

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



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

---

**“Adición del cemento Portland para mejorar el Índice  
CBR en el Pavimento en H.U.P Unión del Sur,  
Nuevo Chimbote, 2022”**

---

---

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Civil**

**Autores:**

**Bach. Casamayor Espinoza, Elvis Armando  
Bach. Castillo Cango, Keila Yasmin**

**Asesor:**

**Ms. Rivasplata Díaz, Julio César  
DNI. N°. 32770844  
Código ORCID: 0000-0002-4180-9362**

**Nuevo Chimbote - Perú  
2023**

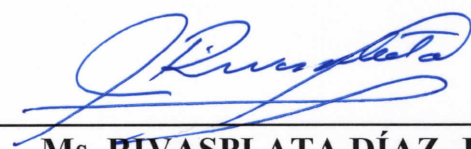
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

Yo, Julio César Rivasplata Díaz, por intermedio de la presente y en condición de asesor, doy conformidad a la tesis titulada: **“Adición del Cemento Portland para Mejorar el Índice CBR en El Pavimento en H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote, 2022”** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, habiéndose ejecutado según el reglamento general para obtener el título profesional de Ingeniero Civil.



---

**Ms. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César**

**Asesor**

DNI: 32770844

Código ORCID: 0000-0002-4180-9362

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“Adición del Cemento Portland para Mejorar el Índice CBR en El  
Pavimento en H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote, 2022”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

REVISADO Y APROBADA POR LOS SIGUIENTES JURADOS:

**Ms. VILLAVICENCIO GONZÁLEZ, Felipe Eleuterio**  
**Presidente**

DNI: 26673663

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-3500-2378

**Mg. FERNÁNDEZ MANTILLA, Jenisse Del Rocío**  
**Secretaria**

DNI: 33264434

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-3336-4786

**Ms. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César**  
**Integrante**

DNI: 32770844

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-4180-9362

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2023**





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

# FACULTAD DE INGENIERÍA

## Escuela Profesional de Ingeniería Civil

- EPIC -

### ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

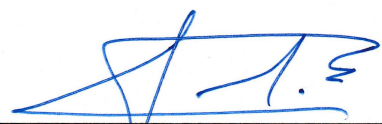
A los 03 días del mes de agosto del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 30 horas , en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 432-2023-UNS-CFI, con fecha 10.07.2023, integrado por los siguientes docentes: Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Presidente), Mg. Jenisse Del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz (Integrante), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° .....-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR EN EL PAVIMENTO EN H.U.P UNION DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022", presentado por los Bachilleres: CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO con cód. N° 0201313009, y CASTILLO CANGO KEILA YASMIN con cód. N° 0201513042, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 669-2021-UNS-FI, de fecha 24.11.2021.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| BACHILLER                        | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|----------------------------------|--------------------|-------------|
| CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO | 18                 | BUENO       |

Siendo la 12.30 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 03 agosto de 2023.

  
Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González  
Presidente

  
Mg. Jenisse Del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Integrante



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 03 días del mes de agosto del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 30 horas , en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 432-2023-UNS-CFI, con fecha 10.07.2023, integrado por los siguientes docentes: Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Presidente), Mg. Jenisse Del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz (Integrante), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° .....-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR EN EL PAVIMENTO EN H.U.P UNION DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022", presentado por los Bachilleres: CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO con cód. N° 0201313009, y CASTILLO CANGO KEILA YASMIN con cód. N° 0201513042, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 669-2021-UNS-FI, de fecha 24.11.2021.


El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| BACHILLER                   | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|-----------------------------|--------------------|-------------|
| CASTILLO CANGO KEILA YASMIN | 18                 | BUENO       |

Siendo la 12.30 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 03 agosto de 2023.

  
Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González  
Presidente

  
Mg. Jenisse Del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Integrante




## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.


La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Elvis Armando Casamayor Espinoza  
Título del ejercicio: ADICION DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL INDIC...  
Título de la entrega: ADICION DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL INDIC...  
Nombre del archivo: CASAMAYOR\_-\_CASTILLO.docx  
Tamaño del archivo: 6.63M  
Total páginas: 158  
Total de palabras: 20,370  
Total de caracteres: 104,818  
Fecha de entrega: 25-jul.-2023 09:38 a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2123122361

 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.P. de Ingeniería Civil

---

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

 **UNSA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

“ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL  
INDICE CBR EN EL PAVIMENTO EN H.U.P UNIÓN DEL SUR,  
NUEVO CHIMBOTE, 2023”

AUTORES:  
Bach. Casamayor Espinoza Elvis Armando  
Bach. Castillo Cango Keila Yasmin

ASESOR:  
Ms. Ing. JULIO RIVASPLATA DIAZ

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2023

---

CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO | CASTILLO CANGO KEILA YASMIN

# ADICION DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL INDICE CBR EN EL PAVIMENTO EN EL HUP. UNION DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE. 2022.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | <a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 6% |
| 2 | <a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                 | 4% |
| 3 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo<br>Trabajo del estudiante                          | 4% |
| 4 | <a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 3% |
| 5 | <a href="https://vsip.info">vsip.info</a><br>Fuente de Internet                           | 2% |
| 6 | <a href="https://documents.tips">documents.tips</a><br>Fuente de Internet                 | 1% |
| 7 | <a href="https://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a><br>Fuente de Internet   | 1% |
| 8 | Submitted to Universidad Alas Peruanas<br>Trabajo del estudiante                          | 1% |



## DEDICATORIA

A mis padres, a Elvis por su esfuerzo  
día a día, por demostrar que con esfuerzo  
y amor a la familia se cumplen las metas;  
a Gladys, mi protectora que vela cada día  
por mi bienestar.

A mis hermanos, Adela, Jenifer y Alexandra por  
ser la luz que llegó a mi vida, Renzo y Miguel  
por brindarme su apoyo en todo momento.

A mi esposa, Jimena por brindarme  
Su amor y apoyo incondicional en los momentos  
que más lo he necesitado, por aconsejarme  
y ser mi compañera en el camino de la vida.

*Elvis Armando Casamayor Espinoza*

## DEDICATORIA

A mi padre, a Humberto por su esfuerzo  
día a día, por demostrar que esta vida  
todo se puede lograr siendo perseverantes;  
a Felicita, mi luz que desde lo alto cada día  
me cuida y protege.

A mi hermana, Nereida por  
Ser mi compañera de vida y estar en cada  
momento del día dispuesta a ayudarme.

A mi prima, María por brindarme  
Su amor y apoyo incondicional en los momentos  
que más lo he necesitado.

***Keila Yasmin Castillo Cango***

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por darme vida,  
salud y sabiduría para saber afrontar las  
distintas pruebas que se me han presentado  
en la vida y por ser mi guía en todo momento.

A la familia; tíos, primos, abuelos, sobrinos,  
que siempre estuvieron a la expectativa de  
saber cómo íbamos en nuestra carrera profesional  
y nos aconsejaron hasta el final de ella.

A nuestro asesor el Ms. Julio César Rivasplata Díaz,  
por su desinteresada contribución e incondicional  
forma de poder instruirnos para la elaboración  
de presente trabajo de Informe de Tesis.



## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| DEDICATORIA .....                               | vi        |
| DEDICATORIA .....                               | vii       |
| AGRADECIMIENTO.....                             | viii      |
| ÍNDICE.....                                     | ix        |
| RESUMEN .....                                   | xvii      |
| ABSTRACT .....                                  | xviii     |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                     | <b>18</b> |
| <i>1.1. Antecedentes.....</i>                   | <i>18</i> |
| 1.1.1. Antecedentes del problema.....           | 18        |
| <i>1.2. Formulación Del Problema .....</i>      | <i>21</i> |
| 1.2.1. Problema General .....                   | 21        |
| 1.2.2. Problema Especifico .....                | 23        |
| <i>1.3. Objetivos.....</i>                      | <i>23</i> |
| 1.3.1. Objetivo General.....                    | 23        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos .....              | 23        |
| <i>1.4. Justificación.....</i>                  | <i>24</i> |
| <i>1.5. Limitación.....</i>                     | <i>24</i> |
| 1.5.1. Limitación del trabajo.....              | 24        |
| <i>1.6. Hipótesis de la Investigación .....</i> | <i>24</i> |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>                   | <b>26</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.1. Antecedentes De La Investigación.....</b>                          | <b>26</b> |
| 2.1.1. INTERNACIONAL.....  | 26        |
| 2.1.2. NACIONAL.....   | 26        |
| <b>2.2. Base Teórica.....</b>  | <b>28</b> |
| 2.2.1. Pavimentos.....   | 28        |
| 2.2.2. Subrasante.....   | 28        |
| 2.2.2.1. Definición.....   | 28        |
| 2.2.2.2. Propiedades de la Subrasante.....                                 | 28        |
| 2.2.3 Estructura de Pavimentos Flexibles.....                              | 30        |
| 2.2.2.3. Subbase.....  | 31        |
| 2.2.2.4. Base.....   | 31        |
| 2.2.2.5. Capa de rodadura.....   | 32        |
| 2.2.3. Canteras.....   | 32        |
| 2.2.3.1. Definición:.....  | 32        |
| 2.2.3.2. Clasificación.....  | 32        |
| 2.2.4. Agregados.....  | 33        |
| 2.2.4.1. Definición.....   | 33        |
| 2.2.4.2. Clasificación.....  | 33        |
| 2.2.5.3 Especificaciones granulométricas: Subbases y Bases Granulares..... | 35        |
| 2.2.5.4 Calidad de los agregados.....                                      | 36        |
| 2.2.5.5 Ensayos que determinan las propiedades de los agregados.....       | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.5. Clasificación de suelos .....  | 43        |
| 2.2.5.1. Clasificación AASHTO M-145.....  | 44        |
| 2.2.5.2. Clasificación SUCS.....  | 46        |
| 2.2.6. Cemento Portland .....   | 46        |
| 2.2.6.1. Definición.....  | 46        |
| 2.2.6.2. Tipos de cemento portland .....  | 47        |
| 2.2.6.3. Métodos de Ensayos.....  | 47        |
| 2.2.7. Estabilización de suelos.....  | 48        |
| 2.2.7.1. Definición.....  | 48        |
| <b>2.2.8.2 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos.....</b> | <b>48</b> |
| <b>2.2.8.3 Tipos de estabilización .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>2.2.8.4 Método granulométrico o de mezclas .....</b>                               | <b>50</b> |
| <b>2.2.8.5 Bases y Subbases tratadas .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>2.2.9 Método gráfico de optimización de granulometrías .....</b>                   | <b>52</b> |
| <b>2.2.10 Metodología de diseño de un pavimento flexible .....</b>                    | <b>54</b> |
| <b>2.2.10.1 Método Guía AASHTO 93 de diseño.....</b>                                  | <b>54</b> |
| <b>2.3. Definición de términos.....</b>   | <b>64</b> |
| 2.3.1. Agente estabilizador .....   | 64        |
| 2.3.2 Propiedades físicas .....   | 64        |
| 2.3.3 Propiedades mecánicas .....   | 64        |
| 2.3.4 Tráfico .....   | 64        |



|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.3.5       | Pavimentos urbanos.....   | 64        |
| <b>2.4</b>  | <b><i>Marco normativo</i></b> .....   | <b>64</b> |
| 2.4.1       | Manual de Ensayos de Materiales- Ministerio de Transportes y Comunicaciones .   | 64        |
| 2.4.2       | N.T.E. CE. 010 pavimentos Urbanos- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento .....                                       | 65        |
| 2.4.3       | Manual de carreteras – Especificaciones técnicas generales para la construcción- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. .... | 65        |
| 2.4.4       | Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos- Ministerio de Transportes y Comunicaciones .....                              | 66        |
| <b>III.</b> | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....   | <b>68</b> |
| <b>3.1.</b> | <b><i>Tipo de investigación</i></b> .....   | <b>68</b> |
| <b>3.2.</b> | <b><i>Nivel de investigación</i></b> .....  | <b>68</b> |
| <b>3.3.</b> | <b><i>Diseño de investigación</i></b> .....   | <b>69</b> |
| <b>3.4.</b> | <b><i>Unidad de análisis</i></b> .....  | <b>70</b> |
| <b>3.5.</b> | <b><i>Ubicación</i></b> .....   | <b>70</b> |
| <b>3.6</b>  | <b><i>Población y muestra</i></b> .....   | <b>70</b> |
| 3.6.1       | <b>Población</b> .....  | 70        |
| 3.6.2       | <b>Muestra</b> .....  | 71        |
| <b>3.7</b>  | <b><i>Variables</i></b> .....   | <b>71</b> |
| 3.7.2       | <b><i>Variable independiente</i></b> .....  | 71        |
| 3.7.3       | <b><i>Variable dependiente</i></b> .....  | 71        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                    | <b>89</b>  |
| <i>4.1. Análisis e interpretación de resultados.....</i>                   | <i>89</i>  |
| <i>4.2. PRUEBA DE HIPOTESIS .....</i>                                      | <i>109</i> |
| <b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                             | <b>115</b> |
| <i>5.1. CONCLUSIONES.....</i>  | <i>115</i> |
| <i>5.2. RECOMENDACIONES .....</i>  | <i>116</i> |
| <b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES .....</b>                    | <b>119</b> |
| <b>VII. ANEXOS .....</b>   | <b>123</b> |
| <i>7.1. Anexo 01 - Ensayo de Laboratorio .....</i>                         | <i>123</i> |
| Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM-D421). .....                    | 123        |
| Ensayo Proctor Modificado MTC-E115.....                                    | 131        |
| Ensayo California Bearing Ratio – CBR. (ASTM D-1883).....                  | 132        |
| <i>7.2. Anexo 02 - Panel Fotográfico.....</i>                              | <i>146</i> |
| <i>7.3. Anexo 03 -Diseño de Pavimento .....</i>                            | <i>151</i> |
| <i>7.4. Anexo 04 – Plano de Ubicación de la H.U.P. Unión del Sur .....</i> | <i>157</i> |

### Índice de Tablas

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla 1 Categorías de Subrasante .....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>Tabla 2 Requerimientos Granulométricos para Base Granular.....</b>               | <b>35</b> |
| <b>Tabla 3 Requerimientos Granulométricos para Base Granular.....</b>               | <b>36</b> |
| <b>Tabla 4 Requerimientos Técnicos para Materiales empleados en Construcción de</b> |           |

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Carreteras .....</b>   | <b>37</b>     |
| <b>Tabla 5 Clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas .....</b>  | <b>38</b>     |
| <b>Tabla 6 Clasificación de los suelos según el Índice de Plasticidad .....</b>   | <b>40</b>     |
| <b>Tabla 7 Clasificación de los suelos según el Equivalente de Arena .....</b>  | <b>41</b>     |
| <b>Tabla 8 Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS.....</b>  | <b>43</b>     |
| <b>Tabla 9 Clasificación de Suelos- Método AASHTO.....</b>  | <b>- 45 -</b> |
| <b>Tabla 10 Niveles de confiabilidad en una sola etapa de diseño según rango de tráfico.....</b>  | <b>56</b>     |
| <b>Tabla 11 Valores de Zr en función de la confiabilidad .....</b>  | <b>57</b>     |
| <b>Tabla 12 Calificación según el índice de serviciabilidad presente .....</b>  | <b>58</b>     |
| <b>Tabla 13 Calidad del drenaje .....</b>   | <b>63</b>     |
| <b>Tabla 14 Valores de mi recomendado para los coeficientes de capa modificados en pavimentos flexibles .....</b>   | <b>63</b>     |
| <b>Tabla 15 Contenido de humedad promedio.....</b>  | <b>93</b>     |
| <b>Tabla 16.....</b>  | <b>94</b>     |
| <b>Tabla 17 : Resumen de Clasificación de Suelos .....</b>  | <b>95</b>     |
| <b>Tabla 18 Contrastación de Hipótesis de material de subrasante con adición de Cemento Portland tipo MS más material de base con adición de cemento Portland tipo MS .....</b> | <b>109</b>    |

### **Índice de Figuras**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 01 estructura de un pavimento flexible.....</b> | <b>30</b> |
|---|-----------|



|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 02 Optimización de las Granulometrías.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>Figura 03 Carta para la estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el módulo elástico .....</b> | <b>60</b> |
| <b>Figura 04 Variación en el coeficiente estructura de capa base (a2) con diferentes parámetros de resistencia .....</b>                                  | <b>61</b> |
| <b>Figura 05 Variación en el coeficiente estructura de capa sub base (a3) con diferentes parámetros de subbase.....</b>                                   | <b>62</b> |
| <b>Figura 06 Diseño de investigación.....</b>   | <b>69</b> |
| <b>Figura N° 07 Granulometría de la calicata N° 01 Estrato de 0.00 a -0.20,.....</b>  | <b>89</b> |
| <b>Figura N° 08 Granulometría de la calicata N° 01 Estrato de 0.20m a -1.50m.....</b>   | <b>90</b> |
| <b>Figura N° 09 Granulometría de la calicata N° 02 Estrato de 0.00m a -0.20m,.....</b>  | <b>90</b> |
| <b>Figura N° 10 Granulometría de la calicata N° 02 Estrato de 0.20m a -1.50m .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>Figura N° 11 Granulometría de la calicata N° 03 Estrato de 0.00m a -0.30m.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>Figura N° 12 Granulometría de la calicata N° 03 Estrato de 0.30m a -1.50m,.....</b>  | <b>92</b> |
| <b>Figura N° 13 Granulometría de la calicata N° 04 Estrato de 0.00m a -0.30m.....</b>   | <b>92</b> |
| <b><u>Figura N° 14</u> Granulometría de la calicata N° 04 Estrato de 0.30m a -1.50m.....</b>  | <b>93</b> |
| <b><u>Figura N° 15</u> Proctor modificado de terreno natural subrasante.....</b>  | <b>96</b> |
| <b><u>Figura N° 16</u> Índice CBR de terreno natural subrasante.....</b>  | <b>96</b> |
| <b><u>Figura N° 17</u> Proctor modificado de terreno natural subrasante + 2% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>                                | <b>97</b> |
| <b><u>Figura N° 18</u> Índice CBR de terreno natural subrasante + 2% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>  | <b>97</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b><u>Figura N° 19</u> Proctor modificado de terreno natural subrasante + 4% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>                                  | <b>98</b>  |
| <b><u>Figura N° 20 Índice</u> CBR de terreno natural subrasante + 4% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>  | <b>98</b>  |
| <b><u>Figura N° 21</u> Proctor modificado de terreno natural subrasante + 6% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>                                  | <b>99</b>  |
| <b><u>Figura N° 22 Índice</u> CBR de terreno natural subrasante + 6% adición de cemento portland tipo MS. ....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>Figura N° 23 Ensayo Proctor modificado material de base y sub base sin adición<br/>.....</b>   | <b>100</b> |
| <b><u>Figura N° 24</u> Ensayo CBR de material de base y sub base sin adición. ....</b>  | <b>101</b> |
| <b><u>Figura N° 25</u> Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 3% de cemento Portland tipo MS. ....</b>                        | <b>101</b> |
| <b><u>Figura N° 26</u> Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 4% de cemento Portland tipo MS. ....</b>                        | <b>102</b> |
| <b>Figura N° 27 Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 5% de cemento Portland tipo MS. ....</b>                               | <b>102</b> |
| <b><u>Figura N° 28</u> Ensayo de resistencia a la compresión no confinada del material de base y sub base con adición de cemento Portland tipo MS. ....</b> | <b>103</b> |
| <b>Figura N° 29 .....</b>   | <b>103</b> |
| <b>Figura 30 Distribución T de Student para Adición de cemento en material de subrasante y base. ....</b>   | <b>111</b> |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en emplear cemento portland, como material estabilizante en las capas de base y subrasante de un pavimento flexible en el HUP Unión del Sur de la ciudad de Nuevo Chimbote, tomando como muestra el material granular de la Cantera San Pedrito.

Se realizó una investigación del tipo Aplicada- Experimental, por lo que, para el cumplimiento de los objetivos de la presente, se evaluó el material granular, el cemento portland y la combinación de estas de acuerdo a la NTP y el MTC, mediante ensayos de laboratorio y la realización del diseño del pavimento flexible mediante el Método AASHTO-1993.

Al adicionar cemento Portland a la sub rasante en porcentajes de 2%,4% y 6% se observó que notablemente aumentó el índice CBR en ella y complementando con una adición de 3% en el material de base el espesor de la estructura del pavimento pudo optimizarse hasta en un 50% en el espesor estructural de este pavimento.

**PALABRAS CLAVES:** Índice CBR, subrasante, material de base, Cemento Portland, Pavimento Flexible.

## **ABSTRACT**

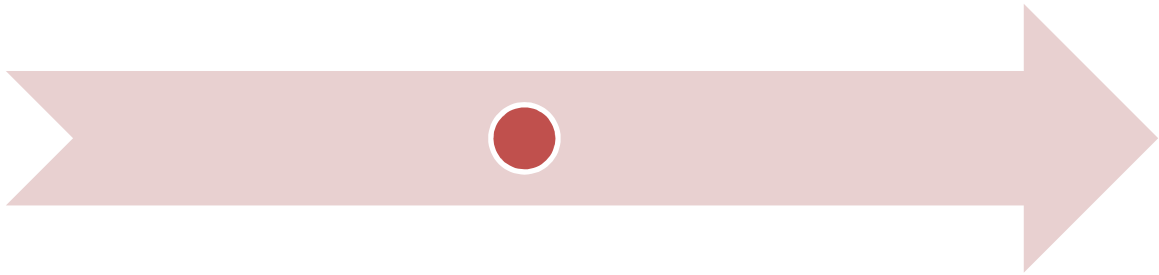
The present research work consisted of using Portland cement as a stabilizing material in the base and subgrade layers of a flexible pavement in the HUP Unión del Sur in the city of Nuevo Chimbote, taking as a sample the granular material from the San Pedrito Quarry.

An investigation of the Applied-Experimental type was carried out, therefore, in order to fulfill the objectives of the present, the granular material, the Portland cement and the combination of these were evaluated according to the NTP and the MTC, through tests of laboratory and the realization of the design of the flexible pavement by means of the AASHTO-1993 Method.

By adding Portland cement to the subgrade in percentages of 2%, 4% and 6%, it was observed that the CBR index increased remarkably in it and complementing with an addition of 3% in the base material, the thickness of the pavement structure could be optimized by up to 50% in the structural thickness of this pavement.

**KEY WORDS:** CBR index, subgrade, base material, Portland Cement, Flexible Pavement.

# CAPÍTULO I



# INTRODUCCIÓN

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

#### **1.1.1. Antecedentes del problema**

El distrito de Nuevo Chimbote en los últimos años ha tenido un vertiginoso crecimiento poblacional habiéndose formado muchos asentamientos humanos, los cuales poco a poco vienen mejorando su infraestructura vial urbana, siendo la pavimentación de calles una de las principales mejoras que se realiza en cada asentamiento humano, es importante visualizar que estos trabajos consumen una gran cantidad de material de base y sub base, los cuales son extraídos de canteras naturales, quienes difícilmente pueden cumplir con las especificaciones contempladas en las normas respectivas, por lo que generalmente estas deben diseñarse y mezclarse entre cantidades de distintos rangos granulométricos a fin de poder garantizar un material que cumpla con el índice CBR necesario, siendo este un parámetro fundamental que debe de cumplirse mínimamente a fin de poder garantizar la calidad del trabajo de la obra de pavimentación a ejecutar.

La zona en estudio se encuentra en un proceso de franco crecimiento, conforme podemos observar a nuestro alrededor, por lo que en un corto tiempo existirá un incremento del consumo de material de cantera en las capas de base y subbase y requiriendo este material cada vez mejoras granulométricas y por ende mejoras en sus índices de CBR se realiza la presente investigación con el fin de optimizar el consumo de este material.

Asimismo, en muchas zonas alrededor del mundo las vías terrestres, que son fundamentales en el desarrollo de los países, están en franco deterioro, causando dificultades en la ejecución de las obras viales. De ahí que nace la inquietud de realizar proyectos de infraestructura vial acordes a los requerimientos de seguridad, capacidad y durabilidad.

En lo internacional, según Atienda, M. (2008) en España por la mala calidad de su suelo, hace más de 50 años empezaron a emplear la estabilización de suelos con cemento en los caminos agrícolas. Al término del siglo XX lo emplearon en la construcción de carreteras y aeropuertos, obteniéndose resultados satisfactorios. Así pues, empezaron a mejorar y desarrollar metodologías y equipos óptimos para la elaboración de obras viales con materiales estabilizados.

En lo nacional, en el Perú cuando se desea ejecutar proyectos viales que ayuden al transporte de carga o mejorar la comunicación vial es muy frecuente que, a lo largo del trazado, se encuentren materiales de cantera para base y sub base inadecuados para ser utilizados como subrasante debido a que sus propiedades no garantizan una estabilidad para la estructura del pavimento y la calidad de los suelos existentes que conforman la subrasante no son resistentes ni duraderos frente a la acción de las cargas que le transmite el tráfico y de las condiciones ambientales adversas que se presentan. Cabe resaltar que el comportamiento de la estructura y de la subrasante están relacionadas directamente.

Específicamente en Cajamarca, Velásquez (2018) en su tesis titulada: “Influencia del Cemento Portland Tipo I en la Estabilización del Suelo Arcilloso de la Subrasante de la Avenida Dinamarca, Sector La Molina”, Universidad de Cajamarca. Sostiene que en el valle y en el distrito de los Baños del Inca, ciudad de Cajamarca, es común encontrar suelos sedimentarios y depósitos de origen aluvial compuestos de limos y arcillas, presentando baja capacidad de soporte. Generalmente, este tipo de suelos que conforman una subrasante, causan alteraciones en las estructuras de los pavimentos que se construyen, evidenciándose la necesidad de efectuar algún tipo de mejoramiento de la calidad de estos suelos, pudiendo realizarse mediante su estabilización.

En lo local, según Carbajal, F. (2011) en la ciudad de Nuevo Chimbote, existen tres tipos de suelo: SP, arenas mal graduadas; SM, arenas limosas, mezcla de arenas y limos; SC,

arenas arcillosas, mezclas de arena y arcillas. Los suelos que conforman esta ciudad presentan de baja a media capacidad de soporte, esto sumado a que los materiales de base y sub base de las canteras existentes no son preparados y diseñados adecuadamente origina diseños considerables en espesor de estructura de pavimento.

Como sabemos las canteras más comunes en los últimos años para materiales de base y sub base se encuentran en la zona denominada San Pedrito al Sur del Distrito de Nuevo Chimbote y dentro de la jurisdicción del Distrito de Samanco, dicho material debido a la alta demanda viene agotándose y cada vez el material presenta problemas en sus rangos granulométricos, contenido de sales e índices de CBR, por ello la necesidad de la mejora estabilizando con cemento este material elevará notablemente su resistencia y optimizará los espesores a diseñar en la estructura del pavimento en el H.U.P. Unión del Sur.

Uno de los principales elementos en la red de infraestructura vial urbana son los pavimentos, puesto que no solo sirven para el transporte, sino que también brindan un entorno social y físico, en el cual el ciudadano desarrolla sus actividades cotidianas, influyendo significativamente en su calidad de vida. Es primordial que la red vial se encuentre en estado óptimo para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo tanto a nivel económico, como social y medioambiental.

Actualmente, los costos de construcción de pavimentos urbanos son bastante elevados y de igual manera el mantenimiento de las existentes, debido al rápido deterioro que sufren a causa de diferentes factores, principalmente climatológicos (Métodos de Estabilización de Suelos, 2010).

Desde mediados del siglo XVIII, en Inglaterra surgió una primera propuesta por parte del ingeniero John Smeaton sobre mejoramiento vial empleando una sustancia alcalina. Siendo Inglaterra, un siglo más adelante, pionera en implementar leyes de pavimentación,



con la creación del Comisionado de Pavimentación. Su tarea se remitía al cuidado y mejora de la red vial (Yepes, 2017).

En el Perú, el desarrollo de las redes viales y transportes es una necesidad nacional para romper el aislamiento de los pueblos, los cuales tienen dificultades para superar los obstáculos naturales y para mejorar su accesibilidad entre ellos. El Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial (2018) refiere que: “La integración de los pueblos es una necesidad y una meta nacional desde el punto de vista social, económico y geopolítico; y como medio de transporte a las vías urbanas les toca cubrir ese anhelo de los pueblos que es una de las infraestructuras requeridas y de las más costosas entre las muchas necesidades que tiene el país” (p.1). Lo paradójico es cuando luego de lograda la construcción o mejora, con gran financiamiento, esta se deteriora rápidamente; y resulta más costosa para el país cuando pierde el patrimonio por la falta de las actividades de conservación.

Por ello en la presente investigación aplicaremos adiciones de Cemento Portland, al material de cantera para ser usado como base y sub base usándolo como alternativa para optimizar el diseño de la estructura del pavimento.

## **1.2. Formulación Del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

Las vías terrestres en el mundo que son fundamentales en el desarrollo de los países, estas sin embargo tienen un rápido deterioro en nuestra localidad, causando dificultades en la durabilidad de las obras viales. De ahí que nace la inquietud de investigar para realizar proyectos de infraestructura vial acordes a los requerimientos de seguridad, capacidad y durabilidad.

En el Perú cuando se desea ejecutar proyectos viales que ayuden al transporte de carga

o mejorar la comunicación vial es muy frecuente que, a lo largo del trazado, existan suelos inadecuados para utilizarlo como subrasante, sub base o base para la estructura del pavimento debido a que sus propiedades no garantizan una estabilidad y parámetros confiables para la durabilidad de la estructura del pavimento porque estos suelos muchas veces no son resistentes ni duraderos frente a la acción de las cargas que le transmite el tráfico y de las condiciones ambientales adversas que se presentan. Cabe resaltar que el comportamiento de la estructura y de la subrasante están relacionadas directamente.

En la red vial nacional del Perú, existen una serie de razones por las cuales no se llega a cumplir con el período de diseño de los pavimentos, entre ellas: defectos en su construcción, deficiente diseño estructural, volumen mayor de tránsito, mal funcionamiento del drenaje, deficiencias en el mantenimiento del pavimento, etc. Esto genera que el pavimento falle y se presenten distintas anomalías empeorando el estado de la vía (Medina & De La Cruz, 2015).

En la ciudad de Nuevo Chimbote, el 90% de sus calles y/o vías de acceso, están conformadas por pavimentos flexibles, de los cuales se puede observar que un 60% de sus vías pavimentadas se encuentran con un alto grado de deterioro, lo que puede ser ocasionado por la calidad de los materiales empleados en su construcción. (Sánchez & Yataco, 2017)

Debido al impacto ambiental generado por la sobre explotación de canteras, para emplear estos materiales en la construcción de diferentes tipos de infraestructura; el sobre costo que genera el transporte de los materiales, y las canteras limitadas con las que contamos, es que se ha surgido la necesidad de generar otras opciones reemplazables que sean viables (Campos & Vega, 2019).

Es así que, buscando soluciones a los problemas técnicos planteados sobre explotación de las canteras y principalmente mejoras en la estructura de los pavimentos; se plantea la alternativa de emplear Cemento Portland como material estabilizante de un pavimento flexible en H.U.P Unión del Sur en la ciudad de Nuevo Chimbote. Por ello, nos planteamos la siguiente interrogante: **“¿De qué manera la aplicación del cemento portland afecta directamente el índice CBR en la sub rasante y en las capas de sub base y base en el pavimento ubicado H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash , 2022?”**

### **1.2.2. Problema Especifico**

- ¿De qué manera influye el cemento portland como fuente de estabilización en el esfuerzo cortante de la subrasante en el diseño de la estructura en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur?
- ¿De qué manera influye el cemento portland como fuente de estabilización en la sub base y en la base de la estructura en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Determinar la influencia de la incorporación del cemento portland como estabilizador en el índice CBR en el pavimento a ser diseñado en el H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el Tipo de Suelo de la sub rasante en H.U.P Unión del Sur.
- Determinar la influencia de la estabilización del cemento portland, hacia el esfuerzo cortante de la subrasante en el diseño de la estructura en el pavimento en H.U.P Unión del Sur.

- Determinar la influencia de la estabilización del cemento portland, en la sub base y base en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur.

#### **1.4. Justificación**

Esta investigación pretende convertir el Cemento Portland, en un material de adición para material granular, empleándolo en la estabilización de la sub rasante y de las capas base y subbase de un pavimento flexible, evaluando a través de ensayos de laboratorio la aplicación de adiciones de Cemento Portland en las muestras patrón de los materiales de las capas mencionadas de la estructura en el pavimento.

Además, este planteamiento aporta en la disminución de la explotación de canteras de material granular y por ende a reducir el impacto negativo en el medio ambiente que esto genera, esta investigación servirá de precedente en la localidad como una nueva alternativa no convencional para la estabilización de pavimentos flexibles en la ciudad de Nuevo Chimbote.

#### **1.5. Limitación**

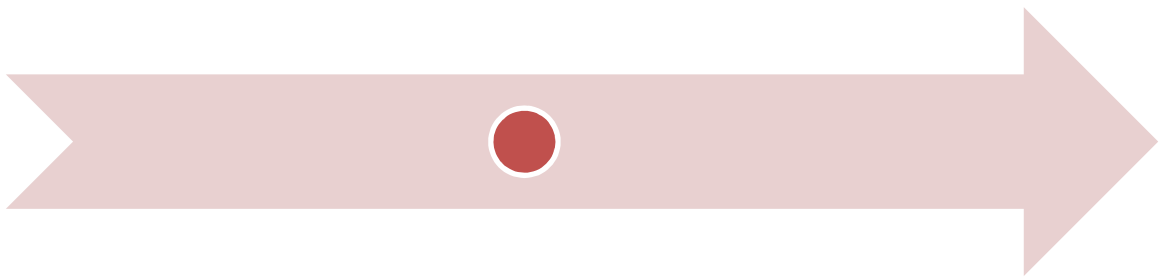
##### **1.5.1. Limitación del trabajo**

Una de las limitaciones que se presentaron en el desarrollo de esta investigación fue el acceso a la información en la Cantera San Pedrito, ya que las empresas asentadas en la zona no dan las facilidades necesarias para poder tomar muestras y además el tránsito vehicular es difícil por no tener accesos cómodos para los vehículos.

#### **1.6. Hipótesis de la Investigación**

La adición del cemento portland como estabilizador en la sub rasante y en el material de base y sub base permite mejorar el índice CBR de estos y a la vez optimiza el diseño del espesor de la estructura en el Pavimento en H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.

# CAPÍTULO II



# MARCO TEÓRICO

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes De La Investigación

#### 2.1.1. INTERNACIONAL.

García (2019) en su investigación titulada: “Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de Caolín”, tiene la particularidad de estudiar el comportamiento físico-mecánico de una mezcla suelo-cemento en laboratorio, por medio de ensayos de respuesta a carga monotonía con el fin de establecer los valores de resistencia para un suelo fino tipo caolín y su posible implementación en vías terciarias del país de similar composición. Concluyendo así que el caolín llega a tener un comportamiento frágil ante por la falta de agua, el cual deciden compensar con un porcentaje del 12% de cemento, con esto logran el aumentó considerablemente del enlace entre sus partículas y finalmente también su resistencia. El cemento se puede concluir que funciona muy bien como un estabilizador de suelos en porcentajes mayores a 8% de cemento en la mezcla mejoran notoriamente la resistencia a cargas monotónicas, es importante recalcar que si se quiere realizar la estabilización de una vía de gran envergadura con un alto contenido de caolín o suelo fino el costo pueden variar considerablemente.

