar los ensayos de proctor modificado y CBR en muestras remoldeadas al óptimo contenido de humedad, para determinar el CBR de diseño para subrasantes granulares, materiales de sub base y base granulares.

#### 2.5. Identificación Visual y Manual de Muestras de Suelo ASTM D 2488 Pruebas de Campo para Clasificación.

La identificación visual, es el reconocimiento preliminar del suelo sin necesidad de empleo de equipos o ensayos de laboratorio. Más tarde, los ensayos de laboratorio confirmarán y permitirán precisar la información obtenida del terreno. Esta identificación es una etapa inicial para el estudio de Mecánica de Suelos, que permite tomar decisiones y ajustar el programa de investigación. Los términos básicos para designar a los tipos de suelos son: grava, arena, limo y arcilla; sin embargo, en la naturaleza los suelos son una mezcla de dos o más de estos y a veces contienen una cantidad de materia orgánica. Sin embargo, es posible identificar el componente predominante y asignarles el término básico. Por ejemplo, una arena limosa tiene las propiedades de una arena, con una cantidad importante de limo; un limo orgánico está compuesto prioritariamente por limo, pero contiene una cantidad significativa de materia orgánica. Se conoce



como suelos granulares a las arenas y a las gravas, y como suelos finos a las arcillas y limos. Esta distinción se basa en la visibilidad de las partículas individuales. En laboratorio, los suelos finos y gruesos se separan con la malla N°200.

#### 2.5.1. Identificación y Descripción de Suelos Finos

En comparación a los suelos finos, los suelos granulares son más fáciles de identificar. La angularidad, forma, color, olor, humedad, consistencia, cementación, estructura, tamaño máximo de partículas y dureza, son las principales características de este tipo de suelos. Los suelos finos para su identificación necesitan de algunos ensayos de campo, para poder diferenciar las arcillas de los limos o de las arenas finas.

#### 2.5.2. Granulometría.

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad según el MTC (2014) determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. Por lo cual los suelos se clasifican en función al tamaño de sus partículas de la siguiente manera: (p. 30).

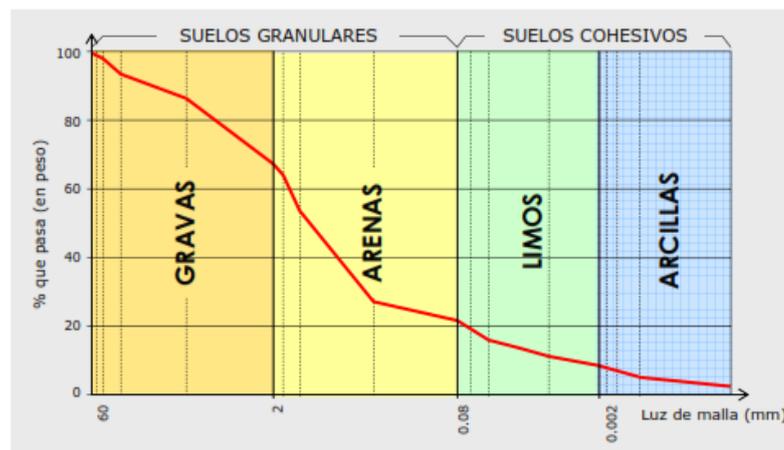
Tabla 2: Clasificación de Suelos Según su Partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

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

Figura 4: Curva granulométrica.



Fuente: Bañón y Beviá

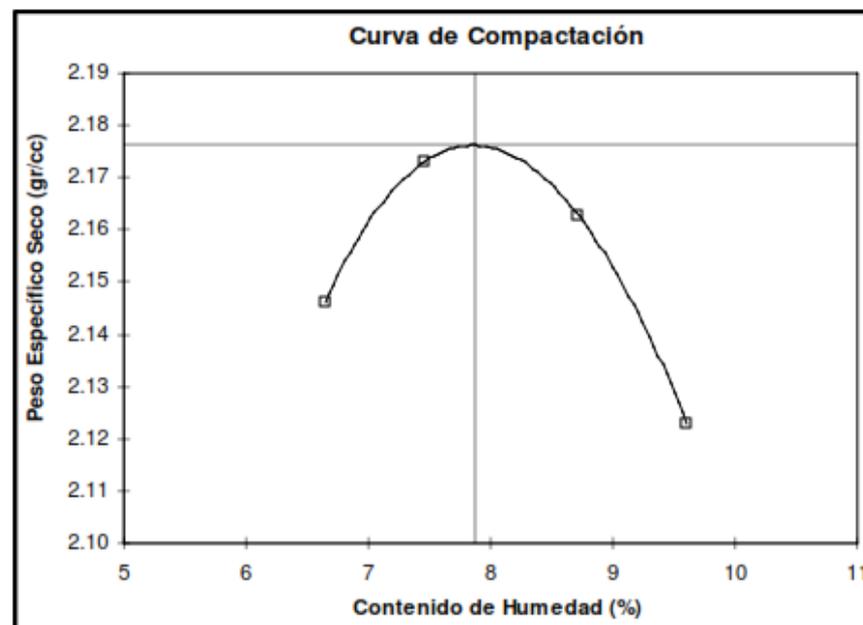


### 2.5.3. Ensayo Proctor Modificado

La compactación de suelos constituye un capítulo importantísimo y se halla íntimamente relacionada con la pavimentación de carreteras, vías urbanas y pistas de aterrizaje. El ensayo de compactación mediante el ensayo de proctor modificado, relaciona la humedad del suelo versus su densidad seca, empleando un martillo de 4.54 kg (10 lb) soltado desde una altura de 457 mm (18 pulg), transmitiendo una energía de compactación de 56,000 lb-pie/pie<sup>3</sup> ó 2,700 kN-m/m<sup>3</sup>. El suelo extraído de campo es compactado en un molde de dimensiones conocidas, con diferentes contenidos de humedad. Para contenidos bajos de humedad el suelo no se compactará adecuadamente, porque no existe la lubricación que permita el acomodo de las partículas. Para altos contenidos de humedad el suelo pierde densidad, porque el agua entre las partículas impide que estas se junten. Solo se tendrá una máxima densidad seca, MDS. La humedad a la que la muestra alcanza su máxima densidad seca, se denomina óptimo contenido de humedad. Los resultados de este ensayo son graficados como se muestra en la figura 2.2. Los resultados de la figura 2.2 indican que el suelo ensayado alcanza su máxima densidad seca, MDS, a 2.176 gr/cm<sup>3</sup> y el contenido de agua asociado a esta densidad, OCH, es 7.88%. En suelos granulares densos, la densidad de campo es muy cercana a la MDS del Proctor modificado; sin embargo, en suelos finos como las arenas y arcillas limosas, la densidad de campo, generalmente, es mucho menor que la MDS. La Humedad Natural de Suelos Arenosos y Limo-Arcillosos

muchas veces alcanzan valores muy por encima del O.C.H. y la Densidad Natural presenta valores mucho menores al Ensayo Proctor Modificado. En Conclusión, el terreno de fundación no alcanzará y/o estará lejos de la Densidad Equivalente al 95% ó 100% de la MDS, criterio que se asume como regla general.

FIGURA 5: Curva de Compactación del Proctor Modificado



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.

#### 2.5.4. California Bearing Ratio (C.B.R.)

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



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

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

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

El comportamiento de la sub rasante es función de la humedad y densidad, asociado a las condiciones ambientales del sitio. En suelos de baja capacidad de soporte donde los valores de humedad alcanzan la condición saturada y los valores de densidad de campo están muy por debajo de la densidad de compactación, los valores de los módulos elásticos realmente son muy bajos. Se proponen tres métodos para determinar el valor de CBR:



**CBR in situ**, mide directamente la deformación ante una carga aplicada,

**CBR en muestras inalteradas**, es un método recomendado para sub rasantes de suelos finos. Consiste en obtener una muestra inalterada de campo, que será protegida para que no pierda su humedad natural (si no fuese posible obtener una muestra inalterada de campo, se puede preparar especímenes en laboratorio a la humedad y densidad natural). En el laboratorio se realiza el ensayo de penetración en su condición natural y saturada, siguiendo el mismo procedimiento que en muestras remoldeadas.

**CBR en muestras remoldeadas**, método recomendado para sub rasantes granulares, materiales de base, sub base y afirmado. Los especímenes pueden ensayarse en su condición natural o saturada, luego de un período de inmersión en agua, la condición saturada es la más desfavorable.

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

Ecuación 1: Ecuación de CBR

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



La capacidad de soporte de la subrasante, es la capacidad que tiene el suelo de soportar los esfuerzos verticales transmitidos por las cargas de tránsito. La deformación del suelo la deflexión resultante deberán ser menores a las admisibles.

Para que la estructura de pavimento se comporte adecuadamente y cumpla el período de diseño, presentará una deflexión máxima de 0.20 mm. Para cargas estáticas transmitidas por un eje estándar de 8.2 ton. La deflexión máxima, bajo cargas estáticas, puede ser medida con la Viga Benkelman, esto significa que al nivel de subrasante la deflexión máxima será de 0.5 a 1 mm. Los reglamentos estatales en EE.UU. recomiendan que el valor CBR de la subrasante debe ser como mínimo entre **8 y 10%**. Caso contrario, se deberá primero estabilizar el terreno antes de construir la estructura del pavimento, En el caso de diseño de vías, se determina el CBR de la sub rasante y se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3: Categoría de Sub rasante

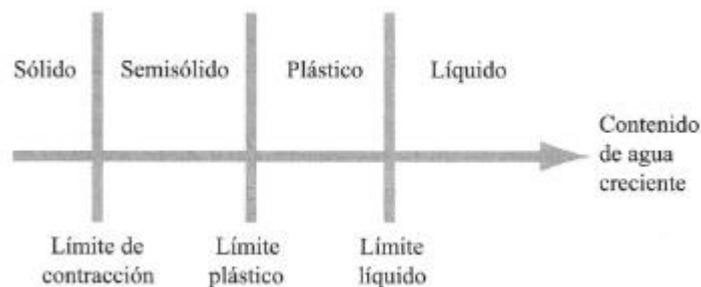
Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

### 2.5.5. Límites de Atterberg

Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, éste puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido, como muestra la figura 7.

Figura 6: Límites de Consistencia



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotecnia, Braja Das

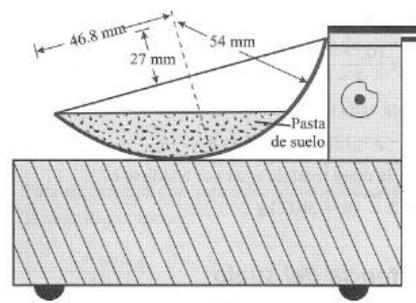
El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos

límites se conocen también como límites de consistencia (Braja Das, 2001, p.27).

### 3.2.11 a.- Límite Líquido

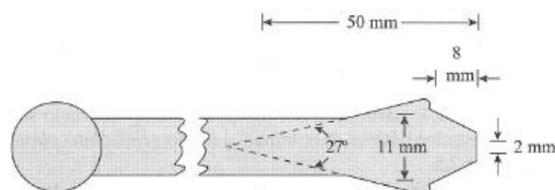
Se utiliza un dispositivo para determinar el límite líquido se muestra en la figura 8, que consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela.

Figura 7: Copa de Casa Grande



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotecnia, Braja Das.

Figura 8: Ranuador de Copa de Casa grande



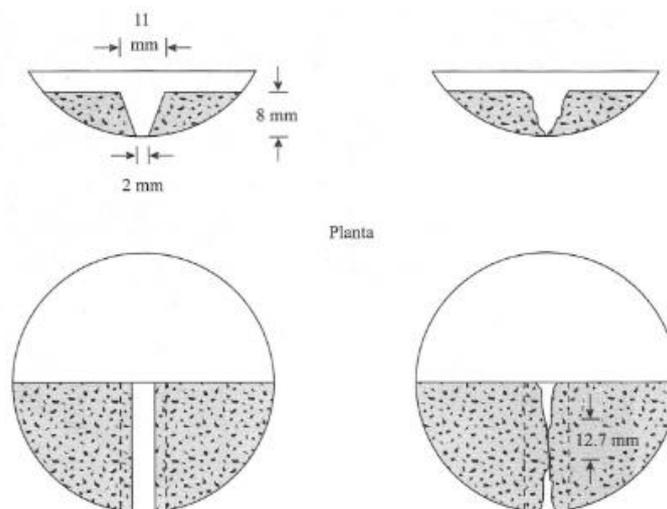
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotecnia, Braja Das.

Para la prueba del límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar figura 9. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta

la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura (véase las figura 10) a los 25 golpes se define como el límite líquido. El procedimiento para la prueba del límite líquido está dado en la Prueba D4318 de la ASTM.

Casagrande (1932) concluyó que cada golpe en un dispositivo estándar para límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo de aproximadamente  $1 \text{ g/cm}^2$  ( $\approx 0.1 \text{ kN/m}^2$ ). Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grano fino da el contenido de agua para el cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de  $25 \text{ g/cm}^2$ .

Figura 9: Copa de Casa Grande con muestra



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotecnia, Braja Das.

### 3.2.12 b.- Límite Plástico

Se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite

plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio (figura 2.7) una masa de suelo de forma elipsoidal.

Figura 10: Ensayo Limite Líquido



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotecnia, Braja Das.

### c.- Índice de Plasticidad (IP)

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.

Ecuación 2: Formula del Indice de Plasticidad

$$PI = LL - PL$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo.

Un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso; un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario. En tal sentido, el



suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según el cuadro siguiente (MTC, 2014, p. 37).

Tabla 4: Clasificación de suelos según su índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

De los límites anteriormente mencionados, interesa especialmente la determinación de los umbrales de los estados líquidos (límite líquido) y plástico (Límite plástico), ya que éstos presentan una alta deformabilidad del suelo y una drástica reducción de su capacidad de soporte. Afinando más todavía, el interés se centra en determinar el intervalo de humedad para el cual el suelo se comporta de manera plástica, es decir, su plasticidad. (Bañón y Beviá, 2000, p. 10)

## 2.6. Clasificación de suelos.

Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y, luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en el cuadro



Tabla 5: Correlación de Tipos de Suelos

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

### 2.6.1. Clasificación Aashto.

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). Ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board (Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras) en 1945 (Prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145).

El Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso, se muestra en la tabla 5, de acuerdo con éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de Las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

**Tamaño del grano**

- Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm) de Estados Unidos
- Arena: fracción que pasa la malla No.10 (2 mm) U.S. y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm) U.S.
- Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No. 200 U.S.

Figura 11: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.



Tabla 6: Sistema de Clasificación AAshto

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0.08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.08 mm				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de:												
2 mm	máx. 50											
0.5 mm	máx. 30	máx. 50	mín. 50									
0.08 mm	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Límites Atterberg												
límite de líquido				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40
índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	mín. 10
											IP<LL-30	IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.



### 2.6.2. Clasificación SUCS.

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros (Prueba D-2487 de la ASTM). El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en las tablas 2.5, 2.6 y 2.7; clasifica los suelos en dos amplias categorías:

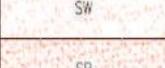
1.- Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

2.- Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

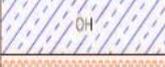
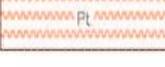
Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50).
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Figura 12: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS

	Gravas bien mezcladas arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulométricos.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco nada de material fino.		Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcillosa.
	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa.		Limas orgánicas y arenas muy finas, polvo de rocas, arenas finas limosas o arcillosas o limas arcillosas con ligera plasticidad.
	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla grava con materia fina cantidad apreciable de materia fina.		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas gruesas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas negras.
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arenas limosas poco o nada, amplia variación en tamaño granulométrico y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		Limas orgánicas y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con sustancia de partículas intermedias.		Limo inorgánico suelto fino grueso o limoso, micáceo o diatomáceo, limas silíceas.

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas gruesas.
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limas orgánicas.
	Turba, suelos considerablemente orgánicos.

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

## 2.7. Asfalto.

La ASTM lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135°C) es poco rígido, condición que permite que se adhiera fácilmente a las partículas del agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente.

