



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y**

**ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **TESIS**

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE UN CEMENTO TIPO IP EN LA**

**ESTABILIZACIÓN DE LA CAPA BASE DEL PAVIMENTO**

**FLEXIBLE DE LA AV. EL TREBOL, DISTRITO**

**SAN ANTONIO, MOQUEGUA - 2021**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER ELVIS DAVID MENESES MAMANI**

**ASESOR:**

**MGR. KARLA FIORELLA CORNEJO LECAROS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA - PERU**

**2023**

## CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
CONTENIDO .....	V
CONTENIDO DE TABLAS .....	XII
CONTENIDO DE FIGURAS .....	XVIII
CONTENIDO DE ECUACIONES .....	XXI
CONTENIDO DE ANEXOS .....	XXII
RESUMEN.....	XXIII
ABSTRACT .....	XXIV
INTRODUCCIÓN .....	XXV

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2 Definición del problema.....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos .....	4
1.3 Objetivos de la investigación .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5

1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	5
1.5 Alcances y limitaciones.....	8
1.6 Variables .....	9
1.6.1 Variable independiente .....	9
1.6.2 Variable dependiente.....	9
1.6.3 Operacionalización de variables .....	9
1.7 Hipótesis de la investigación.....	9
1.7.1 Hipótesis General.....	9
1.7.2 Hipótesis Específicas .....	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes de la investigación .....	11
2.2 Bases Teóricas.....	17
2.2.1 Definición de pavimento .....	17
2.2.2 Tipos de pavimento .....	17
2.2.3 Estructura del Pavimento .....	18
2.2.3.1 Subrasante .....	18
2.2.3.2 Sub-Base .....	18
2.2.3.3 Base .....	19
2.2.4 Estabilización .....	19
2.2.4.1 Secado de suelos .....	19
2.2.4.2 Suelos mejorados para núcleos .....	19

2.2.4.3 Suelos mejorados para capas de asiento.....	20
2.2.5 Ensayos .....	20
2.2.5.1 Ensayos estándar .....	20
a) Análisis granulométrico .....	20
b) Límite líquido .....	20
c) Límite plástico.....	21
d) Porcentaje de caras fracturadas.....	21
2.2.5.2 Ensayos especiales .....	21
a) California bearing ratio (CBR) .....	21
b) Proctor modificado .....	22
c) Equivalente de arena .....	22
d) Abrasión Los Ángeles.....	23
2.2.6 Efectos en el pavimento flexible .....	23
2.2.6.1 Comportamiento Elástico.....	23
2.2.6.2 Comportamiento Elasto-Plástico.....	25
2.2.6.3 Esfuerzos importantes .....	29
2.3 Marco conceptual .....	32

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1 Tipo de investigación .....	38
3.2 Diseño de investigación. ....	39
3.3 Población y muestra .....	40

3.3.1 Población.....	40
3.3.2 Muestra.....	40
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	42

## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

4.1 Presentación de los resultados por variables .....	43
4.1.1 Fase Administrativa .....	44
4.1.1.1 Zona de estudio .....	44
4.1.1.2 Coordinación con laboratorio de suelos .....	45
4.1.2 Fase de Laboratorio.....	46
4.1.2.1 Análisis granulométrico. ....	47
4.1.2.2 Límite líquido de los suelos. ....	52
4.1.2.3 Límite plástico.....	66
4.1.2.4 Humedad del suelo.....	74
4.1.2.5 Gravedad específica .....	76
4.1.2.6 Densidad y peso unitario del suelo.....	79
4.1.2.7 Compactación del suelo con energía estándar .....	81
4.1.3 Fase de Gabinete .....	83
4.1.3.1 Matriz de datos.....	84
4.1.3.1.1 Estadística descriptiva.....	84
a) Hipótesis Específica A .....	84

b) Hipótesis Específica B .....	89
c) Hipótesis Específica C .....	90
4.1.3.1.2 Estadística inferencial .....	91
a) Hipótesis Específica B .....	91
b) Hipótesis Específica C .....	97
4.1.3.2 Comparación de efectos .....	102
4.1.3.2.1 Hipótesis Específica A .....	102
4.1.3.2.2 Hipótesis Específica B .....	112
4.1.3.2.3 Hipótesis Específica C .....	115
4.1.3.3 Estadística inferencial .....	118
4.1.3.3.1 Hipótesis Específica B – Porcentaje de compactación .....	119
a) Matriz de datos.....	119
b) Alfa de Cronbach – Análisis de fiabilidad.....	120
c) Prueba de normalidad.....	120
4.1.3.3.2 Hipótesis Específica C – Nivel de consistencia .....	121
a) Matriz de datos.....	121
b) Alfa de Cronbach – Análisis de fiabilidad.....	122
c) Prueba de normalidad.....	123
4.2 Contrastación de hipótesis .....	130
4.2.1 Hipótesis Específica A .....	130
4.2.1.1 Planteamiento Hipotético .....	130
4.2.1.2 Estadísticos de Resolución.....	130
4.2.1.3 Hipótesis nula.....	131
4.2.1.4 Hipótesis alterna.....	131

4.2.1.5 Resolución de la hipótesis.....	131
4.2.2 Hipótesis Específica B .....	136
4.2.2.1 Planteamiento Hipotético .....	136
4.2.2.2 Estadísticos de Resolución.....	136
4.2.2.3 Hipótesis nula.....	136
4.2.2.4 Hipótesis alterna.....	137
4.2.2.5 Valores estadísticos – H2 .....	137
4.2.2.6 Selección de la prueba estadística – H2 .....	138
4.2.2.7 U Mann – Withney.....	139
4.2.2.8 Resolución de la hipótesis.....	140
4.2.3 Hipótesis Específica C .....	142
4.2.3.1 Planteamiento Hipotético .....	142
4.2.3.2 Estadísticos de Resolución.....	142
4.2.3.3 Hipótesis nula.....	143
4.2.3.4 Hipótesis alterna.....	143
4.2.3.5 Valores estadísticos – H3 .....	143
4.2.3.6 Selección de la prueba estadística – H3 .....	144
4.2.3.7 U Mann Withney.....	145
4.2.3.8 Resolución de la hipótesis.....	147
4.3 Discusión de resultados.....	150
4.3.1 Resultados de las propiedades físico mecánicas y el efecto en la capa base del pavimento.....	150
4.3.2 Resultados del porcentaje de compactación y el nivel de humedad .....	153

4.3.3 Resultados del nivel de estabilización y la adición de un cemento tipo IP....	
.....	155

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones .....	158
5.2. Recomendaciones.....	160
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	162
ANEXOS .....	168



## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Cuadro de operacionalización de variables.....	9
<b>Tabla 2</b> Requisito de deformabilidad en el momento de la construcción de la obra, para capas de refuerzo o fundación no tratada (Catálogo Francés de 1998).....	29
<b>Tabla 3</b> Requisito de deformabilidad en el momento de la construcción de la obra, para suelos arcillosos tratados con cal (Catálogo Francés de 1998).....	29
<b>Tabla 4</b> Exploración de suelos .....	40
<b>Tabla 5</b> Análisis granulométrico - D6913 C1 .....	47
<b>Tabla 6</b> Resumen de resultados - D6913 C1 .....	48
<b>Tabla 7</b> Análisis granulométrico - D6913 C2 .....	49
<b>Tabla 8</b> Resumen de resultados - D6913 C2.....	49
<b>Tabla 9</b> Análisis granulométrico – D6913 C3.....	51
<b>Tabla 10</b> Resumen de resultados -D6913 C3.....	51
<b>Tabla 11</b> Límite líquido -D4318 C1.....	53
<b>Tabla 12</b> Límite líquido-D4318 C2.....	54
<b>Tabla 13</b> Límite líquido -D4318 C2a.....	55
<b>Tabla 14</b> Límite líquido -D4318 C2b.....	56
<b>Tabla 15</b> Límite líquido -D4318 C2c.....	57
<b>Tabla 16</b> Límite líquido -D4318 C2d.....	58
<b>Tabla 17</b> Límite líquido -D4318 C2e.....	59
<b>Tabla 18</b> Límite líquido D4318 C3.....	60
<b>Tabla 19</b> Límite líquido - D4318 C3a.....	61
<b>Tabla 20</b> Límite líquido - D4318 C3b.....	62
<b>Tabla 21</b> Límite líquido -D4318 C3c.....	63

<b>Tabla 22</b> Límite líquido - D4318 C3d.....	64
<b>Tabla 23</b> Límite líquido -D4318 C3e .....	65
<b>Tabla 24</b> Límite plástico - D4318 C1.....	67
<b>Tabla 25</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C1.....	67
<b>Tabla 26</b> Límite plástico - D4318 C2.....	67
<b>Tabla 27</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2.....	67
<b>Tabla 28</b> Límite plástico - D4318 C2a.....	68
<b>Tabla 29</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2a.....	68
<b>Tabla 30</b> Límite plástico - D4318 C2b.....	68
<b>Tabla 31</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2b.....	68
<b>Tabla 32</b> Límite plástico - D4318 C2c .....	69
<b>Tabla 33</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2c.....	69
<b>Tabla 34</b> Límite plástico - D4318 C2d.....	69
<b>Tabla 35</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2d.....	69
<b>Tabla 36</b> Límite plástico - D4318 C2e.....	70
<b>Tabla 37</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C2e.....	70
<b>Tabla 38</b> Límite plástico - D4318 C3.....	70
<b>Tabla 39</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C3.....	70
<b>Tabla 40</b> Límite plástico - D4318 C3a.....	71
<b>Tabla 41</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C3a.....	71
<b>Tabla 42</b> Límite plástico - D4318 C3b.....	71
<b>Tabla 43</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C3b.....	71
<b>Tabla 44</b> Límite plástico - D4318 C3c.....	72
<b>Tabla 45</b> Resultados de los limites líquidos, plástico - D4318 C3c.....	72