#### 2.1.2. NACIONAL.

- a) Torres & Yacila (2022) en su tesis titulada “Diseño de Mezclas de Material Granular de Tres Canteras para Optimizar sus Propiedades en Pavimentos, Nuevo Chimbote 2020” presentada en la Universidad Nacional del Santa, tuvieron como principal objetivo realizar el diseño de mezcla de material granular para las Canteras en la ciudad que son “San Pedrito”, “Cambio Puente” y “La Sorpresa”, para optimizar sus propiedades como material de base y subbase en pavimentos. El diseño de esta investigación fue cuasiexperimental, ya que se realizaron ensayos de laboratorio al

material de las canteras antes de determinar el diseño de mezcla óptimo. Mediante el ábaco de Optimización de Granulometrías los autores determinaron que al considerar el 47% del material de la Cantera Cambio Puente, 47% de San Pedrito y 6% de La Sorpresa se obtendría un material de afirmado óptimo, para lo cual realizaron los ensayos pertinentes para verificar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Principalmente se pueden mencionar los resultados de Resistencia al Desgaste del 14.68%, Equivalente de Arena del 60% y el valor de CBR al 100% de la MDS del 94%. Finalmente, los autores recomiendan comparar los resultados de su investigación con otros métodos de combinación de materiales y otras canteras para contrastar los mismos.

- b)** Morocho y Casa verde (2022), en su tesis con título “Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II”, tuvo como objetivo diseñar una base estabilizada con cemento portland según normativa nacional e internacional y analizar el comportamiento físico-mecánico a través de su aplicación en el tramo 2 de la carretera departamental Costanera II (PI-101), C.P. Negritos-C.P. Miramar, distrito de La Brea y Vichaya, provincias de Talara y Paita en región Piura; concluyendo que se logró la estabilización de suelo tipo A-1-a(0) con 2.5% de cemento según manuales propuestos por la PCA, obteniendo valores de resistencia a la compresión mayores a 21 kg/cm<sup>2</sup>.

## **2.2. Base Teórica**

### **2.2.1. Pavimentos**

Para Montejo (2002), un pavimento es una estructura estratificada conformada por capas superpuestas, relativamente horizontales, que se apoya íntegramente sobre un terreno debidamente preparado, llamado subrasante. Las capas del pavimento se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Esta estructura debe ser resistente ante los agentes de intemperismo y resistir correctamente los esfuerzos de carga generados por el tránsito durante un determinado periodo de vida útil para el cual fue diseñado el pavimento.

### **2.2.2. Subrasante**

#### **2.2.2.1. Definición**

Según el MTC (2014), la subrasante tiene que ver con la superficie concluida de la carretera al nivel de movimiento de tierras. Sobre ella se cimenta la estructura de un pavimento a construir.

Por su parte, Castro (2017) afirma que la subrasante es el nivel del suelo original del proyecto que debe estar conformada correctamente para recibir al pavimento, esta debe tener características aceptables y se compactará a modo de capas para componer un cuerpo con la suficiente estabilidad para que no se debe ver afectado por la carga que es producto del tráfico.

De acuerdo con Ccoillo (2017), su función es dar un apoyo uniforme, sin cambios bruscos en la capacidad de suelo.

#### **2.2.2.2. Propiedades de la Subrasante**

Se pueden encontrar las siguientes propiedades, tales como: resistencia, estabilidad volumétrica, fácil compactación, relación de humedad – densidad, drenaje.

El nivel de subrasante, por su naturaleza se encuentra expuesta a factores de deterioro,



así como soporte estructural de la estructura de pavimento, tiene que cumplir ciertos requisitos en cuanto un parámetro muy importante.

En nuestro país, medimos la resistencia al corte de un suelo mediante el Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR), no obstante, cuando se busca realizar diseños de pavimento, el valor necesario es el conocido Módulo Resiliente. En este caso, se hace uso de fórmulas dadas que correlacionan el valor CBR para calcular el Módulo Resiliente.

Según MTC (2014), los últimos 0.30 m de suelo que son inferiores al nivel superior de la subrasante tienen que estar compactados mínimamente al 95% de la M.D.S hallada en el ensayo de compactación. Además que el suelo debajo de esta a una profundidad mayor de 0.60 metros debe tener un valor mínimo de 6%, caso contrario, corresponde a realizarse una estabilización de suelos, la cual podría ser del tipo mecánico, químico, usando geosintéticos u otras técnicas adecuadas, incluso se podría considerar el reemplazo del suelo por material de préstamo.

En la tabla 1 se tiene una categorización de una subrasante según su capacidad resistente, cuantificado según el índice CBR.

**Tabla 1 Categorías de Subrasante**

| CATEGORÍAS DE SUBRASANTE | C.B.R                    |
|--------------------------|--------------------------|
| Inadecuada               | $C.B.R < 3\%$            |
| Insuficiente             | $3\% \leq C.B.R < 6\%$   |
| Regular                  | $6\% \leq C.B.R < 10\%$  |
| Buena                    | $10\% \leq C.B.R < 20\%$ |
| Muy Buena                | $20\% \leq C.B.R < 30\%$ |
| Excelente                | $C.B.R \geq 30\%$        |

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos* (p.35), MTC, 2014.

### 2.2.3 Estructura de Pavimentos Flexibles

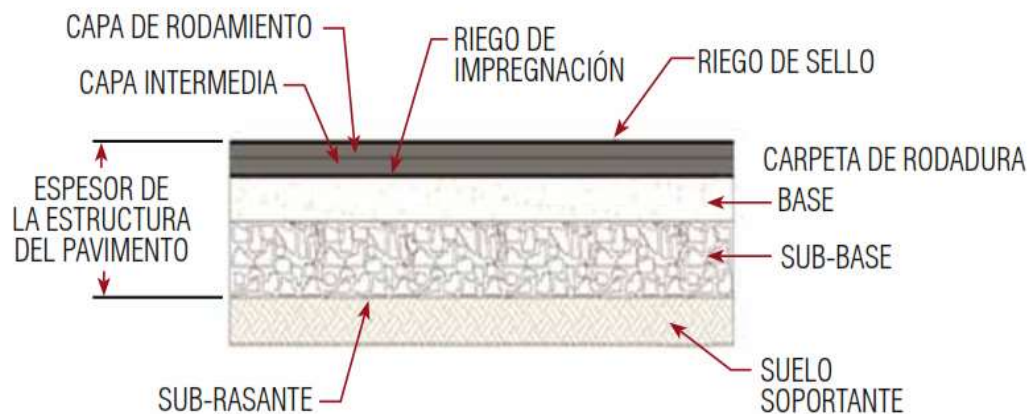
La estructura de un pavimento flexible está constituida por una capa de rodadura, conformada por materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y, en caso se requiera, aditivos; la cual se apoya generalmente sobre otras dos capas, usualmente de material granular, capa base y capa subbase.

Esta estructura del pavimento descansa sobre suelo compactado, una capa llamada subrasante. (MTC,2013,p.24)

Las Capas de un pavimento flexible, se colocan en orden descendente, de acuerdo a su capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad debe soportar de todas las que se disponen.

En la Figura 1 se muestra la distribución típica de las capas que conforman un pavimento flexible.

Figura 01 estructura de un pavimento flexible



NOTA REPRODUCIDA DE PAUTAS METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE ALTERNATIVAS de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión publica de carreteras (p. 14), por MEF, 2015.

### 2.2.2.3. Subbase

Es una capa conformada por material especificado y con un determinado espesor, que depende del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, la cual soporta a la capa base y a la carpeta de rodadura. Además, sirve como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. La subbase puede ser de material granular con un CBR = 40% o tratada con asfalto, cal o cemento. (MTC, 2013, p. 24)

Esta capa, de acuerdo al diseño estructural del pavimento puede o no omitirse. Se ubica sobre la subrasante y los requerimientos de calidad de los agregados que la conforman son menos exigentes que los materiales de las otras capas, debido a que los esfuerzos verticales transmitidos a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y disminuyen a medida que se profundizan. (Minaya & Ordoñez, 2006)

### 2.2.2.4. Base

Es la capa que se ubica bajo la capa de rodadura, la cual tiene la función de distribuir y transmitir los esfuerzos provenientes del tránsito a la subbase (si existiera) y subrasante, y servir de apoyo a la capa de rodadura. La capa base será de material granular drenante, con un CBR  $\geq$  80%, o tratada con asfalto, cal o cemento. (MTC, 2013)

Al mismo tiempo (AASHTO, 1993), indica que esta capa está conformada por agregados como: piedra chancada, escoria chancada o grava chancada y arena. Estos materiales pueden ser tratados o con aditivos convenientes, tales como: el cemento portland, asfalto, cal, cenizas. Los requerimientos técnicos para estos materiales deben ser más estrictos que los requeridos para subbase.

### **2.2.2.5. Capa de rodadura**

Es la capa de material bituminoso que se ubica en la parte superior de la estructura del pavimento. Tiene tres funciones fundamentales: funcionar como una superficie de rodamiento uniforme, impermeabilizar la estructura para evitar así la percolación del agua al interior futuramente y ser resistente ante los esfuerzos producidos por las cargas originadas por el tránsito. (Chavez, 2018)

### **2.2.3. Canteras**

#### **2.2.3.1. Definición:**

Para Romero (2018) una cantera es un punto geográfico, generalmente a la intemperie, de donde se extraen minerales o agregados pétreos que son empleados para la construcción de algunas estructuras u obras del mismo fin. Cada agregado de cantera tiene diferentes procesos de extracción. Estas canteras, tienen cierto límite y una vez superado este se abandona el lugar y se busca otra zona de explotación, acción que genera gran impacto sobre el paisaje.

#### **2.2.3.2. Clasificación**

Romero (2018) clasifica a las canteras en tres grupos:

##### **2.2.4.2.1 Canteras a cielo abierto**

Este tipo de cantera es la más común, de las que se extraen minerales o agregados. Este proceso, se inicia con retirar la capa superior que por lo general no tiene valor para la cantera, para luego clasificar el material de acuerdo a lo que se quiere obtener de la extracción, todo esto se desarrolla con exposición al medio ambiente.

#### **2.2.4.2.2 Canteras subterráneas**

Esta forma de extraer esta materia es usualmente para el uso de la explotación de minerales preciosos o petróleo, se da en cuevas o cavernas artificiales.

#### **2.2.4.2.3 Canteras aluviales**

Estas canteras son originadas por la erosión natural que provocan los ríos que sirven como componentes naturales, mediante la energía cinética que presentan conducen largos tramos a las rocas, colocándolas en diferentes ubicaciones con menor capacidad de potencia, llegando a generarse depósitos con variedad de materiales las cuales pueden ser grava, arena, limos, arcillas y cantos rodados.

### **2.2.4. Agregados**

#### **2.2.4.1. Definición**

Romero (2018) manifiesta que los agregados, están conformados por materiales geológicos como, piedra, arena y grava, estos pueden emplearse en obras de concreto, de canales, pavimentación, etc. Los agregados podrían aprovecharse en su estado natural o alterarse mediante la trituración, resultando fragmentos más pequeños.

Estos materiales granulares o agregados empleados en construcción, son generalmente fragmentos de rocas producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización y del desgaste que haya sufrido durante el transporte.

#### **2.2.4.2. Clasificación**

Para Romero (2018) los agregados se clasifican de la siguiente manera:

#### **2.2.4.2.1. Por su gradación**

##### **- Agregado fino**

Los agregados finos son, las arenas, también piedras naturales finamente trituradas a tamaños reducidos y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”) y que satisfacen los requerimientos de la Norma Técnica Peruana N.T.P. 400.037.

##### **- Agregado grueso**

El agregado grueso es aquel material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4), el cual proviene del fraccionamiento, descomposición natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los requerimientos de la N.T.P. 400.037.

#### **2.2.5.2.2 Por su procedencia**

##### **- Agregados naturales**

Estos agregados son aquellos que se formaron a causa de los procesos geológicos naturales ocurridos hace miles de años en el mundo, los cuales requieren ser extraídos, seleccionados y procesados para lograr optimizar su utilización en la producción de concreto u otras obras civiles.

##### **- Agregados artificiales**

Son aquellos agregados procedentes de un proceso de transformación de los materiales en su estado natural y al combinarle un producto adicional, se adaptan para utilizarse en diferentes obras civiles mediante un tratamiento previamente.

#### **2.2.5.2.3 Por su densidad**

Se puede entender que son producto de su gravedad específica, es decir la relación entre el peso y el volumen de sólidos con relación a la densidad del

agua, estas se clasifican en normales con  $Ge = 2.5$  a  $2.75$ , ligeros con  $Ge < 2.5$  y pesados con  $Ge > 2.75$ .

### 2.2.5.3 Especificaciones granulométricas: Subbases y Bases Granulares

“Los agregados empleados en la construcción de pavimentos urbanos, deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida.” (Minaya & Ordoñez, 2006)

Las especificaciones técnicas para rangos granulométricos de materiales de subbase y base en pavimentos, son precisadas por El Ministerio de Transportes y Comunicaciones considerando la norma ASTM D 1241 dentro de su Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción emitidas en el año 2013. La tabla 1 y tabla 2 muestran las especificaciones granulométricas que deben cumplir los materiales de subbase y base granular respectivamente.

**Tabla 2**

#### **Requerimientos Granulométricos para Base Granular**

| Tamiz         | Porcentaje que Pasa en Peso |             |             |             |
|---------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|               | Gradación A                 | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2")    | 100                         | 100         | -           | -           |
| 25 mm (1")    | -                           | 75-95       | 100         | 100         |
| 9.5 mm (3/8") | 30-65                       | 40-75       | 50-85       | 60-100      |
| 4.75 mm (N°4) | 25-55                       | 30-60       | 35-65       | 50-85       |
| 2.0 mm (N°10) | 15-40                       | 20-45       | 25-50       | 40-70       |

*Nota.* De *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG- 2013)*, por MTC, 2014, p. 171.

**Tabla 3**

**Requerimientos Granulométricos para Base Granular**

| Tamiz          | Porcentaje que Pasa en Peso |             |             |             |
|----------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                | Gradación A                 | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2")     | 100                         | 100         | -           | -           |
| 25 mm (1")     | -                           | 75-95       | 100         | 100         |
| 9.5 mm (3/8")  | 30-65                       | 40-75       | 50-85       | 60-100      |
| 4.75 mm (Nº4)  | 25-55                       | 30-60       | 35-65       | 50-85       |
| 2.0 mm (Nº10)  | 15-40                       | 20-45       | 25-50       | 40-70       |
| 4.25 mm (Nº40) | 8-20                        | 15-30       | 15-30       | 25-45       |
| 75 mm (Nº 200) | 2-8                         | 5-15        | 5-15        | 8-15        |

*Nota.* De *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG- 2013)*, por MTC, 2014, p. 175.

**2.2.5.4 Calidad de los agregados**

Para Minaya & Ordoñez (2006) los materiales que son empleados como material de afirmado o subbase pueden ser agregado natural, triturado o una combinación de ambos, mientras que los agregados para bases deben ser chancados. Todo agregado que sea empleado para afirmados, subbases y bases será resistente, sin exceso de partículas chatas o alargadas, y no podrán presentar terrones de arcilla ni materia orgánica.

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos de suelos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en el Manual de Carreteras: EG- 2013. En la Tabla 3 se muestra los requerimientos para materiales de subbases y bases granulares.



**Tabla 4**
**Requerimientos Técnicos para Materiales empleados en Construcción de**
**Carreteras**

| Ensayo   | Norma     | Subbase granular |             | Base Granular   |             |               |             |
|--|-----------|------------------|-------------|---|-------------|---------------|-------------|
|  |           | < 3000 msnm      | ≥ 3000 msnm | < 3000 msnm   |             | ≥ 3000 msnm   |             |
|  |           |                  |             | Agreg. grueso   | Agreg. fino | Agreg. grueso | Agreg. fino |
| Límite líquido   | MTC E 110 | 25% máx.         | 25% máx.    |   |             |               |             |
| Índice de plasticidad  | MTC E 111 | 6% máx.          | 4% máx.     |   |             | 4% máx.       | 2% máx.     |
| Abrasión los Angeles   | MTC E 207 | 50% máx.         | 50% máx.    | 40% máx.  | 40% máx.    |               |             |
| Equivalente de arena   | MTC E 114 | 25% mín.         | 35% mín.    |   |             | 35% mín.      | 45% mín.    |
| CBR al 100% de la MDS y 0.1" de penetración                    | MTC E 132 | 40% mín.         | 40% mín.    | Tráfico en ejes equivalentes (<106): 80% mín.<br>Tráfico en ejes equivalentes (≥106): 100% mín. |             |               |             |
| Durabilidad al sulfato de magnesio                             | MTC E 209 |                  |             |   | 18% máx.    | ----          | 15%         |
| Partículas con una cara fracturada                             | MTC E 210 |                  |             | 80% mín.  | 80% mín.    |               |             |
| Partículas con dos caras fracturadas                           | MTC E 210 |                  |             | 40% mín.  | 50% mín.    |               |             |
| Partículas chatas y alargadas, relación 1/3 (espesor/longitud) | D 4791    | 20% máx.         | 20% máx.    | 15% máx.  | 15% máx.    |               |             |
| Sales solubles totales   | MTC E 219 | 1% máx.          | 1% máx.     | 0.5% máx.   | 0.5% máx.   | 0.5% máx.     | 0.5% máx.   |

Nota. Adaptado de *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*, por S. Minaya & A. Ordoñez, 2006, p. 5.

### 2.2.5.5 Ensayos que determinan las propiedades de los agregados

Los procedimientos de los ensayos considerados a continuación están descritos de manera detallada la Norma ASTM, los cuales fueron adaptados por el Manual de Ensayo de Materiales- 2016 del MTC.

#### 2.2.5.5.1 Granulometría

De acuerdo al Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2013) la granulometría establece la distribución de los tamaños del agregado mediante el tamizado (Ensayo MTC E 204). El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar los porcentajes de sus diferentes elementos que lo componen, clasificados en base a su tamaño. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se usan los distintos términos:

**Tabla 5**

#### **Clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas**

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

*Nota. De Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por MTC, 2013, p.36.*

### **2.2.5.5.2 Contenido de humedad**

El MTC (2016) señala que, la humedad de un suelo se expresa como porcentaje del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Al realizar este ensayo se busca eliminar el agua de un suelo mediante el secado de este hasta un peso constante, empleando un horno. El peso del suelo que permanece luego del secado en horno es considerado el peso de las partículas sólidas. Por ello, la pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. El procedimiento para este ensayo se encuentra en el MTC E 108.

### **2.2.5.5.3 Límite líquido y límite plástico**

El MTC (2016) define al Límite Líquido (LL) como el contenido de humedad de un suelo, el cual se encuentra en el límite entre los estados líquido y plástico, se expresa en porcentaje. Los pasos para la realización de este ensayo se encuentran en el MTC E 110.

Mientras que al Límite Plástico (LP) lo define como “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”.

Según el MTC (2014) además del LL y del LP, podemos hallar otra característica del suelo, el Índice de Plasticidad (IP), que viene dado por la diferencia entre LL y LP:  $IP = LL - LP$ . Por ello, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según la Tabla 5. (p. 37)

**Tabla 6**

**Clasificación de los suelos según el Índice de Plasticidad**

| Índice de Plasticidad | Plasticidad         | Característica                        |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| IP>20                 | Alta                | Suelos muy arcillosos                 |
| IP ≤ 20<br>IP > 7     | Media               | Suelos arcillosos                     |
| IP < 7                | Baja                | Suelos poco arcillosos<br>plasticidad |
| IP=0                  | No plástico<br>(NP) | Suelos exentos de arcilla             |

*Nota. De Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por MTC, 2013, p.37.*

**2.2.5.5.4 Equivalente de arena**

Para el MTC (2013) el valor equivalente de arena está dada por la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en suelos o agregados finos (Ensayo MTC E 114). Este ensayo da resultados similares a los obtenidos con la determinación de los límites de Atterberg, pero menos preciso. El valor de Equivalente de Arena indica la plasticidad de los suelos.

**Tabla 7**

**Clasificación de los suelos según el Equivalente de Arena**

| Equivalente de Arena | Característica                    |
|----------------------|-----------------------------------|
| EA>40                | Suelos no plásticos, es arena     |
| 40>EA>20             | Suelo poco plástico y no heladizo |
| EA<20                | Suelos plástico y arcilloso       |

*Nota. De Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por MTC, 2013, p.37.*

**2.2.5.5.5 Abrasión los Ángeles**

Para Minaya & Ordoñez (2006) los agregados deben presentar soporte al desgaste irreversible, debido a los esfuerzos de carga que recibe la estructura de un pavimento, habiendo mayor intensidad en la superficie hasta una menor en la subrasante, considerándose que los agregados para la capa base deben ser los más resistentes.

En tal sentido, el MTC (2016) establece un ensayo para determinar la resistencia a la degradación de agregados gruesos de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) empleando la Máquina de los Ángeles. El procedimiento de este ensayo pertenece al MTC E 207.

**2.2.5.5.6 Partículas fracturadas**

Minaya & Ordoñez (2006) manifiestan que el porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas tienen relación con maximizar la resistencia al esfuerzo cortante, debido al incremento de fricción entre las partículas.

El MTC (2016) establece un ensayo para determinar dicho porcentaje, en

masa o cantidad, de agregado grueso que contenga partículas fracturadas que reúnan específicos requerimientos. Este ensayo se basa en el MTC E 210.

#### **2.2.5.5.7 Sales solubles**

El MTC (2016) indica el procedimiento para el ensayo de sales solubles, el cual precisa el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos que se utilizan en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Este ensayo se encuentra en el MTC E 219.

#### **2.2.5.5.8 Partículas chatas y alargadas**

Minaya & Ordoñez (2006) denominan partícula chata cuando presentan una relación ancho/espesor mayor a  $1/3$ ; y partícula alargada cuando la relación largo/ancho es mayor a  $1/3$ . El exceso de partículas con estas características puede perjudicar la estructura original del pavimento.

El MTC (2016) establece mediante el ensayo MTC E 223 el procedimiento para determinar el porcentaje de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

#### **2.2.5.5.9 Compactación de Suelos- Proctor Modificado**

De acuerdo al MTC (2016), este ensayo contempla el proceso de compactación de un suelo, en laboratorio, empleando una energía modificada (Proctor Modificado), para determinar la relación entre el contenido de agua versus el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación). El procedimiento exacto está descrito en el MTC E 115.

### 2.2.5.5.10 CBR de suelos

El MTC (2016) describe el ensayo para determinar el valor de la capacidad de soporte de un suelo o también conocido como CBR, mediante el MTC E 132, este ensayo se realiza generalmente sobre un suelo preparado en laboratorio bajo determinadas condiciones de humedad y densidad. Los valores de CBR obtenidos en esta prueba se usan para evaluar la resistencia potencial de subrasantes, subbases y material de bases, además forman una parte fundamental de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

### 2.2.5. Clasificación de suelos

Teniendo como datos la granulometría, plasticidad, índice de grupo y otras características de los suelos, mencionadas líneas arriba, se puede lograr clasificarlos y así estimar el comportamiento aproximado de los suelos. En la Tabla 7 se muestra la correlación de dos sistemas de clasificación de suelos, AASHTO y SUCS.

**Tabla 8**

**Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS**

| Clasificación de Suelos<br>AASHTO<br>AASHTO M-145 | Clasificación de Suelos<br>SUCS<br>ASTM – D - 2487 |
|---|--|
| A-1-a   | GW, GP, GM, SW, SP,<br>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   |

*Nota.* De *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, por MTC, 2013, p.39.

### 2.2.5.1. Clasificación AASHTO M-145

“Este sistema clasifica los suelos en siete grupos y varios subgrupos, y los ensayos necesarios se reducen a análisis granulométricos (tamices n° 10, 40, y 200), determinación de los límites de Atterberg y cálculo del índice de grupo (IG)” (Márquez, 2006, p. 17). De acuerdo a la Norma AASHTO M-145, los suelos se clasifican en tres categorías:

- **Suelos granulares.** Suelos ubicados en la clasificación A-1, A-2 y A-3. Se caracterizan porque su porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 es menor o igual al 35% del total de la muestra.

- **Suelos limo-arcilla o material fino.** Suelos ubicados en la clasificación A-4, A-5, A-6 y A-7. Se caracterizan porque su porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 es mayor al 35% del total de la muestra.

- **Suelos orgánicos.** Ubicado en la clasificación A-8. Son suelos que contienen principalmente materia orgánica. (Cabrejos & Murga, 2021, p. 40)

En la Tabla 8 se muestra la clasificación de los suelos basados el sistema AAHTO M – 145.



**Tabla 9**

**Clasificación de Suelos- Método AASHTO**

| Clasificación general       | Suelos granulosos<br>35% máximo que pasa por tamiz de 0.08 mm |            |                                      |         |         |         |                | Suelos finos<br>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 de Atterberg        |   |            |                                      |         |         |         |                |   |                   |         |                     |                     |
| LL                          |   |            |                                      | máx. 40 | mín. 40 | máx. 40 | mín. 40        | máx. 40   | máx. 40           | máx. 40 | mín. 40             | mín. 40             |
| IP                          | máx. 6  | máx. 6     |                                      | máx. 10 | máx. 10 | mín. 10 | mín. 10        | máx. 10   | máx. 10           | mín. 10 | mín. 10<br>IP<LL-30 | mín. 10<br>IP<LL-30 |
| IG                          | 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 |         |                     |                     |

Nota. De *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, por MTC, 2013, p.43.

### **2.2.5.2. Clasificación SUCS.**

Para Márquez (2006) la clasificación ASTM D – 22487 (SUCS) “Se determina a partir de la granulometría, la uniformidad, los límites de Atterberg y el contenido en materia orgánica. En la clasificación se usará únicamente el material pasante por el tamiz de 3”. (p.15)

El sistema SUCS, divide los suelos en dos grupos fundamentales, gruesos y finos. Las partículas retenidas en la malla N°200 son consideradas gruesas, y las que pasan la malla N°200 las finas. Además, se considera un suelo grueso, si más de la mitad de partículas en peso son gruesas, y se considera un suelo fino si más del 50% son partículas finas. (Cabrejos & Murga, 2021, p. 40)

### **2.2.6. Cemento Portland**

#### **2.2.6.1. Definición**

Se define como Cemento, a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de aglutinar, por adición de una cantidad conveniente de agua, formar una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como el aire y formar compuestos estables.

El cemento portland es un conglomerante utilizado en obras de ingeniería civil proveniente de la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total y que la normal correspondiente determine que su inclusión no afecte a las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

### **2.2.6.2. Tipos de cemento portland**

La Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deben cumplir los seis tipos de cemento Portland que se indican a continuación:

- Tipo I: Para uso particular sin ninguna de las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo II: para uso particular, y únicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo II (MH): Para uso particular, y únicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III: requiere ser usado para tener altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: requiere ser usado para tener bajo calor de hidratación.
- Tipo V: requiere ser usado para tener alta resistencia a los sulfatos.

### **2.2.6.3. Métodos de Ensayos**

Para determinar los requisitos de uso, se utilizarán los siguientes métodos de ensayo:

- Análisis químico: NTP 334.086.
- Resistencia: NTP 334.051.
- Falso fraguado: NTP 334.052.
- Finura mediante el permeabilímetro: NTP 334.002.
- Finura mediante el Turbidímetro: NTP 334.072.
- Calor de hidratación: NTP 334.064.
- Expansión de autoclave: NTP 334.004.
- Tiempo de fraguado mediante las agujas de Gillmore: NTP 334.056.
- Tiempo de fraguado mediante las agujas Vicat: NTP 334.006.
- Resistencia a los sulfatos: NTP 334.065.

- Sulfato de calcio. Expansión de barras de morteros de cemento Portland
- Curado en agua NTP 334.093

## **2.2.7. Estabilización de suelos**

### **2.2.7.1. Definición**

La estabilización de un suelo permite mejorar su estabilidad volumétrica, aumenta su resistencia y el módulo esfuerzo-deformación, aumenta su permeabilidad y durabilidad. Generalmente se usan los suelos de baja calidad, para evitar su extracción y transporte a vertedero (contaminación ambiental), aumentando su resistencia a los distintos agentes climáticos, obteniendo un suelo estable de apoyo del firme de infraestructuras viales.

Hay muchos tipos de estabilización entre ellos encontramos: La compactación y el drenaje del agua son los procedimientos más fáciles de estabilización. Igualmente, se puede unir dos o más suelos para obtener un suelo optimizado en granulometría, plasticidad o grado de permeabilidad. También se logra mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las características del suelo. Los más utilizados son el cemento y la cal, pero se usan además cenizas volantes, escorias granuladas, puzolanas, ligantes hidrocarbonados fluidos, cloruro cálcico, cloruro potásico, etc. Por tanto, la estabilización puede ser mecánica o química. (Yepes, 2014)

### **2.2.8.2 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) establece los siguientes criterios a tener en cuenta para la estabilización de suelos:

A. Se considerarán como materiales adecuados para la subrasante los suelos con CBR  $\geq 6\%$ . En caso de ser menor será un material que se tendrá que estabilizar. El Ingeniero responsable decidirá entre las distintas alternativas como: Estabilización mecánica,

Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, etc.

B. Cuando el suelo sea arcilloso o limoso y al humedecerse las partículas del material penetren en las capas granulares del pavimento, deberá colocarse un material anticontaminante de 10 cm de espesor.

C. La sub rasante debe quedar como mínimos a 0.60 m de la capa freática si es buena; a 0.80m si es buena o regular; a 1.00 m cuando la subrasante sea ineficiente y a 1.20 m cuando sea inadecuada.

D. los factores a considerar para seleccionar el método de estabilización conveniente son:

- Tipo de suelo para estabilizar
- Uso propuesto del suelo estabilizado
- Tipo de aditivo usado como estabilizador de suelos
- Experiencia para el tipo de estabilización que se usara
- Disponibilidad para el tipo de aditivo estabilizador
- Disponibilidad para el equipo adecuado
- Los Costos comparativos

### **2.2.8.3 Tipos de estabilización**

Existen diversos tipos de estabilización de suelos para pavimentos, para lo que es importante conocer en primer lugar las características y propiedades de los suelos, con la finalidad de obtener el método apropiado de estabilización que puede ser mecánica o química. (Marquina, 2008)

#### **2.2.8.3.1 *Estabilización mecánica***

La estabilización mecánica es un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos, el cual consiste en ejercer acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, empleando

equipos llamados compactadores, con los cuales se busca aumentar la resistencia al corte. (Cabrejos & Murga, 2021)

Para el MTC (2013), con la Estabilización Mecánica de Suelos se busca mejorar el material del suelo existente, sin que se altere su estructura y composición básica del mismo, reduciendo el volumen de vacíos presentes en el suelo mediante el proceso de compactación.

#### **2.2.8.3.2 Estabilización química**

Se define así generalmente a la agregación de agentes estabilizantes químicos ya sean aditivos sólidos o líquidos. Principalmente se usa cemento portland, asfalto, cal, cenizas, escorias, etc. Lo que se busca es generar una reacción química del suelo con los estabilizantes para así llegar a modificar de las características de los suelos, obteniendo una mayor capacidad a la carga dinámica a los que estará sometido durante su vida útil. (Angulo & Zavaleta, 2019)

#### **2.2.8.4 Método granulométrico o de mezclas**

Marquina (2008) considera un método granulométrico para estabilizar un suelo grueso o fino, basado en la distribución en tamaño de sus partículas, forma, textura, peso volumétrico, fricción interna y cohesión. Los suelos que se utilizan comúnmente son:

- Suelos que proceden de bancos naturales; como depósitos de arena del mar como arenas uniformes, o depósitos de ríos como gravas, arenas, limos y arcillas.
- Suelos procesados; los suelos procedentes de bancos naturales no son aptos para la construcción de pavimentos urbanos, por lo que se necesita mejorar su granulometría, proporcionar alta densidad, buena distribución de tamaños de partículas, forma y textura para conseguir una adecuada separación de tamaños de partículas y lograr mejores compactaciones y consistencia.
- Suelos que proceden de bancos de préstamos; son suelos aptos para la construcción de pavimentos, son extraídos de excavaciones cercanas de la obra vial.

- Suelos del tipo especial; son suelos que han sido modificados en sus propiedades físicas y/o químicas para obtener resultados aptos y utilizables para pavimentos, como: las escorias de altos hornos.

#### **2.2.8.4.1 Estabilización granulométrica con escoria**

Hoy en día, las escorias de hornos de fundición se emplean en varias partes del mundo, teniendo participación en la fabricación de hormigón como agregado, como material de base y subbase de pavimentos, estabilización de sub rasantes, en la carpeta asfáltica.

Al ser usado este sub producto de la metalurgia en la construcción de la infraestructura vial se evita explotar más canteras, manteniendo el paisaje armónico de las distintas zonas y reduciendo además las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

La resistencia es una característica importante que aportan las escorias de hornos eléctricos a los suelos. En caso se presente escasez de finos se podrá realizar una mezcla homogénea de escoria, arena fina, cal y agua, con la finalidad de llenar todos los vacíos entre partículas, incrementando su resistencia producto del contacto entre las partículas, donde la presencia de los finos permita una mejor distribución de los esfuerzos. (Marquina, 2008)

En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje considerado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de la escoria entre 35% - 45% en volumen.

Referente al tamaño de agregados deben ser menores a 1 cm ya que al ser despedidos por la acción del tránsito pueden provocar daños a los vehículos y personas. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

#### **2.2.8.5 Bases y Subbases tratadas**

Se usa para estabilizar también una capa de subbase o base (material granular) para obtener una mejor calidad denominándose sub base o base tratada o estabilizada. Es decir, se aplica una estabilización en base o subbase, que aun cumpliendo con los requerimientos de tener un buen CBR, se estabilizará para tener un material de mejor calidad y características y así tener un menor espesor de capa. Este concepto se aplica generalmente para los caminos donde se presente tráfico pesado o si es el caso de tráfico menor, se usará porque así lo requiere por las condiciones que presente en su ejecución como, por ejemplo, escasez o cuando no se disponen de materiales de subbase o base, elevados costos de transporte y tratamiento de chancado.

Existen distintos métodos de estabilización, sin embargo, se debe tomar énfasis en contar los ensayos de laboratorio adecuados y que ratifiquen un buen resultado, además de garantizar la conservación vial. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013, pág. 17)

#### **2.2.9 Método gráfico de optimización de granulometrías**

Para Rodríguez (2019), cuando un agregado no cumple con las recomendaciones granulométricas, se puede hacer una optimización mezclando la arena y grava que se tienen en cierta proporción, de tal manera que se obtenga relaciones de agregado fino-agregado gruesos convenientes.

El método más utilizado para optimizar granulometrías es el Road Note Laboratory o conocido también como método gráfico, el cual emplea un ábaco como el que se muestra en la Figura 4 y se realiza como se indica líneas abajo.