El cemento asfáltico también es usado como impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los alcális (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto al entrar en contacto con el oxígeno del medio ambiente reacciona, perdiendo sus propiedades elásticas y volviéndose duro y frágil. Esta es una de las características del asfalto que trata de retardarse, pero que se desarrolla con el tiempo. En una mezcla convencional (asfalto + agregado de granulometría completa) el porcentaje de asfalto es de 6.5% y del agregado de 93.5% en peso de la mezcla, aprox.; sin embargo, es importante resaltar como un material cuya participación es mínima puede tener tanto efecto en el comportamiento de la mezcla.

Figura 13: Cemento Asfáltico



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.

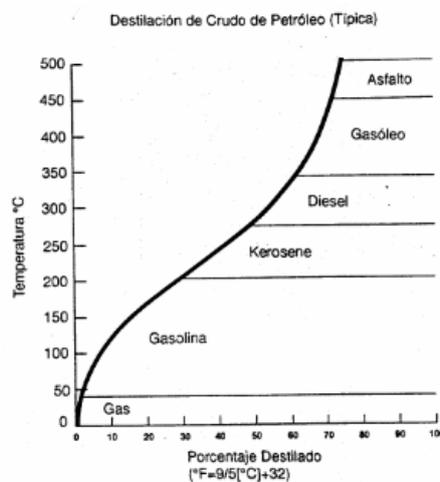
### 2.7.1. Refinamiento del Petróleo.

Si se tuviese en un depósito alcohol y agua y éste se llevase a calentar, a 72°C aprox. El alcohol comenzaría a evaporarse. Cuando la temperatura alcance los 100°C el agua se evaporaría. De manera similar se refina el petróleo.

Mediante el incremento paulatino de temperatura el crudo del petróleo se descompone liberando los solventes más livianos, como la gasolina, el kerosene y el diesel. Para separar los destilados más pesados, no solo es necesario incrementar la temperatura sino someterlo a vacío. Luego de un periodo de tiempo se obtendrá el cemento asfáltico.

En la figura 15 se muestra la temperatura a la cual los solventes se van separando del crudo del petróleo. En la figura 4.2 hay un esquema del proceso de refine del petróleo muchos tipos de daño químico.

*Figura 14: Productos y Temperatura de Destilación*



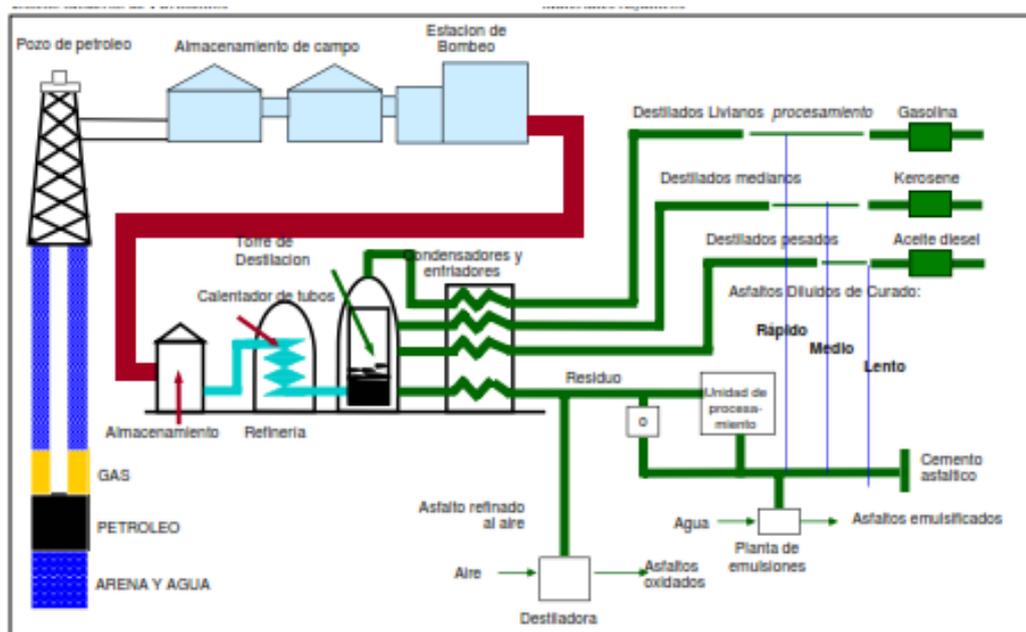
Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Minaya & Ordoñez.

Si el cemento asfáltico se combina con algún solvente se obtienen los asfaltos diluidos o cutbacks. Así, si el asfalto se combina con gasolina será asfalto de curado rápido (Rapid Cured, RC), si se combina con kerosene será de curado medio (Medium Cured, MC) y con diesel del curado lento (Slow Cured, SC).

Si el cemento asfáltico se combina con agua y un agente emulsificante se obtienen los asfaltos emulsificados.

Tanto en el caso de asfaltos diluidos como de asfaltos emulsificados, el objetivo es darle trabajabilidad al cemento asfáltico. Puesto que en esta condición los asfaltos pueden trabajarse a temperaturas que van de 60° a 20°C, respectivamente. Luego de la colocación de la mezcla el solvente o el agua se evaporará y quedará el asfalto solo. Por lo tanto es importante conocer el comportamiento mecánico del cemento asfáltico.

Figura 15: Refinamiento del Petróleo





## 2.8. Estabilización de suelos

### Definición

Según el (MTC, 2014) en su Manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos, la estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación. El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la sub rasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geo sintéticos (geotextiles, geomallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y



tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento, Debido a la necesidad del hombre de frenar el impacto ambiental por la sobre explotación de canteras para el uso y construcción de diferentes tipos de infraestructura, el sobre costo que genera el transporte de los materiales, y las canteras limitadas con las que se cuenta en el medio, es que se ha visto la necesidad de generar opciones viables.

#### 2.9. Criterios Geotécnicos para establecer la Estabilización de Suelos.

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con **CBR  $\geq$  6%**. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), pedraplenes, capas de arena, Elevar a rasante o cambiar el trazo vial sí las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.

Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.



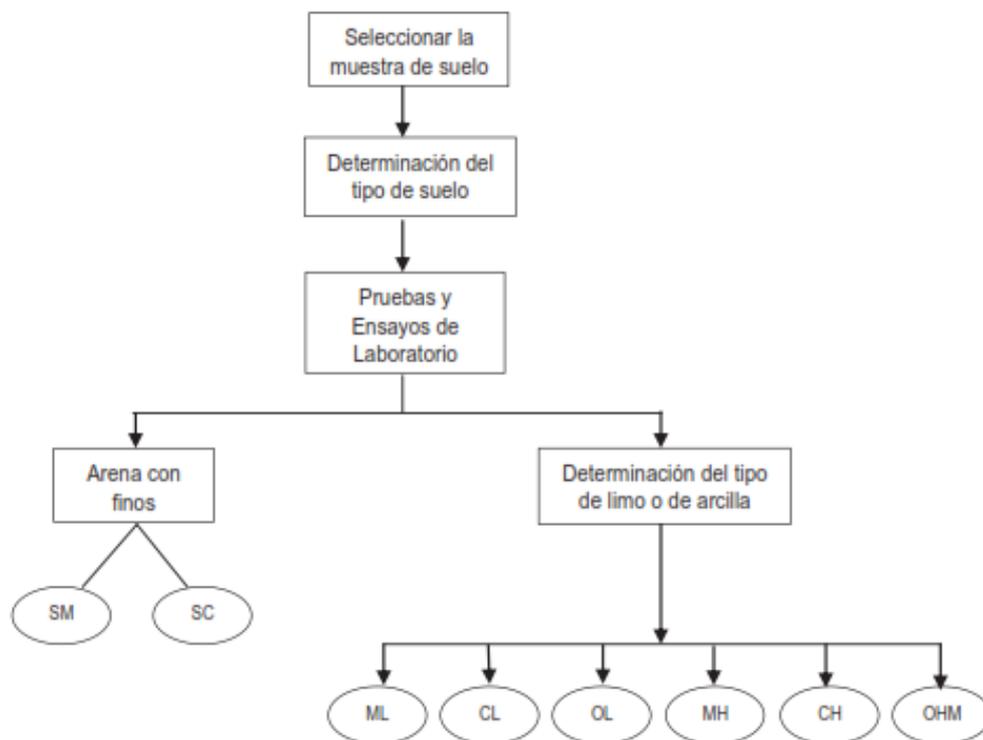
La superficie de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán sub drenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm.

La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (N° 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E109).

Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Figura 16: Proceso para la Identificación del Tipo de Suelo



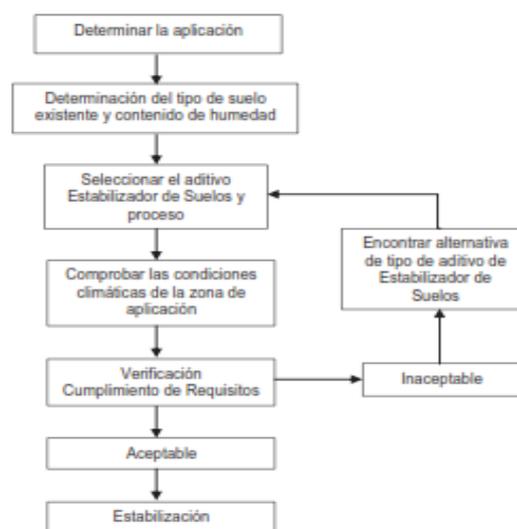
Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a. Tipo de suelo a estabilizar
- b. Uso propuesto del suelo estabilizado
- c. Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- f. Disponibilidad del equipo adecuado

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:

Figura 17: Proceso de Selección de Tipo de Estabilización



Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

g. A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

Tabla 7: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1 A	SW ó SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Pórtland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
1 B	SW - SM ó SP - SM ó SW - SC ó SP - PC	(1) Asfalto	P no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	P no excede de 30		
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
1 C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Pórtland	(b)		
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 A	GW ó GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland			El material deberá contener cuantit menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 B	GW - GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP-GC	(1) Asfalto	P no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland	P no excede de 30		El material deberá contener cuantit menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 C	GM ó GC ó GM - GC	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuantit menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas	P no excede de 25		
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Cemento Pórtland	LL no menor de 40 P no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2) Cal	P no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N}^\circ 200) / 4$			Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

Tabla 8: Selección del tipo de Estabilizador

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO <sup>(1)</sup>	DOSEIFICACIÓN <sup>(2)</sup>	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) <sup>(3)</sup>	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3 068 ASTM C150 AASHTO M85	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> <sup>2-</sup> ) < 0.2% 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	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 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
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3 078 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> <sup>2-</sup> ) < 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 D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	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
Cloruro de Magnesio	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
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO (2) No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m <sup>3</sup>	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO (2) < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.



### 2.9.1. Tipos de estabilización de Suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

a.- **La estabilización por combinación de suelos.-** considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo. El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. (MTC, 2014, p. 111).

b.- **Estabilización por sustitución de los suelos.-** Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una



profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. (MTC, 2014, p. 112).

**c.- Estabilización de suelos con Cal.-** El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico. La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como:  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en las proporciones adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra ( $\text{CaO}$ ) o de la cal hidratada ( $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva ó hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en las de las Especificaciones Generales de construcción o la a Especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977.



Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo suelos de plasticidad  $IP < 15$ , aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con  $IP > 15$ ) disminuye el IP.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad. En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura. Al mezclar el suelo con cal éste se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:



a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa en peso.

b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

c.- Suelos estabilizados con cemento.- El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ( $LL < 40$ ,  $IP < 18$ ).



La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Tabla 9: Rango de Cemento requerido en la Estabilización de Suelos

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 - 5
A-1-b	5 - 8
A-2	5 - 9
A-3	7 - 11
A-4	7 - 12
A-5	8 - 13
A-6	9 - 15
A-7	10 - 16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera



se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

**d.- Estabilización con cloruro de Sodio.-** La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Sal deben estar limpios y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica.

El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelos que pasa la malla N°200 el requerimiento mínimo es de 12%. No obstante, para mayores índices de plasticidad del suelo, se permite aceptar para la fracción de suelos que pasa la malla #200, menores valores de IP hasta un límite no menor a 9%.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo-Sal. El espesor total de la



capa de suelo estabilizado con sal será de 150 mm o 200 mm, según se especifique en el Proyecto.

La Sal (cloruro de sodio) se produce mediante 3 métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la extracción directa de las minas de sal y tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos.

El cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y se les consigue en el mercado constituyendo cristales grandes o polvo fino y con diferentes grados de pureza.

Las características típicas de la sal (cloruro de sodio) son:

Tabla 10: Características Típicas de Sal

Características	Límites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (Nº 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	13% max

Fuente: Suelos, Geología y Pavimentos (MTC-2014).



Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 kg/m, El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Se podrá incorporar al agua, sal (Cloruro de Sodio), produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal.

La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante el mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con la Sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de Suelo – Sal que satisfaga los requisitos establecidos. Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.

e.- Estabilización con productos Asfálticos.- La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.

Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.



La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200,  $LL < 30$  e  $IP < 10$ .

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla más adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, éstos podrán ser más viscosos.

En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.



Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economías.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava sí el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática.

Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg, se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1%.

El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la



estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. Las estabilizaciones se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a 15° C, no obstante, sí la temperatura ambiente tiene tendencia a aumentar, podrá fijarse en 10° C la temperatura límite inferior para poder ejecutar la mezcla; estos límites podrán ser rebajados en 5° C, cuando la aplicación del ligante se efectúe directamente en la máquina de una sola pasada o en la mezcladora de la planta fija.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto.



## CAPÍTULO III

# MATERIALES Y METODOS



### CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ensayos de Laboratorio.

##### 3.1.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E108.

###### **a. Objeto.**

- Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

###### **b. Finalidad y alcance.**

- Determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas.
- La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

###### **c. Equipos.**

- Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:

De 0,01 g para muestras de menos de 200 gr.

De 0,1 g para muestras de más de 200 g.



- Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- Otros utensilios.- Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

#### ***d. Muestra.***

Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

#### ***e. Procedimiento.***

##### ***Selección del espécimen de ensayo.***

Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).



Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen, registrar este valor.

Nota 1. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota 2. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores.

Nota 3. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente, Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a



temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado.

Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

#### *f. Cálculos.*

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3: Contenido de Humedad de un Suelo

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

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

Donde:

- W= es el contenido de humedad, (%).
- = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- MCS =Es el peso del contenedor más el suelo secado en horno en gramos.
- MC = Es el peso del contenedor, en gramos.
- MW = Es el peso del agua en gramos.
- MS = Es el Peso de las partículas Sólidas den gramos.



g. Precisión y dispersión.

Repetibilidad: El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7,8 % de su media.

Reproducibilidad: El coeficiente de variación Multilaboratorio se encontró en 5,0 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberán ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14 ,0 % de su media.

### **3.1.2. Análisis granulométrico de suelos por tamizado MTC E108.**

a. Objeto

Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

b. Finalidad y Alcance

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.



c. Materiales y Equipos

Equipos

Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la Muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

Materiales.

Tamices de malla cuadrada.

Tabla 11: Tamices de Malla Cuadrada

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

*Nota: Fuente ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.*

Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras. Cepillo y brocha.

Para limpiar las mallas de los tamices.



d. Muestra.

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con el siguiente cuadro.

Figura 18: Proporción de Muestra según el tamaño de Partículas

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

*Nota: Fuente ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.*



El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,76° mm (N° 4) será aproximadamente de 115g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

e. Procedimiento.

Análisis granulométrico de la fracción fina.

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida. Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios.

La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.



Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm N° 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.

Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110\pm 5$  °C y se pesa.

En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### **f. Cálculos.**

Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm



(N° 4): Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm

(N° 200) de la siguiente forma:

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

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

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

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

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

### 3.1.3. Determinación del límite líquido de los suelos MTC E 110

#### a. Objeto.

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

#### b. Finalidad y alcance.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de



suelos. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras Propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal Como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites líquidos y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad.

### **c. Equipos, materiales e insumos.**

#### **Equipos.**

Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm ( $4\frac{1}{2}$ "") de diámetro aproximadamente.