<b>Tabla 46</b> Límite plástico - D4318 C3d.....	72
<b>Tabla 47</b> Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3d.....	72
<b>Tabla 48</b> Límite plástico - D4318 C3e.....	73
<b>Tabla 49</b> Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3e.....	73
<b>Tabla 50</b> Humedad - D2216 C1 .....	75
<b>Tabla 51</b> Humedad del suelo - D2216 C2.....	75
<b>Tabla 52</b> Humedad del suelo - D2216 C3 .....	75
<b>Tabla 53</b> Gravedad específica y absorción - D854 C1.....	76
<b>Tabla 54</b> Gravedad específica del suelo usando un picnómetro con agua - D854 C1 .....	77
<b>Tabla 55</b> Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua D854 C2 .... .....	77
<b>Tabla 56</b> Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua - D854 C3 .....	78
<b>Tabla 57</b> Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua - D854 C-3 .....	78
<b>Tabla 58</b> Densidad del método A - D7263 C2.....	79
<b>Tabla 59</b> Humedad - D7263 C2 .....	80
<b>Tabla 60</b> Densidad del método A - D7263 C3 .....	80
<b>Tabla 61</b> Humedad - D7263 C3 .....	80
<b>Tabla 62</b> Compactación del suelo con energía estándar -D1557- 12e1 .....	81
<b>Tabla 63</b> Análisis granulométrico – D6913 C1.....	84
<b>Tabla 64</b> Análisis granulométrico – D6913 C2.....	84
<b>Tabla 65</b> Análisis granulométrico – D6913 C3.....	85

<b>Tabla 66</b> Matriz Límite líquido – D4318 C1.....	85
<b>Tabla 67</b> Matriz -Límite líquido - D4318 C2.....	85
<b>Tabla 68</b> Matriz -Límite líquido - D4318 C3.....	86
<b>Tabla 69</b> Matriz - Límite plástico - D4318 C1.....	86
<b>Tabla 70</b> Matriz - Límite plástico - D4318 C2.....	86
<b>Tabla 71</b> Matriz - Límite plástico - D4318 C3.....	86
<b>Tabla 72</b> Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C1 .....	86
<b>Tabla 73</b> Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C2 .....	87
<b>Tabla 74</b> Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C3 .....	87
<b>Tabla 75</b> Matriz – Consistencia del suelo .....	87
<b>Tabla 76</b> Matriz – Estados del suelo – D2216 C1.....	87
<b>Tabla 77</b> Matriz – Estados del suelo – D2216 C2.....	87
<b>Tabla 78</b> Matriz – Estados del suelo – D2216 C3.....	88
<b>Tabla 79</b> Matriz Humedad del suelo – D2216 .....	88
<b>Tabla 80</b> Matriz - Porcentaje de Compactación.....	89
<b>Tabla 81</b> Matriz - Valores máximos de la densidad.....	89
<b>Tabla 82</b> Matriz - Valores máximos del peso unitario .....	89
<b>Tabla 83</b> Matriz - Valores máximos de la humedad optima .....	89
<b>Tabla 84</b> Matriz - nivel de estabilización C2 .....	90
<b>Tabla 85</b> Matriz - nivel de estabilización C3 .....	90
<b>Tabla 86</b> Matriz de Datos_Análisis - Porcentaje de Compactación.....	91
<b>Tabla 87</b> MC_1 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación .....	92
<b>Tabla 88</b> MC_2 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación .....	93
<b>Tabla 89</b> MC_3 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación .....	94

<b>Tabla 90</b> MC_4 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación .....	95
<b>Tabla 91</b> MC_5 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación .....	96
<b>Tabla 92</b> P_A - Matriz de Datos_Análisis - Nivel de Consistencia .....	97
<b>Tabla 93</b> P_B - Matriz de Datos_Análisis - Nivel de Consistencia .....	98
<b>Tabla 94</b> P_A - Matriz de Datos_Control - Nivel de Consistencia.....	99
<b>Tabla 95</b> P_B - Matriz de Datos_Control - Nivel de Consistencia .....	100
<b>Tabla 96</b> Matriz de Datos_Aproximación - Nivel de Consistencia .....	101
<b>Tabla 97</b> Matriz de Datos_Estadística - Porcentaje de Compactación.....	119
<b>Tabla 98</b> Alfa de Cronbach – H2 .....	120
<b>Tabla 99</b> Normalidad – H2.....	120
<b>Tabla 100</b> Matriz de Datos_Estadística - Porcentaje de Compactación.....	121
<b>Tabla 101</b> Alfa de Cronbach – Cemento 0% - H3 .....	122
<b>Tabla 102</b> Alfa de Cronbach – Cemento 1% - H3 .....	122
<b>Tabla 103</b> Alfa de Cronbach – Cemento 2% - H3 .....	122
<b>Tabla 104</b> Alfa de Cronbach – Cemento 4% - H3 .....	122
<b>Tabla 105</b> Alfa de Cronbach – Cemento 6% - H3 .....	123
<b>Tabla 106</b> Alfa de Cronbach – Cemento 8% - H3 .....	123
<b>Tabla 107</b> Normalidad – Cemento 0% - H3.....	123
<b>Tabla 108</b> Normalidad – Cemento 1% - H3.....	124
<b>Tabla 109</b> Normalidad – Cemento 2% - H3.....	125
<b>Tabla 110</b> Normalidad – Cemento 4% - H3.....	126
<b>Tabla 111</b> Normalidad – Cemento 6% - H3.....	127
<b>Tabla 112</b> Normalidad – Cemento 8% - H3.....	128
<b>Tabla 113</b> Valores estadísticos - H2.....	137

<b>Tabla 114</b> Selección de la prueba estadística - H2.....	138
<b>Tabla 115</b> U Mann – Withney – H2.....	139
<b>Tabla 116</b> Evaluación P_valor - Compactación – H2.....	141
<b>Tabla 117</b> Valores estadísticos – Adición de Cemento - H3.....	143
<b>Tabla 118</b> Selección de la prueba estadística - H3.....	144
<b>Tabla 119</b> U Mann Withney – Cemento 0% - H3.....	145
<b>Tabla 120</b> U Mann Withney – Cemento 1% - H3.....	145
<b>Tabla 121</b> U Mann Withney – Cemento 2% - H3.....	145
<b>Tabla 122</b> U Mann Withney – Cemento 4% - H3.....	146
<b>Tabla 123</b> U Mann Withney – Cemento 6% - H3.....	146
<b>Tabla 124</b> U Mann Withney – Cemento 8% - H3.....	146
<b>Tabla 125</b> Evaluación P_valor - Adición de Cemento - H3.....	148
<b>Tabla 126</b> Discusión - Porcentaje de compactación y el nivel de humedad .....	151
<b>Tabla 127</b> Discusión - Porcentaje de compactación y el nivel de humedad .....	154
<b>Tabla 128</b> Discusión - Nivel de estabilización y la adición de un cemento tipo IP .....	156

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Comportamiento elástico .....	24
<b>Figura 2</b> Comportamiento elasto-plástico, un ciclo carga-descarga (A).....	26
<b>Figura 3</b> Comportamiento elasto-plástico, un ciclo carga-descarga (B).....	26
<b>Figura 4</b> Comportamiento elasto-plástico, varios ciclos carga-descarga.....	27
<b>Figura 5</b> Esquema de la Distribución de Esfuerzos en Pavimentos Típicos.....	30
<b>Figura 6</b> Distribución de Esfuerzos en Pavimentos con Base y/o Sub Base Estabilizada. ....	31
<b>Figura 7</b> Curva Granulométrica – D6913 C1.....	48
<b>Figura 8</b> Curva Granulométrica – D6913 C2.....	50
<b>Figura 9</b> Curva Granulométrica – D 6913 C3.....	51
<b>Figura 10</b> Curva de flujo C1 .....	53
<b>Figura 11</b> Curva de flujo C2 .....	54
<b>Figura 12</b> Curva de flujo C2a.....	55
<b>Figura 13</b> Curva de flujo C2b .....	56
<b>Figura 14</b> Curva de flujo C2c.....	57
<b>Figura 15</b> Curva de flujo C2d .....	58
<b>Figura 16</b> Curva de flujo C2e.....	59
<b>Figura 17</b> Curva de flujo C3 .....	60
<b>Figura 18</b> Límite líquido D4318 C3a.....	61
<b>Figura 19</b> Límite líquido D4318 C3b.....	62
<b>Figura 20</b> Límite líquido D4318 C3c.....	63
<b>Figura 21</b> Límite líquido D4318 C3d.....	64
<b>Figura 22</b> Límite líquido D4318 C3e.....	65