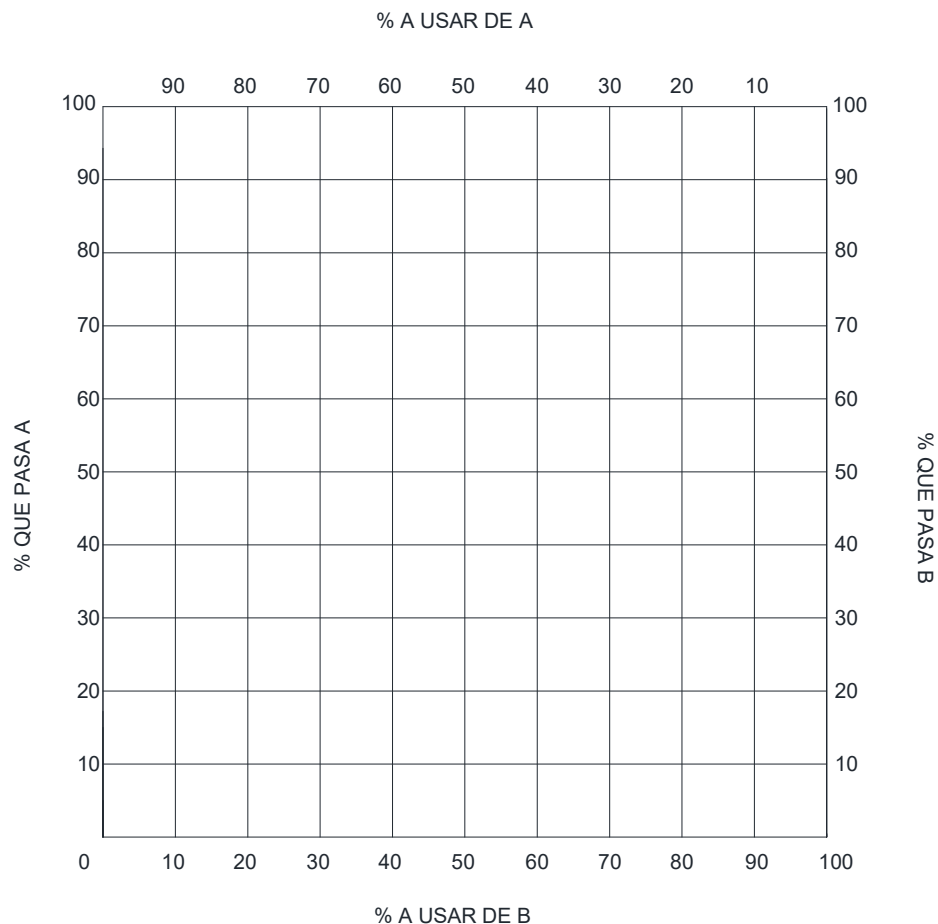
- Se dibuja un cuadro de 10 divisiones en el eje de las ordenadas y 10 en las abscisas.
- Se enumeran los ejes de las ordenadas de abajo hacia arriba de 0 a 100 y los ejes de las abscisas, el lado superior del cuadro de 0 a 100 de izquierda a derecha y el inferior de derecha a izquierda, de este modo cualquier valor de abajo da 100.



- Se escoge el eje superior como eje de porcentajes de arena y al inferior como eje de porcentajes de grava.
- Sobre el eje de las ordenadas correspondientes al 100% de la arena se coloca la granulometría de la arena y sobre el eje correspondiente al 100% de la grava se coloca la granulometría de dicho material.
- Se unen por medio de líneas rectas los puntos correspondientes y se marcan los límites de la especificación elegida.
- Se traza un eje vertical que separe los puntos hallados en igual cantidad a izquierda y derecha. A este eje le corresponde un porcentaje de arena y un porcentaje de grava que representa la combinación óptima.

**Figura 02**

*Optimización de las Granulometrías*



*Nota. Adaptado de Comportamiento del concreto fluido modificado con caucho reciclado de neumático de bicicleta (p. 33), por Rodríguez, 2019.*

Es importante mencionar que las proporciones de los agregados finos y gruesos que deben ser combinados están dadas por peso, puesto que las granulometrías están basadas en pesos retenidos.

El método de la Road Note Laboratory es muy aproximado, esto depende de la precisión de la gráfica y de la localización de la línea vertical. Por esto es recomendable realizar el procedimiento con cuidado para hallar la granulometría que cumpla con las especificaciones.

De la misma manera, este método se puede emplear para más de dos agregados, realizando primero la combinación de las porciones gruesas y la granulometría resultante se combina con la fracción fina.

### ***2.2.10 Metodología de diseño de un pavimento flexible***

De acuerdo al MTC (2013) para realizar el dimensionamiento para las secciones del pavimento y debido a los procedimientos más utilizados de uso actual en el país. Los procedimientos adoptados indispensables son dos:

- a. Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993
- b. Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el período de diseño.

El diseño está condicionado por dos parámetros básicos: las cargas de los vehículos impuestas al pavimento y las propiedades de la subrasante sobre la que se reposa el pavimento. (p. 149)

#### **2.2.10.1 Método Guía AASHTO 93 de diseño**

El método AASHTO 1993 se basa primordialmente en obtener un Numero estructural requerido (SNR), lo cual permitirá indicar los espesores de cada capa de la estructura del pavimento que serán diseñadas para soportar las cargas vehiculares durante un periodo de diseño.

### 2.2.10.1.1 *Periodo de diseño*

Según AASHTO (1993) nos indica que: “es el periodo de tiempo para el cual va a ser diseñado el pavimento”. (p7)

Asimismo, el MTC (2013) indica que: “Para pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodos de diseño por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años.” (p.121)

### 2.2.10.1.2 *VARIABLES DE DISEÑO*

La ecuación es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{1094}\right)}{0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

A partir de aquí se desprenden algunas definiciones de las variables a considerar como:

#### a) **Ejes equivalentes ( $W_{18}$ )**

Es el número acumulado de ejes simples equivalentes (ESAL) a 18000 lb (80kn).

Esto será usado para separar el tráfico acumulado en periodos de tiempo.

#### b) **Módulo de resiliente ( $M_R$ )**

Medida de rigidez de la sub rasante que se correlaciona con el CBR.

$$MR = 2555. (CBR)^{0.64}$$

#### c) **Confiabilidad (%R)**

Representa la probabilidad que tiene una estructura que se comporte de acuerdo al periodo ya previsto. La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación por lo que se deberá usar Desviación Normal Estándar ( $Z_R$ ). A medida que se recoja un R mayor serán los espesores más grandes. En la presente tabla se muestra los niveles de confiabilidad recomendados para las distintas clasificaciones.

**Tabla 10**

**Niveles de confiabilidad en una sola etapa de diseño según rango de tráfico**

| Tráfico          | Ejes Equivalentes Acumulados |          | Nivel de Confiabilidad (R) |
|------------------|------------------------------|----------|----------------------------|
| T <sub>P0</sub>  | 100000                       | 150000   | 65%                        |
| T <sub>P1</sub>  | 150001                       | 300000   | 70%                        |
| T <sub>P2</sub>  | 300001                       | 500000   | 75%                        |
| T <sub>P3</sub>  | 500001                       | 750000   | 80%                        |
| T <sub>P4</sub>  | 750001                       | 1000000  | 80%                        |
| T <sub>P5</sub>  | 1000001                      | 1500000  | 85%                        |
| T <sub>P6</sub>  | 1500001                      | 3000000  | 85%                        |
| T <sub>P7</sub>  | 3000001                      | 5000000  | 85%                        |
| T <sub>P8</sub>  | 5000001                      | 7500000  | 90%                        |
| T <sub>P9</sub>  | 7500001                      | 10000000 | 90%                        |
| T <sub>P10</sub> | 10000001                     | 12500000 | 90%                        |
| T <sub>P11</sub> | 12500001                     | 15000000 | 90%                        |
| T <sub>P12</sub> | 15000001                     | 20000000 | 95%                        |
| T <sub>P13</sub> | 20000001                     | 25000000 | 95%                        |
| T <sub>P14</sub> | 25000001                     | 30000000 | 95%                        |
| T <sub>P15</sub> | > 30000000                   |          | 95%                        |

*Nota. De Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por MTC, 2013, p.*

*154.*

**d) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal ( $Z_R$ )**

Representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos. A continuación, se indican los valores aconsejados de niveles de confiabilidad, en función de los niveles de confiabilidad R.

**Tabla 11**

**Valores de Zr en función de la confiabilidad**

| Tráfico          | Ejes Equivalentes Acumulados |          | Desviación estándar ( $Z_R$ ) |
|------------------|------------------------------|----------|-------------------------------|
| T <sub>P0</sub>  | 100000                       | 150000   | -0.385                        |
| T <sub>P1</sub>  | 150001                       | 300000   | -0.524                        |
| T <sub>P2</sub>  | 300001                       | 500000   | -0.674                        |
| T <sub>P3</sub>  | 500001                       | 750000   | -0.842                        |
| T <sub>P4</sub>  | 750001                       | 1000000  | -0.842                        |
| T <sub>P5</sub>  | 1000001                      | 1500000  | -1.036                        |
| T <sub>P6</sub>  | 1500001                      | 3000000  | -1.036                        |
| T <sub>P7</sub>  | 3000001                      | 5000000  | -1.036                        |
| T <sub>P8</sub>  | 5000001                      | 7500000  | -1.282                        |
| T <sub>P9</sub>  | 7500001                      | 10000000 | -1.282                        |
| T <sub>P10</sub> | 10000001                     | 12500000 | -1.282                        |
| T <sub>P11</sub> | 12500001                     | 15000000 | -1.282                        |
| T <sub>P12</sub> | 15000001                     | 20000000 | -1.645                        |
| T <sub>P13</sub> | 20000001                     | 25000000 | -1.645                        |
| T <sub>P14</sub> | 25000001                     | 30000000 | -1.645                        |
| T <sub>P15</sub> | > 30000000                   |          | -1.645                        |

*Nota. De Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por MTC, 2013, p.*

*156.*

**e) Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ )**

De acuerdo a la Guía ASSHTO recomienda para los pavimentos flexibles colocar los valores entre 0.40 y 0.50. Se recomienda para uso general adoptar el valor de 0.45

**f) Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

Es la condición necesaria para ofrecer al usuario la comodidad y proveer un manejo seguro y confortable. Su valor varía entre 0 a 5.

**Tabla 12**

**Calificación según el índice de serviciabilidad presente**

| Índice de serviciabilidad (p) | Calificación |
|-------------------------------|--------------|
| 0-1                           | Muy mala     |
| 1-2                           | Mala         |
| 2-3                           | Regular      |
| 3-4                           | Buena        |
| 4-5                           | Muy buena    |

*Nota.* De *Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos*, por AASHTO, 1993, p.10.

- **Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ )**

Es el valor de servicio de una vía recién construida. La serviciabilidad inicial es función del diseño del pavimento y de la calidad que presenta la construcción. La AASHTO recomienda los siguientes valores:

$P_i = 4.5$  → pavimentos rígidos

$P_i = 4.0$  a  $4.2$  → pavimentos flexibles

- **Serviciabilidad final ( $P_t$ )**

Indica la condición de la vía, es decir el valor mínimo del índice de servicio que puede ser aceptado. Los valores que se pueden asumir según AASHTO son:

$P_t = 2.5$  o más → caminos muy importantes

$P_t = 2$  → caminos de menor tránsito

- **Variación de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )**

Teóricamente se define como el índice de serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad final, es decir representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la vía.

$$\Delta PSI = P_i - P_t$$

Estos valores de serviciabilidad que se consideran significan un acabado de construcción bueno, por ello si la ejecución del pavimento se va a llevar a cabo con herramientas manuales o equipos gastados probablemente este no cumpla los niveles de serviciabilidad establecidos y por ende tengo un tiempo de vida útil menor.

**g) Número estructural propuesto (SNR)**

Representa el espesor total del pavimento a colocar, es decir indica el espesor de la capa de rodadura, base y sub base, mediante la siguiente ecuación.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

$a_1, a_2, a_3$  = Coeficientes estructurales de las capas; superficial, base y sub base, respectivamente.

$d_1, d_2, d_3$  = espesores de las capas superficial, base y sub base (en cm)

$m_2, m_3$  = coeficientes de drenaje para las capas de base y sub base

**h) Coeficientes estructurales de los materiales**

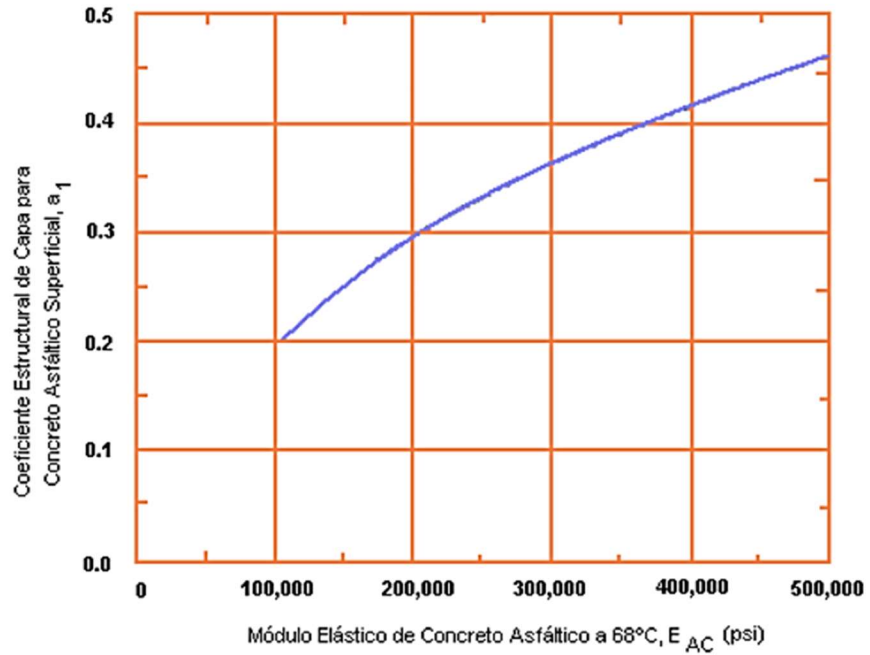
Para obtener los coeficientes estructurales de cada uno de los materiales empleados en la estructura de un pavimento flexible se emplean los siguientes ábacos.

**- Concreto asfáltico**

Haciendo uso del ábaco de la Figura 5, y conociendo el Módulo elástico del concreto asfáltico se puede hallar su coeficiente estructural ( $a_1$ ).

Figura 03

Carta para la estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el módulo elástico



*Nota.* Adaptado de *Guía de Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO-1993*, p.23.

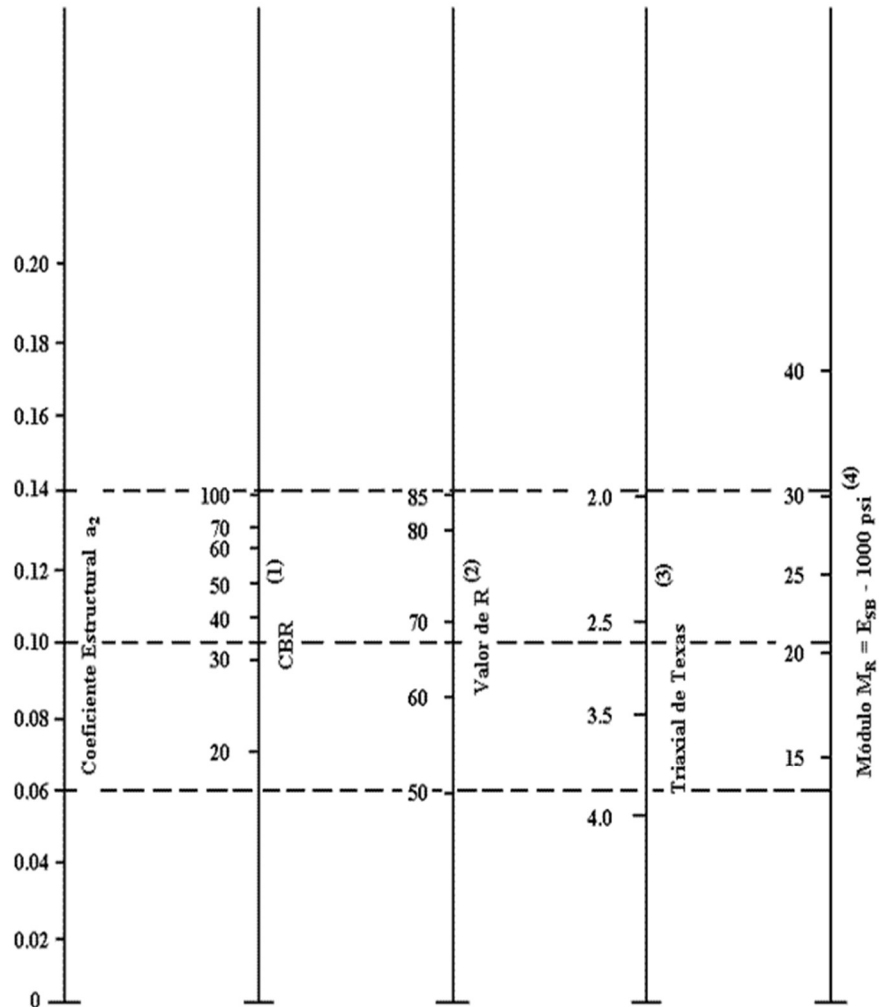
**- Base granular**

Haciendo uso del ábaco de la Figura 6, conociendo el valor del CBR de la base se puede hallar su coeficiente estructural ( $a_2$ ) y su módulo resiliente ( $Mr$ ).



**Figura 04**

Variación en el coeficiente estructura de capa base (a<sub>2</sub>) con diferentes parámetros de resistencia



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

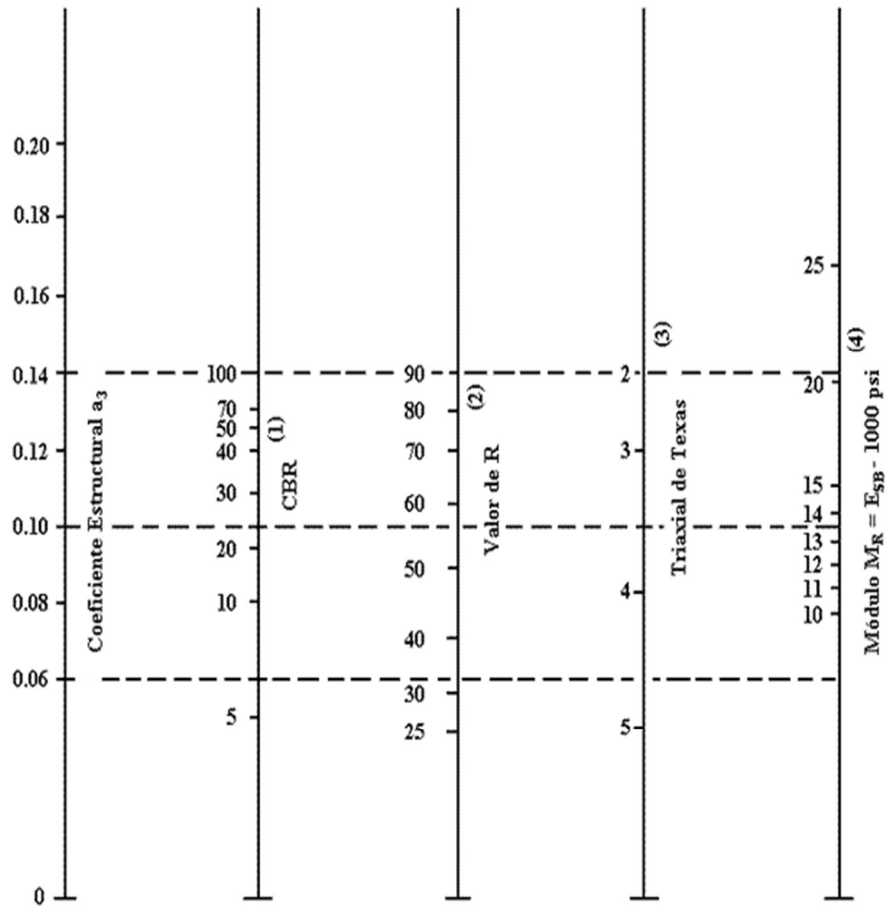
*Nota.* Reproducido de *Guía de Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO-1993*, p.23.

**- Subbase granular**

Haciendo uso del ábaco de la Figura 7, conociendo el valor del CBR de la subbase se puede hallar su coeficiente estructural (a<sub>3</sub>) y su módulo resiliente (Mr).

**Figura 05**

Variación en el coeficiente estructura de capa sub base (a3) con diferentes parámetros de subbase



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

*Nota.* Reproducido de *Guía de Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO-1993*, p. 27.

**i) Drenaje**

Este coeficiente depende de dos parámetros: la calidad del drenaje y el tiempo de exposición que tiene un pavimento a los niveles de humedad. AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la presente tabla:

**Tabla 13**

**Calidad del drenaje**

| Calidad del drenaje | Tiempo que tarda el agua en ser evacuada |
|---------------------|--|
| Excelente           | 2 horas                                  |
| Bueno               | 1 día                                    |
| Mediano             | 1 semana                                 |
| Malo                | 1 mes                                    |
| Muy malo            | El agua no evacua                        |

*Nota.* De *Guía de Diseño de estructuras de pavimentos*, por AASHTO, 1993, p.31.

La Tabla 13 que se muestra a continuación presenta valores mi recomendado para los porcentajes de tiempo en las cuales la estructura del pavimento está expuesta a agentes de humedad.

**Tabla 14**

**Valores de mi recomendado para los coeficientes de capa modificados en pavimentos flexibles**

| Calidad del drenaje | % del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación |             |             |      |
|---------------------|--|-------------|-------------|------|
|                     | < 1  | 1 - 5       | 5 - 25      | >25  |
| Excelente           | 1.40 – 1.35  | 1.35 – 1.30 | 1.30 – 1.20 | 1.20 |
| Bueno               | 1.35 – 1.25  | 1.25 – 1.15 | 1.15 – 1.00 | 1.00 |
| Regular             | 1.25 – 1.15  | 1.15 – 1.05 | 1.05 – 0.80 | 0.80 |
| Pobre               | 1.15 – 1.05  | 1.05 – 0.8  | 0.80 – 0.60 | 0.60 |
| Muy pobre           | 1.05 – 0.95  | 0.95 – 0.75 | 0.75 – 0.40 | 0.40 |

*Nota.* De *Guía de Diseño de estructuras de pavimentos*, por AASHTO, 1993, p.32

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Agente estabilizador**

Es el producto diferente al suelo que se le adiciona a este con el propósito de mejorar sus propiedades físico- mecánicas. (MVCS, 2010)

### **2.3.2 Propiedades físicas**

Son aquellas que determinan las propiedades índices de los suelos y que permiten clasificarlos. (Herrera, 2014)

### **2.3.3 Propiedades mecánicas**

Son aquellas propiedades que permiten determinar la resistencia de los suelos o el comportamiento de estos frente a las solicitaciones de cargas. (Herrera, 2014)

### **2.3.4 Tráfico**

Es la determinación del número de aplicaciones de carga por cada eje simple equivalente, analizado durante el periodo de diseño considerado para el proyecto. (MVCS, 2010)

### **2.3.5 Pavimentos urbanos**

Es el espacio destinado al tránsito de vehículos y/o personas que se encuentran dentro del límite urbano, se pueden clasificar en: vías expresas, arteriales, colectoras y locales. (MVCS, 2010)

## **2.4 Marco normativo**

### **2.4.1 Manual de Ensayos de Materiales- Ministerio de Transportes y Comunicaciones**

Aprobado en 2016, con la RD-N°18-2016-MTC/14, mediante el cual se aprueban los ensayos establecidos, tales como la elaboración de análisis en laboratorio, a propiedades físicas, químicas y mecánicas.

#### **2.4.2 N.T.E. CE. 010 pavimentos Urbanos- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento**

Aprobada en 2010, con el DS-001-2010-VIVIENDA, modificación de la Norma Técnica CE. 0.10 Aceras y Pavimentos.

En esta norma se establecen los requisitos para el diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos. Para lo cual se deben realizar una relación de ensayos que permitan obtener la calidad óptima del material granular empleado en la base y subbase de un pavimento. Estos ensayos son los siguientes:

- Ensayos de Granulometría (NTP 400.012)
- Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019)
- CBR de laboratorio de material extraído (NTP 339.145)
- Limite Liquido (NTP 339.129)
- Índice de Plasticidad (NTP 339.129)
- Equivalente de Arena (NTP 339.146)
- Sales Solubles Totales de las muestras (NTP 339.152)
- Partículas con una cara fracturada (MTC E-210)
- Partículas con dos caras fracturadas (MTC E-210)

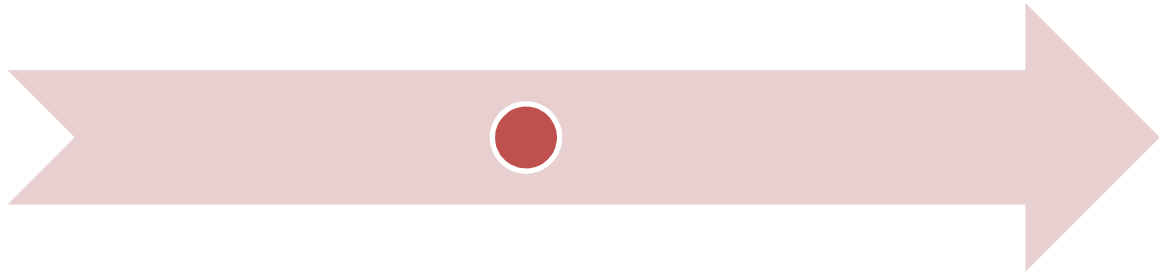
#### **2.4.3 Manual de carreteras – Especificaciones técnicas generales para la construcción- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.**

Aprobada en 2013, mediante la RD-N°22-2013-MTC/14. El propósito de este manual es uniformizar las condiciones, requisitos, parámetros y procedimientos de las actividades relacionadas a obras de infraestructura vial, con la finalidad de estandarizar los procesos que conduzcan a obtener los mejores índices de calidad de la obra.

#### **2.4.4 Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos- Ministerio de Transportes y Comunicaciones**

Aprobada en 2013, mediante la RD-N°05-2013-MTC/14. La finalidad de este manual es brindar criterios homogéneos sobre suelos y pavimentos que faciliten el diseño de las capas superiores de carreteras, proporcionándoles un mejor desempeño eficiencia técnico-económica.

# **CAPÍTULO III**



# **MATERIALES Y**

# **MÉTODOS**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Hernández et al. (2014), asegura que para poder investigar y generar conocimiento, se deben emplear dos métodos diferenciados según su propio enfoque, estos son el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo.

El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos secuencias y pruebas, con un orden de etapas precedidas una de otra, sin evadir una de estas; este proceso es deductivo y probatorio con el fin de analizar la realidad objetiva, para ello hace uso de la estadística.

Establece hipótesis y determina variables utilizando la recolección de datos para probar dicha hipótesis, teniendo como objetivo de disponer pautas y corroborar teorías. Al final se logra extraer conclusiones que corroborar la validez de la hipótesis planteada.

De acuerdo a lo descrito podemos afirmar que la presente investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que sigue pasos del proceso de investigación de manera ordenada, estableciendo una hipótesis y realizando los ensayos necesarios para conocer las características del material en estudio en su estado inalterado en la naturaleza, y luego de añadirle cemento portland en diversos porcentajes obteniendo los resultados esperados, de esta manera se realiza la recolección de datos y se analiza para finalmente realizar conclusiones en base a los resultados obtenidos.

También según la finalidad, la presente es una investigación aplicada, ya que se caracteriza porque busca utilizar los conocimientos ya adquiridos con el fin de contribuir con nuevos, con el objetivo de optimizar el uso de los recursos públicos, como es el caso de buscar solucionar problemas de calidad del material y optimizar el espesor de la estructura del pavimento

#### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación es de carácter descriptivo – predictivo, ya que para realizar la investigación se buscó predecir los efectos causadas en una variable en función de la otra, en el caso del presente trabajo la relación entre el grado de mejora de los materiales de sub base



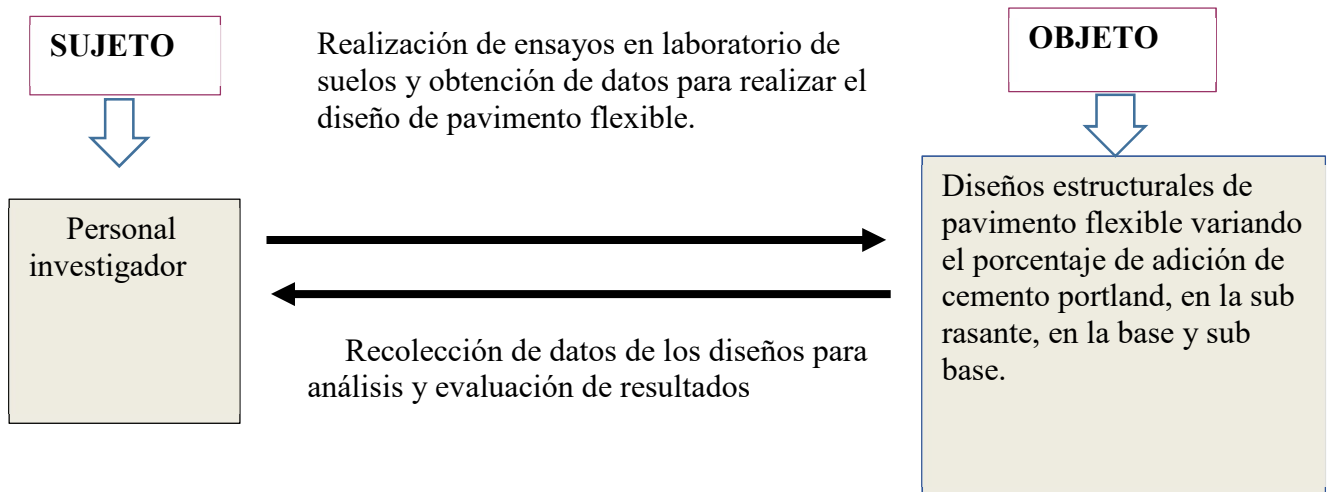
y base utilizando distintos porcentajes de adición de cemento portland y de esta manera optimizar el espesor de la estructura de un pavimento.

### 3.3. Diseño de investigación

Fue de carácter Cuasiexperimental, se manipuló la variable independiente con la finalidad de conocer los efectos que tiene sobre la variable dependiente bajo condiciones controladas.

La presente investigación pertenece a la clase de experimentos puros, debido a que presenta grupos de comparación: control y experimental; y sus respectivos resultados (igual tipo de ensayos hechos para ambos grupos de comparación). Los grupos de control están compuestos por las muestras, las cuales no han sido adicionadas, mientras que, por otro lado, los grupos experimentales son las muestras mezcladas con cemento portland en dosificaciones determinadas previamente.

Figura 06 Diseño de investigación



#### 3.3.1 Diseño Cuasiexperimental

Es Cuasiexperimental ya que la variable independiente planteada (Porcentaje de cemento Portland), se ingresaron de manera controlada a la muestra y fueron manipuladas para luego medir el efecto que tienen sobre la variable dependiente (Índice CBR del material de sub

rasante, base y sub base del pavimento flexible), para obtener resultados a través de una serie de repeticiones, mediante ensayos de laboratorio. Además, se aplicó formulas y procesamiento de datos, para así luego formular cuadros de resultados. Los ensayos se ejecutaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional del Santa, observando y debatiendo los resultados

### **3.4. Unidad de análisis**

Material granular de la sub rasante, y el material de base y subbase proveniente de la Cantera San Pedrito y sus distintas combinaciones con cemento portland tipo MS.

### **3.5. Ubicación**

#### **a.- Calles del HUP. Unión del Sur**

Localidad : HUP. Unión del Sur.

Distrito : Nuevo Chimbote

Provincia : Santa

Región : Ancash

#### **b.- Cantera San Pedrito**

Localidad : Besique

Distrito : Nuevo Chimbote

Provincia : Santa

Región : Ancash

### **3.6 Población y muestra**

#### **3.6.1 Población**

La población en esta investigación es del tipo finita, ya que está delimitada por las calles del HUP Unión del Sur de Nuevo Chimbote, de las cuales se evalúa el terreno de sub rasante y el material de la cantera San pedrito por sus agregados como material de base y subbase con fines de pavimentación.

### **3.6.2 Muestra**

La muestra que se ha considerado corresponde al método no probabilístico.

Las muestras tomadas son pertenecientes a la cantera más empleada en la ciudad de Nuevo Chimbote, Asimismo el material obtenido de la sub rasante de la zona a pavimentar en el HUP Unión del Sur. De las muestras de canteras cuales se obtuvo el material granular que se usó para los ensayos respectivos de mecánica de suelos, para analizar sus propiedades físicas y mecánicas en base a los requerimientos mínimos para ser empleados en bases y subbases de un pavimento flexible.

### **3.7 Variables**

#### **3.7.2 *Variable independiente***

Porcentaje de Cemento Portland tipo MS.

#### **3.7.3 *Variable dependiente***

Índice CBR en la estructura óptima de un pavimento flexible

### 3.8.- Matriz de Consistencia

|  | ¿De qué manera la aplicación del cemento portland afecta directamente el índice CBR en la sub rasante y en las capas de sub base y base en el pavimento ubicado H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022?  | Determinar la influencia de la incorporación del cemento portland como estabilizador en el índice CBR en el pavimento a ser diseñado en el H.U.P Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.  | La adición del cemento portland como estabilizador en la sub rasante y en el material de base y sub base permite mejorar el índice CBR de estos y a la vez optimiza el diseño del espesor de la estructura en el Pavimento en la H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.   | <i>Variable Independiente</i>  |
|--|---|---|---|--|
|  | Problemas Específicos   | Objetivos Específicos   | Hipótesis Específicas   | Portland tipo  |
| Adición del cemento Portland para mejorar el índice CBR en el pavimento en HUP. Unión del Sur, Nuevo Chimbote, 2022. | <p>¿De qué manera influye el cemento portland como fuente de estabilización en el esfuerzo cortante de la subrasante en el diseño de la estructura en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur?</p> <p>¿De qué manera influye el cemento portland como fuente de estabilización en la sub base y en la base de la estructura en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur?</p> | <p>Determinar el Tipo de Suelo de la sub rasante en H.U.P Unión del Sur.</p> <p>Determinar la influencia de la estabilización del cemento portland, hacia el esfuerzo cortante de la subrasante en el diseño de la estructura en el pavimento en H.U.P Unión del Sur.</p> <p>Determinar la influencia de la estabilización del cemento portland, en la sub base y base en el pavimento en H.U.P. Unión del Sur.</p> | <p>Si determinamos las propiedades físicas y mecánicas del material para la subrasante y de la capa base y subbase, podremos optimizarlas con adición de Cemento Portland.</p> <p>Al emplear el cemento portland como adición para optimizar las propiedades físicas se determinará eventualmente el porcentaje adecuado de dosificación para estabilizar la sub rasante y la subbase de un pavimento flexible.</p> <p>Al realizar los diseños del pavimento flexible, sin adición y con adición de cemento portland se resolverá que su estructura se ha optimizado con la adición de este material.</p> | <p>Porcentaje de Cemento Portland tipo MS.</p> <p><i>Variable Dependiente</i></p> <p>Índice CBR en la Estructura óptima de un pavimento flexible</p> |

### 3.9.- Operacionalización de Variable

| Variable      | Nombre de variable                                       | Definición conceptual   | Definición operacional   | Dimensiones  | Indicadores                                   | Herramientas   | Método   |
|---------------|--|---|--|--|---|--|--|
| Independiente | Cemento Portland   | Es un polvo muy fino, resultado de un proceso de calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas produciendo un aglomerante hidrófilo, es decir que en presencia del agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes (Pasquel, 1998.) | Es la medición que se realizara mediante pruebas, se empezara tomando medidas de 1%.   | Diversas dosificaciones de la cantidad de cemento tanto en la sub rasante como en el material de base y sub base.          | Índice CBR                                    | Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos                     | Óptimo porcentaje de adición de cemento para optimizar índice CBR          |
| Dependiente   | Índice CBR en estructura óptima de un pavimento flexible | Es la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación en pavimentos flexibles. (Valle Rodas, pag.139)  | Implica la subrasante y sus propiedades físico mecánicas como el índice CBR, Se determinará cuál es el óptimo índice CBR para el diseño de un pavimento flexible, mediante la comparación de los resultados de los ensayos de laboratorio. | Propiedades físicas, mecánicas dl suelo de la sub rasante y la combinación del material de cantera con adición de cemento. | Óptimo espesor de la estructura del pavimento | Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos<br>Software, Excel. | Según la Normativa del MTC y NTP<br>Método AASHTO 93- diseño de pavimentos |

### **3.10. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

#### **3.10.1 Técnicas de recolección de datos**

En la presente investigación se ha hecho uso de la observación directa, primero se realizó la delimitación de la zona de estudio, luego la ubicación de las calicatas en el lugar, para obtener el material a través de subrasante, muestras que sirvieron para realizar los ensayos necesarios, registrándose luego estos en una base de datos, cuyo posterior procesamiento permitió realizar el perfil estratigráfico de cada una de las calicatas realizadas.