Aparato del límite líquido (o de Casagrande).de operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes.

Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 1.

Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada,



una barra de metal de  $10,00 \pm 0,2$  mm ( $0,394 \pm 0,008$ " ) de espesor y de 50mm (2") de largo, aproximadamente.

Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos.

Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.

Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  para secar la muestra.

### **Materiales**

Espátula. De hoja flexible de unos 75 aA 100 mm (3"– 4") de longitud y 20 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) de ancho aproximadamente.

### **Insumos**

Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

### **d. Muestra**

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz  $425 \mu\text{m}$  (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.



*e. Procedimiento*

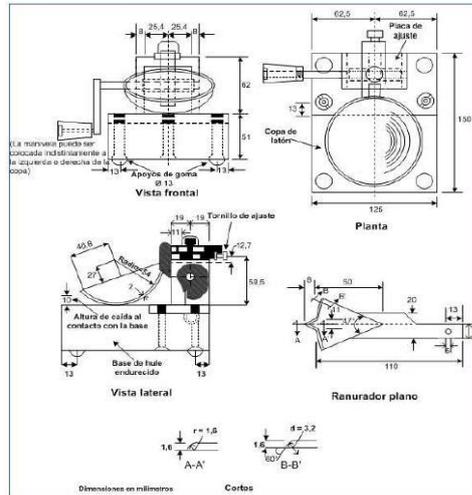
**Multipunto**

Se coloca una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal.

Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

Utilizando el acanalador, se divide la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.

Figura 19: Copa de Casa grande



Fuente MTC (2016).

Se verifica que no existan restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.

Se mezcla nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir todo el procedimiento ya mencionado anteriormente para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar



la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

Se procede a determinar el contenido de humedad,  $W_n$ , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

#### **f. Cálculos**

##### **Multipunto.**

Se representa la relación entre el contenido de humedad,  $W_n$ , y el número de golpes correspondientes,  $N$ , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados

.

Se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.



### 3.1.4. Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP)

#### MTC E 111

##### a. OBJETO.

- Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

##### b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plásticos de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede



ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad.

c. EQUIPOS.

- Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 ½") de diámetro.
- Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C.
- Tamiz, de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

d. MUESTRA.

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.



El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

e. PROCEDIMIENTO.

- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.



- Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado anteriormente.

f. CALCULOS. Se calcula el promedio de dos contenidos de humedad.

Posteriormente se repite el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 42 para la precisión de un operador.

Tabla 12: Tabla Estimados de Precisión

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple Límite Plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio Límite Plástico	3,7	10,6

*Nota: Fuente N.T.P 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.*

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones.

Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

Ecuación 4: Cálculo del Limite Plástico

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

### **Cálculos de índice de plasticidad.**

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su Límite líquido y su límite plástico.



Ecuación 5: Índice de Plasticidad

$$I.P.= L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L= Limite Líquido

L.P= Limite Plástico.

L.L y L.P., Son números enteros.

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico), Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

### **3.1.5. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) MTC E 115**

#### **a. OBJETO.**

Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

#### **b. FINALIDAD Y ALCANCE.**

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una



altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾” pulg).

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

#### **METODO "A"**

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

#### **METODO "B"**

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (¾ pulg).
- Número de capas: 5



- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

### **METODO "C"**

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253.



Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

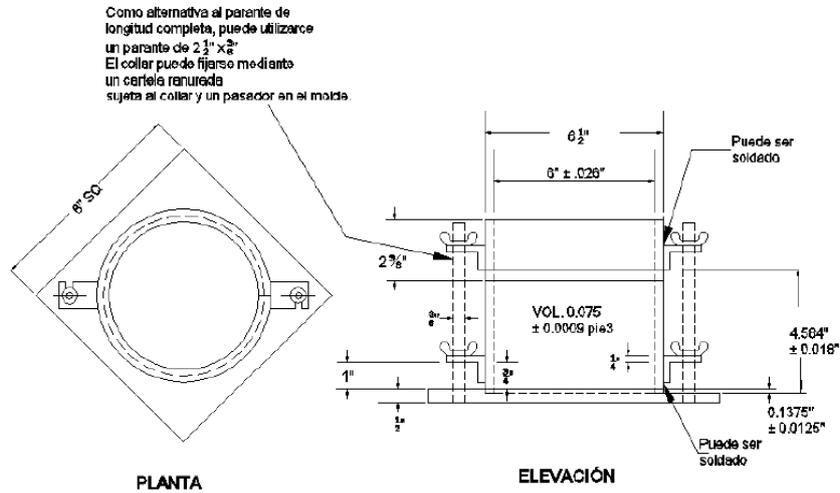
El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

#### c. EQUIPOS Y MATERIALES.

##### EQUIPOS.

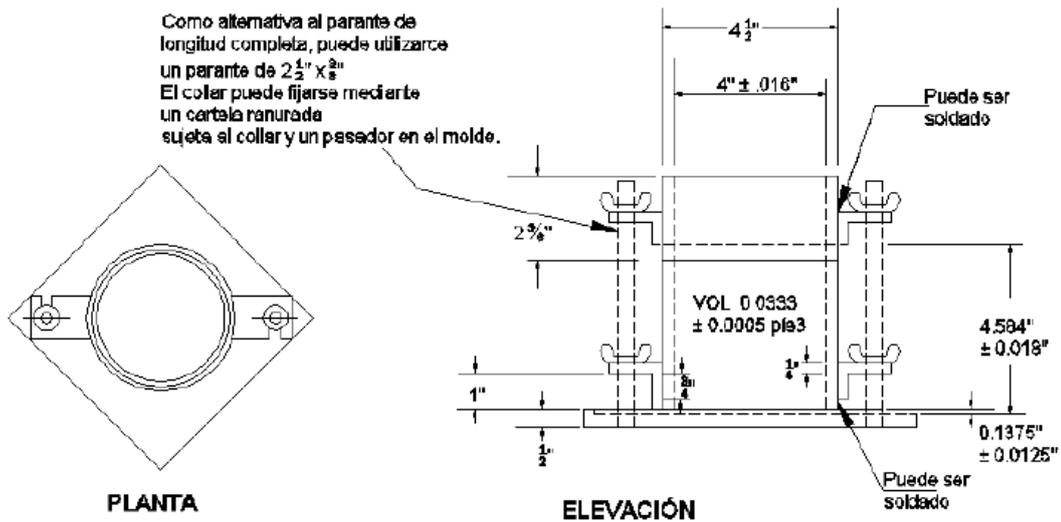
- Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indicaran en c.1 y c.2 de este ensayo y Figuras Siguietes:

Figura 20: Molde Proctor 4"



Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

Figura 21: Molde Proctor 6"



Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.



- Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección.
- El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg), por debajo de ésta.
- El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.
- c.1.-Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $101,6 \pm 0,4$  mm ( $4,000 \pm 0,016$  pulg de diámetro interior, una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $94 \pm 14$  cm<sup>3</sup> ( $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 33.
- c.2.-Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm ( $6,000 \pm 0,026$  pulg) de diámetro interior, una altura de:  $116,4 \pm 0,5$ mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $2\ 124 \pm 25$  cm<sup>3</sup> ( $0,075 \pm$



0,0009 pie<sup>3</sup>). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Fig. 34.

- Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en c.3. de este ensayo El pisón debe caer libremente a una distancia de 457,2 ± 1,6 mm (18 ± 0,05 pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será 4,54 ± 0,01 kg (10 ± 0,02 lb-m).
- c.3.-Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sean restringidas. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de 19,0 ± 1,6 mm ( $\frac{3}{4} \pm 1/16$  pulg) y espaciados a 90°. Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación debe ser 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.
- Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.



#### MATERIALES.

- Regla.- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas).
- Tamices ó Mallas.- De 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11.
- Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

#### d. MUESTRA.

La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19.0mm ( $\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C.

#### e. PROCEDIMIENTO.

- PREPARACION DE APARATOS

Se selecciona el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la



pared interior del molde y collar de extensión del molde .Ajustar si es necesario. Se revisa que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

#### e.2 PREPARACION DEL ENSAYO.

##### SUELOS.

No se usara nuevamente el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

Se procede a preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al siguiente método.

##### METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)

Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (N° 4); 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) ó 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C).

Determine el contenido de agua del suelo procesado.

Se prepara mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Se selecciona los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos



contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%. Luego usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen indicados anteriormente, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F). Posteriormente se mezcla el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes.

#### COMPACTACIÓN.

Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

Se determina y anota la masa del molde ó molde y el plato de base. Se procede a ensamblar y asegurar el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido.



Se compacta el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible pueden ser usados. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación. El compactado se realizará cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm, (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

Se aplica los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.



Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se detallara en el siguiente párrafo de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente se debe enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Se rellena cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base.

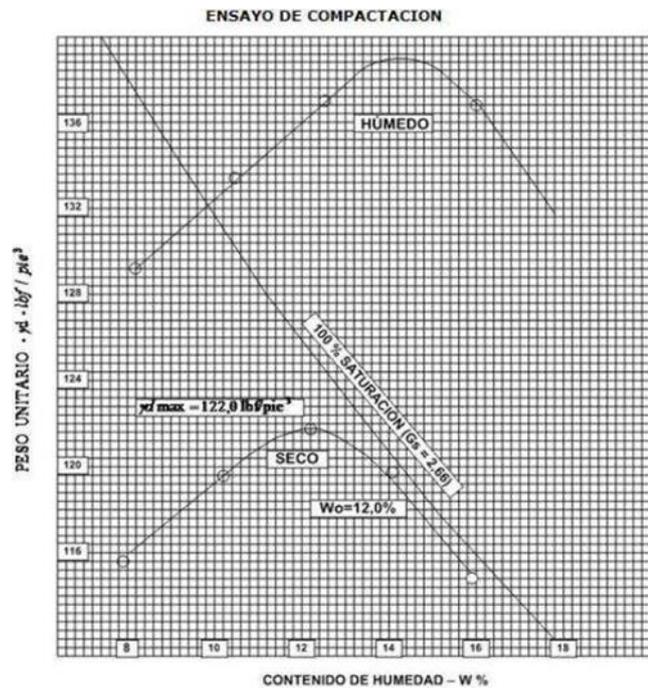
Se determina y registra la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo. Se remueve el material del molde. Se obtiene un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Se determina el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

#### CALCULOS.

Se calcula el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una

curva suave a través de los puntos (ver figura 22). Contenido de Agua, w.-  
Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.

Figura 22: Curva Proctor



Fuente : Suelos Geologia y Paviemntos (MTC-2014)

- Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

Ecuación 6: Ecuación de densidad Húmeda y Densidad Seca

$$\rho_m = 1000 \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}} \quad (2)$$



Donde:

$\rho_m$  = Densidad húmeda del espécimen compactado (kg/m<sup>3</sup>).

$M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{md}$  = Masa del molde de compactación (kg)

$V$  = Volumen del molde de compactación (kg)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en kN/m}^3$$

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del espécimen compactado.

### 3.1.6. CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132

#### a. OBJETO.

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse e forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

#### b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, sub base y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en



pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

### c. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.

#### EQUIPOS.

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de  $152,4\text{mm} \pm 0,66\text{ mm}$  ( $6 \pm 0,026''$ ) de diámetro interior y de  $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$  ( $7 \pm 0,018''$ ) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de  $50,8\text{ mm}$  ( $2,0''$ ) de altura y una placa de base perforada de  $9,53\text{ mm}$  ( $3/8''$ ) de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de  $1,6\text{ mm}$  ( $28\ 1/16''$ ) las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro (Figura 36). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de  $150,8\text{ mm}$  ( $5\ 15/16''$ ) de diámetro exterior y de  $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$  ( $2,416 \pm 0,005''$ ) de espesor tal como se muestra en la siguiente figura, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).





- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02\text{kg}$  y pesas ranuradas de metal cada una con masas de  $2,27 \pm 0,02\text{ kg}$ .
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de  $49,63 \pm 0,13\text{ mm}$  ( $1,954 \pm 0,005$ ”) de diámetro.
- Dos diales con recorrido mínimo de  $25\text{ mm}$  (1”) y divisiones lecturas en  $0,025\text{ mm}$  (0,001”), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Balanzas, una de  $20\text{ kg}$  de capacidad y otra de  $1000\text{g}$  con sensibilidades de  $1\text{g}$  y  $0,1\text{ g}$ , respectivamente.
- Tamices, de  $4,76\text{ mm}$  (No. 4),  $19,05\text{ mm}$  (3/4”) y  $50,80\text{ mm}$  (2”).
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

#### d. MUESTRA.

La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos utilizados en el ensayo de proctor modificado.

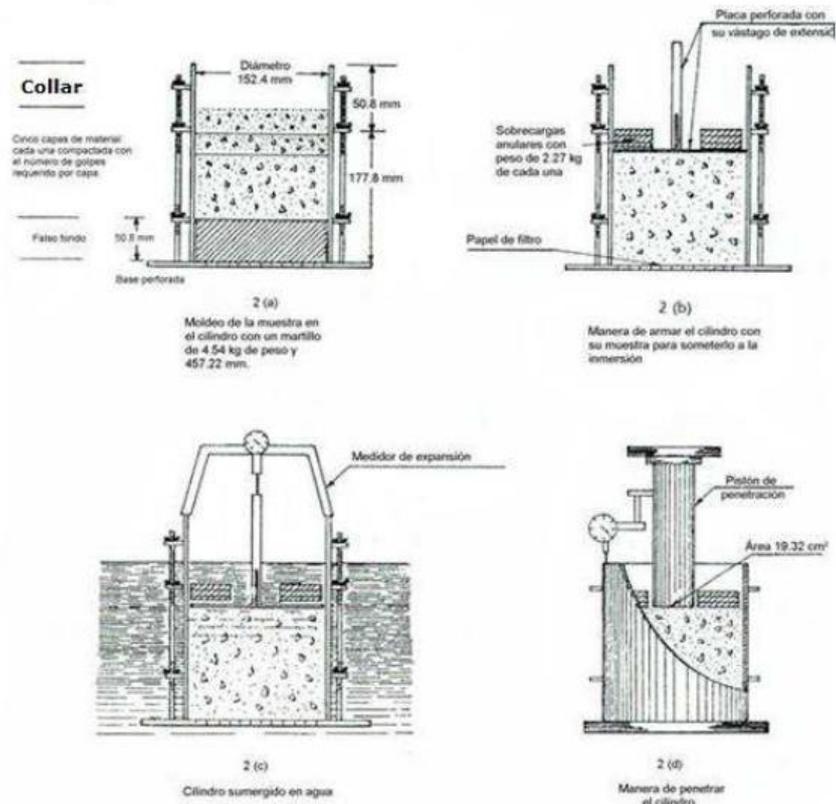


e. PROCEDIMIENTO.

- Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (N°4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.
- De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.
- Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.
- Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.
- Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados,

ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde de la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (Figura 37). Es frecuente utilizar tres de 55, 26 y 12 golpes por capa, por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación.

Figura 24: m Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio



Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

- Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y



otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E 108.

- Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa. Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya.
- Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante.
- Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.



- Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada.
- Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración.

**Penetración.** Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm 2,27$  kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones del siguiente cuadro:

Tabla 13: Penetración en milímetros y en Pulgadas

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.



Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

f. CALCULOS.

Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

Ecuación 7: Humedad de Compactación

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

Donde:

H = Humedad prefijada.

h = Humedad natural

% de agua a añadir=

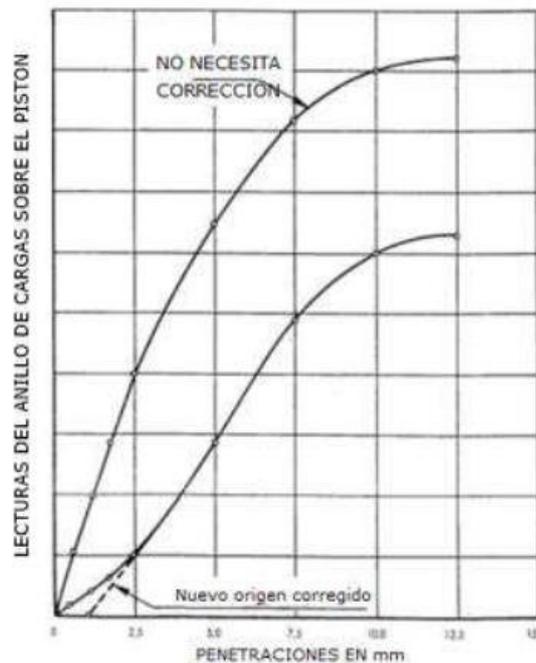
**Densidad o peso unitario.** La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

Agua absorbida. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los

datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva siguiente:

Figura 25: Curva para cálculo de índice de CBR:



Fuente: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC.

Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

Ecuación 8: Expansión del CBR

$$\% \text{Expansión} = \frac{L2-L1}{127} \times 100$$



Donde:

L1= Lectura inicial en mm.

L2= Lectura final en mm.

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 14: Características de la muestra patrón CBR.

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC-2016)

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.



- De la curva corregida se toma los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b/plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

### 3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación adoptado fue el tipo experimental ya que se hizo control de las variables, al suelo limoso de baja plasticidad del Jr. San Juan del distrito de Chimbote se le adicionaron porcentajes de 10%, 15% y 20% de concreto asfáltico reciclado triturado.

#### 3.2.1. TIPO DE ESTUDIO

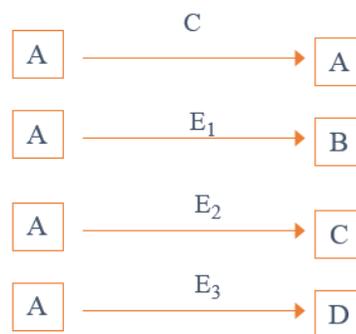
Experimental: Son aquellos en que se manipula deliberadamente una o más variables independientes para ver sus efectos sobre una o más variables dependientes. Existen tres requisitos para que una prueba se considere un experimento:

- Debe haber una manipulación intencional de una o más variables independientes.

- La medición de la variable dependiente, es una de las fases del experimento a fin de conocer la influencia de la variable independiente.
- Debe haber un control de las variables extrañas.

### Diseño de estímulo creciente

Figura 26: Diseño experimental con estímulo creciente



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

A: Muestra de Suelo Limoso sin Estimulo

E1: % Estimulo 1 al suelo limoso.

E2: % Estimulo 2 al suelo limoso.

E3: % Estimulo 3 al suelo limoso.

B, C y D : Grupos experimentales (Estabilización Suelo limoso)



### 3.3. POBLACIÓN MUESTRAL.

Suelo limoso sin plasticidad del Pj. Dos de mayo de la ciudad de Chimbote.

### 3.4. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Las muestras de suelo limoso sin plasticidad que se obtuvo de las calicatas realizadas en el P.J. Dos de mayo fueron 04 calicatas en exactamente en el Jr. San Juan. El número de calicatas que se realizaron estuvo de acuerdo con lo indicado en la norma CE.010 Pavimentos Urbanos, la distribución de estas se muestra en el *Anexo N°1*. El suelo obtenido se usó para los ensayos de caracterización física y mecánica de acuerdo a la normativa vigente.

El concreto asfáltico reciclado se obtuvo de las obras de saneamiento del distrito de nuevo Chimbote, exactamente las que se ubican en la avenida anchoveta entre las avenidas Brasil y Av. Argentina, las mismas que se obtenían cuando se hacían el cortado del pavimento asfáltico para procederá realizar las excavaciones de zanjas para tuberías.

Una vez obtenido el concreto asfáltico se procedió al triturado utilizando para ello comba de 4 libras tratando de no partir la piedra del concreto asfáltico

El suelo limoso fue mezclado en tres porcentajes en peso:

Suelo 90% - Concreto asfáltico Reciclado 10%

Suelo 85% - Concreto asfáltico Reciclado 15%

Suelo 80% - Concreto asfáltico Reciclado 20%



Las muestras de suelo que se obtuvieron para la presente fueron muestras alteradas, no se ubicó el nivel freático, se está anexando también el registro de las excavaciones.

### 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizó como técnica la observación y como instrumentos los protocolos validados por el MTC en el Manual de Ensayos de Materiales.

### 3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

#### 3.6.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.

Mediantes plantillas y cuadros y con la ayuda de la hoja electrónica del software, nos reportara gráficos, tablas etc. se recopila la información de los ensayos realizados con el fin de determinar los resultados.

#### 3.6.2. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Interpretación de los resultados obtenidos respecto a los objetivos específicos y la hipótesis planteada.
- Analizar los resultados obtenidos respecto a investigaciones anteriores, con el fin de evaluar la hipótesis

3.7. Variables y operacionalización de variables.

Tabla 15: Operacionalización de Variables: Concreto asfaltico Reciclado

Variable	Nombre de la variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	instrumento	Escala valorativa	Escala de medición
Dependiente	Concreto Asfáltico Reciclado	Concreto Asfáltico Reciclado: es la combinación de un ligante asfáltico, áridos y filler, eventualmente se usa aditivos para aumentar su afinidad con los agregados	El análisis del concreto asfáltico reciclado fue interpretado por el método cuantitativo a través de protocolos y formatos de, con la finalidad de obtener resultados numéricos	Composición de tamaño de las partículas del concreto asfáltico Reciclado	Análisis granulométrico del Concreto Asfáltico,	Gravimetría	De acuerdo al rendimiento: Muy bueno Bueno Regular Malo Muy Malo	Nominal



“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”

Tabla 16: Operacionalización de variable Independiente: Estabilización de Suelo Limoso

Variable	Nombre de la variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala Valorativa	Escala de Medición
Independiente	Suelos limosos	Suelos limosos están constituidas básicamente por silicatos de aluminio Hidratados. (Juárez y Rico, 2005). Sus partículas son menores a 0,002 mm y tiene propiedades plásticas. (Bañón y Beviá, 2000).	El análisis para la estabilización de suelos limosos con diferentes dosificaciones de concreto asfáltico reciclado fue interpretado por el Método Cuantitativo: Este método permite evaluar una muestra mediante una serie de patrones, protocolos, etc., con el fin de obtener resultados Numéricos.	Propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos adicionando concreto asfáltico reciclado al 10%,15%y 20% en peso.	Distribución granulométrica Contenido de Humedad. Proctor modificado CBR	Granulometría por Tamizado (MTC E 107). Contenido de Humedad (MTC E108). Proctor Modificado (MTC E-115 ) California Bearing ratio(CBR) (MTC E -132)	Cbr<3% : Subrasante adecuada Cbr >3% < 6% Subrasante nsuficiente Cbr >6% < 10% Subrasante regular Cbr >10% < 20% Subrasante buena Cbr >20% < 30% Subrasante muy buena Cbr > 30% Excelente.	Numérica

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES



## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Para el objetivo: determinar y comparar las características físicas y mecánicas del suelo del Pj. Dos de Mayo y las combinaciones del suelo con la adición del 10%, 15% y 20% de concreto asfáltico reciclado.

Resultados de caracterización física

### a. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

De los análisis granulométricos realizados se observa que el suelo natural tiene para la calicata 01= 59.55%, para la calicata 02 = 23.41%, para la calicata 03 = 81.57%, y para la calicata 04 = 62.29% que pasa la malla 200. En resumen pertenecen al grupo de suelos de grano fino ya que están formado por más del 50% de limos y arcillas.

### b. ANALISIS CBR.

Así mismo con la adición a diferentes porcentajes se observa el comportamiento del CBR a 10%, 15% y 20% de adición en peso:

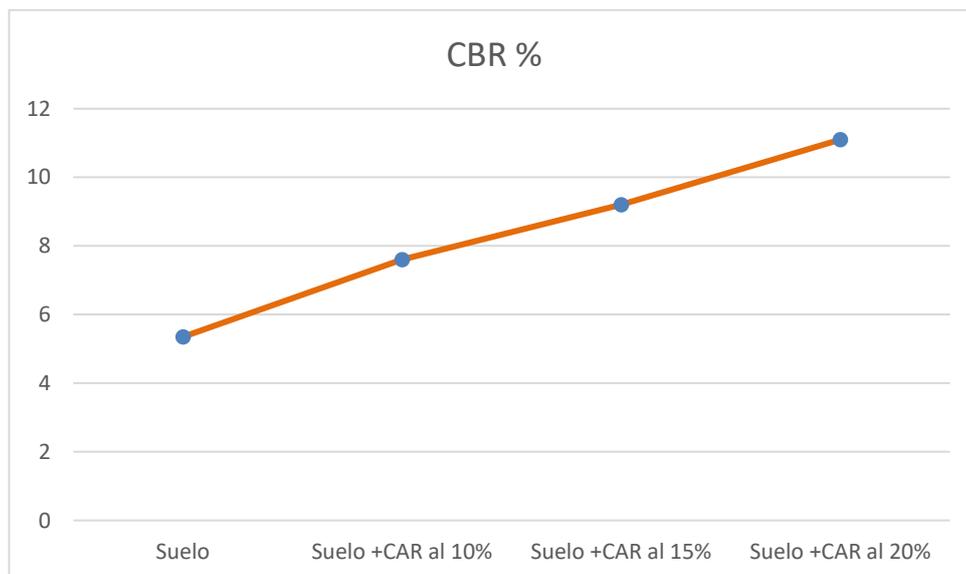
*Tabla 17: Resultados del CBR y Proctor Modificado.*

Muestra	Proctor %	OCH %	CBR %
Suelo	1.66	11.72	5.35
Suelo +CAR al 10%	1.72	10.82	7.60
Suelo +CAR al 15%	1.81	10.25	9.20
Suelo +CAR al 20%	1.89	9.90	11.10

Fuente: Elaboración Propia

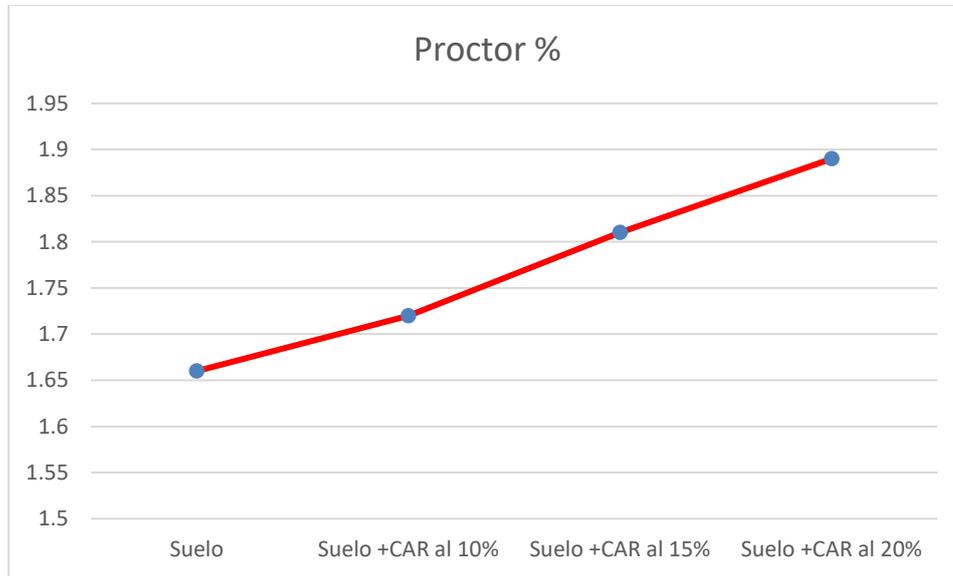
En la tabla 17, se puede observar que el CBR, va incrementándose, a medida que se le incorpora el concreto asfalto reciclado, llegando a tener un incremento porcentual del 100.90% tomando como base el CBR al 95% de la muestra patrón, así mismo es preciso señalar que pasa de un CBR de mala calidad a un CBR de regular, considerándose que los CBRs son inadecuados cuando tienen valores inferiores al 6%, tal como lo indica la norma del ministerio de transportes y comunicaciones vigente.

Figura 27: Variación del CBR, con diferentes Adiciones



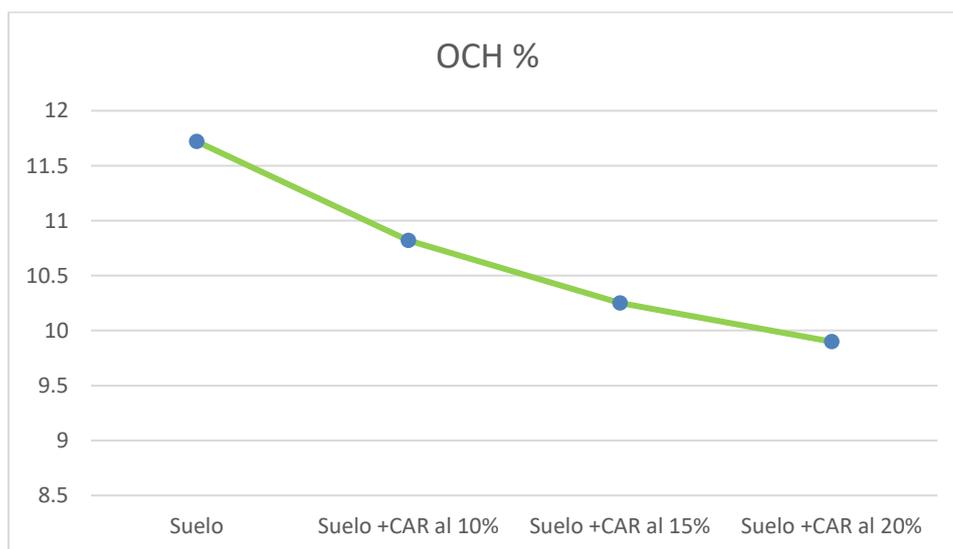
Fuente : Elaboración Propia

Figura 28: Variación del Proctor, con diferentes Adiciones de CAR



Fuente: elaboración Propia.

Figura 29: Variación del OCH,



Fuente: elaboración Propia.



**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**



## 5.1. CONCLUSIONES

- Las adiciones del 10%, 15% y 20% de concreto asfáltico reciclado, aumenta la capacidad de soporte, obteniéndose CBR de 7.60%, 9.20% y 11.10% respectivamente, obteniéndose valores mayores al 6%, pudiendo ser una sub rasante regular a buena, por lo que se concluye que se acepta la hipótesis.
- Se determinaron las características físicas y mecánicas del terreno de fundación del P.J. Dos de Mayo, lo que permitió clasificar al suelo como tipo ML (suelo limoso de baja plasticidad) según SUCS y como un suelo dentro del grupo A-4 (suelo Limoso de mala calidad) según AASHTO. Además se obtuvieron sus características mecánicas, presentando así una MDS de 1.66 gr/cm<sup>3</sup>, un óptimo contenido de Humedad de 11.72% y un valor CBR de 5.35% al 95% de su MDS.
- Las combinaciones de suelo natural, con concreto asfáltico al 10%, 15% y 20% se clasifican como un suelo tipo ML, suelo Limoso de baja plasticidad, según SUCS.
- Respecto a sus características mecánicas dieron como resultado MDS de 1.72 gr/cm<sup>3</sup>, 1.81gr/cm<sup>3</sup> y 1.89 gr/cm<sup>3</sup> y un valor CBR de 7.60%, 9.20% y 11.10% para las combinaciones al 10%. 15% y 20% respectivamente.
- El valor del CBR se incrementó para todas las combinaciones respecto al suelo natural, siendo el máximo aumento de 11.10% para la combinación al 20%. Todas las combinaciones lograron obtener CBR mayores al 6%, pudiendo ser utilizadas como sub rasante.



- De acuerdo al diseño estructural del pavimento flexible realizado se obtuvo un espesor total de 22” para el suelo natural y de 20”, 18” y 17” para las combinaciones al 10%, 15% y 20% respectivamente, lo cual significa una reducción en el espesor del pavimento flexible máxima de 5”.



## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las futuras investigaciones utilizar el concreto asfáltico para estabilización de suelos y buscar el porcentaje ideal para cada tipo de suelo.
- Se recomienda a masificar las investigaciones con materiales reciclables o realizar la combinación con la finalidad de obtener materiales reutilizables.