<b>Figura 23</b> Curva de compactación. ....	82
<b>Figura 24</b> Curva Granulométrica – D6913 C1 .....	102
<b>Figura 25</b> Curva Granulométrica – D6913 C2.....	102
<b>Figura 26</b> Curva Granulométrica – D6913 C3.....	103
<b>Figura 27</b> Límite líquido - D4318 C1 .....	103
<b>Figura 28</b> Límite líquido - D4318 C2 .....	104
<b>Figura 29</b> Límite líquido - D4318 C3 .....	104
<b>Figura 30</b> Límite plástico - D4318 C1 .....	105
<b>Figura 31</b> Límite plástico - D4318 C2 .....	105
<b>Figura 32</b> Límite plástico - D4318 C3. ....	106
<b>Figura 33</b> Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C3.....	106
<b>Figura 34</b> Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C2.....	107
<b>Figura 35</b> Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C3.....	107
<b>Figura 36</b> Comportamiento del Límite líquido del suelo.....	108
<b>Figura 37</b> Comportamiento del Límite plástico del suelo.....	108
<b>Figura 38</b> Comportamiento del Índice de Plasticidad del suelo .....	109
<b>Figura 39</b> Humedad del suelo - D2216 C1 .....	109
<b>Figura 40</b> Humedad del suelo - D2216 C2 .....	110
<b>Figura 41</b> Humedad del suelo - D2216 C3 .....	110
<b>Figura 42</b> Humedad del suelo .....	111
<b>Figura 43</b> Curva de compactación. ....	112
<b>Figura 44</b> Características de la compactación.....	112
<b>Figura 45</b> Límites característicos de la densidad. ....	113
<b>Figura 46</b> Límites característicos del peso unitario. ....	113



<b>Figura 47</b> Limites característicos de la Humedad óptima.....	114
<b>Figura 48</b> Porcentaje de Compactación respecto al Parámetro de Calidad de Control .....	114
<b>Figura 49</b> Tendencia de la Estabilización de la C2.....	115
<b>Figura 50</b> Tendencia de la Estabilización. ....	115
<b>Figura 51</b> Comportamiento del Límite líquido. ....	116
<b>Figura 52</b> Comportamiento del Límite plástico. ....	116
<b>Figura 53</b> Comportamiento del Índice de Plasticidad. ....	117
<b>Figura 54</b> Nivel de Consistencia respecto al Parámetro de Calidad de Control	117
<b>Figura 55</b> Grafico de cajas - Normalidad – H2.....	120
<b>Figura 56</b> Cemento 0% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	124
<b>Figura 57</b> Cemento 1% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	125
<b>Figura 58</b> Cemento 2% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	126
<b>Figura 59</b> Cemento 4% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	127
<b>Figura 60</b> Cemento 6% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	128
<b>Figura 61</b> Cemento 8% - Grafico de cajas – Normalidad – H3 .....	129

**CONTENIDO DE ECUACIONES**

Ecuación 1 ..... 25

Ecuación 2 ..... 27

## CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1 Plano de ubicación.....	168
Anexo 2 Cotización de laboratorio .....	169
Anexo 3 Resultado de laboratorio de los Análisis Granulométricos del suelo ...	170
Anexo 4 Resultado del ensayo de Limite líquido, plástico e índice de plasticidad. .....	173
Anexo 5 Resultado de laboratorio análisis Humedad del suelo.....	186
Anexo 6 Resultado de laboratorio análisis Gravedad específica del suelo .....	189
Anexo 7 Resultado de laboratorio análisis Densidad de las muestras .....	193
Anexo 8 Resultado de laboratorio análisis Compactación del suelo .....	195

## RESUMEN

La ejecución de la investigación da a conocer las propiedades físico mecánicas y la estabilización con las que cuenta el suelo de investigación. El suelo en donde se realizó la investigación está consignado como un suelo arcilloso, este tipo de suelo tiene propiedades plásticas, es decir, son propensos a sufrir cambios volumétricos, esto es una consecuencia de la alteración en su contenido de humedad, por lo que presentaría una baja capacidad para el soporte de diversas cargas, resultando ser un suelo inestable. Para encontrar la información sobre las propiedades físico mecánicas del suelo de la av. el trébol, se ejecutó diversos ensayos, encontrándose que sus propiedades físico mecánicas no le permiten ser un suelo estable. Por lo que para generar la estabilización en la capa base del pavimento flexible se procedió a realizar una adición del cemento tipo IP en diferentes porcentajes de entre 0% al 8%. Concluyendo mediante análisis en los ensayos que en efecto las propiedades físico mecánicas con las que cuenta el suelo de investigación no son las más adecuadas ni óptimas para que se produzca una estabilización que soporte el peso de cargas provenientes por los vehículos que transitarán por la avenida, por tal razón la adición de diversos porcentajes de cemento tipo IP, logran finalmente llegar a incrementar el nivel de estabilización de la capa base del pavimento flexible, permitiendo al suelo ser más consistente y por ende más estable.

*Palabras claves: propiedades físico mecánicas, compactación, adición del cemento, estabilización.*

## ABSTRACT

The execution of the investigation discloses the physical-mechanical properties and the stabilization that the research soil has. The soil where the investigation was carried out is recorded as a clayey soil, this type of soil has plastic properties, that is, they are prone to undergo volumetric changes, this is a consequence of the alteration in its moisture content, so it would present a low capacity to support various loads, resulting in an unstable soil. In order to find information on the physical-mechanical properties of the soil of the av el clover, various tests were carried out, finding that its physical-mechanical properties do not allow it to be a stable soil. Therefore, to generate stabilization in the base layer of the flexible pavement, the IP type cement was added in different percentages from 0% to 8%. Concluding through analysis in the tests that in effect the physical-mechanical properties of the research soil are not the most appropriate or optimal for stabilization to take place that supports the weight of loads coming from the vehicles that will transit through the avenue, For this reason, the addition of different percentages of IP-type cement finally manages to increase the level of stabilization of the base layer of the flexible pavement, allowing the soil to be more consistent and therefore more stable.

**Keywords:** physical-mechanical properties, compaction, cement addition, stabilization.

## INTRODUCCIÓN

Las construcciones hoy en día son la base fundamental para que el ser humano tenga una calidad de vida, sin embargo, estas construcciones tienen normas y requisitos básicos los cuales deben ser cumplidos, por lo que mediante ello se pretende asegurar la seguridad de las personas. Dentro de estas normas se encuentra que el suelo debe ser estable.

El suelo de investigación es un suelo arcilloso, se ha descubierto que no cuenta con propiedades físico mecánicas adecuadas para trabajar, debido a que presenta baja capacidad de carga, por lo que no se estaría produciendo la estabilización en la capa base del pavimento flexible. Los suelos arcillosos son plásticos, por lo que si se quiere trabajar en un suelo arcilloso es de suma importancia que se deba de adicionar otros materiales con el fin de generar una estabilización; por tal motivo el investigador realiza adiciones de cemento tipo IP en diversos porcentajes de entre 0% al 8% para encontrar si se puede mediante estas adiciones estabilizar el suelo.

Por lo expuesto anteriormente el desarrollo de la investigación se ejecutó de la siguiente manera:

El capítulo I se comprende todos aquellos aspectos sobre la realidad problemática de la zona de investigación, también se da a conocer en este capítulo los objetivos, la justificación que son la razón por las que se realizó esta investigación, también contiene las variables de estudio y finalmente el planteamiento de hipótesis

El capítulo II está comprendida por: los antecedentes de otras investigaciones a fin de poder tener teóricamente una base sustentable para el desarrollo de la investigación, también está comprendido por las bases teóricas en donde se conocerán las definiciones de los términos utilizados para el desarrollo correcto de la investigación.

En el capítulo III comprende la información competente sobre la metodología de investigación, es decir, el tipo de investigación el diseño que se usó para poder realizar la investigación, la población y la muestra a las cuales se les hizo estos estudios y los instrumentos que se usaron, finalmente se describe cómo se procesó y analizo la información

El capítulo IV está comprendido por las últimas partes de la investigación siendo estas la presentación de resultados, contrastación de hipótesis y la discusión.

Finalmente, en el capítulo V se encuentran las conclusiones a las que se llegaron luego de haber realizado la el análisis de la información obtenida por el laboratorio al realizar diversos ensayos en el suelo de investigación, posterior a la conclusión se encuentran, las recomendaciones en donde se plasma aquellas ideas que permitirán una mejora en las futuras investigaciones relacionadas con el tema.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Descripción de la realidad del problema**

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios. En este orden de ideas, la estructura de pavimento -como parte de la infraestructura vial juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico. (Corros, Urbáez & Corredor, 2009).

La ingeniería de pavimentos, en los últimos años, ha venido tomando especial relevancia en nuestro país. Esto debido a la sostenida inversión en la red vial por parte del Estado y los concesionarios; por lo tanto, se tiene mayores retos en la búsqueda de la optimización de las inversiones. También se han fortalecido los gobiernos regionales y municipales en el manejo de sus propias redes viales y en la creación de trabajo a través de empresas locales de mantenimiento. (Menéndez, 2016).

Las obras de ingeniería vial con una correcta funcionalidad y seguridad para su tránsito constante, son un factor importante para el desarrollo y crecimiento de



una sociedad, ya que, permiten el traslado de personas y suministros a diferentes sitios, recorriendo distancias considerables en menores tiempos.