También se utilizó el análisis documentario debido a que recolección de datos se realizó mediante el uso de fichas técnicas aceptadas por la normativa, manuales y metodologías de diseño relacionadas al enfoque de la investigación, que garantizaron realizar de manera correcta los ensayos de campo y ensayos en el laboratorio, habiéndose realizados estos en el laboratorio de mecánica de suelos de la UNS. A través de dichos ensayos y mediante mediciones directas e indirectas, se logró realizar la clasificación del suelo en los sistemas de clasificación más utilizados, así también las propiedades físicas del suelo (contenido de humedad, L.L, L.P, I.P); y propiedades mecánicas como la máxima densidad seca y el índice CBR, tanto para el suelo de terreno natural como para el material de base y sub base en distintas dosificaciones con adición de cemento Portland tipo MS.

#### ***3.10.2 Instrumentos de recolección de datos***

Para recopilar la información de los ensayos que se han realizado se ha empleado las fichas de recolección de datos correspondiente para cada uno de los ensayos señalados. Estos formatos cumplen y tienen como base lo estipulado e indicado por el Manuel de Ensayo de Materiales en su versión 2016, aprobado por el R.D N° 18-2016-MTC/14 el 03 de marzo del 2016.

Este manual toma como referencia a su vez lo señalado por instituciones internacionales, tales como la norma ASTM, el Instituto del Asfalto y AASHTO.

Asimismo, lo regulado por la Norma Técnica Peruana.

**A) Ensayos de campo**

- Toma de muestras de suelos (MTC E 101)

**B) Ensayos de laboratorio para las características físicas y mecánicas**

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)
- Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)
- Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)
- Determinación del límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (I.P) (MTC E 111)
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115)
- CBR en laboratorio (MTC E 132)

Para el diseño de pavimento flexible se hizo uso de la metodología AASHTO 1993, la cual brinda formatos que permiten recopilar los datos necesarios para calcular los parámetros necesarios en dicha metodología, tales como el ESALs de diseño, coeficientes y números estructurales. Destacándose también el uso de la sección de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Manual de Carreteras aprobado por R.D N°10-2014-MTC/14, que también brinda parámetros necesarios para la metodología AASHTO.

***3.10.3 Validación y confiabilidad de los instrumentos***

Las fichas empleadas tienen sustento en el Manual de ensayo de materiales, las normas ASTM, el Manual de Carreteras y la metodología propuesta por AASHTO 1993.

La validez y confiabilidad de los instrumentos empleados para los ensayos de laboratorio, así como la validez de los instrumentos para diseñar el diseño flexible fue aprobado por la Jefatura del Laboratorio de Mecánica de Suelo de la UNS, a cargo del Ms. Julio César Rivasplata Díaz.

### **3.11 Procedimientos para recolección de datos**

#### ***3.11.1 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.***

##### **3.11.1.1 Toma de muestras de suelos (MTC E 101)**

Los trabajos en el campo consistieron principalmente tomar las muestras del suelo natural del sitio en estudio con el fin de realizar los ensayos necesarios a realizar en laboratorio. Se ejecutaron 9 calicatas excavadas manualmente con una profundidad de 1.50 metros.

#### **- Calicatas**

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

- 03 palanas
- 02 barretas
- Wincha metálica de 5m
- Sacos y bolsas para recolección

##### ***Procedimiento***

-Se ubicó los puntos donde se realizaría las calicatas, teniendo consideración las tuberías enterradas existentes, evitando obstaculizar el tránsito de la zona.

- Se delimitó el área, siendo de 1.00m x 1.50m.

- Con ayuda de las palanas y barretas se excavo hasta una profundidad mínima de 1.50m.

- Una vez llegado a la profundidad mínima, se procedió a extraer las muestras para cada una de las 04 calicatas, las cuales se almacenaron con cuidado en sacos y bolsas para evitar contacto con sustancias externas al suelo natural.

- Se trasladó el material a una zona de almacenamiento, siendo posteriormente trasladadas al Laboratorio de Mecánica de Suelo de la UNS.



## **- Tránsito promedio diario anual. - TPDA**

### ***Equipos y Materiales***

-Lapiceros

-Libreta de apuntes

### ***Procedimiento***

Es importante mencionar, que el tránsito en la actualidad es muy restringido en comparación con otras zonas similares que se encuentran pavimentadas, previendo que una vez que la presente zona se encuentre con sus respectivas pistas y veredas el volumen del tránsito crecerá significativamente.

Para calcular el tránsito promedio diario Anual (TPDA), se asistió en horas de mayor tránsito para realizar la cuenta de vehículos que circulan por las vías de la zona estudiada en esta investigación, así como identificar qué clase de vehículos son los que transitan ahí.

### **3.11.1.2 Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)**

Este análisis tiene como fin obtener una distribución según el tamaño de las partículas, de esta forma se pudo clasificar los suelos por el sistema SUCS y sistema AASHTO.

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

- Juego de Tamices

- Tamizadora Eléctrica.

- 01 balanza eléctrica con aproximación de 0.01 g.

- 01 balanza eléctrica con aproximación de 1g.

- Cepillo y brocha.

- Taras de aluminio

- Horno eléctrico con temperatura  $110 \pm 5$  °C.

### ***Procedimiento***

- Se comenzó realizando la toma de una muestra representativa, mediante la técnica del cuarteo se obtuvo aproximadamente 1kg de material.

- Se pesó la muestra, esto es el peso inicial seco.
- El material se pasó por el conjunto de tamices, y se colocó en la tamizadora por 15min.
- Al final del procedimiento, se pesó el material retenido en cada tamiz.

### **3.11.1.3 Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)**

Todo suelo natural posee una humedad propia, para determinar dicha humedad se realizó este ensayo, el cual consistió en hallar la proporción de agua presente en una muestra de suelo expresada en porcentaje, con respecto de su peso seco.

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

- 01 balanza eléctrica con aproximación de 0.01 g.
- Taras de aluminio
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.
- 01 espátula
- Cepillo y brocha

#### ***Procedimiento***

- Se determinó la cantidad de taras a usar, se pesó y anotó el peso de cada una de ellas.
- Se colocó muestra de suelo húmedo en las taras, y se volvió a realizar el pesaje.
- Fueron colocadas en el horno por un intervalo de 24 horas a temperatura  $110 \pm 5$  °C.
- Las taras se sacaron del horno, se pesaron las muestras secas y se anotó dichos pesos.
- Se calculó el porcentaje de humedad.

### **3.11.1.4 Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)**

Cuando hablamos del L.L. de un suelo, nos referimos a la cantidad de humedad en porcentaje que establece la frontera entre su estado plástico y el líquido. Este parámetro es muy importante cuando se quiere clasificar un suelo en los sistemas SUCS y AASHTO.

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

- Tamiz N°40
- 01 espátula de acero

- Copa de Casagrande con acanalador
- Taras de aluminio
- 01 balanza electrónica con aproximación 0.01 g.
- Agua destilada
- Recipiente de porcelana

***Procedimiento***

***El suelo no presentó límite líquido.***

**3.11.1.5 Determinación del Límite Plástico (L.P.) e índice de Plasticidad (I.P.)  
(MTC E 111)**

***Equipos y materiales***

- Tamiz N°40
- 01 balanza eléctrica con aproximación 0.01 g.
- 01 espátula
- Agua destilada
- Recipientes de aluminio
- Horno eléctrico
- Recipiente de porcelana
- Vidrio grueso esmerilado

***Procedimiento***

El suelo no presenta límite plástico.

### **3.11.1.6 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115)**

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

- Molde cilíndrico de 4” de diámetro y  $4.5 \pm 0.018$ ” de altura, placa base y collar de extensión.
- Pisón con masa de  $10 \pm 0.02$  lb-m, y altura de caída de  $18 \pm 0.05$  pulgadas.
- Balanza eléctrica de precisión de 1g.
- Balanza eléctrica de precisión de 0.01g.
- Bandejas, espátulas y cucharas
- Tamiz N° 4
- Regla metálica
- 01 probeta de 500ml.
- Taras
- Horno eléctrico

#### ***Procedimiento***

- Se seleccionó el método de ensayo A, el cual se usó en el terreno natural y el método C, se usó en el material de base y sub base, los cuales tienen distintos parámetros para trabajar, la elección se da en base a la granulometría.
- Se utilizó el método A, debido a que el material acumulado retenido por el tamiz N° 4 fue menos del 25% del peso del material.
- Para cada punto de la gráfica del Proctor, se utilizó aproximadamente 3kg de muestra seca, previamente colocada en horno.
- En un recipiente se realizó la mezcla entre el suelo con un porcentaje en peso de agua. Se realizó un batido tal que la mezcla sea homogénea.
- Determinamos el peso del molde cilíndrico, luego se ensambló con la placa base, y también se ensambló el collar de extensión.

- Se colocó el suelo en 5 capas de aproximadamente igual espesor dentro del molde, y se compactó cada una aplicando 25 golpes, ya que se trabajó con el método A. Se tuvo cuidado de que los golpes sean bien distribuidos cubriendo toda el área que ocupaba la muestra dentro del molde.
- Luego se sacó cuidadosamente el collar y se procedió a enrasar la parte superior con la regla metálica.
- Se determinó la masa del molde y del espécimen húmedo compactado dentro del mismo.
- Se desmoldó el suelo, y se tomó una muestra para colocarla en una tara y llevarla al horno para hallar la humedad presente.
- Para determinar más puntos, se repite el procedimiento para el resto de especímenes, incrementando los porcentajes de humedad en 2% en peso.
- Se halló la humedad de todas las muestras, así como su densidad seca de cada espécimen en estado compactado.
- Con estos valores se graficó la curva Proctor, y se pudo determinar el punto máximo que indica la MDS, así como el OCH.

### **3.11.1.7 CBR de suelos (laboratorio) (MTC E 132)**

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

- 03 Moldes cilíndricos de  $6 \pm 0.026$ " de diámetro y  $7 \pm 0.018$ " de altura con placa base perforada de  $3/8$ " de espesor y collar de extensión de 2" de altura para cada molde.
- 01 disco espaciador circular de acero
- 03 placas de expansión provistas de un vástago que permita regular la altura.
- Pesas metálicas como sobrecarga con masa total de  $4.54 \pm 0.02$  kg
- Pisón de Proctor modificado con masa de  $10 \pm 0.02$  lb-m, y altura de caída de  $18 \pm 0.05$  pulgadas
- Papel filtro

- 03 trípodes
- Diales de expansión con aproximación 0.001”.
- Prensa Hidráulica para CBR
- 01 balanza eléctrica con precisión de 1g.
- Taras
- 01 regla metálica
- Horno eléctrico
- Bandejas
- Espátulas y cucharas.
- Poza de Saturación

### ***Procedimiento***

- El procedimiento del ensayo CBR consiste en obtener los valores de soporte a partir de especímenes elaborados en determinadas condiciones de humedad y densidad, pero compactados con diversas energías de compactación.
- Se seleccionó previamente material, 6kg para cada molde y se colocó en el horno para su secado.
- Se preparó el espécimen mezclando la muestra del suelo con agua en proporción con el OCH hallado en el ensayo de compactación.
- Como la muestra iba a ser sumergida, se recolectó una pequeña porción del material antes del proceso y otro al final para mezclarlas y determinar el contenido de humedad.
- Se pesó el molde con su base, para luego colocar el collar de extensión, y se introdujo el papel filtro junto al disco espaciador.
- En el primer molde se colocó el espécimen en 5 capas de igual espesor dentro del molde, y se compactó cada capa aplicando 56 golpes con el pisón. Se tuvo cuidado de que los golpes sean bien distribuidos cubriendo toda el área que ocupaba la muestra dentro del molde.

- El segundo molde se elaboró con una energía de compactación menor, colocando la muestra en 5 capas, pero el número de golpes aplicados fueron 25 para cada capa.
- El tercer molde se elaboró con una energía de compactación aún menor, colocando la muestra en 5 capas, pero el número de golpes aplicados por capa fueron 10.
- Luego de compactar, se retiró el collar de extensión y se procedió a enrasar la superficie con ayuda la regla metálica.
- Se desmontó, se rearmó, pero de manera invertida, ya sin disco, pero si con papel filtro, de tal forma que el espacio libre generado por el disco espaciador quede hacia arriba y permita colocar la sobrecarga.
- Se procedió a pesar el conjunto compuesto por suelo húmedo compactado, molde cilíndrico y base.
- Se procedió a colocar la placa de expansión con vástago ajustable y encima las pesas de sobrecarga.
- Con ayuda de los trípodes, se colocaron en cada molde un dial de expansión, y se registró el valor inicial.
- Los moldes fueron inmersos en agua por un lapso de 96 horas (4 días).
- Cada día se tomó control del dial para ver si se producía una expansión del espécimen.
- Cuando los moldes se retiraron del agua luego del tiempo indicado, se retiró el trípode con el dial luego de registrar la lectura final de este último, también se retiraron las sobrecargas junto con la placa de expansión.
- Se vertió el agua y luego se dejó escurrir el molde por un periodo aproximado de 15 minutos en posición normal, inmediatamente se procedió a determinar la masa de este conjunto en estado saturado. Se repitió este procedimiento para cada molde.
- Se volvió a colocar la placa de expansión con sobrecarga, y se procedió inmediatamente al ensayo de penetración.
- En la prensa hidráulica, se colocó cuidadosamente el molde a ensayar, se aplicó la

carga a través del pistón, cuya área de contacto fue de 3 pulgadas cuadradas, con una velocidad de ensayo de 0.05” (1.27mm) por minuto.

- Se registraron lecturas de carga a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas.
- Se repitió este proceso en la prensa CBR para cada uno de los moldes restantes.

### **3.11.1.8 Diseño de pavimento flexible mediante Método AASHTO 1993**

El procedimiento se realizó usando plantillas de Microsoft Excel basados en lo estipulado en la metodología AASHTO, este se detalla a continuación:

- En la zona de estudio se realizó el conteo de vehículos livianos y pesados durante un lapso de 7 días conforme indica el formato de estudio de tráfico.
- Se calculó el valor de IMDs y del IMDA.
- Se determinó el periodo de diseño según los parámetros de la guía.
- Se calculó el ESALs de diseño
- Para realizar los cálculos de los siguientes pasos, se necesitó los valores de otros parámetros además del número de ejes equivalentes total (W18), como la selección del tipo de tráfico en función del ESALs, que permitió establecer los demás parámetros de diseño tales como: Serviciabilidad Inicial , Serviciabilidad Final, la confiabilidad, las desviación estándar ( $Z_r$ ), la desviación estándar combinada ( $S_o$ ), Módulo resiliente ( $M_r$ ), los coeficientes estructurales de la capas del pavimento ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ), coeficientes de drenaje y el número estructural (SN).

Los valores de estos parámetros se obtuvieron usando las tablas y formulas brindadas por la metodología AASHTO, los cuales están señalados dentro del contenido del ítem 2.2.7.

- Conociendo los valores de los parámetros mencionados anteriormente, se determinó número estructural requerido (SN), a través de la ecuación de diseño.
- Se halló el número estructural requerido para la capa de base ( $SN_1$ ) con los mismos



valores iniciales de diseño pero sustituyendo el valor de  $(M_r)$  de la subrasante por el valor del módulo de la base, posteriormente se procedió a dividir el valor de  $(SN_1)$  entre el coeficiente de capa del concreto asfáltico  $(a_1)$  establecido para determinar el espesor  $(D_1)$ , dicho espesor calculado se verifica que cumpla con el espesor mínimo correspondiente a la capa y el tránsito establecido en la Tabla 19. De cumplir esta condición se redondea  $(D_1)$  a la  $\frac{1}{2}$  pulgada siguiente, de lo contrario se asigna el espesor mínimo que corresponda. Una vez definido el espesor  $(D_1^*)$ , este debe multiplicarse por el coeficiente  $(a_1)$  para el cálculo de un  $(SN_1^*)$  definitivo.

- Se calculó el número estructural para la capa de subbase  $(SN_2)$ , con los mismos valores iniciales de diseño pero sustituyendo el valor de  $(M_r)$  de la subrasante por el valor del módulo de la subbase, restar  $(SN_1^*)$  de  $(SN_2)$ , y posteriormente se procedió a dividir entre el coeficiente de capa y drenaje de la base  $(a_2 \times m_2)$  para determinar el espesor  $(D_2)$ , dicho espesor calculado se verifica que cumpla con el espesor mínimo correspondiente a la capa y el tránsito establecido en la Tabla 19. De cumplir esta condición se redondea  $(D_2)$  a la  $\frac{1}{2}$  pulgada siguiente, de lo contrario se asigna el espesor mínimo que corresponda. Una vez definido el espesor  $(D_2^*)$ , este debe multiplicarse por el producto de coeficientes  $(a_2 \times m_2)$  para el cálculo de un  $(SN_2^*)$  definitivo.

- Se calculó el número estructural requerido de la capa de subrasante  $(SN_3)$ , el cual tiene el mismo valor que el  $(SN)$  calculado al inicio, por lo que el espesor de la subbase  $(D_3)$  se calculó restando  $(SN_1^* + SN_2^*)$  de  $(SN_3)$  y posteriormente dividiendo el resultado por el producto de los coeficientes de capa y drenaje de la subbase  $(a_3 \times m_3)$ , el espesor  $(D_3)$  se redondea a la  $\frac{1}{2}$  pulgada obteniéndose un nuevo espesor  $(D_3^*)$  para luego multiplicarse por el producto de coeficientes  $(a_3 \times m_3)$  y obtener un  $(SN_3^*)$

- El valor obtenido de la sumatoria de los números estructurales calculados como el de la base  $(SN_1^*)$ , subbase  $(SN_2^*)$  y subrasante  $(SN_3^*)$  debe ser igual a mayor que el  $(SN)$  requerido por las condiciones iniciales de diseño, de cumplirse la condición antes

mencionada, se da por concluido la etapa de diseño.

***3.11.2 Procedimientos para conocer los efectos de adición de Cemento Portland tipo MS en la sub rasante en dosificaciones de 2%,4% y 6%y en las capas de base y sub base a la subrasante en proporciones de 3%, 4,% y 5%.***

Para determinar los efectos de la adición del cemento portland tipo MS en la subrasante y en la base y sub base con las proporciones antes señaladas, se utilizaron los siguientes ensayos de laboratorio: el ensayo de Proctor modificado y el ensayo CBR de laboratorio.

***3.11.3 Procedimientos para determinar el porcentaje de Cemento Portland tipo MS a usar en la estabilización de la subrasante para mejorar el índice CBR y optimizar el espesor de pavimento.***

Una vez conocidos los efectos de adición de cemento Portland tipo MS en las proporciones 2%, 4% y 6%, se procedió a comparar los resultados de índice CBR, buscando elegir el porcentaje de adición que aumenta en mayor cantidad este parámetro de resistencia al corte. Bajo esta premisa, el porcentaje de adición de cemento Portland tipo MS elegido para optimizar el espesor de pavimento es de 4% en peso de la muestra representativa.

***3.11.4 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a subrasante estabilizado con Cemento Portland tipo MS.***

Finalmente, determinado el porcentaje de cemento a utilizar en la mejora de la sub rasante se realizó el diseño de pavimento flexible teniendo en consideración adición de cemento Portland tipo MS en el material de base y sub base.

**3.12 Métodos de Análisis de Datos**

La presente investigación posee como se mencionó anteriormente, un enfoque cuantitativo, esto es, que posee un conjunto de procesos secuenciales que sirven para analizar una realidad objetiva, estableciendo una hipótesis que se debe comprobar

mediante el uso de recolección de datos, para luego usar la estadística y procesar los datos con la finalidad de probar dicha hipótesis planteada.

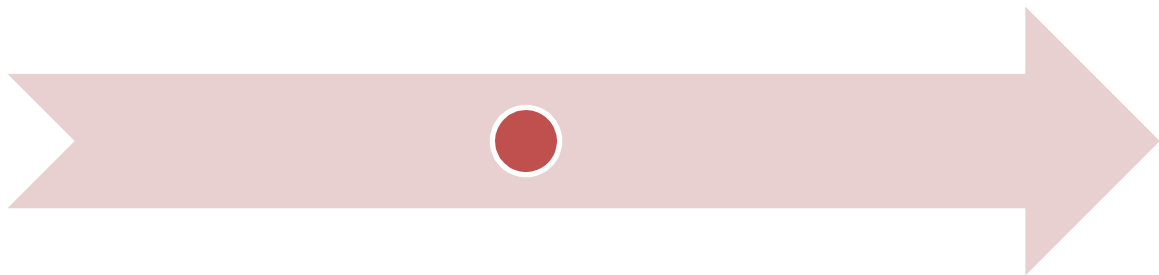
En este caso se hará uso de la Estadística Descriptiva para el procesamiento de los datos, los cuales luego de ser recolectados fueron procesados para su posterior análisis e interpretación, haciendo uso de tablas, gráficas y textos.

### **3.12.1 Instrumentos de análisis de datos**

Los datos fueron analizados haciendo uso del software Microsoft Excel, el cual permitió utilizar hojas de cálculo, realizar tablas y gráficas, tanto del tipo comparativo como del tipo informativo.

La hipótesis de la presente consistía en la suposición de que una subrasante estabilizada con adición de cemento Portland tipo MS incrementa el índice CBR de este material y por ende optimiza el espesor de la estructura del pavimento. Para corroborar dicha hipótesis, se buscó comparar el índice CBR de un terreno en estado natural con una subrasante que contenga una adición de cemento Portland tipo MS , y de esta manera poder visualizar la optimización del espesor de la estructura de un Pavimento, para esto los datos obtenidos de los ensayos tales como: granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, fueron analizados mediante tablas y gráficas, que permitieron realizar el diseño de pavimento mediante la metodología AASHTO. Siendo que al final, haciendo uso de una comparativa mediante gráficas de espesores de pavimento, se pudo corroborar la hipótesis planteada.

# **CAPÍTULO IV**



# **RESULTADOS Y**

# **DISCUSIÓN**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados.

El presente capítulo presenta los resultados conseguidos por medio de los ensayos de laboratorio, realizados a las muestras del suelo en su estado natural perteneciente al H.U.P. Unión del Sur, así como los ensayos aplicados a la combinación de los tipo suelo y diseño de pavimento.

#### 4.1.1 Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.

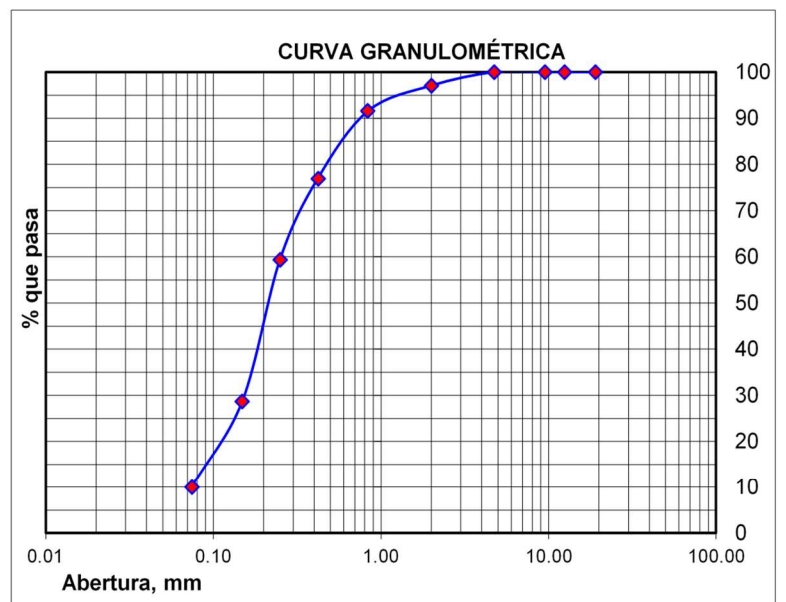
##### 4.1.1.1 Ensayos de Caracterización física

##### 4.1.1.1.1 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

Se hizo bajo los lineamientos de la norma MTC E 107. Los resultados se presentan a continuación:

**Figura N° 07** Granulometría de la calicata N° 01 Estrato de 0.00 a -0.20,

| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000    | 15.000        | 97.07  |
| N° 20    | 0.840    | 28.00         | 91.60  |
| N° 40    | 0.420    | 75.00         | 76.95  |
| N° 60    | 0.250    | 90.00         | 59.38  |
| N° 100   | 0.149    | 157.00        | 28.71  |
| N° 200   | 0.074    | 96.00         | 9.96   |
| < N° 200 | -        | 51.00         | -      |

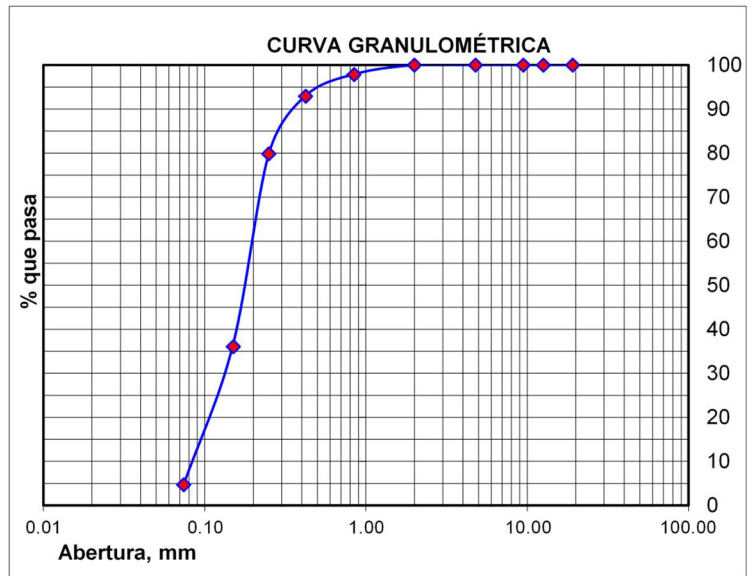


El suelo está conformado por arenas finas limosas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

**Figura N° 08** Granulometría de la calicata N° 01 Estrato de 0.20m a -1.50m

Peso Inicial  
Seco, [gr] 526.000

| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000    | 0.000         | 100.00 |
| N° 20    | 0.840    | 11.00         | 97.91  |
| N° 40    | 0.420    | 26.00         | 92.97  |
| N° 60    | 0.250    | 69.00         | 79.85  |
| N° 100   | 0.149    | 230.00        | 36.12  |
| N° 200   | 0.074    | 165.00        | 4.75   |
| < N° 200 | -        | 25.00         | -      |

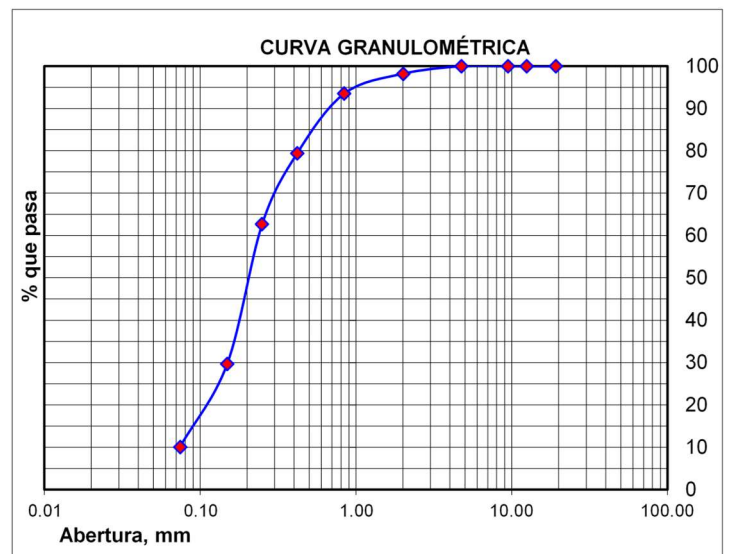


El suelo está conformado por arenas finas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

**Figura N° 09** Granulometría de la calicata N° 02 Estrato de 0.00m a -0.20m,

Peso Inicial  
Seco, [gr] 448.000

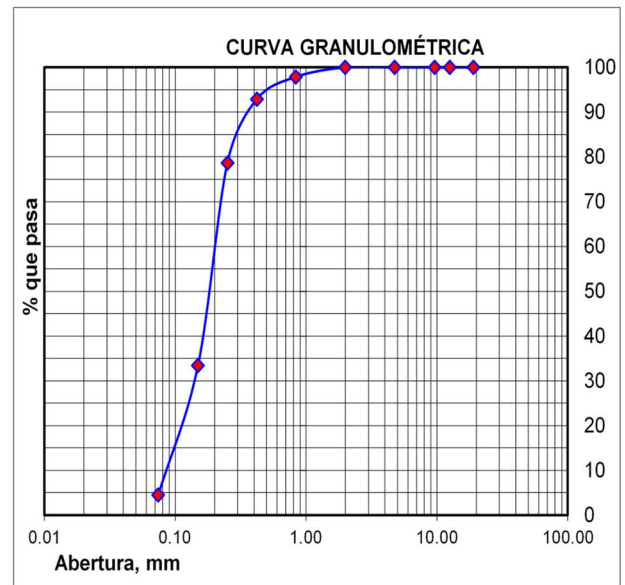
| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000    | 8.000         | 98.21  |
| N° 20    | 0.840    | 21.00         | 93.53  |
| N° 40    | 0.420    | 63.00         | 79.46  |
| N° 60    | 0.250    | 75.00         | 62.72  |
| N° 100   | 0.149    | 148.00        | 29.69  |
| N° 200   | 0.074    | 88.00         | 10.04  |
| < N° 200 | -        | 45.00         | -      |



El suelo está conformado por arenas finas limosas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

**Figura N° 10** Granulometría de la calicata N° 02 Estrato de 0.20m a -1.50m

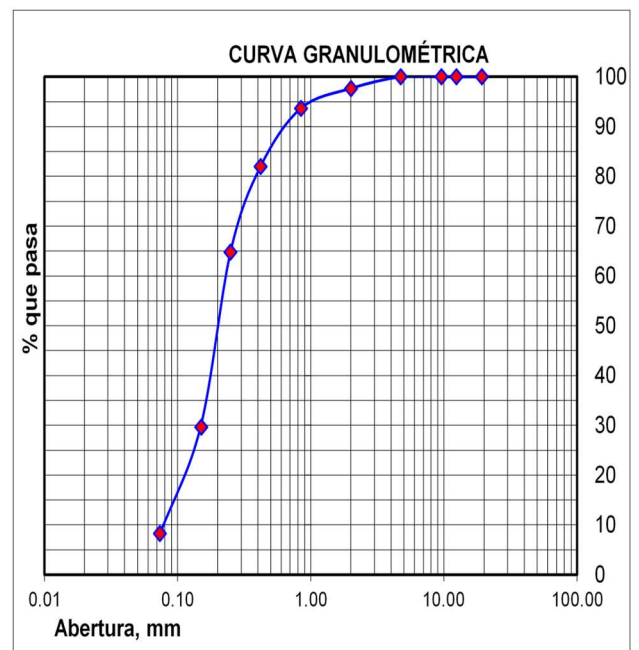
| Mallas   | Peso Inicial Seco, gr |               | % pasa |
|----------|-----------------------|---------------|--------|
|          | Abertura              | Peso retenido |        |
|          | [mm]                  | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800                | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100                | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400                | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050                | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500                | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500                 | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750                 | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000                 | 0.000         | 100.00 |
| N° 20    | 0.840                 | 9.00          | 97.87  |
| N° 40    | 0.420                 | 21.00         | 92.89  |
| N° 60    | 0.250                 | 60.00         | 78.67  |
| N° 100   | 0.149                 | 191.00        | 33.41  |
| N° 200   | 0.074                 | 122.00        | 4.50   |
| < N° 200 | -                     | 19.00         | -      |



El suelo está conformado por arenas finas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

**Figura N° 11** Granulometría de la calicata N° 03 Estrato de 0.00m a -0.30m

| Mallas   | Peso Inicial Seco, [gr] |               | % pasa |
|----------|-------------------------|---------------|--------|
|          | Abertura                | Peso retenido |        |
|          | [mm]                    | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800                  | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100                  | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400                  | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050                  | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500                  | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500                   | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750                   | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000                   | 11.000        | 97.67  |
| N° 20    | 0.840                   | 19.00         | 93.64  |
| N° 40    | 0.420                   | 55.00         | 81.99  |
| N° 60    | 0.250                   | 81.00         | 64.83  |
| N° 100   | 0.149                   | 166.00        | 29.66  |
| N° 200   | 0.074                   | 101.00        | 8.26   |
| < N° 200 | -                       | 39.00         | -      |



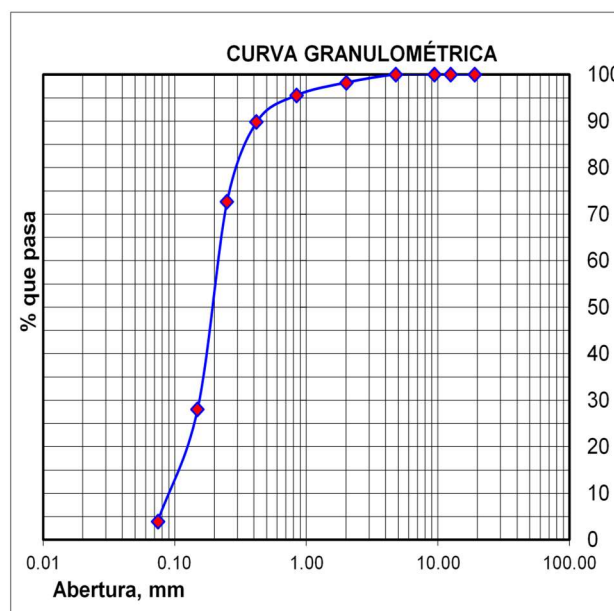
El suelo está conformado por arenas finas limosas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.