CAPÍTULO VI  
REFERENCIAS  
BIBLIOGRAFICAS



## 6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Badilla y Elizondo (Noviembre 2010).Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal. Programa de Ingeniería en Infraestructura del Transporte, (Vol.1, N°9), p.5.
- Bañon, L. y Beví, J. (2002).Manual de Carreteras, construcción y mantenimiento. Universidad de alicante, España, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Braja, M.Das (2008).Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México, CENGAGE learning.
- Braja, M.Das (1999).Principio de Ingeniería de Cimentaciones. México, THOMPSON Editores.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Lima, Perú, Instituto de Construcción y Gerencia (ICG).
- Montejo, A. (2002).Ingeniería para Pavimentos en Carreteras -Tomo I. Bogotá, Colombia, Universidad Católica de Colombia.
- Análisis de posibles tratamientos de mejora del terreno y recomendaciones .Madrid, España.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2013). Especificaciones Técnicas Generales de la Construcción (EG-2013). Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2014). Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú.



- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2006) Manual de Materiales Suelos. Lima –Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. (2010) Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. Lima –Perú.



## CAPÍTULO VII ANEXOS



## **ANEXO 1**

### **UBICACIÓN DE CALICATAS**





## **ANEXO 2**

### **ENSAYOS PARA DETERMINAR**

### **CARACTERIZACION FÍSICA DE LA SUBRASANTE**



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>E.P. INGENIERIA CIVIL</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>								
<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"</b>								
<b>TESISTAS</b>								
<b>BACH.</b>		<b>: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO</b>						
<b>BACH.</b>		<b>: VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO</b>						
<b>CALICATA Nº 01</b>								
<b><u>REGISTRO DE EXCAVACIONES</u></b>								
Tipo Excavac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ	
					SUCS	AASHTO	w %	gr/cm <sup>3</sup>
	-1.50	E-1		Limos sin Plasticidad , encontrándose en estado medianamente compacto, con alto porcentaje de material que pasa la malla Nº 200 (59.55%), con poca humedad	<b>ML</b>	<b>A-4</b>	<b>20.75</b>	<b>1.71</b>
<b>NOTA : NIVEL FREÁTICO NO ENCONTRADO</b>								



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS**

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**

**TESISTAS**

**BACH. : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO**  
**BACH. : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO**

**CALICATA N° 02**

**REGISTRO DE EXCAVACIONES**

Tipo Excavac	Profund. (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ	
					SUCS	AASHTO	w %	gr/cm <sup>3</sup>
	-1.50	E-1		Arenas Limosas sin Plasticidad , encontrandose en estado medianamente compacto, con bajo porcentaje de material que pasa la malla N° 200 (23.41%), con poca humedad	SM	A-2-4	16.49	1.71

**NOTA : NIVEL FREATICO NO ENCONTRADO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS**

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**

**TESISTAS**

**BACH. : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO**  
**BACH. : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO**

**CALICATA N° 03**

**REGISTRO DE EXCAVACIONES**

Tipo Excavac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ	
					SUCS	AASHTO	w %	gr/cm <sup>3</sup>
	-1.50	E-1		Limos sin Plasticidad , encontrándose en estado medianamente compacto, con alto porcentaje de material que pasa la malla N° 200 (81.57%), con poca humedad	ML	A-4	12.64	1.71

**NOTA : NIVEL FREATICO NO ENCONTRADO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS**

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**

**TESISTAS**

**BACH. : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO**  
**BACH. : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO**

**CALICATA N° 04**

**REGISTRO DE EXCAVACIONES**

Tipo Excavac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ	
					SUCS	AASHTO	w %	gr/cm <sup>3</sup>
	-1.50	E-1		Limos sin Plasticidad , encontrándose en estado medianamente compacto, con alto porcentaje de material que pasa la malla N° 200 (62.29%), con poca humedad	ML	A-4	10.81	1.71

**NOTA : NIVEL FREATICO NO ENCONTRADO**



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

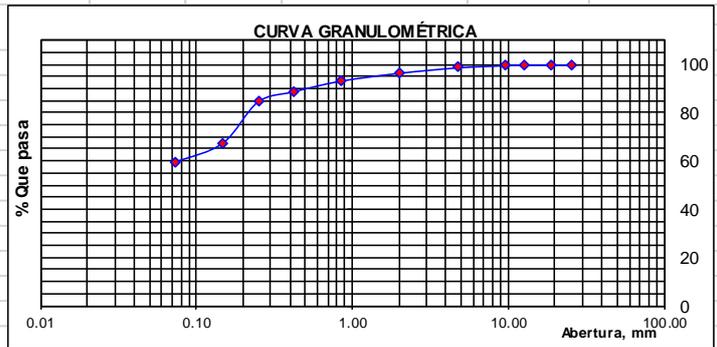
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: P.J. DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH”		
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019		
<b>CALICATA</b>	: C - 01		
<b>MUESTRA</b>	M-1	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 - 1.50m

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr]	761.900
Peso Lavado y Seco, [gr]	308.200

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	0.000	100.00
3/8"	9.525	2.000	99.74
N° 4	4.760	6.800	98.84
N° 10	2.000	17.400	96.56
N° 20	0.840	25.200	93.25
N° 40	0.425	33.200	88.90
N° 60	0.250	32.800	84.59
N° 100	0.149	130.600	67.45
N° 200	0.074	60.200	59.55
< N° 200	-	453.700	-



D60= 0.27                      D30= 0.17                      D10= 0.09

**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)**

Cu=0,046                      Cc=1,19

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

**LIMO DE BAJA PLASTICIDAD**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	NO PRESENTA		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

**B. LÍMITE PLÁSTICO**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	NO PRESENTA		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	13.100
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	68.100
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	58.650
4. Peso Agua, [gr]	9.450
5. Peso Suelo Seco, [gr]	45.550
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>20.75</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>PROYECTO DE TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE</b>	
<b>TESISTAS : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO</b> <b>: VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO</b>	

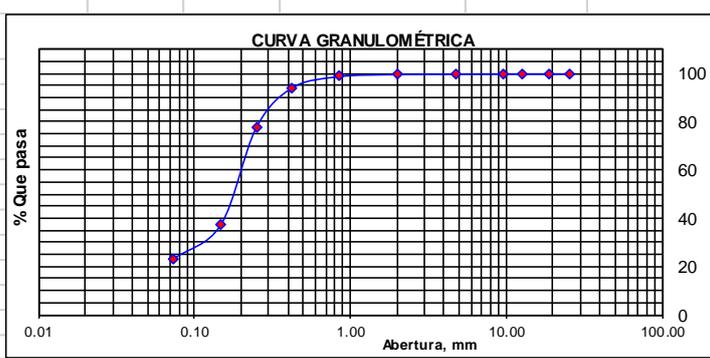
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: P.J DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH”		
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019		
<b>CALICATA</b>	: C - 02		
<b>MUESTRA</b>	M-1	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 - 1.50m

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr]	1391.100
Peso Lavado y Seco, [gr]	1065.500

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	0.000	100.00
3/8"	9.525	0.000	100.00
N° 4	4.760	0.600	99.96
N° 10	2.000	2.600	99.77
N° 20	0.840	12.400	98.88
N° 40	0.425	64.900	94.21
N° 60	0.250	232.500	77.50
N° 100	0.149	555.700	37.55
N° 200	0.074	196.800	23.41
< N° 200	-	325.600	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)**

<b>A. LÍMITE LÍQUIDO</b>	<b>ARENAS LIMOSAS</b>		
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>SM</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-2-4</b>

<b>B. LÍMITE PLÁSTICO</b>	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	12.500
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	56.300
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	50.100
4. Peso Agua, [gr]	6.200
5. Peso Suelo Seco, [gr]	37.600
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>16.49</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

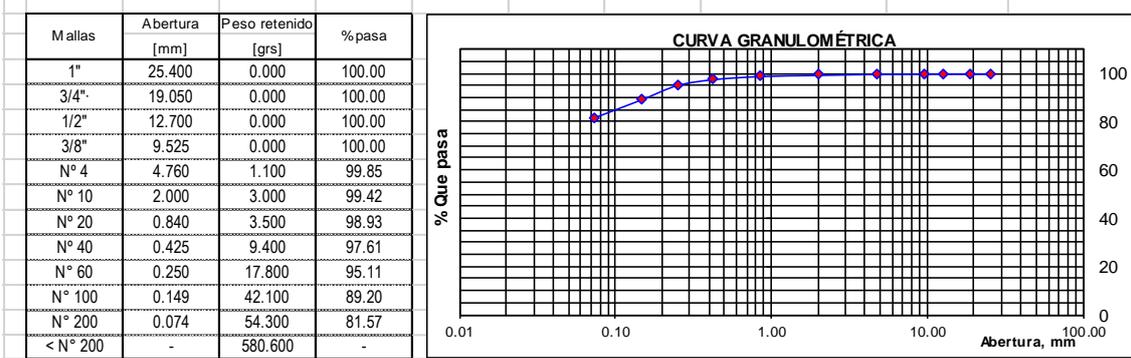
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: P.J DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH”		
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019		
<b>CALICATA</b>	: C - 03		
<b>MUESTRA</b>	M-1	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 - 1.50m

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr]	711.800
Peso Lavado y Seco, [gr]	131.200



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

<b>A. LÍMITE LÍQUIDO</b>	<b>LIMO DE BAJA PLASTICIDAD</b>		
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

<b>B. LÍMITE PLÁSTICO</b>	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	18.600
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	95.700
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	87.050
4. Peso Agua, [gr]	8.650
5. Peso Suelo Seco, [gr]	68.450
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>12.64</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

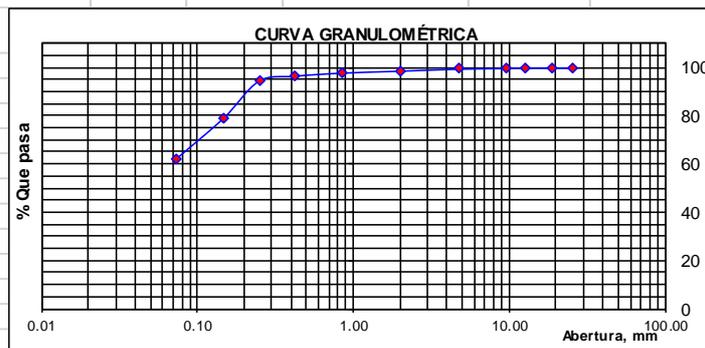
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: P.J DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH"		
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019		
<b>CALICATA</b>	: C - 04		
<b>MUESTRA</b>	M-1	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.00 - 1.50m

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr]	482.100
Peso Lavado y Seco, [gr]	181.800

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	0.000	100.00
3/8"	9.525	1.000	99.79
N° 4	4.760	1.200	99.54
N° 10	2.000	4.000	98.71
N° 20	0.840	4.000	97.88
N° 40	0.425	6.100	96.62
N° 60	0.250	10.000	94.54
N° 100	0.149	73.600	79.28
N° 200	0.074	81.900	62.29
< N° 200	-	300.300	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)**

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	NO PRESENTA		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**LIMO DE BAJA PLASTICIDAD**

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

**B. LÍMITE PLÁSTICO**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	NO PRESENTA		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	17.400
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	83.000
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	76.600
4. Peso Agua, [gr]	6.400
5. Peso Suelo Seco, [gr]	59.200
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>10.81</b>



**ANEXO 3**

**GRANULOMETRIA CONCRETO**

**ASFÁLTICO RECICLADO**

•



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

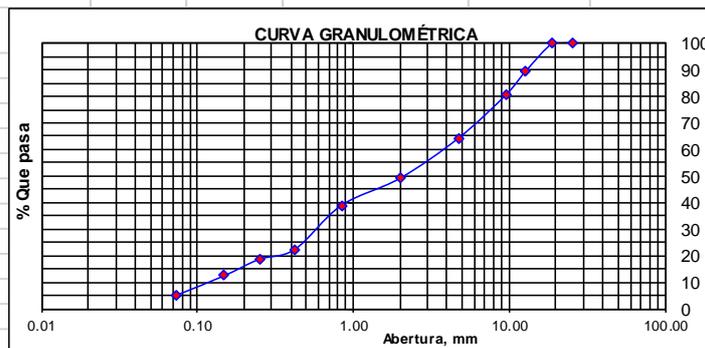
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: PJ DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH"
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019
<b>MUESTRA</b>	<b>CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO</b>

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

<b>Peso Inicial Seco, [gr]</b>	<b>1270.000</b>
--------------------------------	-----------------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	135.100	89.36
3/8"	9.525	111.700	80.57
N° 4	4.760	205.500	64.39
N° 10	2.000	193.200	49.17
N° 20	0.840	130.200	38.92
N° 40	0.425	209.100	22.46
N° 60	0.250	48.300	18.65
N° 100	0.149	78.800	12.45
N° 200	0.074	92.500	5.17
< N° 200	-	65.600	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)**

A. LÍMITE LÍQUIDO			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

GRAVAS MAL GRADUADAS	
D10	0.12
D30	0.6
D60	4.00
Cu	33.33
Cc	0.75

B. LÍMITE PLÁSTICO			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>GP</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-1- a</b>

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	17.400
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	83.120
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	82.690
4. Peso Agua, [gr]	0.430
5. Peso Suelo Seco, [gr]	65.290
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>0.66</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS:** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"

**TESISTAS :**  
**BACH.:** CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
**BACH.:** VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER  
**FECHA :** AGOSTO 2019

**MATERIAL TERRENO NATURAL**

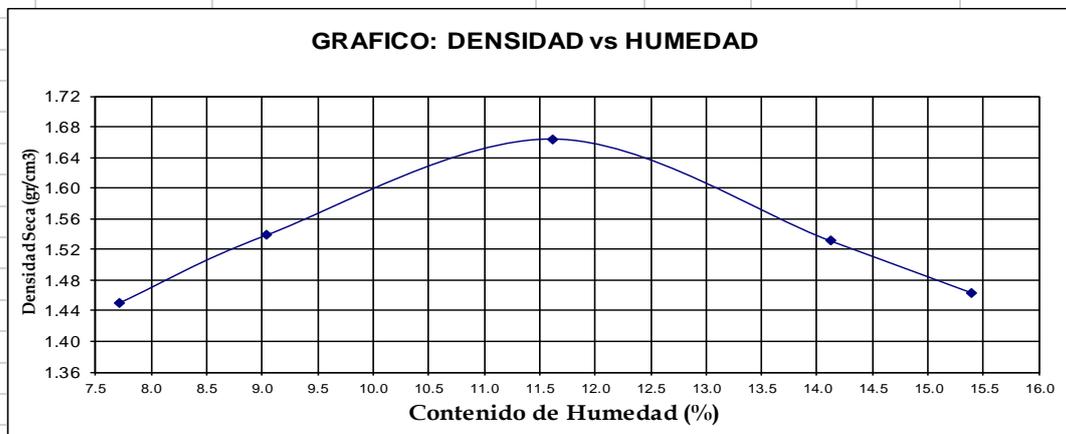
**METODO A**

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTM D- 1557)**

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.870	947.870	947.870	947.870	947.870
2	Peso del molde (gr)	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	3980.000	4090.000	4260.000	4156.000	4100.000
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1480.000	1590.000	1760.000	1656.000	1600.000
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.561	1.677	1.857	1.747	1.688

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

6	Peso de la tara (gr)	32.500	32.450	32.340	32.000	32.055
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	55.658	53.648	61.005	65.665	60.659
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	54.000	51.890	58.020	61.500	53.900
9	Peso del agua (gr)	1.658	1.758	2.985	4.165	6.759
10	Peso del suelo seco (gr)	21.500	19.440	25.680	29.500	43.896
11	Contenido de humedad (%)	7.712	9.043	11.624	14.119	15.398
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.450	1.538	1.663	1.531	1.463