Estas vías son generalmente de pavimento flexible, que dependen de una correcta estabilización de su base, en vista de que será la que cumplirá la función de soportar la presión ejercida por la rodadura o carpeta asfáltica; teniendo en cuenta que el mal comportamiento o diseño de la base repercute considerablemente en el comportamiento de la rodadura y, por ende, en la normalidad del tránsito, generando el deterioro del sistema de los vehículos y aumento en el tiempo de traslado, causando estrés en los conductores con repercusiones negativas en la economía a diferentes niveles, pero sobre todo los accidentes son el tema más importante a tener a cuenta, siendo provocados de manera directa o indirecta por fallas presentes en la rodadura, a consecuencia de una mala estabilización de la capa base de la estructura del pavimento flexible.

Actualmente se sabe que la estabilidad de suelos es un procedimiento que mejora la capa base de la estructura de un pavimento flexible, que es posible con la adición de un aglutinante, considerando que el sistema mencionado está formado por una estructura que cumple los parámetros establecidos en la normativa vigente, se deberá considerar que la añadidura de este elemento aumentara la resistencia y mejorara la distribución de esfuerzos, contemplando una mejora para el comportamiento de esta capa; uno de los problemas con los aditamentos para la estabilización, es la reacción con las partículas del suelo que pueden ser perjudiciales para los elementos añadidos, por esta razón, es necesario contemplar elementos que presenten en sus componentes resistencia a las reacciones que se

puedan suscitar, como es el caso de los sulfatos y otras materias que pueden alterar la estructura de la estabilización.

El estudio del comportamiento de los elementos añadidos a la base y la interacción de las propiedades del suelo que se pretende estabilizar, se ha convertido en una parte importante del desarrollo de las obras de ingeniería vial, por lo que en cada sitio de ejecución se tendrán nuevos resultados de interacción del elemento de añadidura con las propiedades físico mecánicas del suelo, no olvidando que la acción de los agentes del intemperismo de cada zona, modifica el estado y el proceso de la funcionalidad de la estabilidad de los suelos con cemento en las diferentes etapas de su periodo de vida útil.

La población ubicada en la localidad de San Antonio no es ajena a este malestar que genera las constantes fallas presentes en la rodadura compuesta por pavimento flexible, ya que, por experiencia propia se asegura que las vías que conectan las zonas internas, presentan un deterioro constante en la carpeta asfáltica, evidenciándose fallas comunes como ahuellamientos, hundimiento, agrietamientos y desintegración, generando una problemática constante para población a un nivel social, económico y psicológico; siendo la principal preocupación los accidentes vehiculares que pueden ocasionar el mal funcionamiento de este sistema, es por esta razón, que es importante asegurar un buen comportamiento del pavimento flexible, que permita mejorar el tránsito continuo y la organización al ejecutar las obras de mantenimiento, de los sectores que cumplan el periodo de vida útil según su cálculo de diseño.

Somos conscientes de la importancia que genera una inadecuada estabilización de la capa base de la estructura del pavimento flexible, provocando

repercusiones en el tránsito constante y en una posible falla en el sistema estructural. Es por eso que este proyecto tendrá el objetivo de determinar el efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible para las vías diseñadas en la asociación de vivienda El Trébol del distrito de San Antonio ubicado en el departamento de Moquegua.

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Problema general.**

¿Cuál es el efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

- a) ¿Cuáles son las características físico mecánicas de los suelos arcillosos de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021?
- b) ¿Cuál es el porcentaje de compactación de los suelos arcillosos al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021?
- c) ¿Cuál es el nivel de estabilización de los suelos arcillosos al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Analizar el efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- a) Identificar las características físico mecánicas de los suelos arcillosos de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.
- b) Determinar el porcentaje de compactación de los suelos arcillosos al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.
- c) Evaluar el nivel de estabilización de los suelos arcillosos al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

### **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

#### **1.4.1 Relevancia Técnica.**

Esta tesis se justifica técnicamente porque hace posible el empleo de la metodología y procedimientos a fin de realizar el estudio de las capas del pavimento flexible específicamente de la capa base de la estructura, lo cual permite realizar el proceso de estabilización con la añadidura del cemento portland tipo IP; en las etapas del proceso se encuentra varios apartados que aportan conocimiento técnico al analizar

sus resultados, como figuran en sus objetivos, en donde se aprecia los datos del proceso de estabilización de la capa base que soporta la rodadura o carpeta asfáltica, así mismo, al estudiar las normas técnicas que regulan este tipo de obras de ingeniería con el propósito de cumplir los estándares de estudios de tráfico y suelos.

La presente investigación es importante, porque permite brindar información necesaria para que las entidades responsables de la elaboración de los proyectos, logren realizar su posterior ejecución teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, para proporcionar un panorama técnico de la interacción del tipo de suelo que se seleccionó para esta investigación con los diferentes elementos que se mencionan en las etapas del presente proyecto.

#### **1.4.2 Relevancia social.**

La presente investigación pretende demostrar que el método de estabilización con cemento tipo IP de la capa base del pavimento flexible mejora la estabilidad, ello trae consigo beneficios para la población de la zona de estudio, específicamente de la AV. El Trébol, y en general de toda la ciudadanía que haga uso de pavimentos estabilizados con esta técnica, puesto que los resultados logran y permiten mejorar la calidad de vida de los habitantes, otorgándoles pavimentos de características adecuadas y bien elaboradas, como mayor durabilidad de la estructura vial, mejores condiciones de transitabilidad peatonal y vehicular, para asegurar el acceso de la población a diferentes lugares con la interconexión vial; es por ello que es fundamental garantizar la calidad de la estructura del pavimento en general, específicamente en la capa base, la cual, como ya se mencionó líneas arriba, otorga estabilidad a toda la estructura, dando garantía al pavimento, con ello se evitan accidentes de tipo vehicular, dado que no se presentan fallas como grietas o

hundimientos que perjudican la seguridad de la población, es por eso que la adecuada estabilidad mediante la adición de cemento tipo IP ofrece una resistencia dentro de los rangos establecidos según la normativa para la capa base, que brindan la serie de ventajas y beneficios ya comentados.

### **1.4.3 Relevancia económica.**

Esta investigación también se justifica por lo beneficios económicos que aportan en las distintas áreas en las que se pretenda analizar; en primer lugar se apreciara un ahorro en recursos económicos por parte de la empresa que construya estas estructuras viales, ya que, gracias a la mayor durabilidad del pavimento flexible mediante la estabilización de su capa base, se reducen o evitan las fallas, grietas o hundimientos, que de darse acarrear un mayor gasto financiero, por las reparaciones que deben realizar y los mantenimientos correspondientes cada corto tiempo, si la obra forma parte del presupuesto público, los beneficios del ahorro de recursos económicos presentan un impacto importante, puesto que los recursos financieros no utilizados, se derivan o destinan a otras áreas de mayor necesidad para la población, contribuyendo así, al no desperdicio o despilfarro de recursos económicos del erario público, que inclusive puede derivarse en corrupción. Por otro lado, los beneficios económicos de manera indirecta son más, ya que, proporciona seguridad a la ciudadanía en sus diferentes áreas de producción y trabajo, brindando la protección vial para que las diversas actividades se realicen normalmente, sin sufrir daño u accidentes en el traslado, resguardando tanto al valor humano y al material, ello garantizará el no uso de recursos financieros en la reparación de desperfectos, lesiones, pérdidas, indemnizaciones, entre otros.

#### **1.4.4 Relevancia académica.**

Como es ya sabido, toda investigación aporta nuevos conocimientos a la comunidad científica, y ello no depende ni del nivel investigativo, ni mucho menos del diseño o tipo de estudio que se realiza; es por eso que esta investigación se justifica por la necesidad de otorgar información adicional y relevante sobre el tema de estabilización de pavimentos, específicamente la estabilización de la capa base del pavimento flexible, demostrando mediante la comprobación científica, que este método de estabilización mejora la resistencia de la capa base; además este estudio sirve de antecedente investigativo para futuros tesis que decidan explorar en esta área de investigación en pavimentos, tomando como base nuestro estudio, para así indagar más a profundidad, considerando otros enfoques y/o variables, e inclusive mejorando este estudio, con el fin siempre de aportar tanto conocimientos, como beneficios a la población objetivo.

#### **1.5 Alcances y limitaciones**

En los alcances, se considera el comportamiento de la capa base con adición de cemento Portland tipo IP para el diseño de pavimento flexible; también, se emplea el estudio de mecánica de suelos para el analizar sus características. Además, se aplica los conceptos y metodologías de diseño para las demás vías urbanas presentes en la región Moquegua.

La limitante será estudiar las diversas canteras presentes en la región Moquegua, en la cual, el apartado más complejo es garantizar la confiabilidad de que, en una de las canteras, se ubique el material que proporcione los valores en los parámetros de calidad para realizar la adición del cemento.