**Figura N° 12** Granulometría de la calicata N° 03 Estrato de 0.30m a -1.50m,

Peso Inicial Seco, [gr] 403.000

| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000    | 7.000         | 98.26  |
| N° 20    | 0.840    | 11.00         | 95.53  |
| N° 40    | 0.420    | 23.00         | 89.83  |
| N° 60    | 0.250    | 69.00         | 72.70  |
| N° 100   | 0.149    | 180.00        | 28.04  |
| N° 200   | 0.074    | 97.00         | 3.97   |
| < N° 200 | -        | 16.00         | -      |

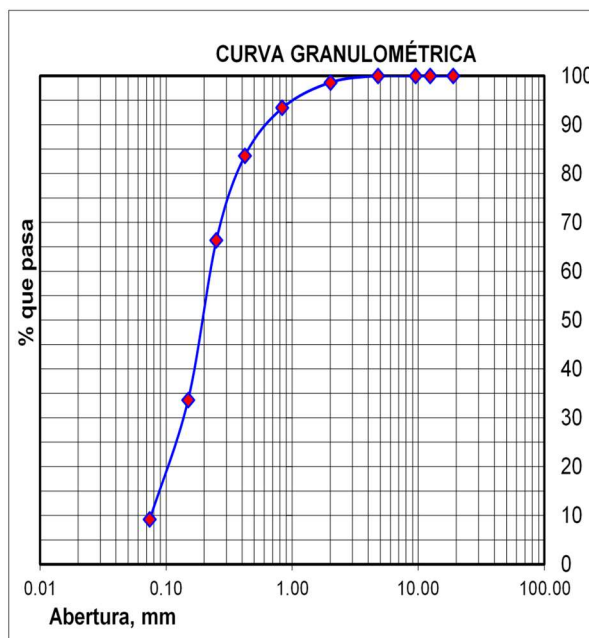


El suelo está conformado por arenas finas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

**Figura N° 13** Granulometría de la calicata N° 04 Estrato de 0.00m a -0.30m

Peso Inicial Seco, [gr] 446.000

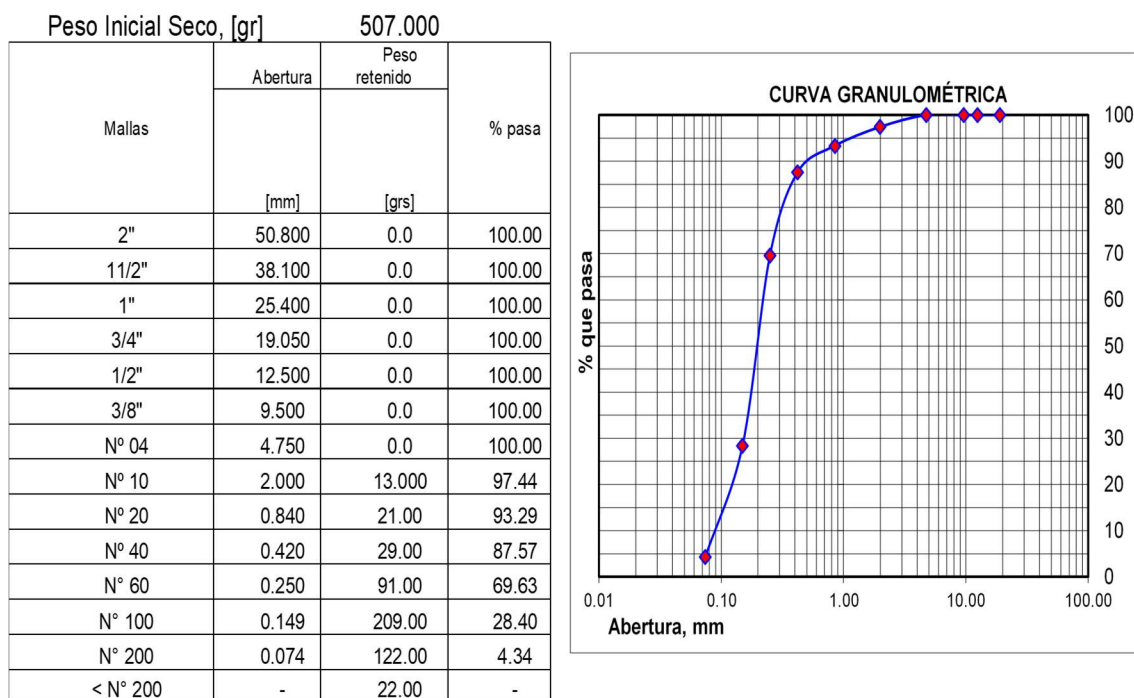
| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     | [grs]         |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| N° 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| N° 10    | 2.000    | 6.000         | 98.65  |
| N° 20    | 0.840    | 23.00         | 93.50  |
| N° 40    | 0.420    | 44.00         | 83.63  |
| N° 60    | 0.250    | 77.00         | 66.37  |
| N° 100   | 0.149    | 146.00        | 33.63  |
| N° 200   | 0.074    | 109.00        | 9.19   |
| < N° 200 | -        | 41.00         | -      |



El suelo está conformado por arenas finas limosas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.



**Figura N° 14** Granulometría de la calicata N° 04 Estrato de 0.30m a -1.50m



El suelo está conformado por arenas finas mal graduadas correspondiente a la clasificación A-3 en AASHTO.

#### 4.1.1.1.2 Determinación del contenido de humedad de un suelo

Se realizó bajo los lineamientos de la norma MTC E 108. Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 15 Contenido de humedad promedio**

| Calicata  | Contenido de Humedad (%) |
|-----------|--------------------------|
| C01 – E01 | 2.147                    |
| C01 – E02 | 2.145                    |
| C02 – E01 | 3.551                    |
| C02 – E02 | 2.424                    |
| C03 - E01 | 2.238                    |
| C03 – E02 | 2.715                    |
| C04 – E01 | 2.121                    |
| C04 – E02 | 2.451                    |
|           |                          |

#### 4.1.1.1.3 Límites de consistencia

No se pudo determinar el L.L, L.P e I.P, ya que estos en ninguna calicata presentan límites de atterberg.

**Tabla 16**

| Calicata  | LL | LP. |
|-----------|----|-----|
| C01 – E01 | NP | NP  |
| C01 – E02 | NP | NP  |
| C02 – E01 | NP | NP  |
| C02 – E02 | NP | NP  |
| C03 - E01 | NP | NP  |
| C03 – E02 | NP | NP  |
| C04 – E01 | NP | NP  |
| C04 – E02 | NP | NP  |

#### 4.1.1.2 Clasificación de suelos

Conociendo los resultados de la granulometría y los límites de consistencia previamente determinados, se realizó la clasificación de suelos de cada calicata mediante los parámetros establecidos por el SUCS y el sistema AASHTO.

En la tabla 17 se muestra la denominación de cada calicata bajo cada uno de los sistemas, además de una pequeña descripción sobre la calidad que posee.

**Tabla 17 : Resumen de Clasificación de Suelos**

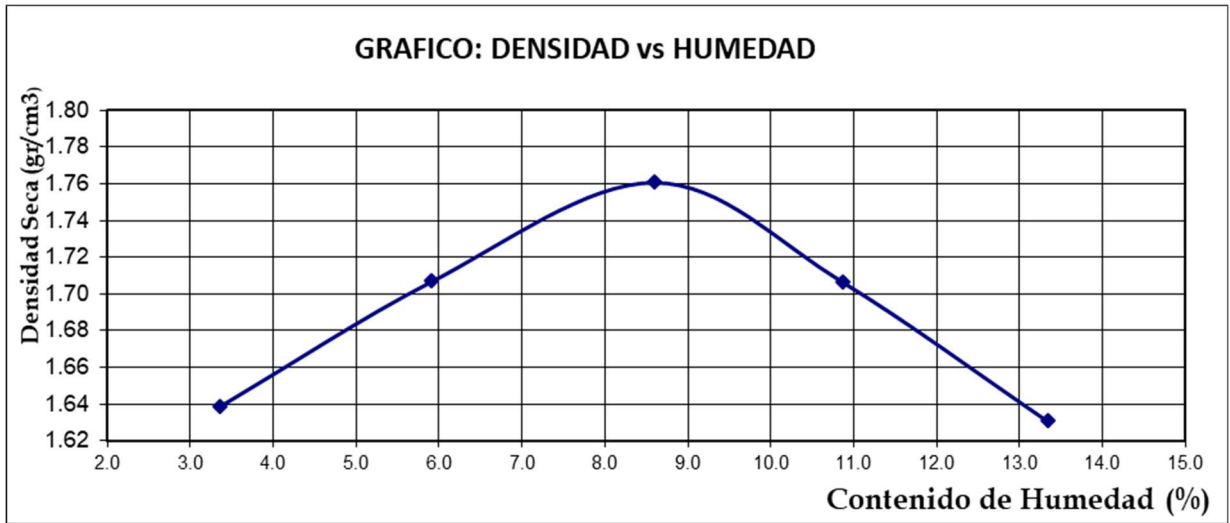
| CALICATA   | SUCS    |                                | AASHTO |  |
|------------|---------|--------------------------------|--------|--|
|            | GRUPO   | DESCRIPCIÓN                    | GRUPO  | DESCRIPCIÓN                                  |
| C01 – E01  | SP -SM  | Arena fina limosa mal graduada | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-01- E02  | SP      | Arenas finas mal graduada      | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-02 – E01 | SP - SM | Arena fina limosa mal graduada | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-02 – E02 | SP      | Arenas finas mal graduada      | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-03 – E01 | SP - SM | Arena fina limosa mal graduada | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-03 – E02 | SP      | Arenas finas mal graduada      | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-04 – E01 | SP - SM | Arena fina limosa mal graduada | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |
| C-04 – E02 | SP      | Arenas finas mal graduada      | A-3(0) | Excelente a bueno como terreno de fundación. |

#### 4.1.1.3 Ensayos de caracterización mecánica

##### *4.1.1.3.1 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado), Ensayos CBR del terreno natural y con adición de cemento Portland tipo MS.*

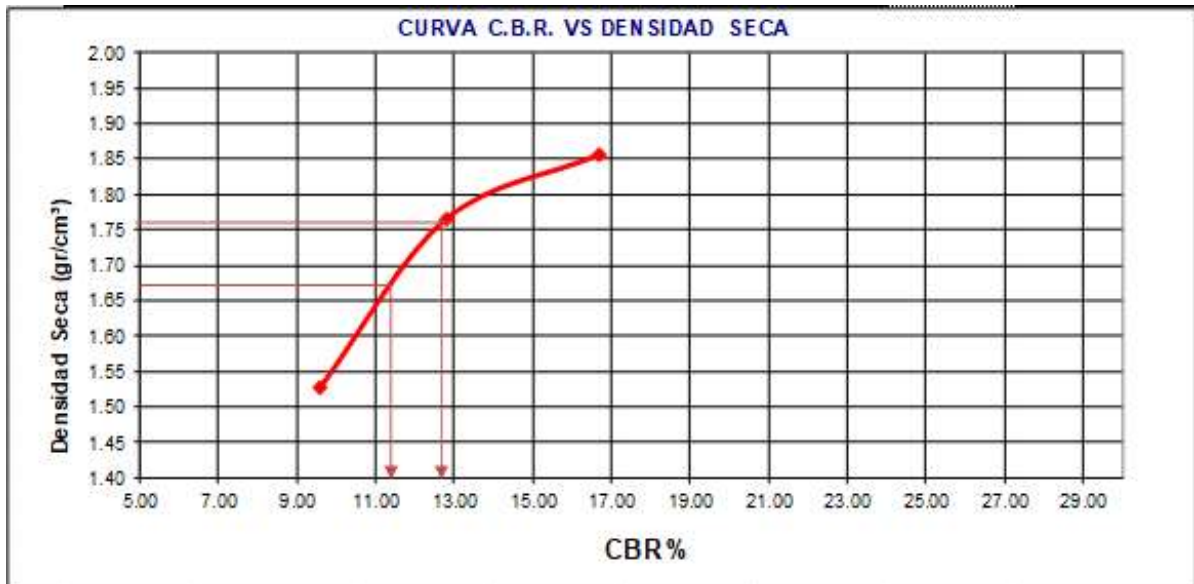
Se han realizado los ensayos según los lineamientos que estipula la norma MTC E117 con el objetivo de determinar el óptimo contenido de humedad de cada calicata, que les permite alcanzar la MDS bajo condiciones de compactación controladas. Las calicatas en cuestión fueron las más desfavorables mencionadas anteriormente. Los resultados se presentan a continuación:

**Figura N° 15** Proctor modificado de terreno natural subrasante



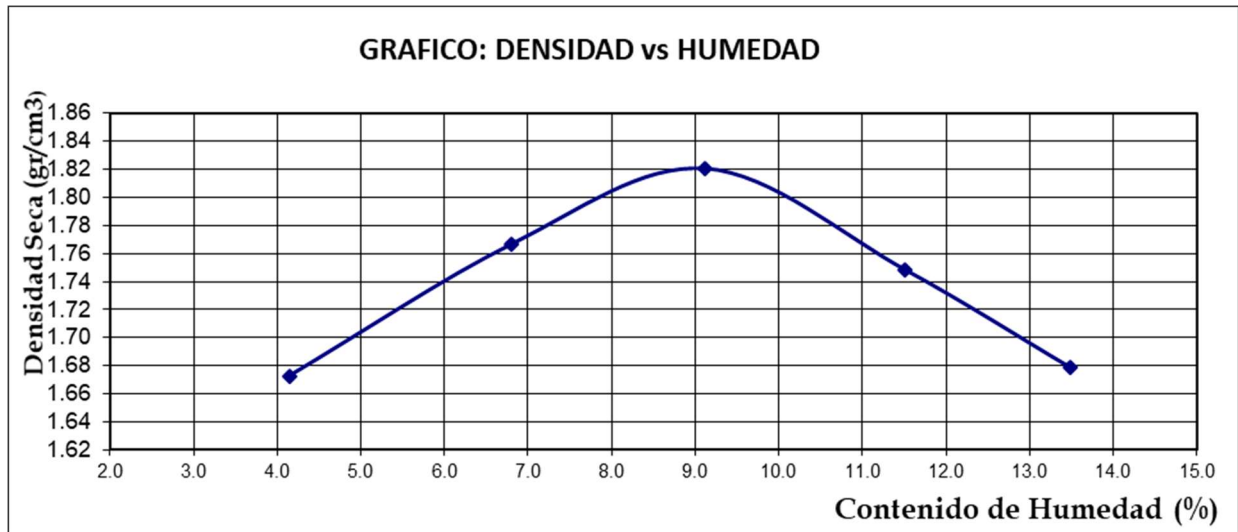
|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>1.76 Gr /Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>8.60%</b>        |

**Figura N° 16** Índice CBR de terreno natural subrasante



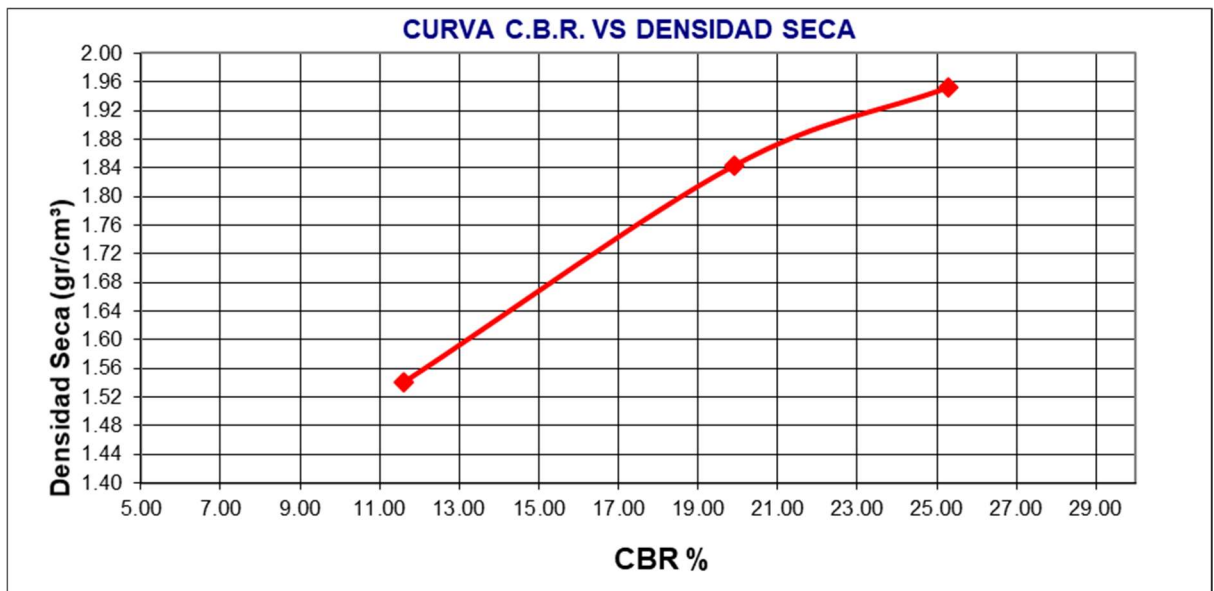
|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : | <b>12.80%</b> |
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :  | <b>11.30%</b> |

**Figura N° 17** Proctor modificado de terreno natural subrasante + 2% adición de cemento portland tipo MS.



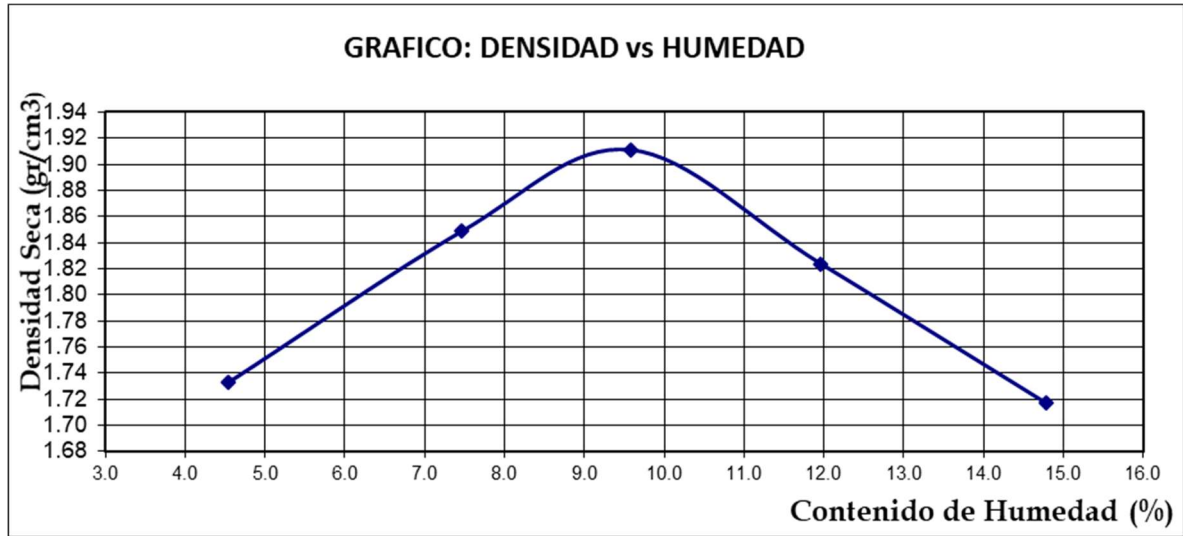
|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>1.82 Gr /Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>9.00%</b>        |

**Figura N° 18** Índice CBR de terreno natural subrasante + 2% adición de cemento portland tipo MS.



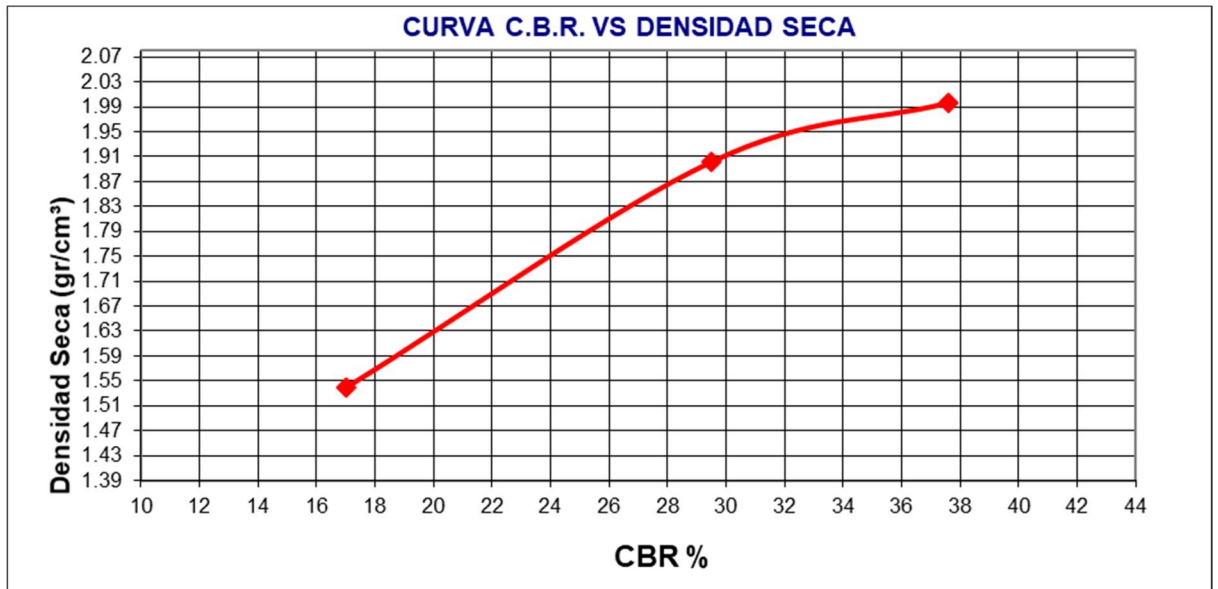
|   |               |
|---|---------------|
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :</b> | <b>19.30%</b> |
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :</b>  | <b>16.00%</b> |

**Figura N° 19** Proctor modificado de terreno natural subrasante + 4% adición de cemento portland tipo MS.



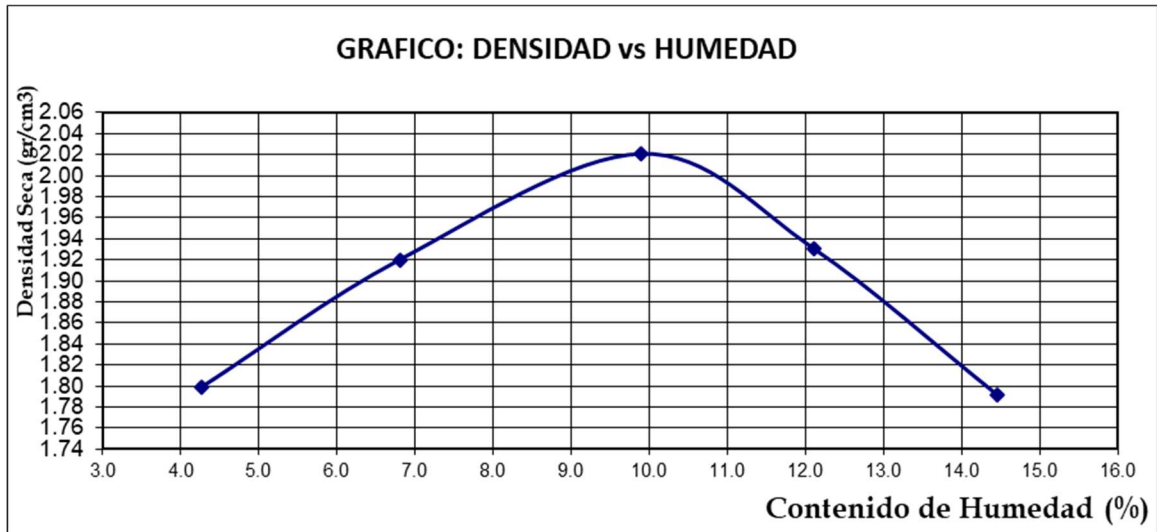
|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>1.91 Gr/cm<sup>3</sup></b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>9.60%</b>                  |

**Figura N° 20 Índice** CBR de terreno natural subrasante + 4% adición de cemento portland tipo MS.



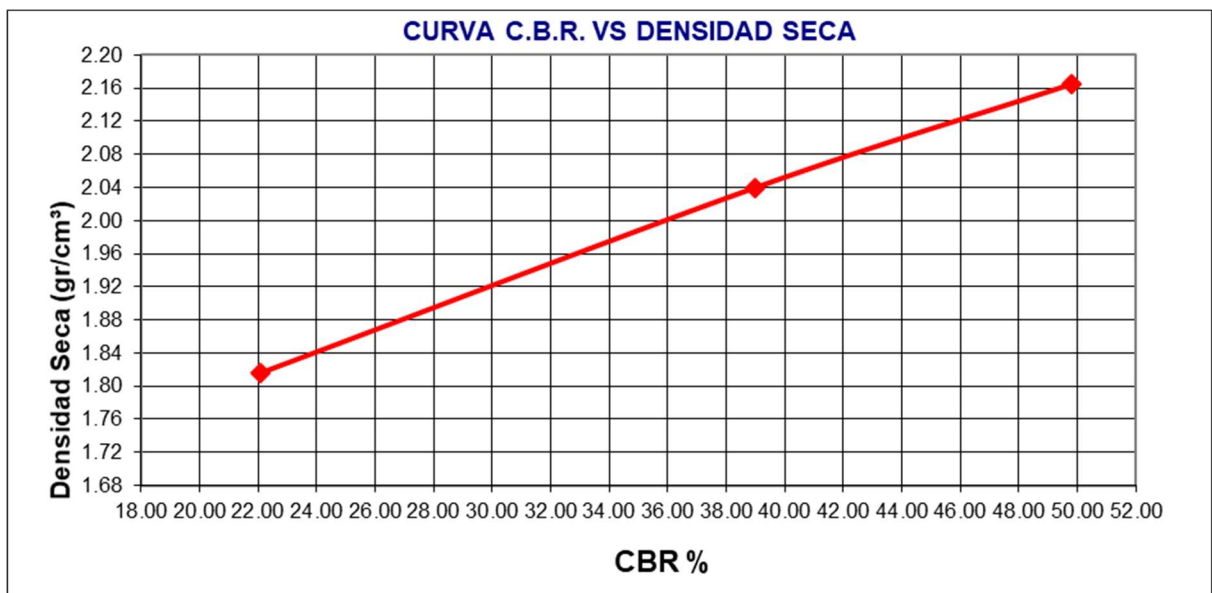
|   |               |
|---|---------------|
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :</b> | <b>30.00%</b> |
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :</b>  | <b>26.00%</b> |

**Figura N° 21** Proctor modificado de terreno natural subrasante + 6% adición de cemento portland tipo MS.



|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>2.02 Gr/cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>10.00%</b>      |

**Figura N° 22** Índice CBR de terreno natural subrasante + 6% adición de cemento portland tipo MS.

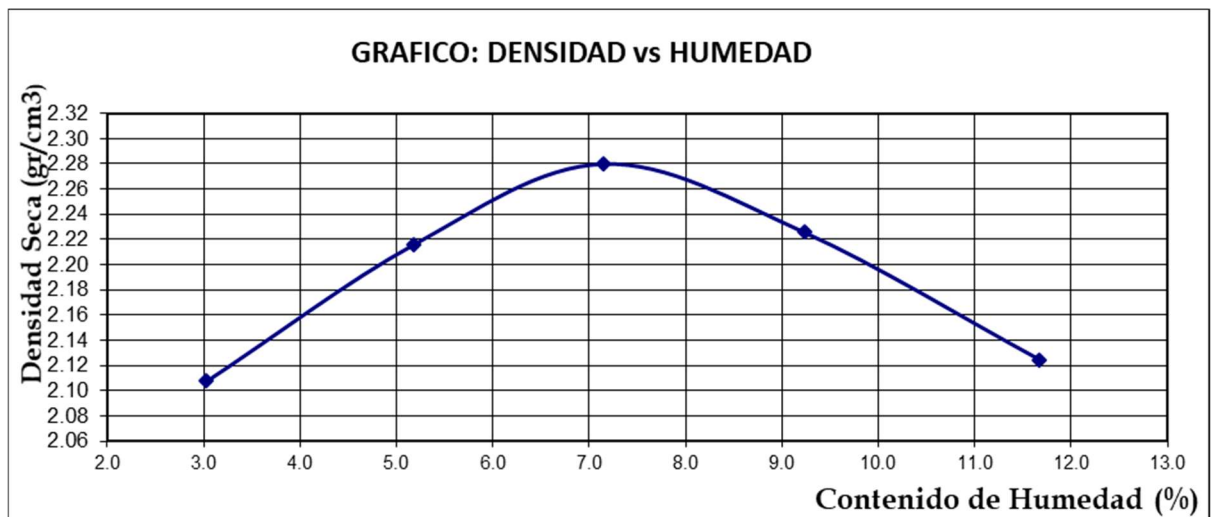


|   |               |
|---|---------------|
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :</b> | <b>37.20%</b> |
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :</b>  | <b>30.00%</b> |

**4.1.1.3.2 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado), Ensayos CBR del material para base, sub base de la cantera San Pedrito y ensayos de compresión no confinada con adición de cemento Portland tipo MS.**

Se realizaron los ensayos similarmente para el material de cantera con adiciones de 3%, 4% y 5% de cemento Portland tipo MS, teniendo como valores de MDS, OCH, índice CBR, y resistencia a la compresión no confinada; siendo los resultados los siguientes:

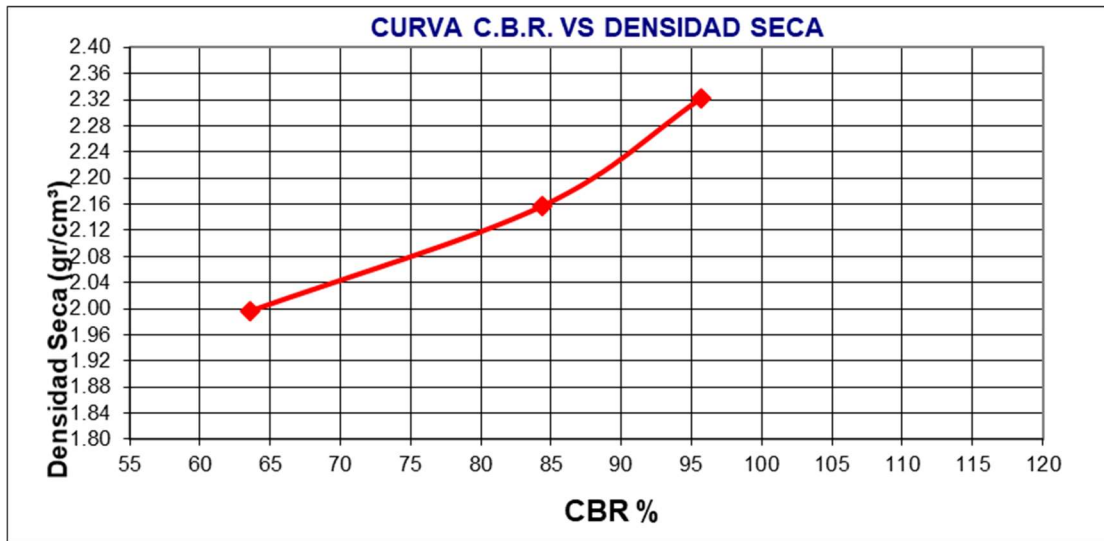
**Figura N° 23** Ensayo Proctor modificado material de base y sub base sin adición.



|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| <b>Máxima Densidad</b>       |                     |
| Seca :                       | <b>2.28 Gr /Cm3</b> |
| Optimo Contenido de Humedad: | <b>7.20%</b>        |

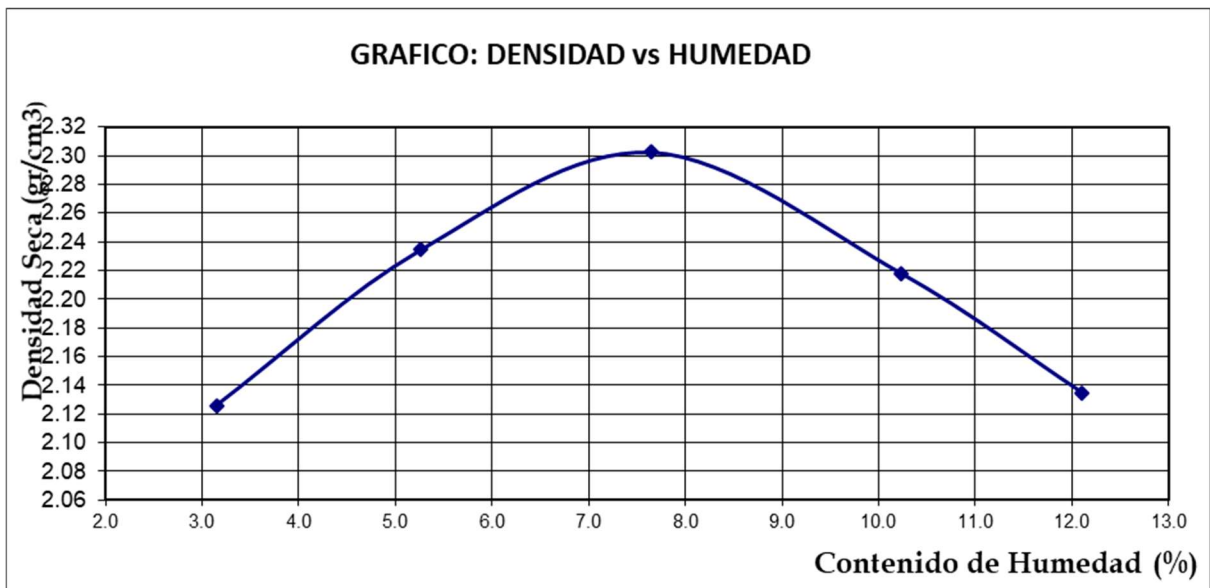


**Figura N° 24** Ensayo CBR de material de base y sub base sin adición.



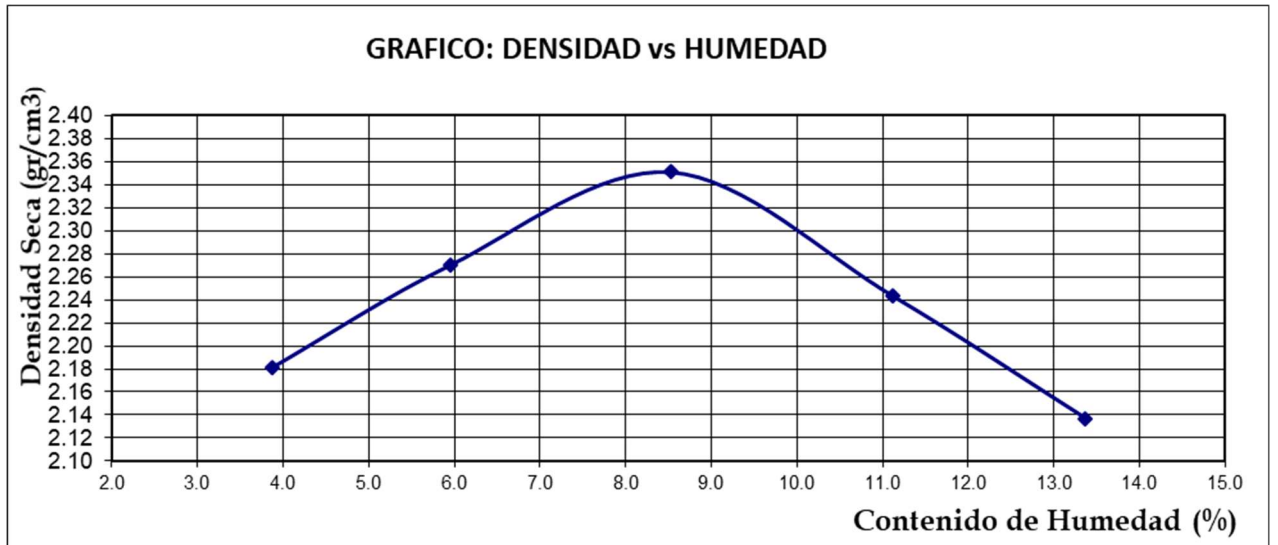
|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : | 93.00% |
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :  | 86.00% |

**Figura N° 25** Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 3% de cemento Portland tipo MS.



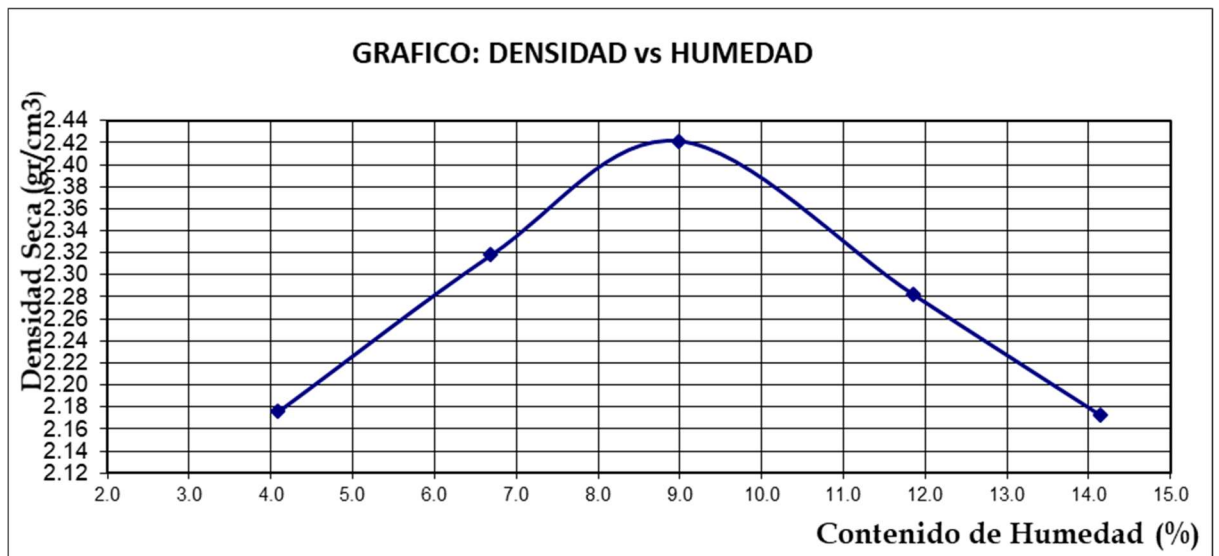
|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Máxima Densidad Seca :       | 2.30 Gr/Cm3 |
| Optimo Contenido de Humedad: | 7.60%       |

**Figura N° 26** Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 4% de cemento Portland tipo MS



|                                     |   |                     |
|-------------------------------------|---|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | : | <b>2.35 Gr /Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> |   | <b>8.50%</b>        |

**Figura N° 27** Ensayo Proctor modificado material de base y sub base con adición de 5% de cemento Portland tipo MS



|                                     |   |                     |
|-------------------------------------|---|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | : | <b>2.42 Gr /Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> |   | <b>9.00%</b>        |

**Figura N° 28** Ensayo de resistencia a la compresión no confinada del material de base y sub base con adición de cemento Portland tipo MS.