<b>Máxima Densidad Seca</b>	<b>:</b>	<b>1.66 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>:</b>	<b>11.62%</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>E.P. INGENIERIA CIVIL</b>					
		<b>PROYECTO DE TESIS:</b>					
		<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>					
<b>TESISTAS :</b>		<b>BACH. : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO</b>					
		<b>BACH. : VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER</b>					
<b>FECHA : AGOSTO 2019</b>		<b>NIVEL</b>		<b>SUBRASANTE</b>			
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)</b>							
<b>a) Ensayo preliminar de Proctor modificado</b>							
		Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.66</b>				
		Optimo Contenido de Humedad (%)	<b>11.62</b>				
<b>b) Compactación de los moldes CBR</b>							
Molde N°				<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
N° de capas				<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
N° de golpes por capa				<b>56</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	
<b>1</b>	Peso del molde + suelo compactado [gr]			<b>12055.00</b>	<b>10740.00</b>	<b>10665.00</b>	
<b>2</b>	Peso del molde [gr]			<b>7905.00</b>	<b>7206.00</b>	<b>7430.00</b>	
<b>3</b>	Peso de suelo compactado [gr]	<b>(1)-(2)</b>		<b>4150.00</b>	<b>3534.00</b>	<b>3235.00</b>	
<b>4</b>	Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]			<b>2096.00</b>	<b>2078.00</b>	<b>2096.00</b>	
<b>5</b>	Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	<b>(3)/(4)</b>		<b>1.98</b>	<b>1.70</b>	<b>1.54</b>	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA</b>							
Tara N°				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>6</b>	Peso de la tara, [gr]			<b>27.66</b>	<b>27.78</b>	<b>27.63</b>	
<b>7</b>	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]			<b>69.890</b>	<b>60.587</b>	<b>65.145</b>	
<b>8</b>	Peso de la tara + suelo seco, [gr]			<b>64.302</b>	<b>57.519</b>	<b>62.575</b>	
<b>9</b>	Peso del agua, [gr]	<b>(7)-(8)</b>		<b>5.59</b>	<b>3.07</b>	<b>2.57</b>	
<b>10</b>	Peso del suelo seco, [gr]	<b>(8)-(6)</b>		<b>36.64</b>	<b>29.74</b>	<b>34.95</b>	
<b>11</b>	Contenido de humedad, [%]	<b>(9)/(10)x100</b>		<b>15.25</b>	<b>10.32</b>	<b>7.35</b>	
<b>12</b>	Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ]	<b>5/(1+(11)/100</b>		<b>1.718</b>	<b>1.542</b>	<b>1.438</b>	
<b>c) Prueba de penetración</b>							
<b>Penetración</b> (pulg)	<b>Presión patrón</b> (lb/pulg <sup>2</sup> )	<b>Molde N° I</b>		<b>Molde N° II</b>		<b>Molde N° III</b>	
		<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>
0.000		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025		8.0	30.0	4.0	20.0	2.0	15.0
0.050		19.0	57.0	13.0	42.0	7.0	27.0
0.075		29.0	81.0	16.0	49.0	9.0	32.0
0.100	1000	35.0	96.0	18.0	54.0	10.0	35.0
0.125		49.0	130.0	28.0	79.0	15.0	47.0
0.150		64.0	167.0	39.0	106.0	23.0	66.0
0.175		82.0	211.0	47.0	125.0	31.0	86.0
0.200	1500	101.0	258.0	58.0	152.0	38.0	103.0
0.225		119.0	302.0	65.0	170.0	47.0	125.0
0.250		132.0	334.0	76.0	196.0	51.0	135.0
0.275		153.0	385.0	83.0	214.0	59.0	155.0
0.300	1900	170.0	427.0	92.0	236.0	64.0	167.0
0.325		183.0	459.0	98.0	250.0	68.0	177.0
0.350		197.0	493.0	103.0	263.0	73.0	189.0
0.375		212.0	530.0	113.0	287.0	78.0	201.0
0.400	2300	224.0	560.0	119.0	302.0	81.0	209.0
0.425		241.0	601.0	126.0	319.0	87.0	223.0
0.450		258.0	643.0	136.0	344.0	91.0	233.0
0.475		271.0	675.0	145.0	366.0	96.0	246.0
0.500	2600	282.0	702	152.0	383.0	100.0	255.0



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.A.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"

TESISTAS :

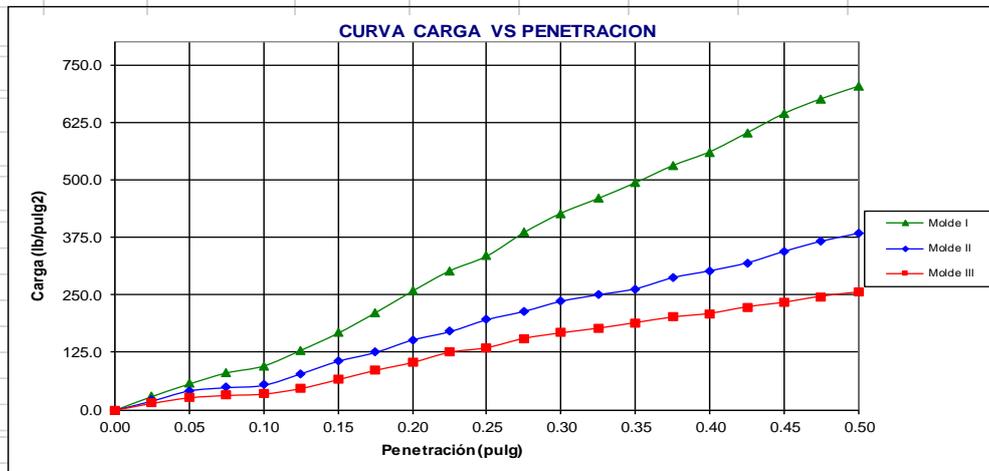
BACH.: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

BACH.: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

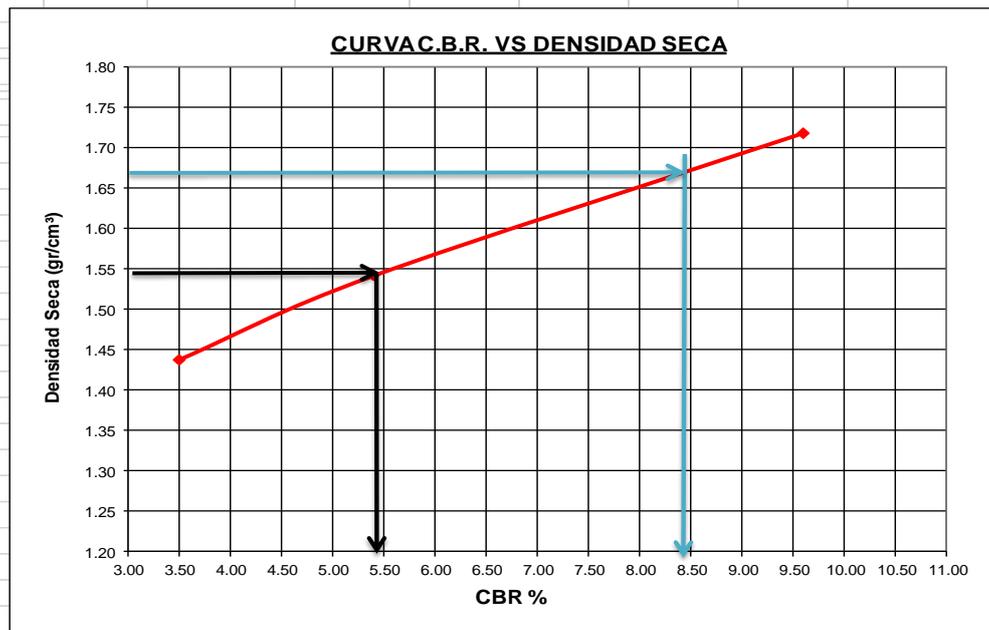
FECHA : AGOSTO 2019

NIVEL

SUBRASANTE



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión aplicada (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	96.0	1000	9.60	0.00
II	0.1	54.0	1000	5.40	0.00
III	0.1	35.0	1000	3.50	0.00



C.B.R. 100% MDS :	8.45%
C.B.R. 95% MDS :	5.35%

1.66



## **ANEXO 4**

### **ENSAYOS SUELO-CONCRETO**

### **ASFÁLTICO RECICLADO**



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>	
<b>TESISTAS : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO</b> <b>: VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO</b>	

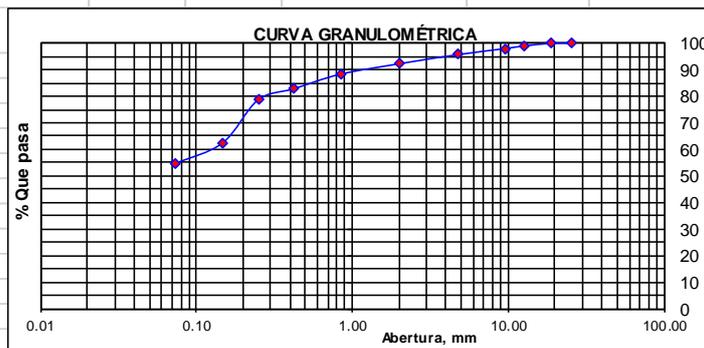
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: PJ DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH"
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019
<b>MUESTRA</b>	<b>SUELO + CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO (10%)</b>

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

<b>Peso Inicial Seco, [gr]</b>	<b>1100.100</b>
--------------------------------	-----------------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	10.60	99.04
3/8"	9.525	11.40	98.00
N° 4	4.760	25.10	95.72
N° 10	2.000	38.00	92.26
N° 20	0.840	43.40	88.32
N° 40	0.425	60.10	82.86
N° 60	0.250	46.90	78.59
N° 100	0.149	177.60	62.45
N° 200	0.074	86.30	54.60
< N° 200	-	600.70	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

<b>A. LÍMITE LÍQUIDO</b>			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**LIMO DE BAJA PLASTICIDAD**

<b>B. LÍMITE PLÁSTICO</b>			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	<b>NO PRESENTA</b>		
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	17.400
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	88.690
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	82.610
4. Peso Agua, [gr]	6.080
5. Peso Suelo Seco, [gr]	65.210
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>9.32</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

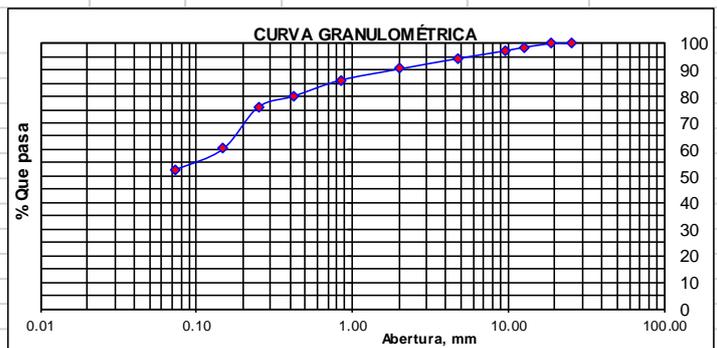
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: PJ DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH"
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019
<b>MUESTRA</b>	<b>SUELO + CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO (15%)</b>

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

<b>Peso Inicial Seco, [gr]</b>	1150.300
--------------------------------	----------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	15.90	98.62
3/8"	9.525	15.80	97.24
N° 4	4.760	33.20	94.36
N° 10	2.000	45.60	90.39
N° 20	0.840	48.60	86.17
N° 40	0.425	68.40	80.22
N° 60	0.250	48.80	75.98
N° 100	0.149	180.70	60.27
N° 200	0.074	90.00	52.45
< N° 200	-	603.30	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

<b>A. LÍMITE LÍQUIDO</b>			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		<b>NO PRESENTA</b>	
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**LIMO DE BAJA PLASTICIDAD**

<b>B. LÍMITE PLÁSTICO</b>			
Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		<b>NO PRESENTA</b>	
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	17.400
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	84.870
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	78.690
4. Peso Agua, [gr]	6.180
5. Peso Suelo Seco, [gr]	61.290
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>10.08</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
<b>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>	
<b>TESISTAS</b>	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO : VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO

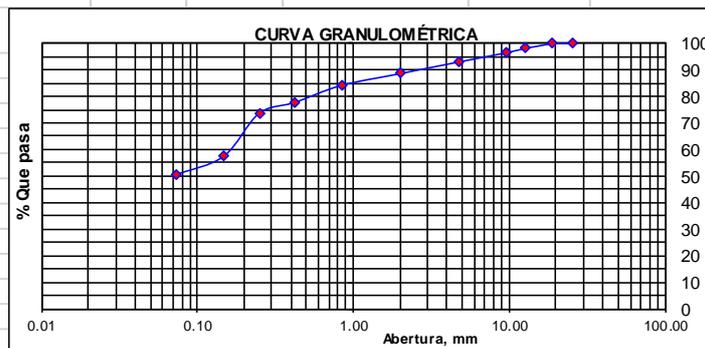
**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO**

<b>UBICACIÓN</b>	: PJ DOS DE MAYO , DISTRITO: CHIMBOTE, PROVINCIA SANTA DEPARTAMENTO DE ANCASH"
<b>FECHA</b>	: AGOSTO DEL 2019
<b>MUESTRA</b>	<b>SUELO + CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO (20%)</b>

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

<b>Peso Inicial Seco, [gr]</b>	1200.200
--------------------------------	----------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% pasa
1"	25.400	0.000	100.00
3/4"	19.050	0.000	100.00
1/2"	12.700	21.20	98.23
3/8"	9.525	20.20	96.55
N° 4	4.760	41.30	93.11
N° 10	2.000	53.20	88.68
N° 20	0.840	53.70	84.20
N° 40	0.425	76.60	77.82
N° 60	0.250	50.70	73.60
N° 100	0.149	193.80	57.45
N° 200	0.074	83.60	50.48
< N° 200	-	605.90	-



**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		NO PRESENTA	
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

**LIMO DE BAJA PLASTICIDAD**

**B. LÍMITE PLÁSTICO**

Procedimiento	Tara No. 01	Tara No. 02	Tara No. 03
1. No de Golpes			
2. Peso Tara, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		NO PRESENTA	
5. Peso Agua, [gr]			
6. Peso Suelo Seco, [gr]			
7. Contenido de Humedad, [%]			

Clasif. SUCS	<b>ML</b>
Clasif. AASHTO	<b>A-4</b>

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

Procedimiento	Tara No
1. Peso Tara, [gr]	18.600
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	88.120
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	81.430
4. Peso Agua, [gr]	6.690
5. Peso Suelo Seco, [gr]	62.830
6. Contenido de Humedad, [%]	<b>10.65</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.A.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS:** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO - CHIMBOTE"

**TESISTAS :**  
**BACH.:** CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
**BACH.:** VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER  
**FECHA :** AGOSTO 2019

**MATERIAL TERRENO NATURAL + 10% CAR**

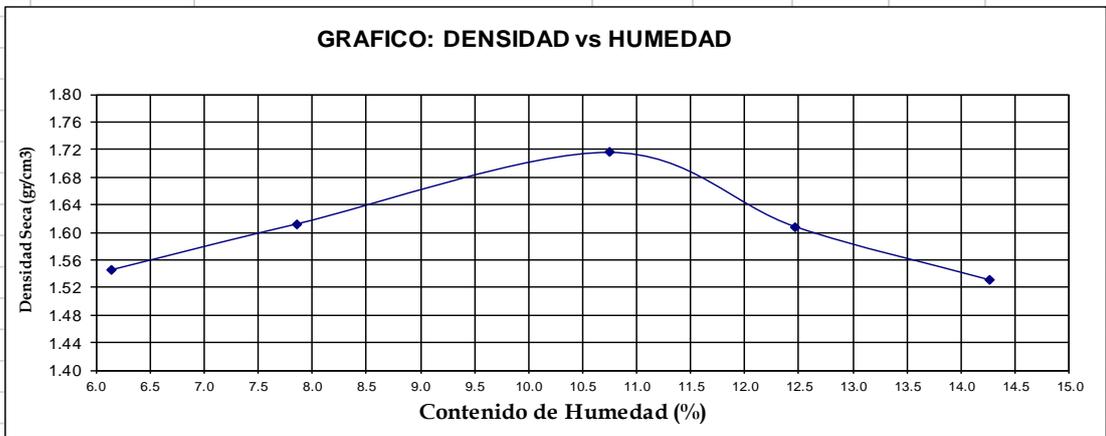
**METODO A**

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTM D- 1557)**

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.870	947.870	947.870	947.870	947.870
2	Peso del molde (gr)	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	4055.000	4148.000	4301.000	4214.000	4158.000
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1555.000	1648.000	1801.000	1714.000	1658.000
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.641	1.739	1.900	1.808	1.749