## 1.6 Variables

### 1.6.1 Variable independiente.

Cemento tipo IP

### 1.6.2 Variable dependiente.

Capa base del pavimento flexible

### 1.6.3 Operacionalización de variables.

**Tabla 1**

*Cuadro de operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Capa base del pavimento flexible	Resistencia	Ensayo de CBR	%	Prensa hidráulica
	Compactación	Ensayo de Proctor Modificado	%	Pistón manual
	Plasticidad	Ensayo de Casagrande	%	Cuchara de Casagrande
Cemento tipo IP	Gradación	Ensayo de Análisis Granulométrico	%	Juego de tamices

## 1.7 Hipótesis de la investigación

### 1.7.1 Hipótesis General.

El efecto de la adición de un cemento tipo IP mejorará la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

### 1.7.2 Hipótesis Específicas.

- a) Las características físico mecánicas de los suelos arcillosos afectarán negativamente a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.



- b) El porcentaje de compactación de los suelos arcillosos disminuirá al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.
- c) El nivel de estabilización de los suelos arcillosos aumentará al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Astorga (2018) sustentó la tesis “Evaluación de la influencia del contenido de escoria de cobre en la elaboración de lechadas asfálticas”. (Tesis de Grado). Universidad de Valparaíso Chile. Cuyo **objetivo** es evaluar lechada asfáltica como un método preventivo que alarga la vida útil de los pavimentos, generalmente la lechada asfáltica tiene una vida útil entre 3 y 5 años, pero se han encontrado casos de hasta 15 años cuando la lechada asfáltica es ocupada como método preventivo en pavimentos sin daños estructurales. El uso de la escoria de cobre en lechadas asfálticas entrega beneficios de disminución del estado de oxidación de las carpetas asfálticas; mejor cohesión entre árido (escoria de cobre)-ligante. **Conclusiones:** a) Las lechadas asfálticas son un método de conservación para pavimentos que se encuentran desgastados o levemente agrietados, este tipo de tratamiento asfáltico es un método preventivo que tiene que ser utilizado antes que se produzcan daños estructurales en las carpetas asfálticas existente, de lo contrario, será un gasto de recurso innecesario. b) Las lechadas asfálticas con contenido parcial y total de escoria de cobre cumplen con las exigencias establecidas para la elaboración de lechadas asfálticas, para así poder dar características antideslizantes, rejuvenecer,

proteger y detener la oxidación de carpetas asfálticas existentes que están sometidas a un constante desgaste y cargas de tránsito.

Arias & López (2020) sustentó la tesis “Análisis de las características de mezclas asfálticas en caliente modificada con calamina (residuo generado en el proceso de fabricación del alambro de acero) mediante el proceso en seco”. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cuyo **objetivo** es el estudio y análisis de desempeño de una mezcla asfáltica que incorpora material calamina a su estructura, a través de una equiparación de propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica usual y una mezcla asfáltica modificada. La modificación en la mezcla resulta de la adhesión por vía seca de material calamina en porcentajes del 5%, 15%, 25% y 35% del volumen total de agregado usado para el diseño de una mezcla asfáltica. **Conclusiones:** a) En los ensayos realizados de Calamina se observa una curva granulométrica gradual la cual indica una granulometría continua. Por otro lado, el ensayo de absorción define la forma que se comportará el material al momento de estar en contacto con el asfalto, el resultado obtenido es del 11.04% un porcentaje alto en comparación a los agregados, por esta razón se presenta dificultad al realizar la mezcla asfáltica. Por consiguiente, se deduce que al incrementar la cantidad de calamina aumenta la cantidad de asfalto absorbido. b) En el análisis de la estabilidad realizado en la mezcla modificada da como resultado 2720 lb, lo cual representa un aumento de 13.3% en comparación a la mezcla original obteniendo como resultado 2400lb. En conclusión, mejora su resistencia al desplazamiento bajo cargas generadas por el tránsito, con este incremento se evita la aparición de ahuellamientos, ondulaciones que se puede presentar a lo largo de la utilidad del asfalto.

Vacca (2023) sustentó la tesis “Uso de concreto de ultra-alto desempeño reforzado con fibra como alternativa en la rehabilitación de un pavimento flexible”. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Cuyo **objetivo** es evaluar la viabilidad técnica del uso sobrecarpetas de Concreto de Ultra Alto desempeño reforzado con fibras metálicas (UHPFRC) en la rehabilitación de un pavimento flexible. La rehabilitación de pavimentos flexibles o rígidos con una sobrecarpeta rígida, consiste en la aplicación de una capa de concreto hidráulico sobre la carpeta existente, con el objetivo de otorgar una mayor capacidad estructural al pavimento y una superficie de rodado adecuada. Aunque la aplicación de sobrecarpetas es una técnica mundialmente reconocida como una técnica efectiva, sigue generando retos a diseñadores y constructores. **Conclusiones:** a) En el desarrollo de esta tesis doctoral se evaluó la viabilidad técnica del uso de concretos de Ultra-Alto desempeño reforzado con fibras metálicas como alternativa en la rehabilitación de pavimentos flexibles. La información recopilada permitió dar respuesta a los objetivos planteados, que contribuyeron de forma progresiva a la validación técnica de esta solución para la infraestructura vial. En consecuencia, se considera que la hipótesis es válida, dado que la formulación de una mezcla de UHPFRC fue determinada, y el desempeño físico y mecánico de una sobrecarpeta con espesor promedio de  $40 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  fue evaluado como una solución viable en la rehabilitación de un pavimento flexible, soportado en los resultados producto de cada una de las fases MÉTODO lógicas del proyecto. b) Entendiendo que uno de los parámetros fundamentales en el comportamiento de los pavimentos corresponde a la vida de fatiga de los materiales, debido a la carga repetida producto del paso de

los vehículos sobre la estructura, se determinó la vida de fatiga por flexión en muestras de ensayo prefisuradas en estado endurecido, e induciendo la orientación de la fibra con el método de vaciado, tanto en una mezcla de UHPFRC de referencia, como para una mezcla tixotrópica obtenida previamente para la aplicación pavimentos.

Según Góngora (2019) presento la investigación en Trujillo “Influencia de la Cal y el Cemento Portland Tipo I en la Subrasante de la Trocha del Distrito De Chillida, Provincia De Pataz - 2019” en la tesis se analizó y llegó a la conclusión de que La propiedad de materia física del terreno ubicado en la excavación (calicata) C3, presenta mejoras al incluir la cal y el aglutinante tipo I (cemento portland) en los dos estratos de la calicata mencionada; con respecto al ensayo aplicado se determinó la selección del método California Bearin Ratio (CBR) estableciendo que el aglutinante a un porcentaje del cuatro por ciento (4 %) promueve a un 57.33 % al CBR natural, 2.77 % convierte la subrasante de inapropiada a optima; los datos que se obtuvieron al aplicar la cal al cuatro por ciento proporcionaron que la subrasante mejore en un 3.73% pasando de inapropiada a mala. El mismo caso se aprecia en el estrato que se encuentra a 0.80 m, cuando se le agrega el cuatro por ciento de aglutinante Portland tipo I, logrando promover de un valor de 1.93% al 45.83%, modificando la subrasante de inapropiada a optima, el suceso mencionado ocurre inversamente al añadir cal a un cuatro por ciento, promoviendo solo a un 3.27% generando una subrasante mala. (Gongora, 2019)

El resultado de, Nureña (2017) que presento la tesis “Influencia del estabilizante de Cemento y tipos de Suelos sobre la Resistencia y Durabilidad de

un Adobe Constructivo, Trujillo”, en la investigación se concluyó que, al comparar los diferentes diseños de mezcla, se obtuvo que el adobe al no contener ninguna añadidura de aglutinante (cemento) que presente una mayor y notoria resistencia tendrá una mayor rentabilidad; teniendo en cuenta que para el siguiente caso se está utilizando el adobe procesado con la Tierra identificada con el carácter 1 que contiene un cincuenta por ciento de arena, menos cincuenta por ciento de limos y arcilla, logrando un dato valorizado en 25.7 kg/cm<sup>2</sup>, siendo mayor que 12 kg/cm<sup>2</sup> que es el parámetro límite establecido en la normativa vigente de la NTE E.080\_2006 y sucede en los mismos parámetros al valor de 10.2 kg/cm<sup>2</sup> establecido en la NTE E.08.80\_2017. Siendo considerada rentable en comparación a otras, ya que, logro el objetivo que es el incremento de la tolerancia (resistencia) del adobe, mejorando representativa, teniendo en cuenta que no se consideró la añadidura de cemento. (Nureña, 2017)

Mientras que Benavides (2016) presento la tesis “Comportamiento estructural del material de base de pavimentos flexibles, al adicionar cemento portland, 2016”, en su resultado se determinó el CBR para mezclar los agregados dispuestos, obteniendo un espécimen representativo base para un CBR de ochenta y seis por ciento, añadiendo el 2% de cemento al CBR que es 95.80%, adicionando 4% de cemento al CBR que es 106.50% y adicionando 6% de cemento al CBR que es 122.10%. (Benavides, 2016)

Según Urcia (2017) presento la investigación ubicada en Lima – Perú “Estabilización del suelo con la aplicación de Cemento portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca – Quichuas. Región Huancavelica, 2017”, se concluyó que CBR sin cemento, para el 100 % de

la MDS al 70.7% y para el 95 % de la MDS 30.8 %; con el CBR con cemento, para el 100 % de la MDS al 70.7% y para el 95 % de la MDS 51 %. Que los beneficios funcionales del aglutinante Portland de modelo I que se activan como carácter estabilizante del afirmado en los diseños de caminos, mejoro la resistencia al esfuerzo cortante. (Urcia, 2017)