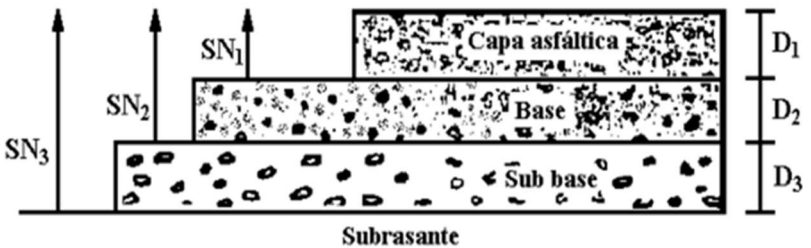
| ADICION | PROBETA | FECHA DE ELABORACION | FECHA DE ENSAYO | EDAD | ÁREA DEL TESTIGO cm2 | RESISTENCIA ALCANZADA Kg/cm2 | F'c Kg/cm2. | PROMEDIO Kg/cm2. |
|---------|---------|----------------------|-----------------|------|----------------------|------------------------------|-------------|------------------|
| 3%      | 1       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2150                         | 26.53       | 28.30            |
|         | 2       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2320                         | 28.63       |                  |
|         | 3       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2410                         | 29.74       |                  |
| 4%      | 4       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2380                         | 29.37       | 30.07            |
|         | 5       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2460                         | 30.36       |                  |
|         | 6       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2470                         | 30.48       |                  |
| 5%      | 7       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2505                         | 30.91       | 30.75            |
|         | 8       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2480                         | 30.61       |                  |
|         | 9       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                | 2490                         | 30.73       |                  |

**4.1.1.3.3 Parámetros en función de la resistencia a la compresión del material de base para el diseño de pavimentos flexibles, en bases estabilizadas con cemento.**

**Figura N° 29**

| f'c ( 7 dias) |     | Kg/cm2 | E(psi)  | a2   |
|---------------|-----|--------|---------|------|
| Mpa           | PSI |        |         |      |
| 2.1           | 300 | 21     | 570,000 | 0.14 |
| 2.8           | 400 | 28     | 600,000 | 0.15 |
| 3.2           | 450 | 31     | 620,000 | 0.16 |
| 3.5           | 500 | 35     | 650,000 | 0.17 |
| 3.9           | 550 | 38     | 680,000 | 0.18 |

**4.1.1.4.- Diseño del Pavimento flexible por medio del método AASHTO 93, sin adición y con adición del cemento Portland tipo MS, tanto en sub rasante y en material de base.**

| <b>DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA</b>                             |   |                 |                        |
|--|---|-----------------|------------------------|
| <b>METODO AASHTO 1993</b>  |   |                 |                        |
| <b>20 AÑOS</b>   |   |                 |                        |
| <b>DISEÑO PATRON SIN ADICIONES.</b>  |   |                 |                        |
| <b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>   |   |                 |                        |
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>  |   |                 |                        |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)                                   |   |                 | 28000.00               |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)  |   |                 | 16500.00               |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>                            |   |                 |                        |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)   |   | <b>6.50E+05</b> |                        |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)   |   | 80%             |                        |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)   |   | -0.841          |                        |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)                             |   | 0.45            |                        |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR)                     |   | <b>12060</b>    |                        |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)  |   | 4.2             |                        |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)  |   | 2.0             |                        |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)  |   | <b>20</b>       |                        |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ |                 | -0.089                 |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>   |   |                 |                        |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA  |   |                 |                        |
| Concreto Asfáltico (a1)  |   |                 | 0.440                  |
| Base granular (a2)   |   |                 | 0.138                  |
| Subbase (a3)   |   |                 | 0.120                  |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA   |   |                 |                        |
| Base granular (m2)   |   |                 | 0.90                   |
| Subbase (m3)   |   |                 | 0.90                   |
| <b>DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :</b>   |   |                 |                        |
|  |   |                 | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )                            |   |                 | 2.492                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )                                 |   |                 | 1.755                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )                                 |   |                 | 2.180                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )                               |   |                 | 2.450                  |
| <b>ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)</b>                            |   |                 |                        |
|  | <b>H (cm)</b>   | <b>SN*</b>      | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> )  | 5.0   | 0.866           | 1.760                  |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )  | 15.0  | 0.733           | 2.138                  |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )   | 25.0  | 1.063           | 2.462                  |
|  | <b>Total</b>  | <b>2.663</b>    | <b>2.492</b> <b>OK</b> |
|  |   |                 |                        |

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**
**METODO AASHTO 1993**
**20 AÑOS**
**DISEÑO ADICION 2% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.**
**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**
**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

|  |          |
|--|----------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI) | 28000.00 |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)      | 16500.00 |

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

|  |                 |
|--|-----------------|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b> |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%             |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841          |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45            |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>15067</b>    |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2             |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0             |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>       |

G.-

$$\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] \quad \text{---} \quad -0.089$$

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

## A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Concreto Asfáltico (a1) | 0.440 |
| Base granular (a2)      | 0.138 |
| Subbase (a3)            | 0.120 |

## B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

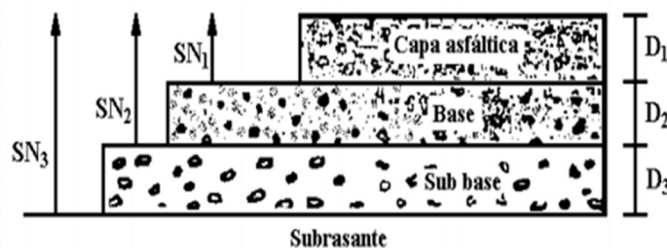
|                    |      |
|--------------------|------|
| Base granular (m2) | 0.90 |
| Subbase (m3)       | 0.90 |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | 2.322        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | 1.780        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | 2.180        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | 2.255        |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm) | SN *         | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | 5.0    | 0.866        | 1.760        |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | 15.0   | 0.733        | 2.133        |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | 20.0   | 0.850        | 2.349        |           |
| <b>Total</b>                          |        | <b>2.450</b> | <b>2.322</b> | <b>OK</b> |





**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**

**METODO AASHTO 1993**

**20 AÑOS**

**DISEÑO ADICION 4% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.**

**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**

**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

|  |          |
|--|----------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI) | 28000.00 |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)      | 16500.00 |

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

|  |                 |
|--|-----------------|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b> |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%             |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841          |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45            |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>20557</b>    |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2             |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0             |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>       |

G.-  $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$  -0.089

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

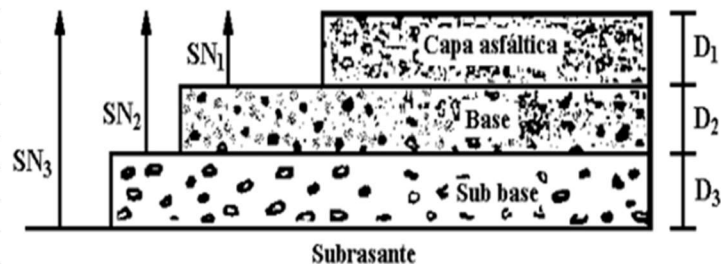
|  |       |
|--|-------|
| <b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b> |       |
| Concreto Asfáltico (a1)                      | 0.440 |
| Base granular (a2)                           | 0.138 |
| Subbase (a3)                                 | 0.120 |
| <b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>    |       |
| Base granular (m2)                           | 0.90  |
| Subbase (m3)                                 | 0.90  |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | 2.077        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | 1.780        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | 2.180        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | 2.010        |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm) | SN*          | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | 5.0    | 0.866        | 1.760        |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | 12.0   | 0.587        | 2.133        |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | 15.0   | 0.638        | 2.241        |           |
| <b>Total</b>                          |        | <b>2.091</b> | <b>2.077</b> | <b>OK</b> |



**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**
**METODO AASHTO 1993**
**20 AÑOS**
**DISEÑO ADICION 6% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.**
**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**
**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

|  |          |
|--|----------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI) | 28000.00 |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)      | 16500.00 |

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

|  |   |
|--|---|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b>   |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%   |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841  |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45  |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>22529</b>  |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2   |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0   |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>   |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ |
|  | -0.089  |

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

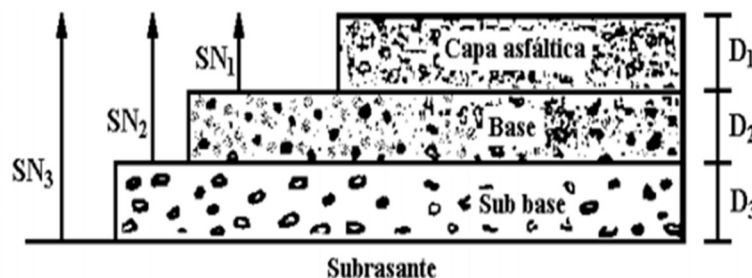
|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA |       |
| Concreto Asfáltico (a1)               | 0.440 |
| Base granular (a2)                    | 0.138 |
| Subbase (a3)                          | 0.120 |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA    |       |
| Base granular (m2)                    | 0.90  |
| Subbase (m3)                          | 0.90  |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | 2.002        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | 1.780        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | 2.180        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | 1.935        |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm) | SN*          | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | 5.0    | 0.866        | 1.760        |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | 11.0   | 0.538        | 2.133        |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | 15.0   | 0.638        | 2.349        |           |
| <b>Total</b>                          |        | <b>2.042</b> | <b>2.002</b> | <b>OK</b> |



**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**  
**METODO AASHTO 1993**  
**20 AÑOS**

**DISEÑO ADICION 3% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN BASE + 4% EN SUB RASANTE**

**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**

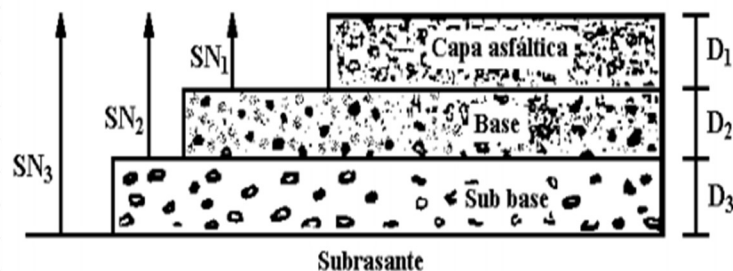
|  |  |
|--|--|
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>                              |  |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)               | 30000.00   |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)                    | 16500.00   |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>        |  |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b>  |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%  |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841   |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45   |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>20557</b>   |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2  |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0  |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>  |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ -0.089 |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>                           |  |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                            |  |
| Concreto Asfáltico (a1)  | 0.440  |
| Base granular (a2)   | 0.150  |
| Subbase (a3)   | 0.120  |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                               |  |
| Base granular (m2)   | 0.90   |
| Subbase (m3)   | 0.90   |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | <b>1.921</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | <b>1.731</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | <b>2.180</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | <b>1.935</b> |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm)      | SN*          | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | <b>5.0</b>  | 0.866        | <b>1.760</b> |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | <b>20.0</b> | 1.063        | <b>2.165</b> |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | <b>0.0</b>  | 0.000        | <b>2.381</b> |           |
| <b>Total</b>                          |             | <b>1.929</b> | <b>1.921</b> | <b>OK</b> |





## 4.2. PRUEBA DE HIPOTESIS

**Ha:** La adición del cemento portland como estabilizador en la sub rasante y en el material de base y sub base **permite** mejorar el índice CBR de estos y a la vez optimiza el diseño del espesor de la estructura del Pavimento en la H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.

**Ho:** La adición del cemento portland como estabilizador en la sub rasante y en el material de base y sub base **NO** permite mejorar el índice CBR de estos y a la vez **NO** optimiza el diseño del espesor de la estructura del Pavimento en la H.U.P. Unión del Sur, Nuevo Chimbote – Santa – Ancash, 2022.

$$H_0: \mu \leq 0$$

$$H_1: \mu > 0$$

### 4.2.1 Adición de Cemento Portland Tipo MS en sub rasante y en material de base.

**Tabla 18 Contrastación de Hipótesis de material de subrasante con adición de Cemento Portland tipo MS más material de base con adición de cemento Portland tipo MS**

| MUESTRA                        | INDICE CBR   | ESPESOR DEL PAVIMENTO |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|
| PATRÓN – SIN ADICION           | 11.30%       | 45 CM.                |
| 2% EN SUB RASANTE              | 16%          | 40 CM.                |
| 4% EN SUB RASANTE              | 26%          | 32 CM.                |
| 6% EN SUB RASANTE              | 30%          | 31CM.                 |
| 4% EN SUB RASANTE Y 3% EN BASE | MAYOR A 100% | 25 CM.                |

*Nota.* Elaboración propia.

Podemos notar en la Tabla 18 los espesores del pavimento flexible, tanto del diseño obtenido con material sin adición de cemento Portland tipo MS, y de la combinación

de distintos porcentajes de adición en la sub rasante más adición en el material de base.

Con estos resultados se procedió a realizar el contraste de la hipótesis principal de la presente investigación, para lo cual se realizó la Prueba de Hipótesis empleando el Método T de Student con el siguiente estadístico de prueba:

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/n}$$

Donde:

t= estadístico t calculado

$\bar{d}$ = promedio de las diferencias

$S_d$ = desv. estándar de las diferencias

\*Para esto, se sigue una distribución t con n-1 grados de libertad.

Considerando una confiabilidad al 95% ( $\alpha$ ), y demás datos, se reemplazaron en la formula anterior y se llegó a obtener el valor de t tal como se muestra.

$$\bar{d} = 0.6$$

$$n = 5$$

$$gl = 5$$

$$\alpha = 0.05$$

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$S_d = 0.2032124$$

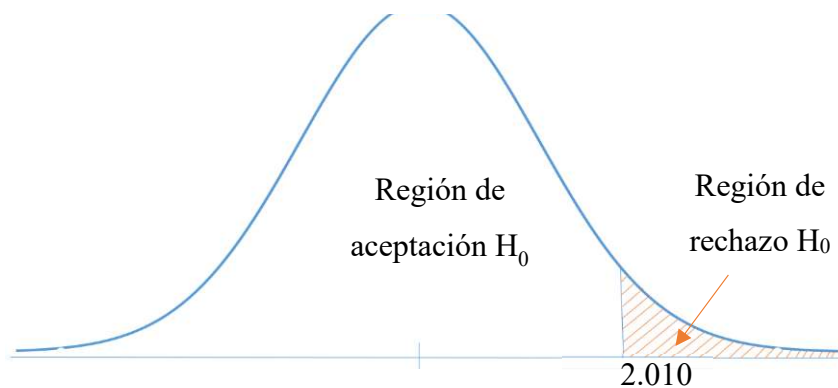
$$t_{(1-\alpha), (n-1)} = 2.009524$$

$$t = 6$$

$$p.\text{valor} = 0.0004325$$

**Figura 30**

Distribución T de Student para Adición de cemento en material de subrasante y base



*Nota.* Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis y llevándolos a la gráfica de la Figura 25, se puede determinar que el valor de  $t$  cae en la región de rechazo de la hipótesis nula, por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada.

#### **4.3.- DISCUSIÓN.**

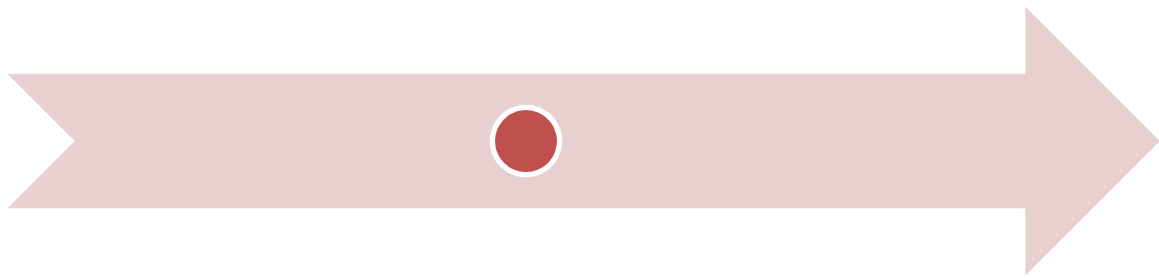
- Luego del proceso de la presente investigación podemos decir que otros investigadores en estudios similares como García (2019) en su investigación titulada: “Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de Caolín”, Concluyó que el caolín presenta un comportamiento débil ante la falta de agua, el cual se pudo compensar con un porcentaje del 12% de cemento, ya que este aumentó considerablemente el enlace entre sus partículas y por consiguiente su resistencia. El cemento establece como un agente estabilizador de suelos en porcentajes mayores a 8% de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia a cargas monotónicas, es importante recalcar que si se quiere realizar la estabilización de una vía de gran envergadura con un alto contenido de caolín o suelo fino el costo puede llegar a ser elevado, en

presente investigación al tener suelos granulares sin la presencia de finos o muy pocos sin plasticidad ha sido suficiente mejorar notablemente sus condiciones de resistencia a la compresión con porcentajes de 4% en subrasantes y 3% en bases granulares, lo que ha bajado enormemente los espesores de la estructura de un pavimento flexible en el HUP. Unión del Sur en Nuevo Chimbote.

- Asimismo en el ámbito Nacional Morocho y Casa verde (2022), en su tesis denominada “Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II”, tuvo como objetivo diseñar una base estabilizada con cemento portland según normativa nacional e internacional y analizar el comportamiento físico-mecánico a través de su aplicación en el tramo 2 de la carretera departamental Costanera II (PI-101), C.P. Negritos-C.P. Miramar, distrito de La Brea y Vichaya, provincias de Talara y Paita en región Piura; concluyendo que se logró la estabilización de suelo tipo A-1-a(0) con 2.5% de cemento según manuales propuestos por la PCA, obteniendo valores de resistencia a la compresión mayores a 21 kg/cm<sup>2</sup>, en nuestra investigación titulada **ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR EN EL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022**” se llegó a determinar que el material de base de clasificación A-1-a(0) con adición de cemento portland tipo MS en un porcentaje de 3% se obtuvo valores de resistencia a la compresión de 28 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que ayuda a optimizar el espesor de la estructura de un pavimento flexible .
- Finalmente, en el ámbito local podemos anotar que Torres & Yacila (2022) en su tesis titulada “Diseño de Mezclas de Material Granular de Tres Canteras para Optimizar sus Propiedades en Pavimentos, Nuevo Chimbote 2020”

presentada en la Universidad Nacional del Santa, tuvieron como principal objetivo realizar el diseño de mezcla de material granular de las Canteras “San Pedrito”, “Cambio Puente” y “La Sorpresa”, para optimizar sus propiedades como material de base y subbase en pavimentos. El diseño de esta investigación fue cuasiexperimental, ya que se realizaron ensayos de laboratorio al material de las canteras antes de determinar el diseño de mezcla óptimo. Mediante el ábaco de Optimización de Granulometrías los autores determinaron que al considerar el 47% del material de la Cantera Cambio Puente, 47% de San Pedrito y 6% de La Sorpresa se obtendría un material de afirmado óptimo, para lo cual realizaron los ensayos pertinentes para verificar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Principalmente se pueden mencionar los resultados del índice de CBR al 100% de la MDS del 94%. En la presente investigación con adición tan solo de 3% de cemento Portland el Índice de CBR es mucho más del 100% llegando a incluso fallar a través de ensayo de resistencia a la compresión no confinada con un valor de 28 Kg/cm<sup>2</sup>, esto representa un valor de CBR, mucho más grande y a la vez ahorra la degradación de los suelos en las canteras respectivas, ya que se necesitará un espesor mucho menor en el diseño de la estructura del Pavimento.

# **CAPÍTULO V**



# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Luego de haber realizado los ensayos pertinentes para la determinación del tipo de suelo en la sub rasante en HUP Unión del Sur del distrito de Nuevo Chimbote, de acuerdo Norma AASHTO M-145 contamos con un Suelo granular A-3 (0) y según SUCS tenemos un suelo SP-SM y SP.
- ❖ Luego de haber realizado el presente trabajo de investigación experimentando con añadir cemento Portland tipo MS en el material de sub rasante y en el material de base de la cantera San Pedrito se pudo comprobar que el índice CBR, mejora notablemente tanto en la base como en la subrasante, y esto trae como consecuencia la mejora notable en el espesor de la estructura del Pavimento en el HUP Unión del Sur del distrito de Nuevo Chimbote, por lo que la Hipótesis de la presente investigación se da por aceptada.
- ❖ Con respecto al objetivo general podemos anotar que la adición del cemento Portland tipo MS, cumple un papel muy importante en la estabilización de suelos tanto en el material de sub rasante, como en el material de base y sub base de esta manera se optimiza el espesor de la estructura de un pavimento flexible en el HUP Unión del Sur del distrito de Nuevo Chimbote.

| MUESTRA                        | INDICE CBR   | ESPESOR DEL PAVIMENTO |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|
| 4% EN SUB RASANTE Y 3% EN BASE | MAYOR A 100% | 25 CM.                |

- ❖ Con respecto al material de base y sub base podemos acotar que en todo el distrito de Nuevo Chimbote se utiliza el material de la cantera de San Pedrito y aledaños, los cuales son bastantes similares en sus propiedades físicas, es decir el material de base y sub base suele ser el mismo, los cuales al adicionar cemento estos alcanzan valores muy elevados de índice de CBR, el cual no se puede determinar por lo que en estos casos el

valor cuantitativo que se utiliza es la resistencia a la compresión no confinada de probetas de los cuales se evaluaron a los 7 días teniendo los resultados siguientes:

| ADICION | PROBETA | FECHA DE ELABORACION | FECHA DE ENSAYO | EDAD | ÁREA DEL TESTIGO cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA ALCANZADA Kg/cm <sup>2</sup> | F <sup>°</sup> C Kg/cm <sup>2</sup> . | PROMEDIO Kg/cm <sup>2</sup> . |
|---------|---------|----------------------|-----------------|------|----------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| 3%      | 1       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2150                                     | 26.53                                 | 28.30                         |
|         | 2       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2320                                     | 28.63                                 |                               |
|         | 3       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2410                                     | 29.74                                 |                               |
| 4%      | 4       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2380                                     | 29.37                                 | 30.07                         |
|         | 5       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2460                                     | 30.36                                 |                               |
|         | 6       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2470                                     | 30.48                                 |                               |
| 5%      | 7       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2505                                     | 30.91                                 | 30.75                         |
|         | 8       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2480                                     | 30.61                                 |                               |
|         | 9       | 05/05/2023.          | 12/05/2023.     | 7    | 81.03                            | 2490                                     | 30.73                                 |                               |

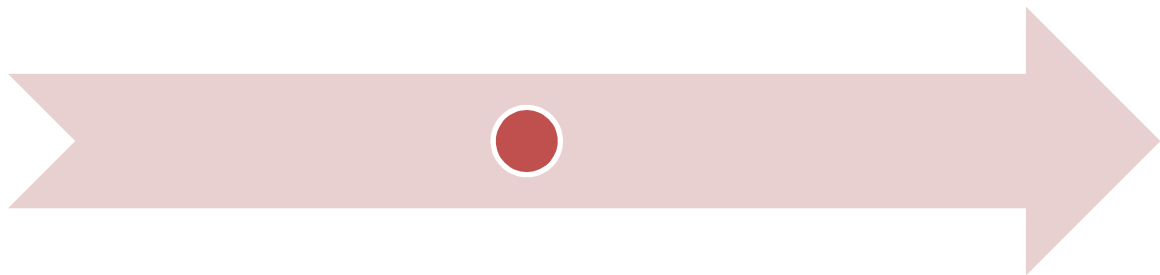
## 5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda, que en el diseño de Pavimentos por siempre debe utilizarse ensayos a la compresión no confinada para evaluar la calidad del material estabilizado con el cemento Portland tipo MS, ya que este procedimiento es el recomendado por la Asociación de cementos Portland ( PCA).
- ❖ En la presente investigación se ha usado el Cemento Portland tipo MS, se recomienda que continúen las investigaciones en estabilizaciones de sub rasantes distintas y de bases y sub bases de otras canteras de menor calidad usando cementos distintos como el nuevo cemento Vía Forte de la fábrica Pacasmayo, exclusivamente fabricado para estabilizar suelos en vías y carreteras.
- ❖ Se recomienda también, que, para la ejecución de obras de pavimentos flexibles en zona urbana, se consideren los resultados obtenidos en esta investigación, ya que queda evidenciado que la estabilización de suelos con cemento Portland tipo MS optimiza notablemente el espesor de la estructura de un pavimento, de esta manera se estará optimizando la conservación del medio ambiente evitando la depredación de los suelos, y se optimizaría económicamente y ambientalmente en la construcción de pavimentos en Nuevo Chimbote.



- ❖ Se recomienda que los laboratorios de la Universidad Nacional del Santa deben tener todos los instrumentos necesarios para la realización de los ensayos requeridos en las investigaciones, los cuales deben siempre estar en buenas condiciones y calibrados con una antigüedad menor a un año.

# **CAPÍTULO VI**



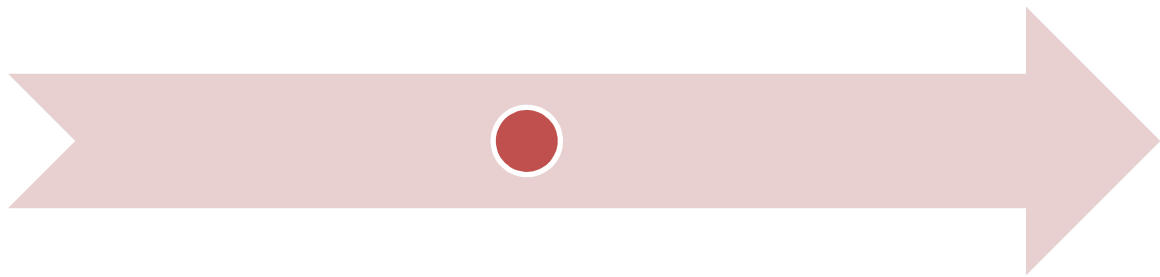
## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES**

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Morocho – Casa verde (2022) Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II
- García (2019) “Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de Caolín.
- Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, AC. (2012). *Pavimentos rígidos y flexibles, ventajas y desventajas*. Nuevo León, México.
- Chavez, R. S. (2018). Diseño del pavimento flexible para la Av. Morales Duarez de la vía expresa línea amarilla en la ciudad de Lima. Lima.
- Medina, A., De la Cruz, M. (2015). Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Investigación. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de [https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA\\_DISE%3%91O\\_MODERNO\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_ASF%3%81LTICOS\\_M\\_Sc\\_SILENE\\_MINAYA\\_GONZ%3%81LEZ](https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISE%3%91O_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASF%3%81LTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZ%3%81LEZ)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). Norma CE. 020 "Estabilización de Suelos y Taludes". Lima, Perú.
- Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

- Ministerio de Economía y Finanzas- Dirección General de Inversión Pública. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima, Perú.
- Rodas, J. & Ybarra, L. (2018). Análisis comparativo de daños en el pavimento con tecnología LCMS y método semiautomatizado para determinar PCI tramo Morropón – Puente La Gallega (Piura). Lima, Perú: Universidad de San Martín de Porres.
- Romero, C. (2018). Evaluación del Material de Afirmado, de las Canteras Pampa La Colina- Guadalupito y San Pedrito - Samanco, Con Fines de Pavimentación- Propuesta de Mejoramiento – Ancash - 2018. Universidad Cesar Vallejo, Nuevo Chimbote, Peru.
- Sánchez, J., Yataco, J. (2017). Propiedades índices de los suelos y su relación con el diseño estructural de los pavimentos en el Distrito de Nuevo Chimbote. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa.
- Torres & Yacila (2022) “Diseño de Mezclas de Material Granular de Tres Canteras para Optimizar sus Propiedades en Pavimentos, Nuevo Chimbote 2020”

# CAPÍTULO VII



# ANEXOS

# **ANEXO 01**

## **Ensayos de Laboratorio**

## VII.ANEXOS

### 7.1. Anexo 01 - Ensayo de Laboratorio

#### Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM-D421).

| RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO   |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
|---|---------------------------|---|---|------------------|----|-------------------|-----|----------------------|--------|--------------|-------|----------------|-----|--------|-----|--------|------|--------|-----|--------|------|--------|-----|--------|------|-------|-----|--------|-------|-------|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|------|----------|---|--------|---|--|--|--|
| <b>TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.</b>   |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>UBICACIÓN</b>  | HUP. UNION DEL SUR.       |   | <b>FECHA</b> : DICIEMBRE DEL 2022           |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>CALICATA</b>   | C-1                       |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>ESTRATO</b>  | E1 de -0.00 m. a -0.20 m. |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>FECHA</b>  | : DICIEMBRE DEL 2022      |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)</b>  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Peso Inicial Seco, [gr]   | 512.000                   |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mallas</th> <th>Abertura [mm]</th> <th>Peso retenido [grs]</th> <th>% pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2"</td><td>50.800</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.100</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.400</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.050</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.500</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.500</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>N° 04</td><td>4.750</td><td>0.0</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>N° 10</td><td>2.000</td><td>15.000</td><td>97.07</td></tr> <tr><td>N° 20</td><td>0.840</td><td>28.000</td><td>91.60</td></tr> <tr><td>N° 40</td><td>0.420</td><td>75.000</td><td>76.95</td></tr> <tr><td>N° 60</td><td>0.250</td><td>90.000</td><td>59.38</td></tr> <tr><td>N° 100</td><td>0.149</td><td>157.000</td><td>28.71</td></tr> <tr><td>N° 200</td><td>0.074</td><td>96.000</td><td>9.96</td></tr> <tr><td>&lt; N° 200</td><td>-</td><td>51.000</td><td>-</td></tr> </tbody> </table> | Mallas                    | Abertura [mm]   | Peso retenido [grs]                         | % pasa           | 2" | 50.800            | 0.0 | 100.00               | 1 1/2" | 38.100       | 0.0   | 100.00         | 1"  | 25.400 | 0.0 | 100.00 | 3/4" | 19.050 | 0.0 | 100.00 | 1/2" | 12.500 | 0.0 | 100.00 | 3/8" | 9.500 | 0.0 | 100.00 | N° 04 | 4.750 | 0.0 | 100.00 | N° 10 | 2.000 | 15.000 | 97.07 | N° 20 | 0.840 | 28.000 | 91.60 | N° 40 | 0.420 | 75.000 | 76.95 | N° 60 | 0.250 | 90.000 | 59.38 | N° 100 | 0.149 | 157.000 | 28.71 | N° 200 | 0.074 | 96.000 | 9.96 | < N° 200 | - | 51.000 | - |  |  |  |
| Mallas  | Abertura [mm]             | Peso retenido [grs]   | % pasa                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 2"  | 50.800                    | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 1 1/2"  | 38.100                    | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 1"  | 25.400                    | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 3/4"  | 19.050                    | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 1/2"  | 12.500                    | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 3/8"  | 9.500                     | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 04   | 4.750                     | 0.0   | 100.00                                      |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 10   | 2.000                     | 15.000  | 97.07                                       |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 20   | 0.840                     | 28.000  | 91.60                                       |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 40   | 0.420                     | 75.000  | 76.95                                       |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 60   | 0.250                     | 90.000  | 59.38                                       |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 100  | 0.149                     | 157.000   | 28.71                                       |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| N° 200  | 0.074                     | 96.000  | 9.96  |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| < N° 200  | -                         | 51.000  | -   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)</b>  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
|   |                           |   | <b>ARENAS FINAS LIMOSAS, MAL GRADUADAS.</b> |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <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]   |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 5. Peso Agua, [gr]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <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]   |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 5. Peso Agua, [gr]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]  |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
|   |                           | <table border="1"> <tbody> <tr><td>Límite Líquido %</td><td>NP</td></tr> <tr><td>Límite Plástico %</td><td>NP</td></tr> <tr><td>Índice Plasticidad %</td><td>NP</td></tr> <tr><td>Clasif. SUCS</td><td>SP-SM</td></tr> <tr><td>Clasif. AASHTO</td><td>A-3</td></tr> </tbody> </table> |   | Límite Líquido % | NP | Límite Plástico % | NP  | Índice Plasticidad % | NP     | Clasif. SUCS | SP-SM | Clasif. AASHTO | A-3 |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Límite Líquido %  | NP                        |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Límite Plástico %   | NP                        |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Índice Plasticidad %  | NP                        |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Clasif. SUCS  | SP-SM                     |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Clasif. AASHTO  | A-3                       |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| <b>3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)</b>   |                           |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| Procedimiento   | Tara No                   |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 1. Peso Tara, [gr]  | 26.399                    |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]   | 120.231                   |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 118.259                   |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 4. Peso Agua, [gr]  | 1.972                     |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]  | 91.860                    |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]  | 2.147                     |   |   |                  |    |                   |     |                      |        |              |       |                |     |        |     |        |      |        |     |        |      |        |     |        |      |       |     |        |       |       |     |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |         |       |        |       |        |      |          |   |        |   |  |  |  |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

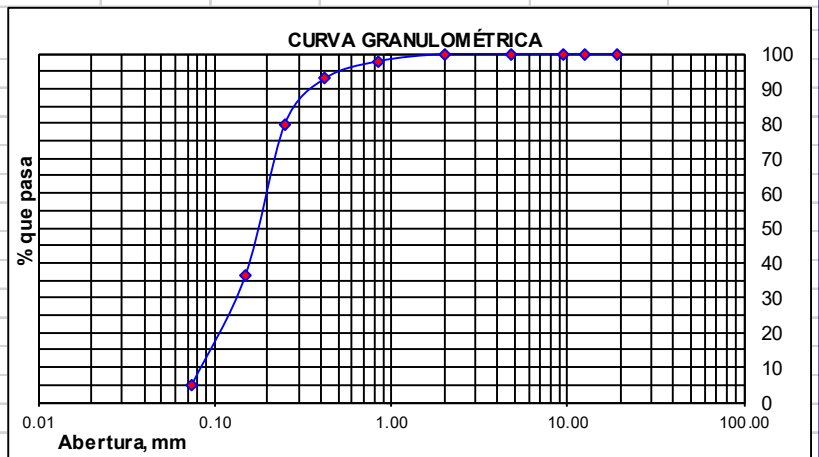
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

|                  |                           |              |                      |
|------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| <b>UBICACIÓN</b> | HUP. UNION DEL SUR.       | <b>FECHA</b> | : DICIEMBRE DEL 2022 |
| <b>CALICATA</b>  | C-1                       |              |                      |
| <b>ESTRATO</b>   | E2 de -0.20 m. a -1.50 m. |              |                      |
| <b>FECHA</b>     | : DICIEMBRE DEL 2022      |              |                      |