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

6	Peso de la tara (gr)	32.550	32.400	32.300	32.600	32.050
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	55.658	53.648	61.005	65.665	60.659
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	54.320	52.100	58.220	62.000	54.400
9	Peso del agua (gr)	1.338	1.548	2.785	3.665	6.259
10	Peso del suelo seco (gr)	21.770	19.700	25.920	29.400	43.896
11	Contenido de humedad (%)	6.146	7.858	10.745	12.466	14.259
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.546	1.612	1.716	1.608	1.531



<b>Máxima Densidad Seca</b>	:	<b>1.72 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Contenido de Humedad</b>	:	<b>10.82%</b>



**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE"**

TESISTAS :

BACH.: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

BACH.: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

FECHA : AGOSTO 2019

NIVEL

**SUELO + CARAL 10%**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.72</b>
Optimo Contenido de Humedad (%)	<b>10.82</b>

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	12107.90	10985.80	10843.70
2	Peso del molde [gr]	7905.00	7206.00	7430.00
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2) 4202.90	3779.80	3413.70
4	Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]	2096.00	2078.00	2096.00
5	Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	(3)/(4) 2.01	1.82	1.63

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		1	2	3
6	Peso de la tara, [gr]	27.66	27.78	27.63
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	69.890	60.587	65.145
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	64.302	57.519	62.575
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8) 5.59	3.07	2.57
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6) 36.64	29.74	34.95
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100 15.25	10.32	7.35
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ]	5/(1+(11)/100 1.740	1.649	1.517

c) Prueba de penetración

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025		10.0	35.0	6.0	25.0	3.0	17.0
0.050		22.0	64.0	18.0	54.0	9.0	32.0
0.075		34.0	93.0	23.0	66.0	12.0	39.0
0.100	1000	45.0	120.0	29.0	81.0	15.0	47.0
0.125		64.0	167.0	42.0	113.0	25.0	71.0
0.150		87.0	223.0	60.0	157.0	33.0	91.0
0.175		111.0	282.0	72.0	187.0	45.0	120.0
0.200	1500	133.0	336.0	85.0	219.0	54.0	143.0
0.225		157.0	395.0	99.0	253.0	64.0	167.0
0.250		180.0	452.0	105.0	268.0	70.0	182.0
0.275		208.0	520.0	115.0	292.0	79.0	204.0
0.300	1900	226.0	564.0	125.0	317.0	82.0	211.0
0.325		242.0	604.0	137.0	346.0	87.0	223.0
0.350		261.0	650.0	146.0	368.0	94.0	241.0
0.375		280.0	697.0	155.0	390.0	99.0	253.0
0.400	2300	298.0	741.0	168.0	422.0	103.0	263.0
0.425		320.0	795.0	176.0	442.0	111.0	282.0
0.450		343.0	851.0	187.0	469.0	116.0	295.0
0.475		359.0	891.0	200.0	501.0	122.0	309.0
0.500	2600	373.0	925	209.0	523.0	127.0	322.0



**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**

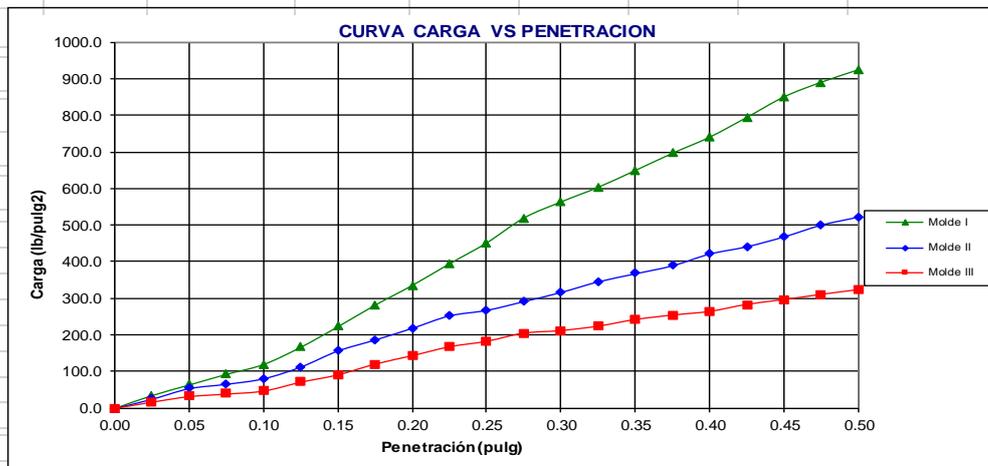
TESISTAS :

BACH.: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
BACH.: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

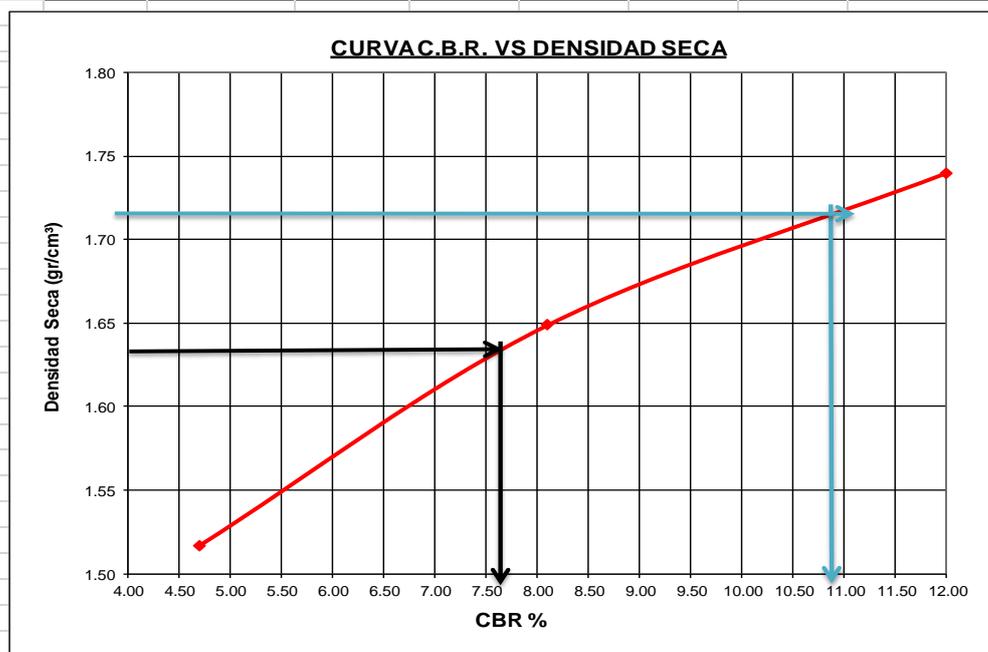
FECHA : AGOSTO 2019

NIVEL

**SUELO + CAR AL 10%**



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión aplicada (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	120.0	1000	12.00	0.00
II	0.1	81.0	1000	8.10	0.00
III	0.1	47.0	1000	4.70	0.00



C.B.R. 100% MDS :	<b>10.80</b>	%	1.716
C.B.R. 95% MDS :	<b>7.60</b>	%	1.630



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE TESIS:** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO - CHIMBOTE"

**TESISTAS** :

**BACH.:** CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

**BACH.:** VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

**FECHA** : AGOSTO 2019

**MATERIAL TERRENO NATURAL + 15% CAR**

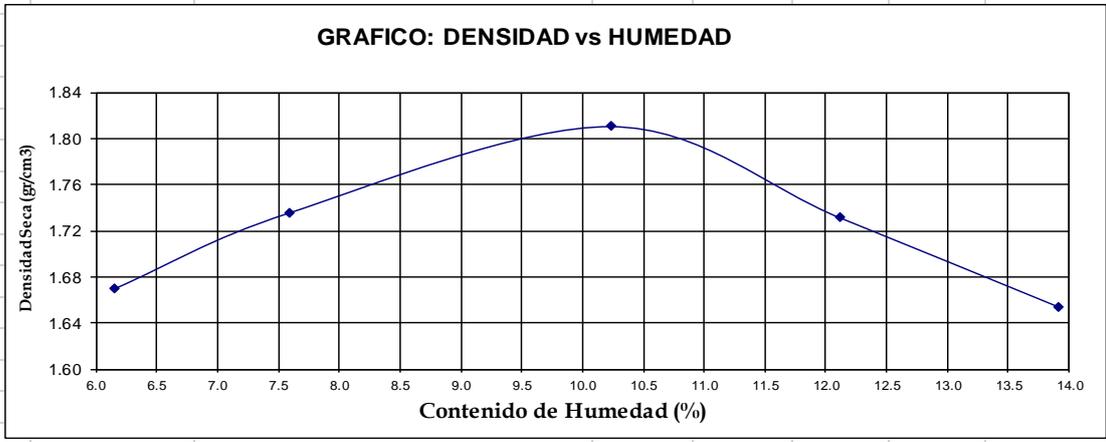
**METODO A**

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTM D- 1557)**

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.870	947.870	947.870	947.870	947.870
2	Peso del molde (gr)	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	4180.000	4270.000	4392.000	4340.000	4286.000
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1680.000	1770.000	1892.000	1840.000	1786.000
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.772	1.867	1.996	1.941	1.884

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

6	Peso de la tara (gr)	32.550	32.400	32.300	32.600	32.050
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	55.658	53.648	61.005	65.665	60.659
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	54.320	52.150	58.340	62.090	54.550
9	Peso del agua (gr)	1.338	1.498	2.665	3.575	6.109
10	Peso del suelo seco (gr)	21.770	19.750	26.040	29.490	43.896
11	Contenido de humedad (%)	6.146	7.585	10.234	12.123	13.917
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.670	1.736	1.811	1.731	1.654



<b>Máxima Densidad Seca</b>	:	<b>1.81 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Contenido de Humedad</b>	:	<b>10.25%</b>



**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE"**

TESISTAS :

BACH.: : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

BACH.: : VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

FECHA : AGOSTO 2019

NIVEL

**SUELO + CARAL 15%**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.81</b>
Óptimo Contenido de Humedad (%)	<b>10.25</b>

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	12340.70	11200.80	11058.00
2	Peso del molde [gr]	7905.00	7206.00	7430.00
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2) 4435.70	3994.80	3628.00
4	Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]	2096.00	2078.00	2096.00
5	Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	(3)/(4) 2.12	1.92	1.73

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		1	2	3
6	Peso de la tara, [gr]	27.66	27.78	27.63
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	71.300	61.980	66.400
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	65.880	57.880	62.680
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8) 5.42	4.10	3.72
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6) 38.22	30.10	35.05
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100 14.18	13.62	10.61
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ]	5/(1+(11)/100) 1.853	1.692	1.565

c) Prueba de penetración

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025		15.0	47.0	7.0	27.0	5.0	22.0
0.050		28.0	79.0	20.0	59.0	11.0	37.0
0.075		39.0	106.0	25.0	71.0	14.0	44.0
0.100	1000	49.0	130.0	33.0	91.0	18.0	54.0
0.125		68.0	177.0	44.0	118.0	28.0	79.0
0.150		90.0	231.0	61.0	160.0	39.0	106.0
0.175		115.0	292.0	75.0	194.0	52.0	138.0
0.200	1500	141.0	356.0	93.0	238.0	63.0	165.0
0.225		158.0	398.0	109.0	277.0	70.0	182.0
0.250		193.0	484.0	122.0	309.0	77.0	199.0
0.275		217.0	542.0	128.0	324.0	87.0	223.0
0.300	1900	247.0	616.0	138.0	349.0	90.0	231.0
0.325		266.0	663.0	149.0	376.0	96.0	246.0
0.350		287.0	714.0	164.0	412.0	103.0	263.0
0.375		308.0	766.0	171.0	430.0	110.0	280.0
0.400	2300	330.0	820.0	187.0	469.0	114.0	290.0
0.425		352.0	874.0	199.0	498.0	123.0	312.0
0.450		377.0	935.0	214.0	535.0	132.0	334.0
0.475		395.0	979.0	232.0	579.0	138.0	349.0
0.500	2600	402.0	996	240.0	599.0	141.0	356.0



**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"**

TESISTAS

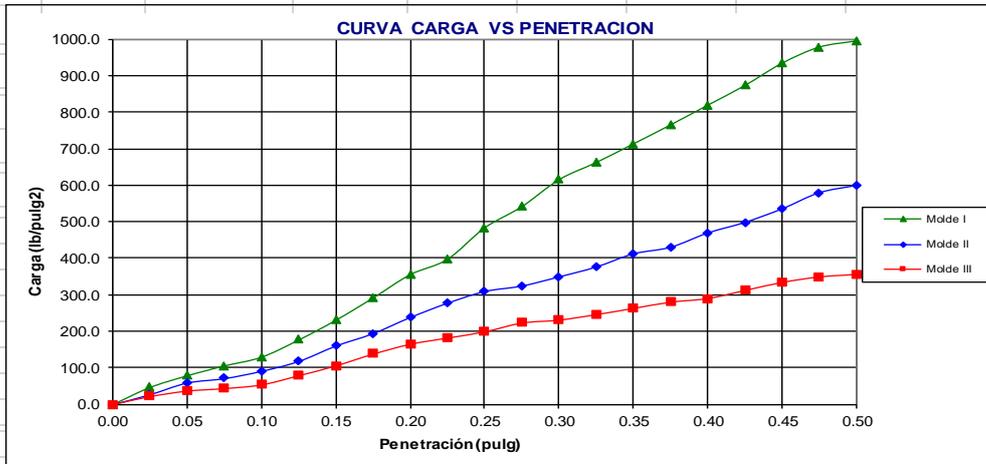
BACH.: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

BACH.: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

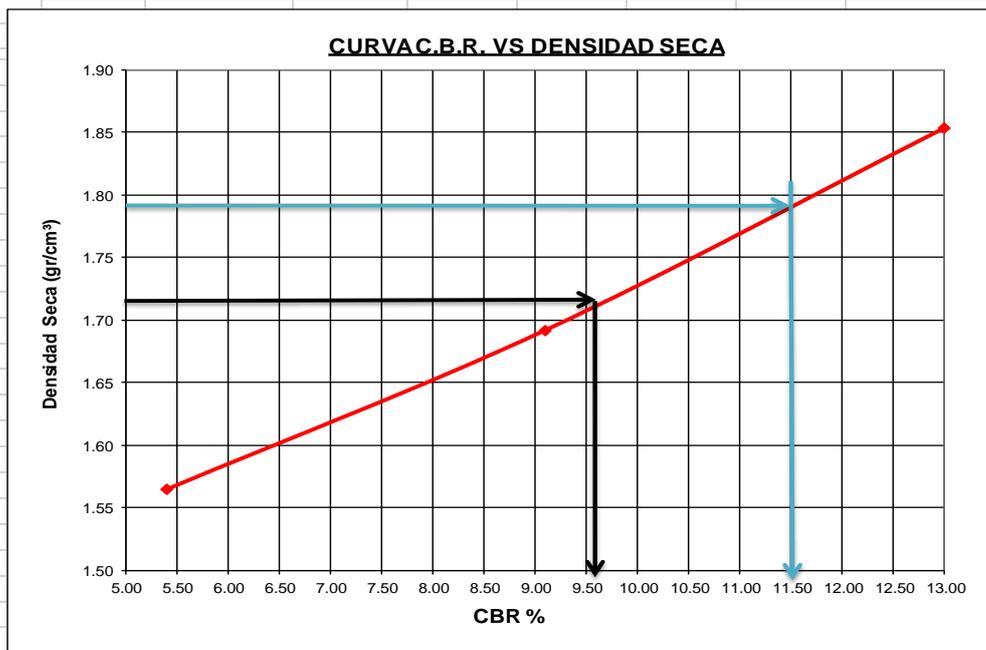
FECHA: AGOSTO 2019

NIVEL

**SUELO + CAR AL 15%**



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión aplicada (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	130.0	1000	13.00	0.00
II	0.1	91.0	1000	9.10	0.00
III	0.1	54.0	1000	5.40	0.00