Teniendo en cuenta que Ayala & Gallardo (2015) presentaron la tesis “Estabilización de la Base de un Pavimento Rígido con Cemento Portland Tipo I utilizando las Canteras El Gavilán, Don Lucho y El Río Chonta, Cajamarca, 2015” concluyendo que los ensayos estabilizantes para la capa que cumple la función de base en un afirmado rígido con aglutinante Portland (cemento) del modelo I, para el cual se procedió a usar los agregados que proceden de las ubicación de extracción del presente material, las que son: El Gavilán, don Lucho y el río Chonta, teniendo en cuenta que la utilización promueve la mejora de la característica de soporte, en base a la cantidad de añadidura al aglutinante mencionado, la que oscila en un parámetro del siete por ciento al ciento sesenta y siete por ciento (mezcla con el material de canteras, Cantera A = 27% y Cantera C = 73%) y en un parámetro de cinco por ciento al ciento cincuenta y cuatro por ciento (mezcla con el material de canteras, Cantera B = 24% y Cantera C = 76%). (Ayala & Gallardo, 2017)

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Definición de pavimento.**

Es el grupo de niveles conformado por elementos (materiales) que cumplen con los parámetros de selección, recibiendo directamente las fuerzas que ejercen los vehículos en el pavimento, teniendo la propiedad de transferir estas fuerzas a niveles inferiores, que se proceden a distribuir de forma equitativa en las mencionadas. El presente grupo consolida la superficie afirmada, que presenta características de funcionamiento en base a la comodidad y al tránsito fluido para los vehículos. (Benites, 2001)

Un afirmado basa su composición en un grupo de niveles añadido de manera consecutiva, con una orientación en base a la horizontal, que constituyen su diseño aparentemente de una manera técnica empleando elementos pertinentes que deben presentar una característica compacta de manera adecuada. (Montejo, 2002)

Se menciona la siguiente consigna en base a los afirmados del presente estudio; son compuestos estructurados por un afirmado diseñado para el tránsito vehicular y presenta en su constitución niveles que contienen pequeños granos, sencillos o que han presentado algún tipo de tratamiento, que se apoyan sobre el soporte denominado subrasante, que a su vez sirve de terreno de fundación. (Robles, 2018)

### **2.2.2 Tipos de pavimento.**

Los presentes afirmados flexibles se clasifican en:

#### ***2.2.2.1 Pavimento flexible.***

El presente pavimento lo constituye un afirmado flexible (bituminoso), que es soportado mayormente en dos niveles compactos con una rigidez establecida, a los



cuales se los conoce como base y al que le sucede como subbase. Cabe indicar, que si en el diseño lo demanda ninguna de los niveles mencionados será incluido en el diseño del presente afirmado, pero teniendo como base las características específicas de cada obra diseñada. (Montejo, 2002)

Se hace mención que son los que emergen con materiales bituminosos (o asfalto), teniendo en cuenta que el sistema estructural que lo componen es flexible y se adecua a las fuerzas ejercidas por los vehículos que transitan sobre el afirmado. (Deroussen, 2005)

#### **2.2.2.2 Pavimento rígido.**

La presenta referencia hace alusión a los que esencialmente están constituidos en su estructura con un afirmado hecho de concreto en base a los parámetros establecidos, que es soportada en una capa o también conocida como subrasante, que se construye en base a elementos determinados cuidadosamente para cumplir las exigencias de calidad. (Montejo, 2002)

### **2.2.3 Estructura del Pavimento.**

#### **2.2.3.1 Subrasante.**

Se indica que este nivel es el que contiene el porcentaje mayor de espesor de la estructura de un afirmado. Teniendo en cuenta que su comportamiento estaba basado en un suelo que presenta características en sus estratos para consolidarlo como estructura de fundación del presente pavimento. (Montejo, 2002)

#### **2.2.3.2 Sub-Base.**

Se hace mención que es el nivel que se ubica en el intermedio de una capa base superior y un nivel subrasante inferior, de la estructura de un afirmado flexible. No está sometida a fuerzas actuantes muy elevadas y a fuerzas menores que los que

soporta un nivel base, por ende, la composición de la calidad de sus materiales es de carácter o características inferiores. (Sánchez, 2009)

#### **2.2.3.3 Base.**

Se dice que la capa base granular es el nivel que está sometido a las cargas o esfuerzos actuantes mayores de todo el sistema estructural de un pavimento, provocado por el tránsito vehicular. (Montejo, 2002)

#### **2.2.4 Estabilización.**

El Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal dice que es, el tratamiento que se le da a los suelos con el objeto de mejorar la resistencia que sufre el pavimento al ser sometido a las cargas que producen las deformaciones constantes por el tránsito vehicular. (Ancade et al., 2012 )

##### **2.2.4.1 Secado de suelos.**

Cuando los suelos tienen una humedad natural excesiva, es decir una humedad muy superior a la humedad óptima que en el ensayo de Proctor. Provoca retrasos en los movimientos de tierra y disminución de rendimientos, por lo que su solución sería, añadir una dotación de cal viva en polvo, el cual, a su vez de secar el suelo por hidratación, mejorara su trabajabilidad. (Ancade et al., 2012 )

##### **2.2.4.2 Suelos mejorados para núcleos.**

Principalmente se da en suelos cohesivos con humedades elevadas, para lo cual se emplea cal en una dotación mínima; así se controlará los sucesos que son generados de manera eventual con respecto a la variación de la forma y a su vez lograr promover la estabilidad en los suelos conformados por rellenos mejore drásticamente. (Ancade et al., 2012 )

### **2.2.4.3 Suelos mejorados para capas de asiento.**

En estas capas de asiento se procede a emplear suelos que contengan características alteradas que mejoran o presentan una estabilización utilizando elementos adicionales en su estructura como el cemento que es un material aglutinante y la cal, y en casos donde es necesario emplear la estabilización mixta de cal y cemento. (Ancade et al., 2012 )

### **2.2.5 Ensayos.**

#### **2.2.5.1 Ensayos estándar.**

##### *a) Análisis granulométrico.*

Se describe que es primordial tener en cuenta la identificación de los terrenos considerando como base la perspectiva del tamaño de los elementos o partículas que la constituyen. (Benites, 2001)

Se indica que el objetivo del presente ensayo aplicado en el laboratorio cumpliendo los estándares establecidos por la normativa vigente, es el obtener los porcentajes del material en base al tamaño de sus partículas para lograr una gradación adecuada, que en términos resumidos la granulometría. (Macias, 2011)

##### *b) Límite líquido.*

Se menciona que el presente ensayo aplicado en laboratorio tiene sus bases en el concepto de lograr obtener los datos con respecto a la cantidad o porcentaje de agua, como un límite mínimo que debería abarcar una porción de suelo o terreno seco pastosa. (Macias, 2011)

Se menciona que la presente Metodología es común su utilización en los procesos de clasificación que engloban la rama de la ingeniería. (MTC, 2016)

c) *Límite plástico.*

Se procede a indicar que la conceptualización es el porcentaje de una humedad en un límite inferior que presenta un terreno o suelo, que se logra aplicar el ensayo con equipos constituidos por cilindros con una dimensión de 3 mm de diámetro que tengan una consistencia que les permita evitar el desmoronamiento de su estructura. (Macias, 2011)

d) *Porcentaje de caras fracturadas.*

Se indica que la presente estructura de partículas o elementos de agregados, tienen la particularidad de generar un efecto en una de las características de la mezcla de los elementos que produce el concreto, siendo la trabajabilidad una característica que se moldea en base al elemento que la contiene y la fuerza necesaria para la consolidación de sus capas o la compactación procede a aumentar, teniendo en cuenta que la presente se realiza en base a los parámetros de la densidad que el usuario requiere en función a su diseño. (Minaya & Ordóñez, 2006)

#### **2.2.5.2 *Ensayos especiales.***

a) *California bearing ratio (CBR).*

Señalan que el ensayo ejecutado en el laboratorio con respecto al CBR, obtiene registros de las medidas de la resistencia o tolerancia a la fuerza de corte de un suelo y beneficiando la obtención de las características en base a la calidad del terreno o suelo que conforman la capa de la subrasante. (Delgado & Quispe, 2012)

Se dice que es el atributo portante de un terreno, el cual lo define como la carga o el peso que es posible de tolerar sin que se generen asentamientos en su estructura de manera excesiva. Y que el ensayo más utilizado para determinar esta

cualidad o característica en un suelo para el diseño de una carretera es el índice de CBR. (Macias, 2011)

*b) Proctor modificado.*

Se indica que es el proceso de compactar los suelos o terrenos es un tema fundamental para los pavimentos y se encuentra vinculada con el tema de pavimentar las carreteras diseñadas. Este ensayo trabaja en base a los procesos de vincular la humedad óptima del suelo con respecto a la densidad en estado seco. (Minaya & Ordóñez, 2006)

Señala que el presente ensayo aplicado en el laboratorio tiene fundamentos históricos que lo hacen esencial en los estudios realizados para obtener los valores máximos de la densidad que puede lograr un suelo o terreno, en base a una serie de procesos determinados en el laboratorio que estipulan un parámetro para los procedimientos de compactar un suelo o terreno, los cuales son compatibilizados con los métodos y la aplicación en campo. (Benites, 2001)