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

Peso Inicial Seco, [gr]      526.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 0.000               | 100.00 |
| Nº 20    | 0.840         | 11.00               | 97.91  |
| Nº 40    | 0.420         | 26.00               | 92.97  |
| Nº 60    | 0.250         | 69.00               | 79.85  |
| Nº 100   | 0.149         | 230.00              | 36.12  |
| Nº 200   | 0.074         | 165.00              | 4.75   |
| < Nº 200 | -             | 25.00               | -      |



### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

#### ARENAS FINAS MAL GRADUADAS

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Límite Líquido %     | <b>NP</b>  |
| Límite Plástico %    | <b>NP</b>  |
| Índice Plasticidad % | <b>NP</b>  |
| Clasif. SUCS         | <b>SP</b>  |
| Clasif. AASHTO       | <b>A-3</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]   |             |             |             |
| 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]                | 24.653       |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 107.566      |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 105.825      |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.741        |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 81.172       |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | <b>2.145</b> |



## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

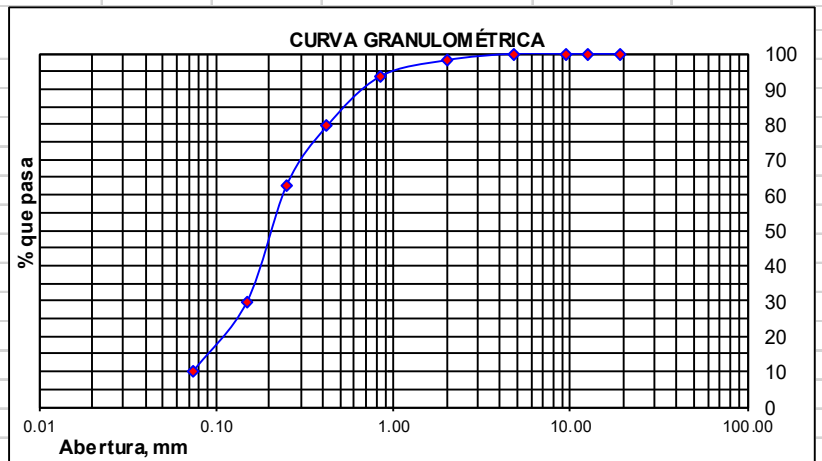
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

|                  |                           |              |                      |
|------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| <b>UBICACIÓN</b> | HUP. UNION DEL SUR.       | <b>FECHA</b> | : DICIEMBRE DEL 2022 |
| <b>CALICATA</b>  | C-2                       |              |                      |
| <b>ESTRATO</b>   | E1 de -0.00 m. a -0.15 m. |              |                      |
| <b>FECHA</b>     | : DICIEMBRE DEL 2022      |              |                      |

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

Peso Inicial Seco, [gr] 448.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 8.000               | 98.21  |
| Nº 20    | 0.840         | 21.00               | 93.53  |
| Nº 40    | 0.420         | 63.00               | 79.46  |
| Nº 60    | 0.250         | 75.00               | 62.72  |
| Nº 100   | 0.149         | 148.00              | 29.69  |
| Nº 200   | 0.074         | 88.00               | 10.04  |
| < Nº 200 | -             | 45.00               | -      |



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

**ARENAS FINAS LIMOSAS MAL GRADUADAS**

#### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Límite Líquido %     | <b>NP</b>    |
| Límite Plástico %    | <b>NP</b>    |
| Índice Plasticidad % | <b>NP</b>    |
| Clasif. SUCS         | <b>SP-SM</b> |
| Clasif. AASHTO       | <b>A-3</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]   |             |             |             |
| 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]                | 25.471       |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 88.977       |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 86.799       |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 2.178        |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 61.328       |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | <b>3.551</b> |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

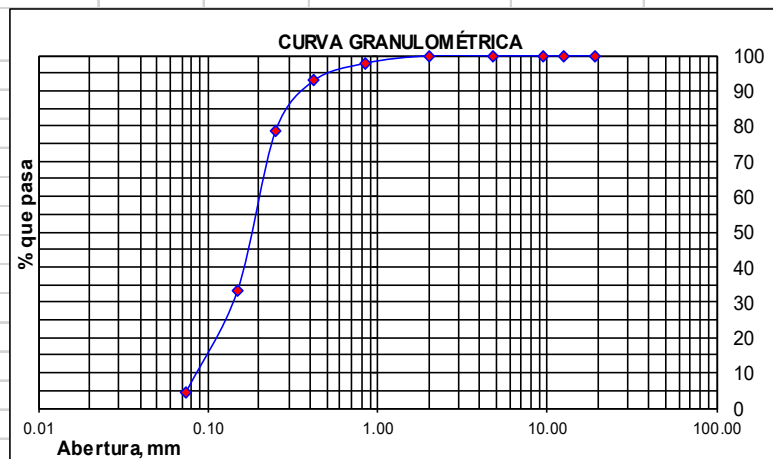
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

UBICACIÓN HUP. UNION DEL SUR. FECHA : DICIEMBRE DEL 2022  
 CALICATA C-2  
 ESTRATO E2 de -0.15 m. a -1.50 m.  
 FECHA : DICIEMBRE DEL 2022

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

Peso Inicial Seco, [gr] 422.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 0.000               | 100.00 |
| Nº 20    | 0.840         | 9.00                | 97.87  |
| Nº 40    | 0.420         | 21.00               | 92.89  |
| Nº 60    | 0.250         | 60.00               | 78.67  |
| Nº 100   | 0.149         | 191.00              | 33.41  |
| Nº 200   | 0.074         | 122.00              | 4.50   |
| < Nº 200 | -             | 19.00               | -      |



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

**ARENAS FINAS MAL GRADUADAS.**

#### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Límite Líquido %     | <b>NP</b>  |
| Límite Plástico %    | <b>NP</b>  |
| Índice Plasticidad % | <b>NP</b>  |
| Clasif. SUCS         | <b>SP</b>  |
| Clasif. AASHTO       | <b>A-3</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]   |             |             |             |
| 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]                | 25.144       |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 119.252      |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 117.025      |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 2.227        |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 91.881       |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | <b>2.424</b> |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

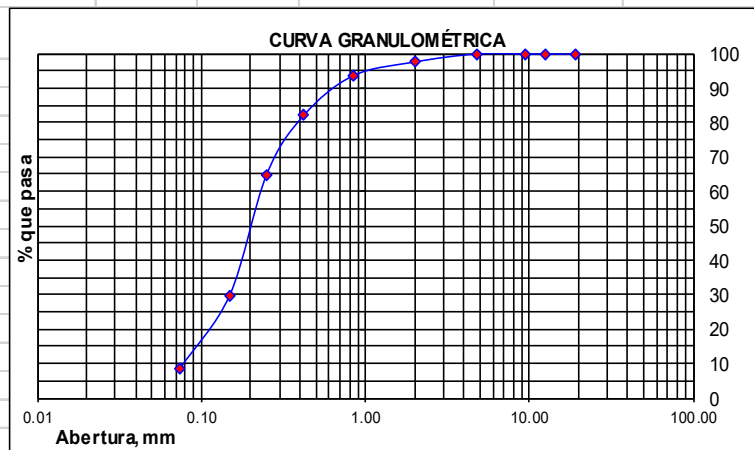
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                  |                           |              |                      |
|------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| <b>UBICACIÓN</b> | HUP. UNION DEL SUR.       | <b>FECHA</b> | : DICIEMBRE DEL 2022 |
| <b>CALICATA</b>  | C-3                       |              |                      |
| <b>ESTRATO</b>   | E1 de -0.00 m. a -0.20 m. |              |                      |
| <b>FECHA</b>     | : DICIEMBRE DEL 2022      |              |                      |

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

Peso Inicial Seco, [gr] 472.000

| Mallas   | Abertura | Peso retenido | % pasa |
|----------|----------|---------------|--------|
|          | [mm]     |               |        |
| 2"       | 50.800   | 0.0           | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100   | 0.0           | 100.00 |
| 1"       | 25.400   | 0.0           | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050   | 0.0           | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500   | 0.0           | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500    | 0.0           | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750    | 0.0           | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000    | 11.000        | 97.67  |
| Nº 20    | 0.840    | 19.000        | 93.64  |
| Nº 40    | 0.420    | 55.000        | 81.99  |
| Nº 60    | 0.250    | 81.000        | 64.83  |
| Nº 100   | 0.149    | 166.000       | 29.66  |
| Nº 200   | 0.074    | 101.000       | 8.26   |
| < Nº 200 | -        | 39.000        | -      |



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

**ARENAS FINAS LIMOSAS MAL GRADUADAS.**

#### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Límite Líquido %     | <b>NP</b>    |
| Límite Plástico %    | <b>NP</b>    |
| Índice Plasticidad % | <b>NP</b>    |
| Clasif. SUCS         | <b>SP-SM</b> |
| Clasif. AASHTO       | <b>A-3</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]   |             |             |             |
| 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]                | 25.854       |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 95.388       |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 93.866       |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.522        |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 68.012       |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | <b>2.238</b> |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

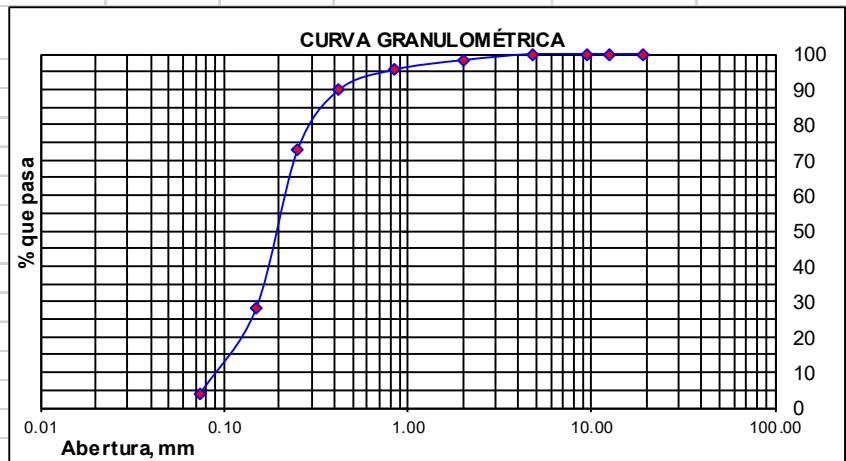
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

UBICACIÓN: HUP. UNION DEL SUR. FECHA: DICIEMBRE DEL 2022  
 CALICATA: C-3  
 ESTRATO: E2 de -0.20 m. a -1.50 m.  
 FECHA: DICIEMBRE DEL 2022

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

Peso Inicial Seco, [gr] 403.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 7.000               | 98.26  |
| Nº 20    | 0.840         | 11.00               | 95.53  |
| Nº 40    | 0.420         | 23.00               | 89.83  |
| Nº 60    | 0.250         | 69.00               | 72.70  |
| Nº 100   | 0.149         | 180.00              | 28.04  |
| Nº 200   | 0.074         | 97.00               | 3.97   |
| < Nº 200 | -             | 16.00               | -      |



### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

#### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

#### ARENAS FINAS MAL GRADUADAS.

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Límite Líquido %     | NP  |
| Límite Plástico %    | NP  |
| Índice Plasticidad % | NP  |
| Clasif. SUCS         | SP  |
| Clasif. AASHTO       | A-3 |

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

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 26.535  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 106.332 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 104.223 |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 2.109   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 77.688  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 2.715   |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

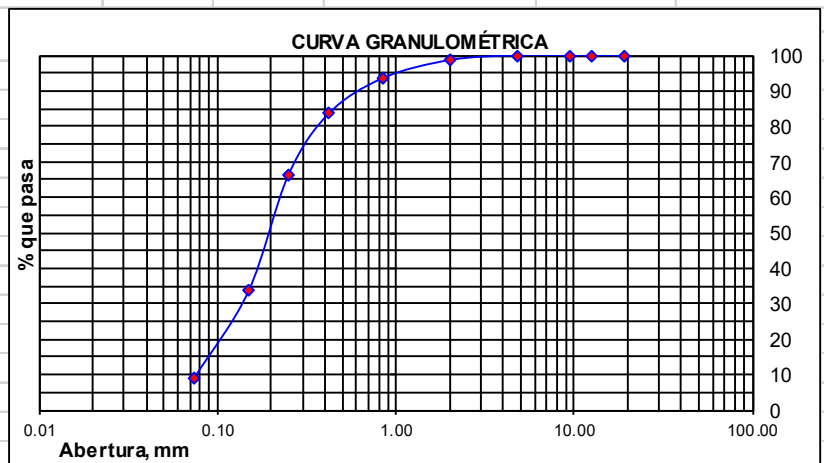
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

**UBICACIÓN** HUP. UNION DEL SUR. **FECHA** : DICIEMBRE DEL 2022  
**CALICATA** C-4  
**ESTRATO** E1 de -0.00 m. a -0.30 m.  
**FECHA** : DICIEMBRE DEL 2022

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

Peso Inicial Seco, [gr] 446.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 6.000               | 98.65  |
| Nº 20    | 0.840         | 23.00               | 93.50  |
| Nº 40    | 0.420         | 44.00               | 83.63  |
| Nº 60    | 0.250         | 77.00               | 66.37  |
| Nº 100   | 0.149         | 146.00              | 33.63  |
| Nº 200   | 0.074         | 109.00              | 9.19   |
| < Nº 200 | -             | 41.00               | -      |



### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

#### ARENAS FINAS LIMOSAS MAL GRADUADAS

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | NP    |
| Límite Plástico %    | NP    |
| Índice Plasticidad % | NP    |
| Clasif. SUCS         | SP-SM |
| Clasif. AASHTO       | A-3   |

#### 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]   |             |             |             |
| 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]                | 25.350  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 104.201 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 102.563 |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.638   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 77.213  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 2.121   |

## RESULTADOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

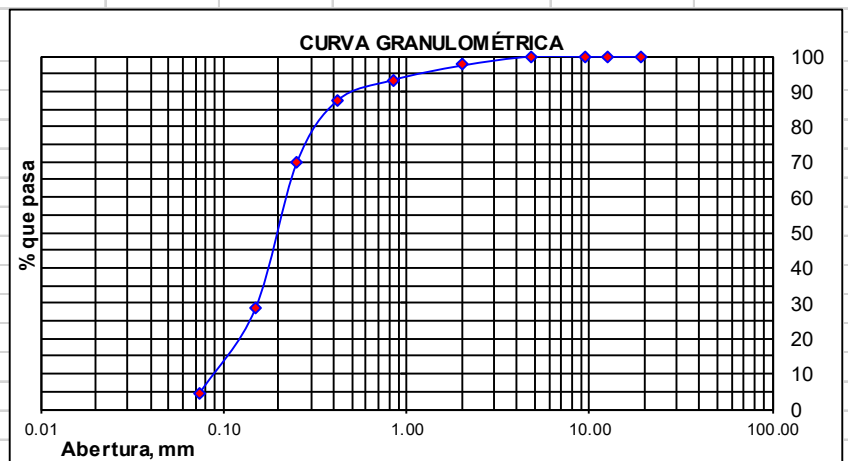
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                  |                           |              |                      |
|------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| <b>UBICACIÓN</b> | HUP. UNION DEL SUR.       | <b>FECHA</b> | : DICIEMBRE DEL 2022 |
| <b>CALICATA</b>  | C-4                       |              |                      |
| <b>ESTRATO</b>   | E2 de -0.30 m. a -1.50 m. |              |                      |
| <b>FECHA</b>     | : DICIEMBRE DEL 2022      |              |                      |

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

Peso Inicial Seco, [gr]      507.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.0                 | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.0                 | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.0                 | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.0                 | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.0                 | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 13.000              | 97.44  |
| Nº 20    | 0.840         | 21.00               | 93.29  |
| Nº 40    | 0.420         | 29.00               | 87.57  |
| Nº 60    | 0.250         | 91.00               | 69.63  |
| Nº 100   | 0.149         | 209.00              | 28.40  |
| Nº 200   | 0.074         | 122.00              | 4.34   |
| < Nº 200 | -             | 22.00               | -      |



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

**ARENAS FINAS MAL GRADUADAS**

#### 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]   |             |             |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |             |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |             |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |             |             |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Límite Líquido %     | <b>NP</b>  |
| Límite Plástico %    | <b>NP</b>  |
| Índice Plasticidad % | <b>NP</b>  |
|                      |            |
| Clasif. SUCS         | <b>SP</b>  |
| Clasif. AASHTO       | <b>A-3</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]   |             |             |             |
| 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]                | 27.500       |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 86.850       |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 85.430       |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.420        |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 57.930       |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | <b>2.451</b> |

### Ensayo Proctor Modificado MTC-E115

| <b>TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.</b>  |  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
|--|--|-------------------------------------|-----------|---------------------|-----------|----------|--------------------------|-------------------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>FECHA</b>   | <b>: DICIEMBRE DEL 2022.</b>   |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>MATERIAL</b>  | <b>: TERRENO NATURAL - SUBRASANTE</b>                                      |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>TESISTAS</b>  | <b>: CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br/>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN.</b> |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>METODO " A "</b>  |  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>ENSAYO PROCTOR MODIFICADO MTC E-115</b>   |  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>PUNTO No.</b>   |  | <b>I</b>                            | <b>II</b> | <b>III</b>          | <b>IV</b> | <b>V</b> |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>MOLDE No.</b>   |  | <b>1</b>                            | <b>1</b>  | <b>1</b>            | <b>1</b>  | <b>1</b> |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 1  | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                                       | 939.74                              | 939.74    | 939.74              | 939.74    | 939.74   |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 2  | Peso del molde (gr)  | 4178.00                             | 4178.00   | 4178.00             | 4178.00   | 4178.00  |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 3  | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                                       | 5770.00                             | 5877.00   | 5975.00             | 5956.00   | 5915.00  |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 4  | Peso de la muestra húmeda (gr)   | 1592.00                             | 1699.00   | 1797.00             | 1778.00   | 1737.00  |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 5  | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )                        | 1.69                                | 1.81      | 1.91                | 1.89      | 1.85     |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA</b>  |  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 6  | Peso de la tara (gr)   | 25.525                              | 24.933    | 24.885              | 25.244    | 25.620   |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)  | 75.635                              | 80.233    | 71.685              | 79.522    | 72.635   |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)  | 74.005                              | 77.145    | 67.980              | 74.201    | 67.102   |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 9  | Peso del agua (gr)   | 1.630                               | 3.088     | 3.705               | 5.321     | 5.533    |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 10   | Peso del suelo seco (gr)   | 48.480                              | 52.212    | 43.095              | 48.957    | 41.482   |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 11   | Contenido de humedad (%)   | 3.36                                | 5.91      | 8.60                | 10.87     | 13.34    |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 12   | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )                          | 1.639                               | 1.707     | 1.761               | 1.707     | 1.631    |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <b>GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD</b>  |  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| <p>The graph plots Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 1.62 to 1.80) against Moisture Content (%) on the x-axis (ranging from 2.0 to 15.0). A blue line connects five data points, forming a parabolic shape that peaks at approximately 8.6% moisture content and 1.76 gr/cm<sup>3</sup> dry density.</p> <table border="1"> <caption>Data points for the Density vs. Humidity graph</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.36</td> <td>1.639</td> </tr> <tr> <td>5.91</td> <td>1.707</td> </tr> <tr> <td>8.60</td> <td>1.761</td> </tr> <tr> <td>10.87</td> <td>1.707</td> </tr> <tr> <td>13.34</td> <td>1.631</td> </tr> </tbody> </table> |  |                                     |           |                     |           |          | Contenido de Humedad (%) | Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 3.36 | 1.639 | 5.91 | 1.707 | 8.60 | 1.761 | 10.87 | 1.707 | 13.34 | 1.631 |
| Contenido de Humedad (%)   | Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 3.36   | 1.639  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 5.91   | 1.707  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 8.60   | 1.761  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 10.87  | 1.707  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
| 13.34  | 1.631  |                                     |           |                     |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
|  |  | <b>Máxima Densidad Seca</b>         |           | <b>1.76 Gr /Cm3</b> |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
|  |  | <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> |           | <b>8.60%</b>        |           |          |                          |                                     |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |

### Ensayo California Bearing Ratio – CBR. (ASTM D-1883).

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

**FECHA** : DICIEMBRE DEL 2022.  
**MATERIAL** : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
**TESISTAS** : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGO KEILA YASMIN.  
**SUELO: SP**

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

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |      |
|--|------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.76 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 8.60 |

**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] | 12122.00 | 11920.00 | 11375.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 7905.00  | 7905.00  | 7905.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 4015.00  | 3470.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 2096.00  | 2096.00  | 2096.00  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.92     | 1.66     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 25.323         | 26.410 | 25.775 |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 65.204         | 66.050 | 65.769 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 62.102         | 62.922 | 62.669 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 3.128  | 3.100  |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 36.512 | 36.894 |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 8.567  | 8.402  |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.764  | 1.527  |

**c) Prueba de penetración**

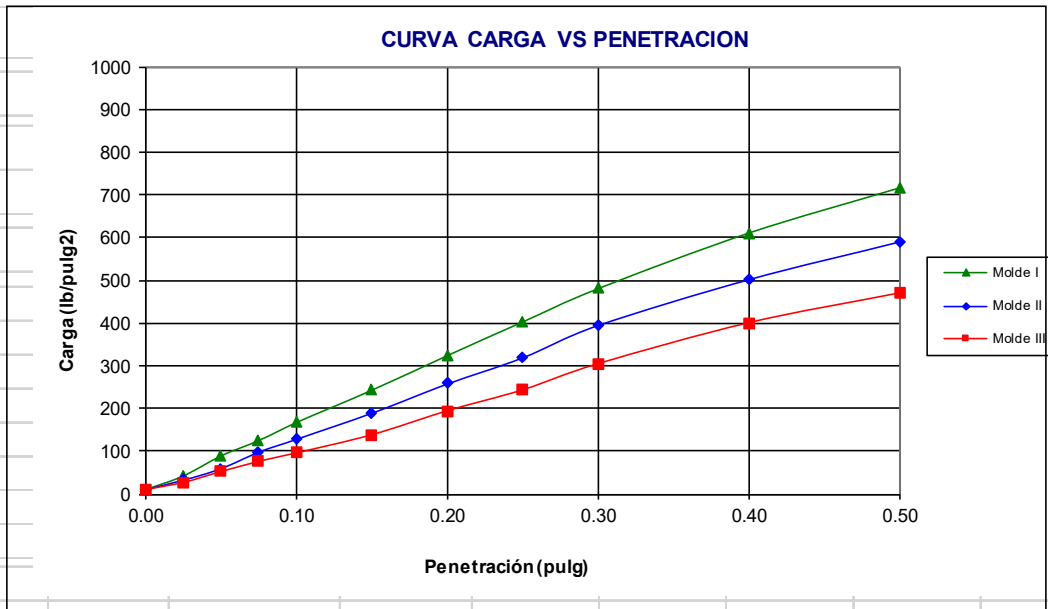
Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>      Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L x 7.36+30.18)/3

| 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        | 10      | 0.0         | 10      | 0.0          | 10      |
| 0.025              |  | 13.0       | 42      | 9.0         | 32      | 7.0          | 27      |
| 0.050              |  | 32.0       | 89      | 20.0        | 59      | 17.0         | 52      |
| 0.075              |  | 47.0       | 125     | 36.0        | 98      | 27.0         | 76      |
| 0.100              | 1000                                   | 64.0       | 167     | 48.0        | 128     | 35.0         | 96      |
| 0.150              |  | 95.0       | 243     | 73.0        | 189     | 52.0         | 138     |
| 0.200              | 1500                                   | 128.0      | 324     | 101.0       | 258     | 75.0         | 194     |
| 0.250              |  | 160.0      | 403     | 126.0       | 319     | 95.0         | 243     |
| 0.300              | 1900                                   | 192.0      | 481     | 157.0       | 395     | 120.0        | 304     |
| 0.400              | 2300                                   | 245.0      | 611     | 201.0       | 503     | 159.0        | 400     |
| 0.500              | 2600                                   | 288.0      | 717     | 237.0       | 591     | 187.0        | 469     |

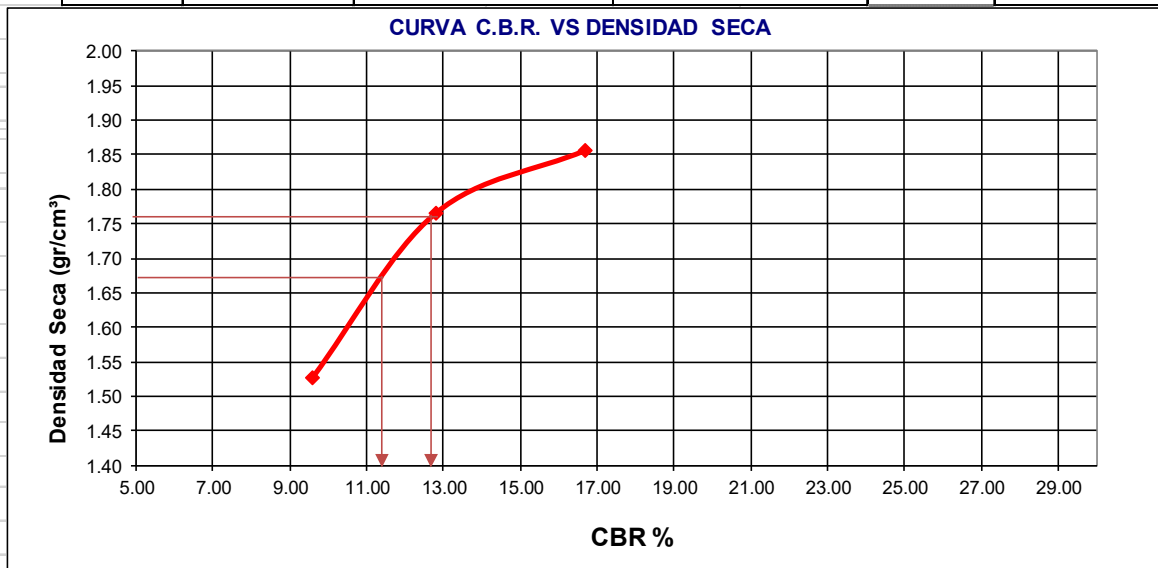


**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

**FECHA** : DICIEMBRE DEL 2022.  
**MATERIAL** : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
**TESISTAS** : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGO KEILA YASMIN.  
**SUELO: SP**



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión Patrón (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 167.0                       | 1000                      | 16.70      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 128.0                       | 1000                      | 12.80      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 96.0                        | 1000                      | 9.60       | 0.00      |



|   |               |
|---|---------------|
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :</b> | <b>12.80%</b> |
| <b>CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :</b>  | <b>11.30%</b> |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>FECHA</b>        | : DICIEMBRE DEL 2022.  |
| <b>MATERIAL</b>     | : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE                                     |
| <b>TESISTAS</b>     | : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN. |
| <b>METODO " A "</b> | <b>ADICION 2% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.</b>                        |

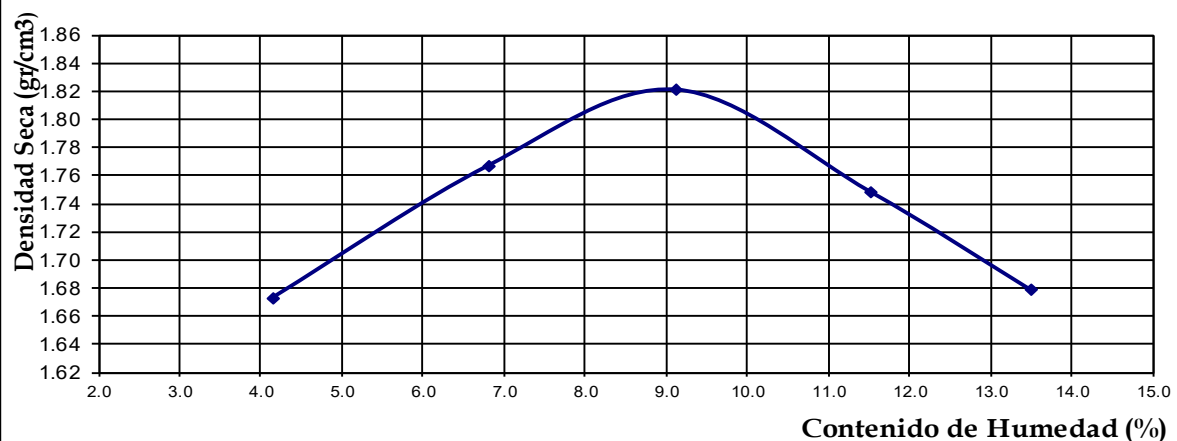
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO MTC E-115**

| PUNTO No. |   | I       | II      | III     | IV      | V       |
|-----------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| MOLDE No. |   | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 5815.00 | 5951.00 | 6045.00 | 6010.00 | 5968.00 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1637.00 | 1773.00 | 1867.00 | 1832.00 | 1790.00 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.74    | 1.89    | 1.99    | 1.95    | 1.90    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |         |         |         |         |         |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 25.525  | 24.933  | 24.885  | 25.244  | 25.620  |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 120.365 | 110.695 | 125.856 | 130.000 | 124.664 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 116.588 | 105.233 | 117.414 | 119.187 | 112.891 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 3.777   | 5.462   | 8.442   | 10.813  | 11.773  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 91.063  | 80.300  | 92.529  | 93.943  | 87.271  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.15    | 6.80    | 9.12    | 11.51   | 13.49   |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.673   | 1.767   | 1.821   | 1.748   | 1.678   |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>1.82 Gr/Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>9.00%</b>       |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

**FECHA** : ABRIL DEL 2023.  
**MATERIAL** : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
**TESISTAS** : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGO KEILA YASMIN.

**SUELO: SP** **ADICION 2% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.**

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

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |      |
|--|------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.82 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 9.00 |

**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] | 12365.00 | 12115.00 | 11425.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 7905.00  | 7905.00  | 7905.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 4460.00  | 4210.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 2096.00  | 2096.00  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 2.13     | 2.01     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2       | 3       |
|---------|--|----------------|---------|---------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 25.323         | 26.410  | 25.775  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 110.652        | 112.652 | 116.565 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 103.605        | 105.520 | 109.022 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 7.047   | 7.132   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 78.282  | 79.110  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 9.002   | 9.015   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.952   | 1.842   |

**c) Prueba de penetración**

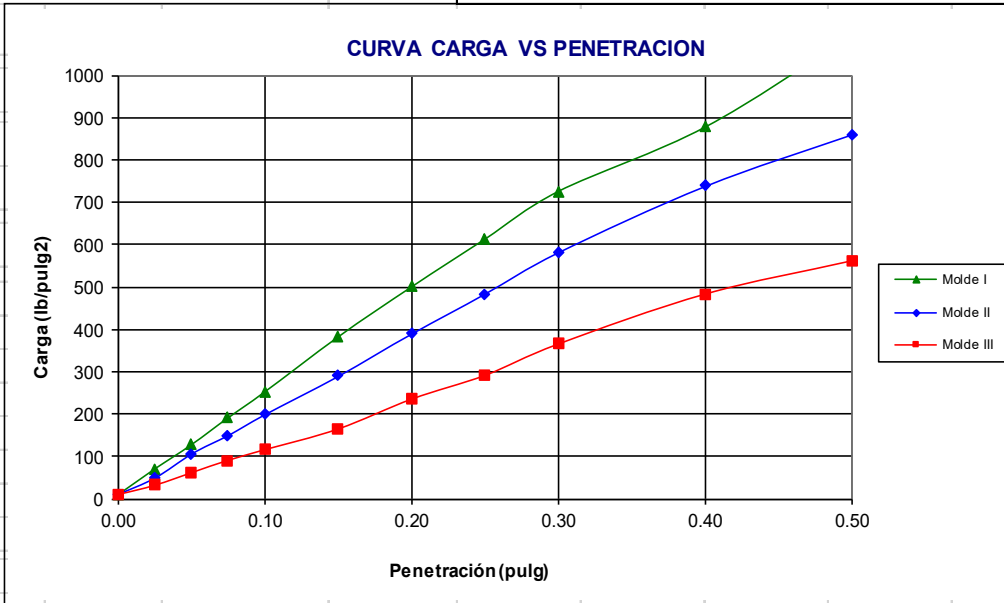
Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup> Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L x 7.36+30.18)/3

| 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        | 10      | 0.0         | 10      | 0.0          | 10      |
| 0.025              |  | 25.0       | 71      | 16.0        | 49      | 9.0          | 32      |
| 0.050              |  | 48.0       | 128     | 39.0        | 106     | 21.0         | 62      |
| 0.075              |  | 74.0       | 192     | 57.0        | 150     | 33.0         | 91      |
| 0.100              | 1000                                   | 99.0       | 253     | 77.0        | 199     | 43.0         | 116     |
| 0.150              |  | 152.0      | 383     | 114.0       | 290     | 63.0         | 165     |
| 0.200              | 1500                                   | 200.0      | 501     | 155.0       | 390     | 92.0         | 236     |
| 0.250              |  | 246.0      | 614     | 193.0       | 484     | 115.0        | 292     |
| 0.300              | 1900                                   | 292.0      | 726     | 233.0       | 582     | 145.0        | 366     |
| 0.400              | 2300                                   | 354.0      | 878     | 297.0       | 739     | 193.0        | 484     |
| 0.500              | 2600                                   | 442.0      | 1094    | 347.0       | 861     | 225.0        | 562     |

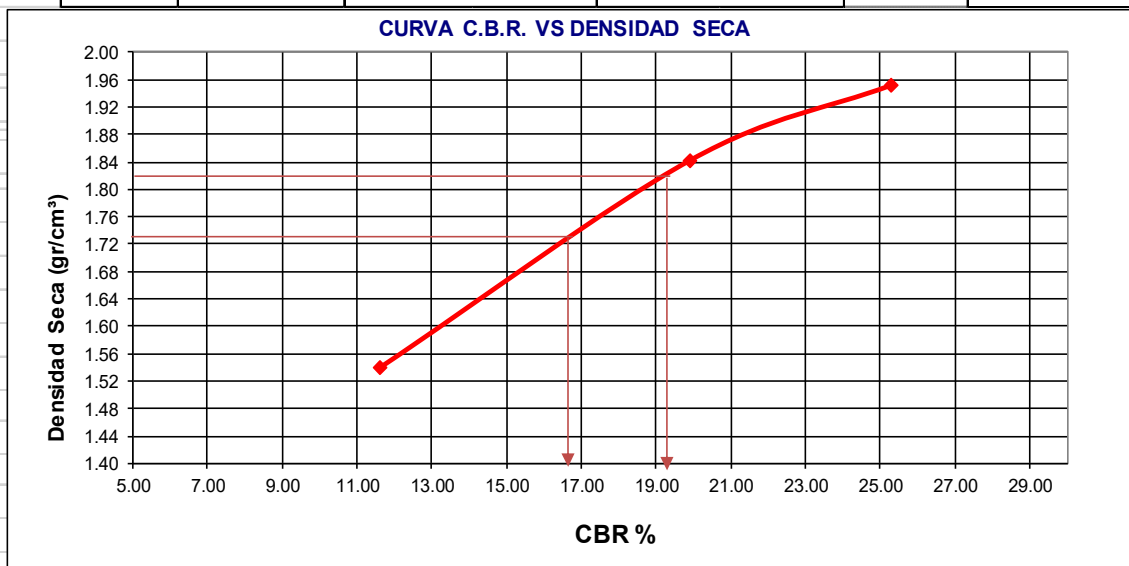
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

FECHA : ABRIL DEL 2023.  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
 TESISISTAS : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGO KEILA YASMIN.