C.B.R. 100% MDS :	<b>11.50</b>	%
C.B.R. 95% MDS :	<b>9.60</b>	%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**

<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"</b>
---------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>TESISTAS</b>	
BACH.:	: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO
BACH.:	: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER
FECHA	: AGOSTO 2019

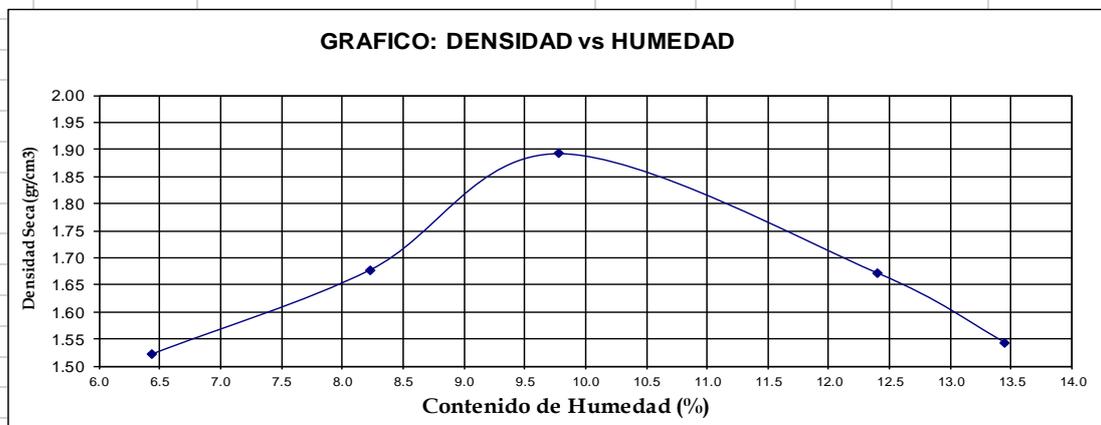
**MATERIAL TERRENO NATURAL + 20% CAR**

**METODO A**  
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTM D- 1557)**

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.870	947.870	947.870	947.870	947.870
2	Peso del molde (gr)	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000	2500.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	4035.000	4221.000	4470.000	4281.000	4160.000
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1535.000	1721.000	1970.000	1781.000	1660.000
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.619	1.816	2.078	1.879	1.751

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

6	Peso de la tara (gr)	32.500	32.450	32.340	32.000	32.055
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	56.330	54.290	61.740	66.450	61.390
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	54.890	52.630	59.120	62.650	55.490
9	Peso del agua (gr)	1.440	1.660	2.620	3.800	5.900
10	Peso del suelo seco (gr)	22.390	20.180	26.780	30.650	43.896
11	Contenido de humedad (%)	6.431	8.226	9.783	12.398	13.441
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.522	1.678	1.893	1.672	1.544



<b>Máxima Densidad Seca</b>	:	<b>1.89 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Contenido de Humedad</b>	:	<b>9.80%</b>



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>E.P. INGENIERIA CIVIL</b>		<b>PROYECTO DE TESIS:</b>							
		<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO - CHIMBOTE"</b>							
<b>TESISTAS :</b>									
<b>BACH. :</b>		CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO							
<b>BACH. :</b>		VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER							
<b>FECHA :</b>		AGOSTO 2019		<b>NIVEL</b>					
				<b>SUELO + CARAL 20%</b>					
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)</b>									
<b>a) Ensayo preliminar de Proctor modificado</b>									
		Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.89</b>						
		Optimo Contenido de Humedad (%)	<b>9.80</b>						
<b>b) Compactación de los moldes CBR</b>									
<b>Molde N°</b>				I	II	III			
<b>N° de capas</b>				5	5	5			
<b>N° de golpes por capa</b>				56	26	12			
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]			12490.70	11240.80	11098.00			
2	Peso del molde [gr]			7905.00	7206.00	7430.00			
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)		4585.70	4034.80	3668.00			
4	Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]			2096.00	2078.00	2096.00			
5	Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	(3)/(4)		2.19	1.94	1.75			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA</b>									
<b>Tara N°</b>				1	2	3			
6	Peso de la tara, [gr]			27.66	27.78	27.63			
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]			71.300	61.980	66.400			
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]			65.880	57.880	62.680			
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)		5.42	4.10	3.72			
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)		38.22	30.10	35.05			
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100		14.18	13.62	10.61			
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ]	5/(1+(11)/100)		1.916	1.709	1.582			
<b>c) Prueba de penetración</b>									
<b>Penetración (pulg)</b>		<b>Presión patrón (lb/pulg<sup>2</sup>)</b>		<b>Molde N° I</b>		<b>Molde N° II</b>		<b>Molde N° III</b>	
				<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>
0.000				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025				18.0	54.0	9.0	32.0	6.0	25.0
0.050				32.0	89.0	24.0	69.0	12.0	39.0
0.075				42.0	113.0	30.0	84.0	15.0	47.0
0.100	1000			54.0	143.0	37.0	101.0	22.0	64.0
0.125				73.0	189.0	46.0	123.0	32.0	89.0
0.150				92.0	236.0	62.0	162.0	44.0	118.0
0.175				117.0	297.0	79.0	204.0	56.0	147.0
0.200	1500			146.0	368.0	97.0	248.0	69.0	179.0
0.225				168.0	422.0	115.0	292.0	77.0	199.0
0.250				198.0	496.0	129.0	327.0	85.0	219.0
0.275				222.0	555.0	139.0	351.0	93.0	238.0
0.300	1900			259.0	645.0	152.0	383.0	99.0	253.0
0.325				283.0	704.0	166.0	417.0	106.0	270.0
0.350				312.0	775.0	177.0	444.0	113.0	287.0
0.375				339.0	842.0	188.0	471.0	121.0	307.0
0.400	2300			363.0	901.0	206.0	515.0	128.0	324.0
0.425				387.0	959.0	224.0	560.0	135.0	341.0
0.450				405.0	1004.0	246.0	614.0	145.0	366.0
0.475				435.0	1050.0	266.0	663.0	151.0	380.0
0.500	2600			432.0	1070	281.0	699.0	155.0	390.0



**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE"**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
E.P. INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO DE TESIS:

**"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE"**

TESISTAS :

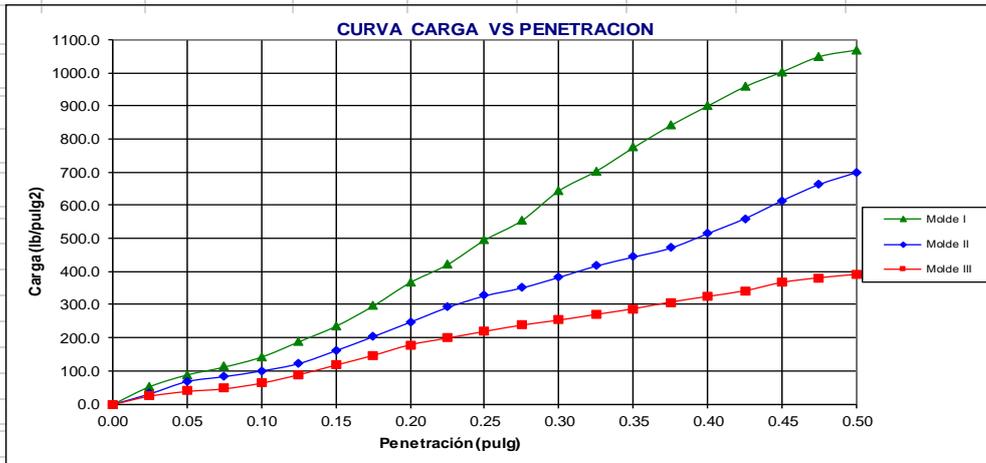
BACH.: CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO

BACH.: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

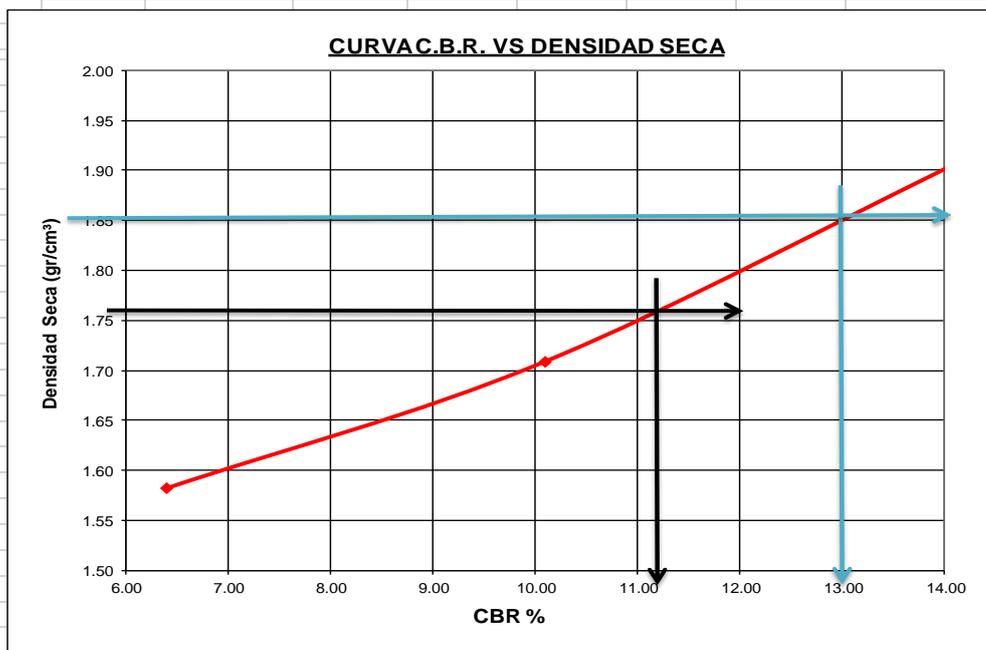
FECHA : AGOSTO 2019

NIVEL

**SUELO + CAR AL 20%**



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión aplicada (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	143.0	1000	14.30	0.00
II	0.1	101.0	1000	10.10	0.00
III	0.1	64.0	1000	6.40	0.00



C.B.R. 100% MDS :	<b>13.00</b>	%
C.B.R. 95% MDS :	<b>11.10</b>	%



## **ANEXO 5**

### **DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE**

### **MEDIANTE EL METODO ASSTHO -93.**



**DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO 1993**

**CBR : 5.35%**

**TESIS:"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE**

**TESISTAS:** : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

**FECHA** : **AGOSTO 2019**

**1. REQUISITOS DEL DISEÑO**

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1.80E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45

**2. PROPIEDADES DE MATERIALES**

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN2)	30000.00
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15000.00
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	7.47

**3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)**

<b>SN Requerido</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>N18 NOMINAL</b>	<b>N18 CALCULO</b>
<b>4.07</b>	-0.20091	6.26	6.26

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Subbase (a3)	0.12
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.35
Subbase (m3)	1.35

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)	ESP. (Pulg)
1	4.07	4.32	5	25	25	22
2						

Ingrese espesores de capas de tal manera que  
SN resul > SN req



**DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO 1993**

**CBR : 7.60%**

**ESIS:"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE**

**TESISTAS:** : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

**FECHA :** AGOSTO 2019

**1. REQUISITOS DEL DISEÑO**

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1.80E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45

**2. PROPIEDADES DE MATERIALES**

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN2)	30000.00
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15000.00
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	9.36

**3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)**

<b>SN Requerido</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>N18 NOMINAL</b>	<b>N18 CALCULO</b>
<b>3.75</b>	-0.20091	6.26	6.26

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Subbase (a3)	0.12
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.35
Subbase (m3)	1.35

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)	ESP. (Pulg)
1	3.75	3.95	5	20	25	20

Ingrese espesores de capas de tal manera que  
SN resul > SN req



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**



**DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO 1993**

**CBR : 9.20%**

**ESIS:"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE**

**TESISTAS:** : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

**FECHA :** AGOSTO 2019

**1. REQUISITOS DEL DISEÑO**

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1.80E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)	2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45

**2. PROPIEDADES DE MATERIALES**

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN2)	30000.00
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15000.00
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	10.57

**3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)**

SN Requerido	G <sub>t</sub>	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
<b>3.58</b>	-0.20091	6.26	6.26

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Subbase (a3)	0.12
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.35
Subbase (m3)	1.35

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)	ESP. (Pulg)
1	3.58	3.63	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	18

Ingrese espesores de capas de tal manera que  
SN resul > SN req



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**



**DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO 1993**

**CBR : 11.10%**

**SIS:"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO- CHIMBOTE**

**TESISTAS:** : CAMPOS RODRIGUEZ JOSÉ LORENZO  
: VEGA ARROYO EDUARDO ALEXANDER

**FECHA** : **AGOSTO 2019**

**1. REQUISITOS DEL DISEÑO**

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1.80E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45

**2. PROPIEDADES DE MATERIALES**

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN2)	30000.00
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15000.00
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	11.92

**3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)**

<b>SN Requerido</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>N18 NOMINAL</b>	<b>N18 CALCULO</b>
<b>3.42</b>	-0.20091	6.26	6.26

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	0.44
Base granular (a2)	0.14
Subbase (a3)	0.12
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.35
Subbase (m3)	1.35

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)	ESP. (Pulg)
1	3.42	3.44	5	17.5	20	17
2						

Ingrese espesores de capas de tal manera que  
SN resul > SN req



**ANEXO 6:**

**PANEL FOTOGRAFICO.**



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO -CHIMBOTE”**

---



Foto 01.- Vista Panorámica del Jr. San Juan en el P.J. Dos de mayo.



Foto 02.- Vista Panorámica del Jr. San Juan en el P.J. Dos de mayo.



Foto 03.- excavación de Calicata 01 en el Jr. San Juan, PJ. Dos de Mayo



Foto 04.-Excavación de Calicata 01 en el Jr. San Juan, PJ. Dos de Mayo.



Foto 05.-Excavación de Calicata 04 en el Jr. San Juan, PJ. Dos de Mayo.



Foto 06.- Medición de Profundidad de Calicata



Foto 07.- Ensayo CBR, de terreno de Fundación.



Foto 08 .- Pesado de muestras para el análisis granulométrico.



Foto 09.- análisis granulométrico por lavado.



Foto 10.- análisis Granulométrico por tamizado.



Foto 11 .- Secado de muestras en horno eléctrico.



Foto 12.- Muestras de concreto Asfáltico Reciclado



Foto 13.- Molde para Ensayo Proctor Modificado.



Foto 14.- Ensayo Proctor Modificado.



## DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, JOSE LORENZO CAMPOS RODRIGUEZ

estudiante / docente de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	x
Escuela Profesional:	Ingeniería Civil					
Departamento Académico:	Ingeniería Civil y Sistemas e Informática					
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

"ESTABILIZACION DE SUELOS CON CONCRETO ASFALTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE"

presentado en ..... folios, para la obtención del Grado académico: ( )

Título profesional: ( X ) Investigación anual: ( )

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 12 de mayo de 2021

Firma:

Nombres y Apellidos: JOSE LORENZO CAMPOS RODRIGUEZ

DNI: 44349632

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis y investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.



## DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, ALEXANDER EDUARDO VEGA ARROYO

estudiante / docente de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	x
Escuela Profesional:	Ingeniería Civil					
Departamento Académico:	Ingeniería Civil y Sistemas e Informática					
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

"ESTABILIZACION DE SUELOS CON CONCRETO ASFALTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO-CHIMBOTE"

presentado en ..... folios, para la obtención del Grado académico: ( )

Título profesional: ( X ) Investigación anual: ( )

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 12 de mayo de 2021

Firma:

Nombres y Apellidos: ALEXANDER EDUARDO VEGA ARROYO

DNI: 42731715

**NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.**