*c) Equivalente de arena.*

Se menciona que el presente procedimiento se emplea como un determinante que sirve como un ensayo de aplicación rápida en campo de correlación de datos; la consigna “equivalente de arena”, se conceptualiza en que el mayor porcentaje de suelos o terrenos granulares y agregados con una fineza moderada son parte de una combinación de elementos gruesos aceptables, arena y mayormente arcillas o partículas finas con presencia de plasticidad y material en polvo que no es representativo o favorable para la estructura. (MTC, 2016)

d) *Abrasión Los Ángeles.*

Se menciona que el presente procedimiento realizado en base a los estándares de un ensayo que mide las dimensiones de las partículas que conforman los agregados después de ser sometidas a un proceso de desgaste por la acción de diferentes elementos que generan un impacto en su estructura, obligando a los agregados que no contienen una resistencia adecuada a la desintegración, el procedimiento mencionado se realiza en un tambor que contiene elementos de acero que son sometidos a una rotación continua, también se le conoce como el efecto de abrasión de las partículas. (MTC, 2016)

Minaya & Ordoñez (2006); respecto a los efectos en el pavimento indico lo siguiente:

**2.2.6 Efectos en el pavimento flexible.**

**2.2.6.1 Comportamiento Elástico.**

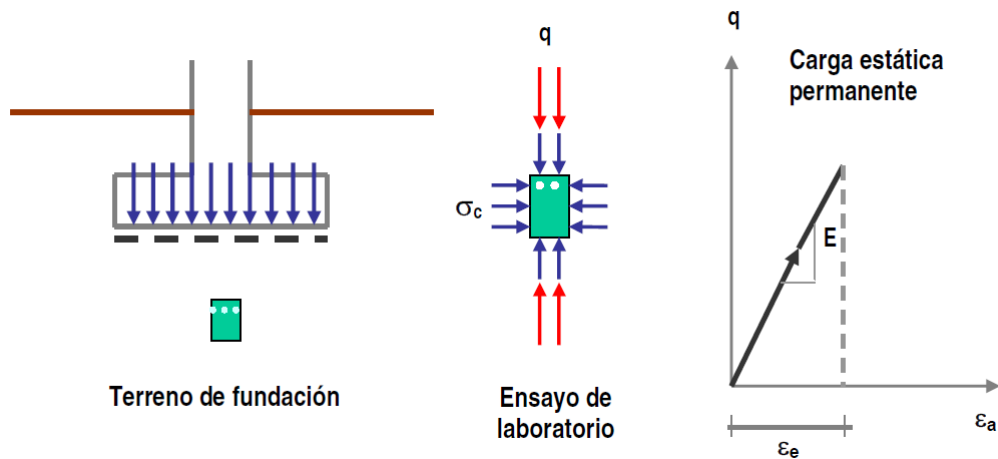
El parámetro que evalúa las deformaciones ante cargas estáticas es el Módulo Elástico E. El módulo elástico relaciona los esfuerzos aplicados y las deformaciones resultantes. Un ejemplo es la zapata, el nivel de esfuerzos aplicados al suelo a través de la zapata es mínimo lo que originará que el suelo se deforme, pero esta deformación no lo llevará a su condición de falla.

La teoría elástica permite determinar el módulo elástico del suelo mediante ensayos de campo y laboratorio, como en ensayos de compresión edométrica, triaxial, CBR, placa de carga entre otros. En un ensayo triaxial, a una muestra de suelo se le aplica un confinamiento promedio inicial ( $\sigma_c$ ) para luego aplicarle el esfuerzo axial q.

La presión transmitida al suelo es permanente y baja, lo que provocará una deformación elástica. Gráficamente, existe una relación lineal entre la presión transmitida y la deformación, y la pendiente de la línea mostrada es el módulo elástico. Para la cimentación, el asentamiento permitido es de 2,5 cm.

**Figura 1**

*Comportamiento elástico*



*Nota:* Minaya & Ordoñez (2006)

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo de confinamiento

$q$  = Presión axial

$\varepsilon_e$  = Deformación elástica

$\varepsilon_a$  = Deformación axial

La teoría de la elasticidad se puede extender a los ensayos realizados en el laboratorio con respecto al C.B.R. utilizando los resultados de la prueba de carga relacionados con el asentamiento característico de 0.1 pulgadas. Por esta razón, la solución proporcionada por la teoría elástica debe usarse para calcular el asentamiento que ocurre cuando se carga una superficie circular rígida en un medio semi-infinito (Poulos y Davis, 1974).

$$\rho = \pi/2(1 - \nu^2)(p * r)/E \dots\dots\dots$$

Ecuación 1

Donde:

$\rho$  = Asentamiento

$\nu$  = Relación de Poisson

$p$  = Presión aplicada

$r$  = Radio del área cargada

E = Módulo elástico

Considerando el asentamiento característico de 0.1 *pulgadas*; el valor  $\nu = 0.40$ ; equivalente al radio del área de carga circular de 3 *pulg*<sup>2</sup> y la presión aplicada en función del valor CBR, se obtiene la siguiente relación:

$$E = 139.7\text{CBR} ; E \text{ en libra/pulg}^2$$

$$E = 9.83\text{CBR} ; E \text{ en kg/cm}^2$$

Entonces, es posible obtener el valor del módulo elástico E a partir del valor CBR, asumiendo que el comportamiento del medio es elástico, uniforme e isotrópico.

**2.2.6.2 Comportamiento Elasto-Plástico.**

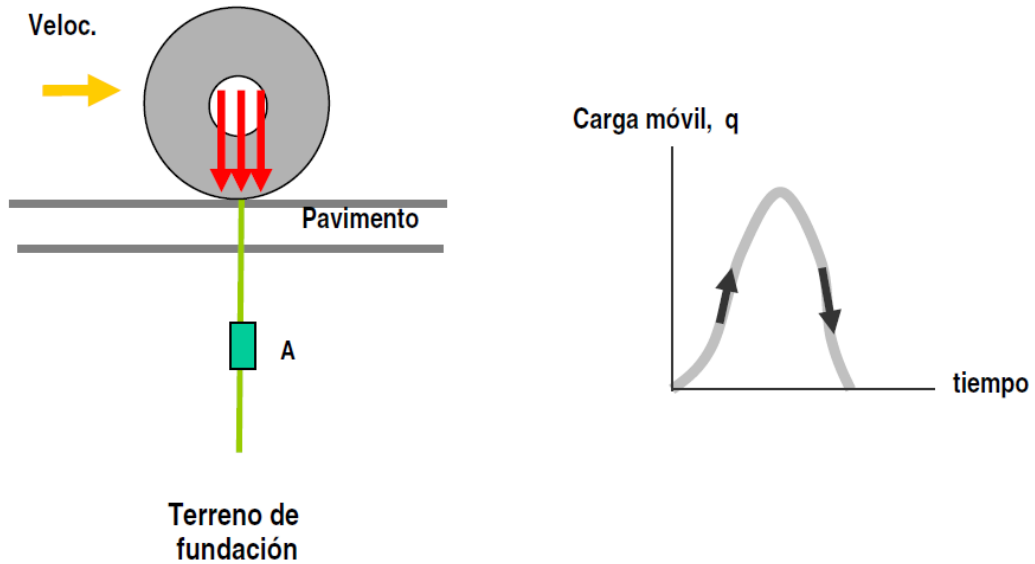
En el afirmado, la carga transferida es móvil, es decir, el suelo sufrirá un ciclo de carga y descarga. Para una mejor comprensión, analizaremos la situación de un ciclo (1 carga y 1 descarga). Cuando el vehículo se acerca al punto de análisis A, el terreno de cimentación comienza a deformarse. Cuando el vehículo está justo por encima del punto A, la deformación es la mayor. En este momento, conocemos la deformación total. Sin embargo, cuando el vehículo abandona el suelo, intentará recuperar su posición inicial, pero no podrá recuperarse. La deformación



irrecuperable se denomina deformación plástica y la deformación recuperable se denomina deformación elástica. El suelo ha sido plastificado.