SUELO: SP ADICION 2% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión Patrón (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 253.0                       | 1000                      | 25.30      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 199.0                       | 1000                      | 19.90      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 116.0                       | 1000                      | 11.60      | 0.00      |



|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : | 19.30% |
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :  | 16.00% |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR  
DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

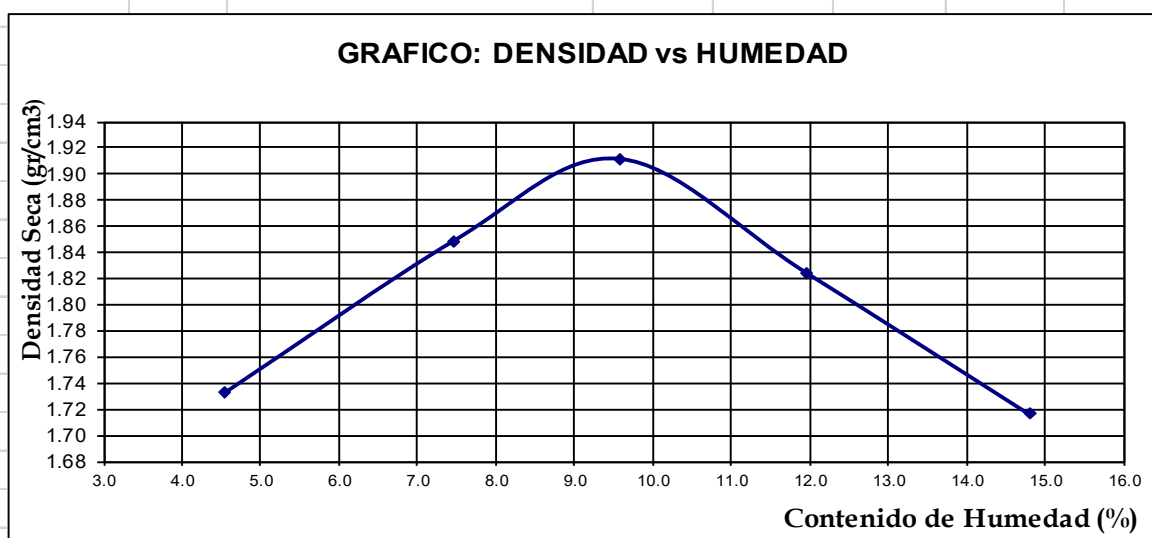
|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>FECHA</b>        | : DICIEMBRE DEL 2022.  |
| <b>MATERIAL</b>     | : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE                                     |
| <b>TESISTAS</b>     | : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN. |
| <b>METODO " A "</b> | ADICION 4% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.                               |

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO MTC E-115**

| PUNTO No. |   | I       | II      | III     | IV      | V       |
|-----------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| MOLDE No. |   | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 5880.00 | 6045.00 | 6146.00 | 6097.00 | 6030.00 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1702.00 | 1867.00 | 1968.00 | 1919.00 | 1852.00 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.81    | 1.99    | 2.09    | 2.04    | 1.97    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |         |         |         |         |         |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 25.525  | 24.933  | 24.885  | 25.244  | 25.620  |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 120.546 | 115.625 | 120.562 | 121.144 | 127.362 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 116.421 | 109.323 | 112.202 | 110.895 | 114.250 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 4.125   | 6.302   | 8.360   | 10.249  | 13.112  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 90.896  | 84.390  | 87.317  | 85.651  | 88.630  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.54    | 7.47    | 9.57    | 11.97   | 14.79   |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.733   | 1.849   | 1.911   | 1.824   | 1.717   |



|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>1.91 Gr/cm<sup>3</sup></b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>9.60%</b>                  |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|   |  |
|---|--|
| <b>FECHA</b>  | : ABRIL DEL 2023.  |
| <b>MATERIAL</b>   | : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE                                     |
| <b>TESISTAS</b>   | : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN. |
| <b>SUELO: SP</b>  | ADICION 4% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.                               |
| <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)</b> |  |

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |      |
|--|------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.91 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 9.60 |

**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] | 12465.00 | 12250.00 | 11425.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 7905.00  | 7905.00  | 7905.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 4345.00  | 3520.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 2096.00  | 2096.00  | 2096.00  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 2.07     | 1.68     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2       | 3       |
|---------|--|----------------|---------|---------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 25.323         | 26.410  | 25.775  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 110.652        | 112.652 | 116.565 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 103.605        | 105.520 | 109.022 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 7.132   | 7.543   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 79.110  | 83.247  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 9.015   | 9.061   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.902   | 1.540   |

**c) Prueba de penetración**

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

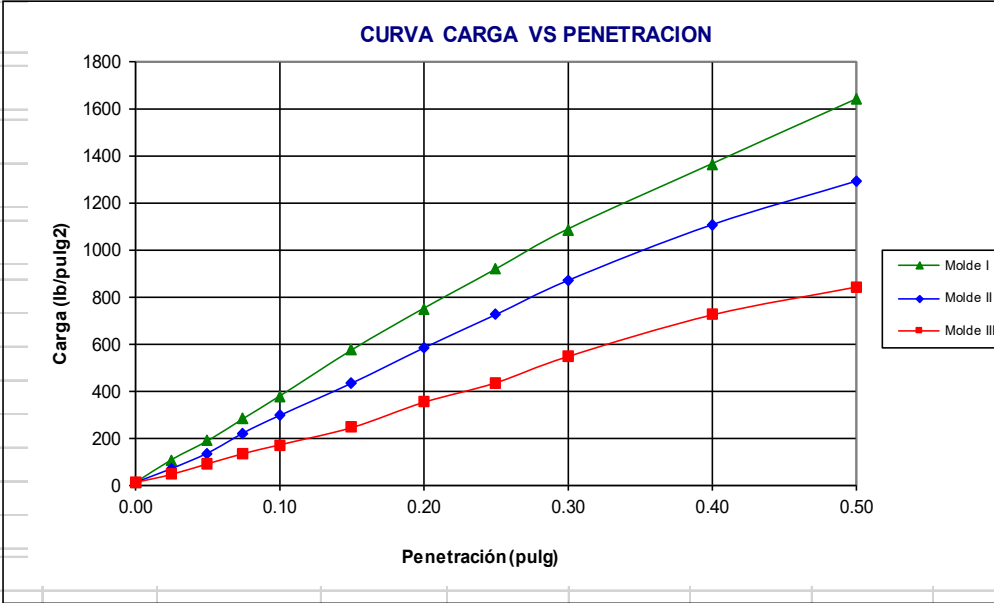
Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L x 7.36+30.18)/3

| 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        | 10      | 0.0         | 10      | 0.0          | 10      |
| 0.025              |  | 39.0       | 106     | 24.0        | 69      | 14.0         | 44      |
| 0.050              |  | 72.0       | 187     | 51.0        | 135     | 32.0         | 89      |
| 0.075              |  | 111.0      | 282     | 86.0        | 221     | 50.0         | 133     |
| 0.100              | 1000                                   | 149.0      | 376     | 116.0       | 295     | 65.0         | 170     |
| 0.150              |  | 229.0      | 572     | 172.0       | 432     | 95.0         | 243     |
| 0.200              | 1500                                   | 301.0      | 748     | 233.0       | 582     | 139.0        | 351     |
| 0.250              |  | 369.0      | 915     | 291.0       | 724     | 173.0        | 434     |
| 0.300              | 1900                                   | 438.0      | 1085    | 350.0       | 869     | 219.0        | 547     |
| 0.400              | 2300                                   | 551.0      | 1362    | 447.0       | 1107    | 291.0        | 724     |
| 0.500              | 2600                                   | 663.0      | 1636    | 522.0       | 1291    | 339.0        | 842     |

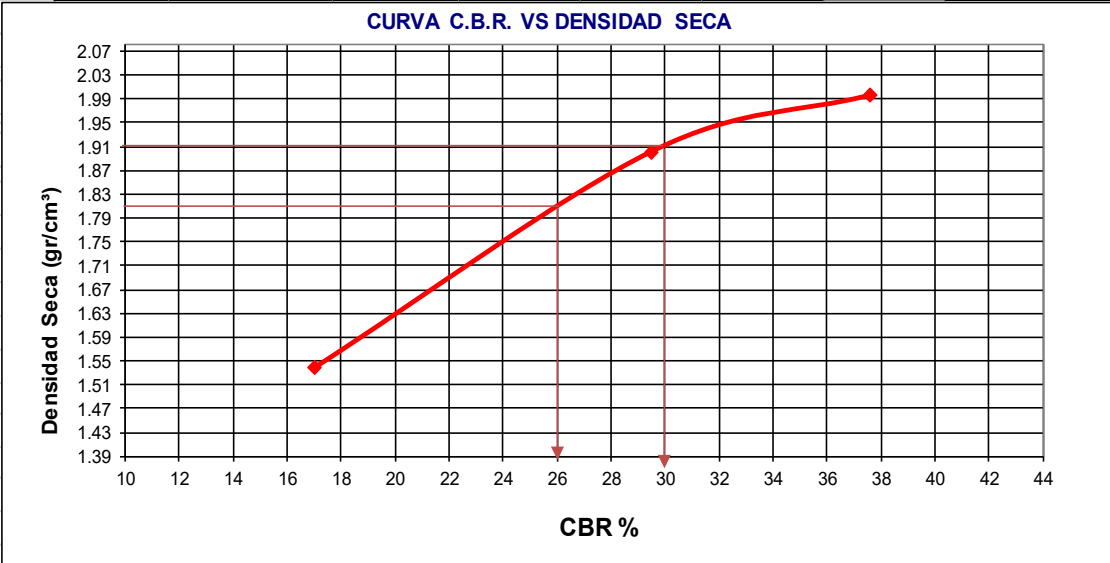
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE, 2022.**

FECHA : ABRIL DEL 2023.  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
 TESISTAS : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN.

SUELO: SP ADICION 4% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión Patrón (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 376.0                       | 1000                      | 37.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 295.0                       | 1000                      | 29.50      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 170.0                       | 1000                      | 17.00      | 0.00      |



|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : | 30.00% |
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :  | 26.00% |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>FECHA</b>        | : DICIEMBRE DEL 2022.  |
| <b>MATERIAL</b>     | : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE                                     |
| <b>TESISTAS</b>     | : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN. |
| <b>METODO " A "</b> | ADICION 6% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.                               |

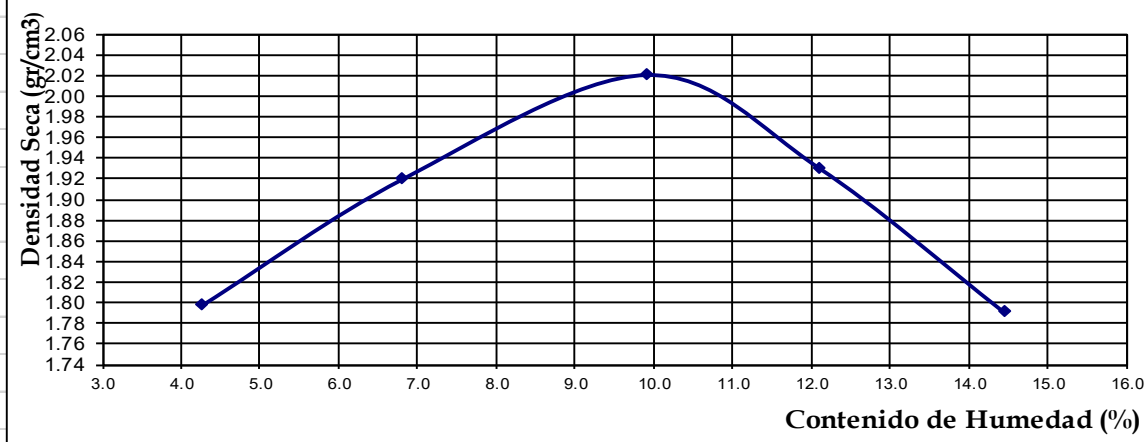
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO MTC E-115**

| PUNTO No. |   | I       | II      | III     | IV      | V       |
|-----------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| MOLDE No. |   | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  | 939.74  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 | 4178.00 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 5940.00 | 6105.00 | 6265.00 | 6212.00 | 6105.00 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1762.00 | 1927.00 | 2087.00 | 2034.00 | 1927.00 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.87    | 2.05    | 2.22    | 2.16    | 2.05    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |         |         |         |         |         |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 25.525  | 24.933  | 24.885  | 25.244  | 25.620  |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 132.252 | 131.265 | 133.563 | 136.245 | 135.425 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 127.886 | 124.490 | 123.775 | 124.265 | 121.566 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 4.366   | 6.775   | 9.788   | 11.980  | 13.859  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 102.361 | 99.557  | 98.890  | 99.021  | 95.946  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.27    | 6.81    | 9.90    | 12.10   | 14.44   |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.798   | 1.920   | 2.021   | 1.931   | 1.792   |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>2.02 Gr /cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>10.00%</b>       |

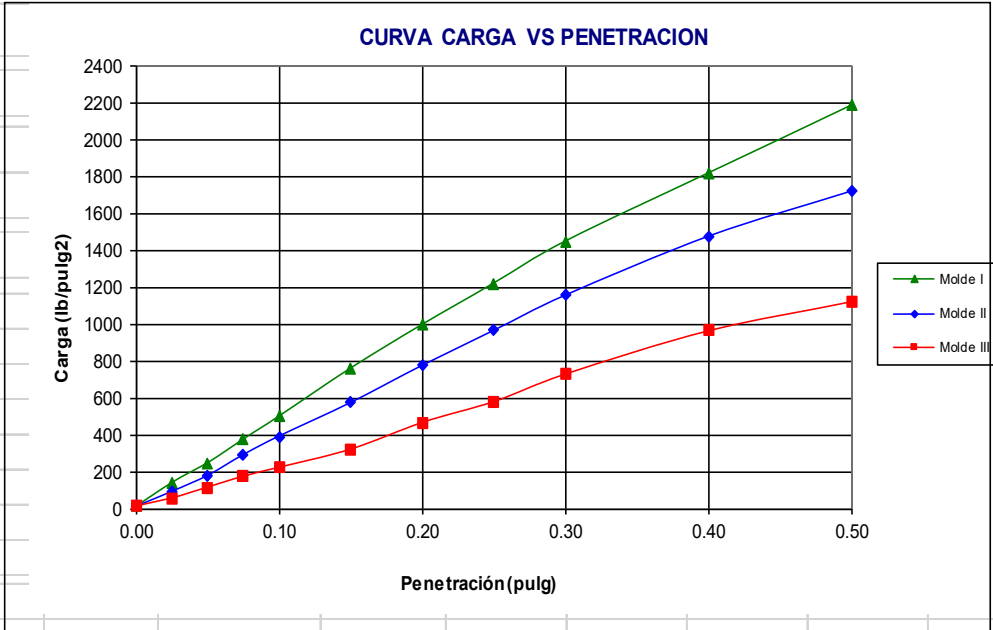




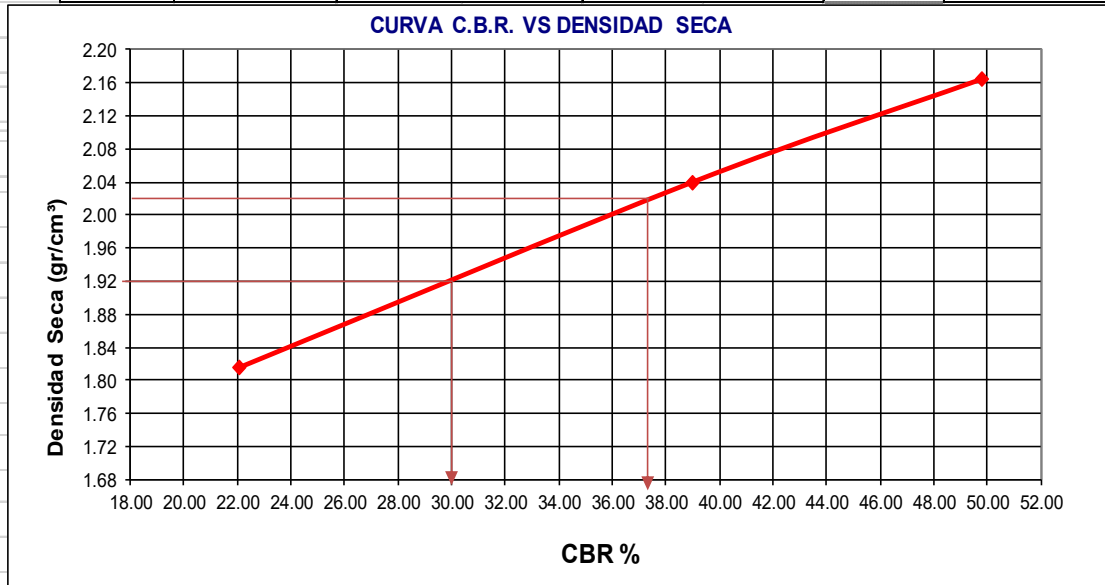
**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

FECHA : ABRIL DEL 2023.  
 MATERIAL : TERRENO NATURAL - SUBRASANTE  
 TESISTAS : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO  
 CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN.

SUELO: SP | ADICION 6% CEMENTO PORTLAND TIPO MS.



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión Patrón (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 498.0                       | 1000                      | 49.80      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 390.0                       | 1000                      | 39.00      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 221.0                       | 1000                      | 22.10      | 0.00      |



|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : | 37.20% |
| CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :  | 30.00% |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>FECHA</b>        | : ABRIL DEL 2023   |
| <b>MATERIAL</b>     | : BASE Y SUB BASE - CANTERA SAN PEDRITO.                           |
| <b>TESISTAS</b>     | : CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN. |
| <b>METODO " C "</b> |  |

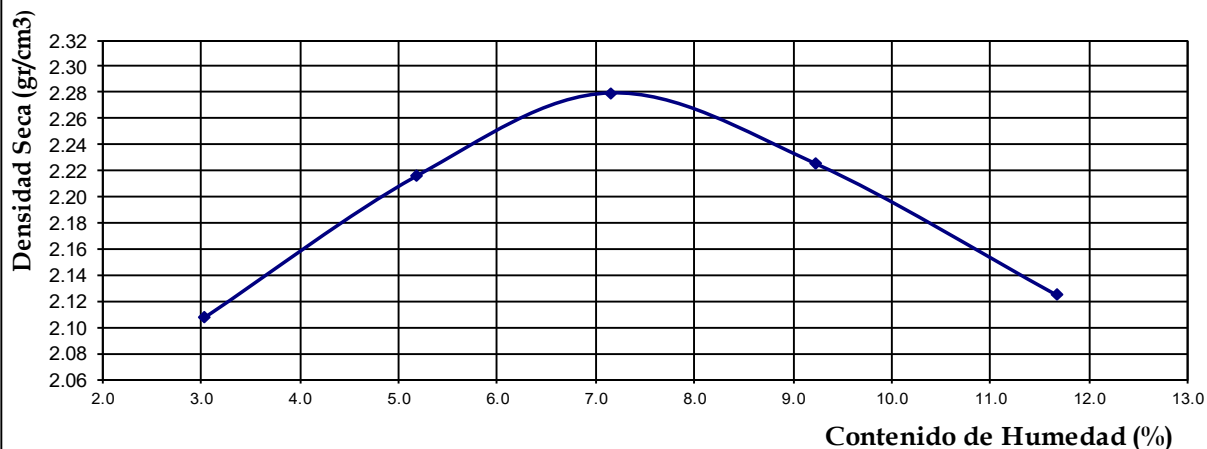
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 10964.00 | 11305.00 | 11545.00 | 11520.00 | 11395.00 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 4648.00  | 4989.00  | 5229.00  | 5204.00  | 5079.00  |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.17     | 2.33     | 2.44     | 2.43     | 2.37     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 25.314 | 24.550 | 25.693 | 26.010 | 24.890 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 75.365 | 74.524 | 76.365 | 77.650 | 74.652 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 73.895 | 72.065 | 72.987 | 73.287 | 69.450 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 1.470  | 2.459  | 3.378  | 4.363  | 5.202  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 48.581 | 47.515 | 47.294 | 47.277 | 44.560 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 3.03   | 5.18   | 7.14   | 9.23   | 11.67  |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.107  | 2.216  | 2.280  | 2.226  | 2.125  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca:</b>        | <b>2.28 Gr/Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>7.20%</b>       |

**TESIS: ADICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PARA MEJORAR EL ÍNDICE CBR DEL PAVIMENTO EN H.U.P. UNIÓN DEL SUR, NUEVO CHIMBOTE , 2022.**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>FECHA</b>        | <b>: ABRIL DEL 2023</b>  |
| <b>MATERIAL</b>     | <b>: BASE Y SUB BASE - CANTERA SAN PEDRITO.</b>                            |
| <b>TESISTAS</b>     | <b>: CASAMAYOR ESPINOZA ELVIS ARMANDO<br/>CASTILLO CANGÓ KEILA YASMIN.</b> |
| <b>METODO " C "</b> |  |

**ADICION DE CEMENTO PORTLAND TIPO MS 3%**

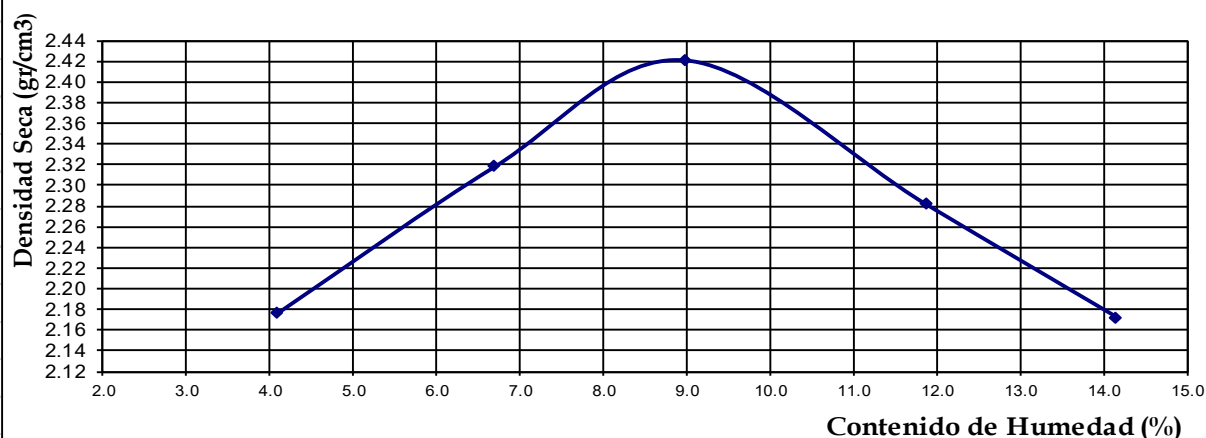
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D-1557**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  | 2140.72  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  | 6316.00  |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 11165.00 | 11610.00 | 11965.00 | 11780.00 | 11625.00 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 4849.00  | 5294.00  | 5649.00  | 5464.00  | 5309.00  |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.27     | 2.47     | 2.64     | 2.55     | 2.48     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |         |         |         |         |         |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 26.356  | 26.144  | 26.085  | 26.301  | 26.188  |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 120.211 | 124.105 | 126.477 | 122.562 | 125.544 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 116.525 | 117.965 | 118.202 | 112.356 | 113.233 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 3.686   | 6.140   | 8.275   | 10.206  | 12.311  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 90.169  | 91.821  | 92.117  | 86.055  | 87.045  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.09    | 6.69    | 8.98    | 11.86   | 14.14   |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.176   | 2.318   | 2.421   | 2.282   | 2.173   |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Máxima Densidad Seca:</b>        | <b>2.42 Gr /Cm3</b> |
| <b>Optimo Contenido de Humedad:</b> | <b>9.00%</b>        |

## **ANEXO 02.**

# **Panel Fotográfico**

## 7.2. Anexo 02 - Panel Fotográfico



**FOTOGRAFÍA N° 01**

Toma de muestra y medidas de profundidad de la Calicata C-04.



**FOTOGRAFÍA N° 02**

Realizando la Calicata C-04.





**FOTOGRAFÍA N° 03**

Realizando la Calicata C-03



**FOTOGRAFÍA N° 04**

Tomando de muestra y medidas de profundidad de Calicata C-03



**FOTOGRAFÍA N° 05**

Reconocimiento del terreno y realización de Calicata C-01



**FOTOGRAFÍA N° 06**

Utilización de Barrero en calicata C-01.





**FOTOGRAFÍA N° 07**

Toma de muestra de Calicata -02



**FOTOGRAFÍA N° 08**

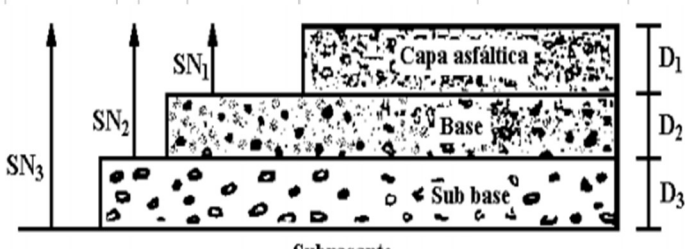
Realizando la Calicata C-02.

# **ANEXO 3. Diseño de Pavimento**

### 7.3. Anexo 03 -Diseño de Pavimento

| <b>DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA</b>         |   |                 |                        |
|--|---|-----------------|------------------------|
| <b>METODO AASHTO 1993</b>  |   |                 |                        |
| <b>20 AÑOS</b>   |   |                 |                        |
| <b>DISEÑO PATRON SIN ADICIONES.</b>                              |   |                 |                        |
| <b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>                           |   |                 |                        |
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>                              |   |                 |                        |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)               |   |                 | 28000.00               |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)                    |   |                 | 16500.00               |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>        |   |                 |                        |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       |   | <b>6.50E+05</b> |                        |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   |   | 80%             |                        |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     |   | -0.841          |                        |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         |   | 0.45            |                        |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) |   | <b>12060</b>    |                        |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  |   | 4.2             |                        |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    |   | 2.0             |                        |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      |   | <b>20</b>       |                        |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ |                 | -0.089                 |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>                           |   |                 |                        |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                            |   |                 |                        |
| Concreto Asfáltico (a1)  |   |                 | 0.440                  |
| Base granular (a2)   |   |                 | 0.138                  |
| Subbase (a3)   |   |                 | 0.120                  |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                               |   |                 |                        |
| Base granular (m2)   |   |                 | 0.90                   |
| Subbase (m3)   |   |                 | 0.90                   |
| <b>DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :</b>                           |   |                 |                        |
|  |   |                 | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )        |   |                 | 2.492                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )             |   |                 | 1.755                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )             |   |                 | 2.180                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )           |   |                 | 2.450                  |
| <b>ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)</b>        |   |                 |                        |
|  | <b>H (cm)</b>   | <b>SN*</b>      | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> )                            | <b>5.0</b>  | 0.866           | <b>1.760</b>           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )                                      | <b>15.0</b>   | 0.733           | <b>2.138</b>           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )                                       | <b>25.0</b>   | 1.063           | <b>2.462</b>           |
| <b>Total</b>   |   | <b>2.663</b>    | <b>2.492</b> <b>OK</b> |
|  |   |                 |                        |



| <b>DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA</b>                             |   |                 |                        |
|--|---|-----------------|------------------------|
| <b>METODO AASHTO 1993</b>  |   |                 |                        |
| <b>20 AÑOS</b>   |   |                 |                        |
| <b>DISEÑO ADICION 2% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.</b>                    |   |                 |                        |
| <b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>   |   |                 |                        |
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>  |   |                 |                        |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)                                   |   |                 | 28000.00               |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)  |   |                 | 16500.00               |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>                            |   |                 |                        |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)   |   | <b>6.50E+05</b> |                        |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)   |   |                 | 80%                    |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)   |   |                 | -0.841                 |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)                             |   |                 | 0.45                   |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR)                     |   | <b>15067</b>    |                        |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)  |   |                 | 4.2                    |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)  |   |                 | 2.0                    |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)  |   | <b>20</b>       |                        |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ |                 | -0.089                 |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>   |   |                 |                        |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA  |   |                 |                        |
| Concreto Asfáltico (a1)  |   |                 | 0.440                  |
| Base granular (a2)   |   |                 | 0.138                  |
| Subbase (a3)   |   |                 | 0.120                  |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA   |   |                 |                        |
| Base granular (m2)   |   |                 | 0.90                   |
| Subbase (m3)   |   |                 | 0.90                   |
| <b>DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :</b>   |   |                 |                        |
|  |   |                 | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )                            |   |                 | 2.322                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )                                 |   |                 | 1.780                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )                                 |   |                 | 2.180                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )                               |   |                 | 2.255                  |
| <b>ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)</b>                            |   |                 |                        |
|  | <b>H (cm)</b>   | <b>SN*</b>      | <b>SN REQUERIDO</b>    |
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> )  | <b>5.0</b>  | 0.866           | <b>1.760</b>           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )  | <b>15.0</b>   | 0.733           | <b>2.133</b>           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )   | <b>20.0</b>   | 0.850           | <b>2.349</b>           |
|  | <b>Total</b>  | <b>2.450</b>    | <b>2.322</b> <b>OK</b> |
|  |   |                 |                        |

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**  
**METODO AASHTO 1993**  
**20 AÑOS**

**DISEÑO ADICION 4% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.**

**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**

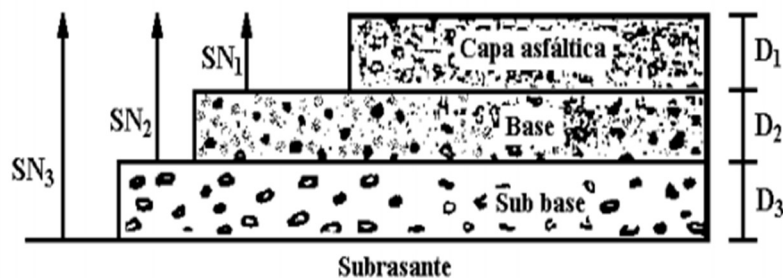
|  |  |
|--|--|
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>                              |  |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)               | 28000.00   |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)                    | 16500.00   |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>        |  |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b>  |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%  |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841   |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45   |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>20557</b>   |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2  |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0  |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>  |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ -0.089 |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>                           |  |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                            |  |
| Concreto Asfáltico (a1)  | 0.440  |
| Base granular (a2)   | 0.138  |
| Subbase (a3)   | 0.120  |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                               |  |
| Base granular (m2)   | 0.90   |
| Subbase (m3)   | 0.90   |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | <b>2.077</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | <b>1.780</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | <b>2.180</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | <b>2.010</b> |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm)      | SN*          | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | <b>5.0</b>  | 0.866        | <b>1.760</b> |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | <b>12.0</b> | 0.587        | <b>2.133</b> |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | <b>15.0</b> | 0.638        | <b>2.241</b> |           |
| <b>Total</b>                          |             | <b>2.091</b> | <b>2.077</b> | <b>OK</b> |



**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**  
**METODO AASHTO 1993**  
**20 AÑOS**

**DISEÑO ADICION 6% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN SUB RASANTE.**

**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**

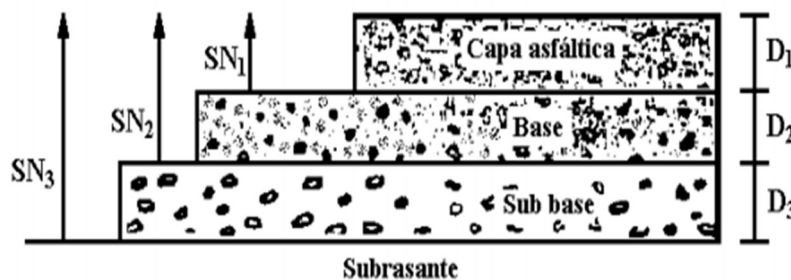
| <b>1. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>                              |   |
|--|---|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI)               | 28000.00  |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)                    | 16500.00  |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>        |   |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b>   |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%   |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841  |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45  |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>22529</b>  |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2   |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                                    | 2.0   |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>   |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ <span style="float: right;">-0.089</span> |
| <b>3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO</b>                           |   |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                            |   |
| Concreto Asfáltico (a1)  | 0.440   |
| Base granular (a2)   | 0.138   |
| Subbase (a3)   | 0.120   |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                               |   |
| Base granular (m2)   | 0.90  |
| Subbase (m3)   | 0.90  |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | <b>SN REQUERIDO</b> |
|---|---------------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | <b>2.002</b>        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | <b>1.780</b>        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | <b>2.180</b>        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | <b>1.935</b>        |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | <b>H (cm)</b> | <b>SN*</b>   | <b>SN REQUERIDO</b> |           |
|---------------------------------------|---------------|--------------|---------------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | <b>5.0</b>    | 0.866        | <b>1.760</b>        |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | <b>11.0</b>   | 0.538        | <b>2.133</b>        |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | <b>15.0</b>   | 0.638        | <b>2.349</b>        |           |
| <b>Total</b>                          |               | <b>2.042</b> | <b>2.002</b>        | <b>OK</b> |



**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - SECCION HOMOGENEA**
**METODO AASHTO 1993**
**20 AÑOS**
**DISEÑO ADICION 3% CEMENTO PORTLAND TIPO MS EN BASE + 4% EN SUB RASANTE**
**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**
**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

|  |          |
|--|----------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (PSI) | 30000.00 |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (PSI)      | 16500.00 |

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

|  |  |
|--|--|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                       | <b>6.50E+05</b>  |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                                   | 80%  |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                                     | -0.841   |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So) (Error Normal Combinado)         | 0.45   |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi) (USANDO CBR) | <b>20557</b>   |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                                  | 4.2  |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)                                    | 2.0  |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                                      | <b>20</b>  |
| G.-  | $\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$ -0.089 |

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

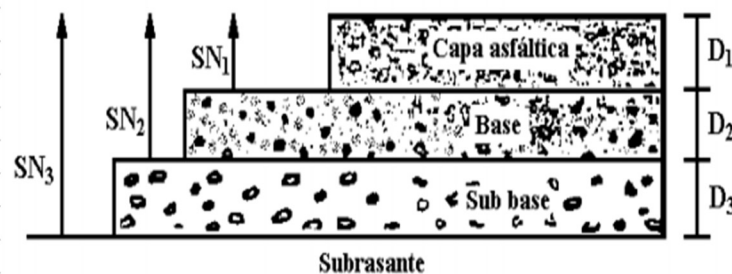
|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA |       |
| Concreto Asfáltico (a1)               | 0.440 |
| Base granular (a2)                    | 0.150 |
| Subbase (a3)                          | 0.120 |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA    |       |
| Base granular (m2)                    | 0.90  |
| Subbase (m3)                          | 0.90  |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|   | SN REQUERIDO |
|---|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> ) | 1.921        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )      | 1.731        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )      | 2.180        |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )    | 1.935        |

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)**

|                                       | H (cm) | SN*          | SN REQUERIDO |           |
|---------------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------|
| CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> ) | 5.0    | 0.866        | 1.760        |           |
| CAPA BASE (D <sub>2</sub> )           | 20.0   | 1.063        | 2.165        |           |
| SUB-BASE (D <sub>3</sub> )            | 0.0    | 0.000        | 2.381        |           |
| <b>Total</b>                          |        | <b>1.929</b> | <b>1.921</b> | <b>OK</b> |



**ANEXO 4.**

**Plano de Ubicación de la H.U.P.**

**Unión del Sur**





|    |  |      |
|----|--|------|
| 9  | Submitted to Universidad Nacional del Santa<br>Trabajo del estudiante  | <1 % |
| 10 | www.scribd.com<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 11 | repositorio.urp.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 12 | repositorio.uss.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 13 | es.scribd.com<br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 14 | SANTA MARIA FLORES MIGUEL SANTOS. "EIA del Proyecto de Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos de Chimbote-IGA0003590", R.D. N° 2994/2008/DIGESA/SA, 2020<br>Publicación | <1 % |