**Figura 2**

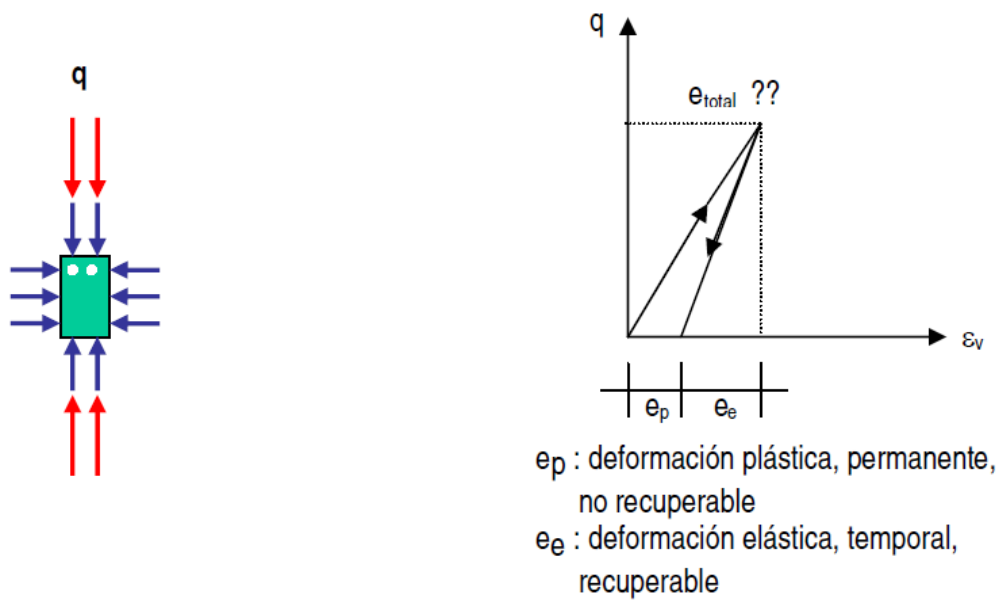
*Comportamiento elasto-plástico, un ciclo carga-descarga (A)*



*Nota: Minaya & Ordoñez (2006)*

**Figura 3**

*Comportamiento elasto-plástico, un ciclo carga-descarga (B)*

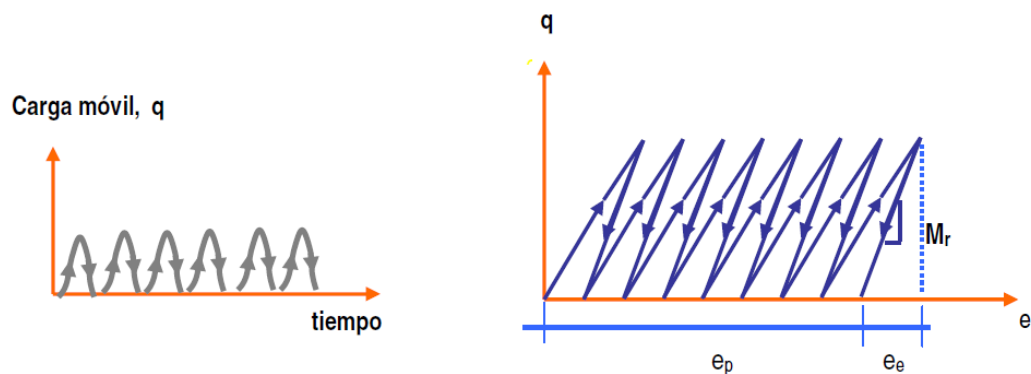


*Nota: Minaya & Ordoñez (2006)*

La cimentación soporta muchos ciclos de carga y descarga, la deformación plástica se acumula y la deformación elástica se vuelve constante. Cuando el suelo ya no acumula más deformación plástica, ya se ha consolidado para este nivel de carga. Al final de esta fase, la pendiente de la línea se llama módulo de elasticidad, **Mr**. El módulo de elasticidad representa el comportamiento elástico último del suelo.

**Figura 4**

*Comportamiento elasto-plástico, varios ciclos carga-descarga*



*Nota: Minaya & Ordoñez (2006)*

$$M_r = \frac{q}{e_e} \dots\dots\dots$$

Ecuación 2

Donde:

$M_r$  = Módulo Resiliente representa el comportamiento elástico final, residual

$e_e$  = Las deformaciones plásticas son acumulables e influyen en el comportamiento del pavimento

$q$  = Presión axial

El presente módulo de la resiliencia se ha correlacionado con el valor de la capacidad de carga del suelo CBR y se ha utilizado como parámetro de diseño, pero aún no se sabe que representa una condición específica del suelo.

El método de diseño de pavimento más reciente (AASHTO 2002) cree que todas las capas que constituyen la estructura del pavimento no deben tener deformación plástica, especialmente en la capa más débil. La deformación de la cimentación juega un papel importante en la deformación estructural de no más de 1 *mm*. Se recomienda que todos los suelos con un CBR por debajo del 8% al 10% sean estables.

La última versión del catálogo francés de 1998 clasificó el suelo del terreno básico en cuatro tipos: PF1 (baja capacidad de carga) a PF4 (alta capacidad de carga, generalmente procesado). El catálogo de 1998 no consideró estructuras de edificación en suelos tipo PF1 porque su calidad era insuficiente para garantizar la durabilidad de las estructuras.

El suelo clasificado como PF1 es un suelo con un CBR de menos del 7% y el suelo de PF4 es un suelo con un CBR de más del 30% al 40%. El suelo intermedio es PF2 y su CBR está entre el 7% y el 20%. Y CBR en suelo PF3 entre 20% y 30% a 40%.

La viga Benkelman controla la estructura de la capa compactada. Como se muestra en la Tabla, la deflexión máxima recomendada por el catálogo francés en 1998 es una función del módulo de prueba de placa circulante y el tipo de cimentación. Para arcilla tratada con cal, la deflexión máxima se muestra en la segunda tabla.

**Tabla 2**

*Requisito de deformabilidad en el momento de la construcción de la obra, para capas de refuerzo o fundación no tratada (Catálogo Francés de 1998)*

Clasificación del suelo	Deflexión máxima en mm, viga Benkelman	
	Módulo de deformabilidad en MPa (ensayo de placa)	
PF2	50.00	2.00
PF3	120.00	0.90
PF4	200.00	0.50

*Nota: Minaya & Ordoñez (2006)*

**Tabla 3**

*Requisito de deformabilidad en el momento de la construcción de la obra, para suelos arcillosos tratados con cal (Catálogo Francés de 1998)*

Clasificación del suelo	Deflexión máxima en mm, viga Benkelman	
	Tratamiento sólo con cal	Tratamiento con cal y cemento
PF2	1.20	0.80
PF3	0.80	0.60
PF4	-	0.50

*Nota: Minaya & Ordoñez (2006)*

### **2.2.6.3 Esfuerzos importantes.**

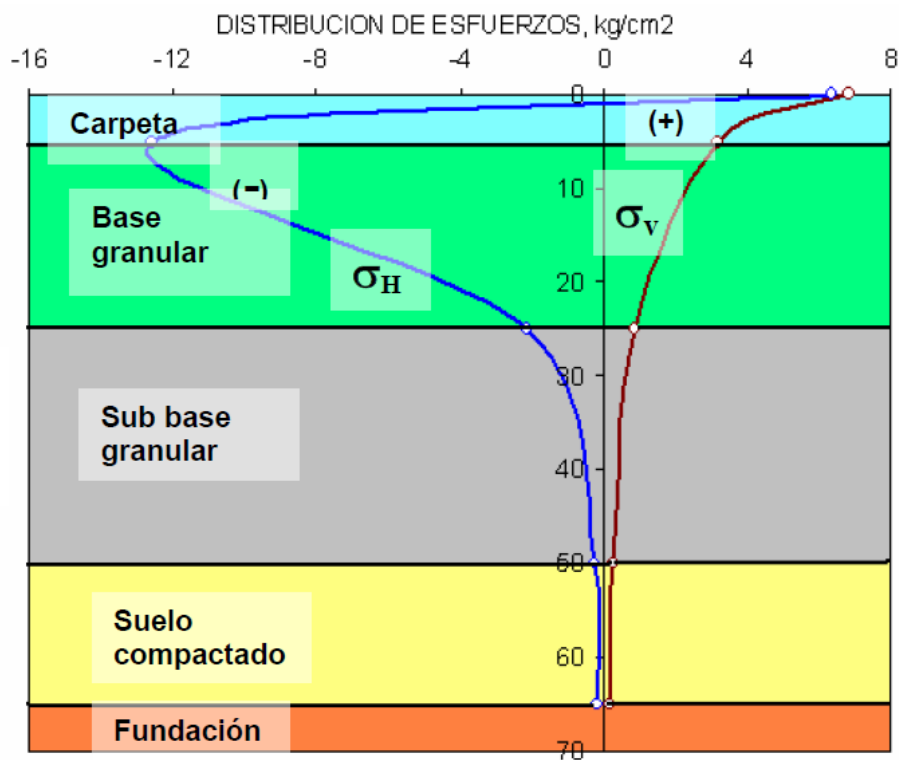
En nuestro entorno, la estructura típica de la acera está compuesta por una capa de asfalto y una capa de materiales seleccionados colocados sobre una calzada compactada y una calzada natural. El propósito es distribuir la carga del tráfico de manera que la presión vertical de la capa de cimentación sea menor que la presión del suelo. La estructura del pavimento lo permite.

La llanta produce no solo fuerza vertical, sino también fuerza horizontal. En una estructura de pavimento típica (capa de asfalto, capa base y capa base granular), la tensión horizontal se disipa a través de la capa asfáltica, cambiando de un valor positivo en la superficie a un valor negativo en las fibras debajo de ella. La fuerza así generada crea una grieta, que luego se reflejará en la superficie. Esta figura muestra la distribución de fuerzas horizontal ( $\sigma_H$ ) y vertical ( $\sigma_V$ ) de una superficie de carretera típica.

Los dos principales daños que se producen en el pavimento están relacionados con la deformación excesiva del nivel de la subrasante, reflejando el comportamiento de la cimentación y la deformación por tracción relacionada con las fisuras.

**Figura 5**

*Esquema de la Distribución de Esfuerzos en Pavimentos Típicos*

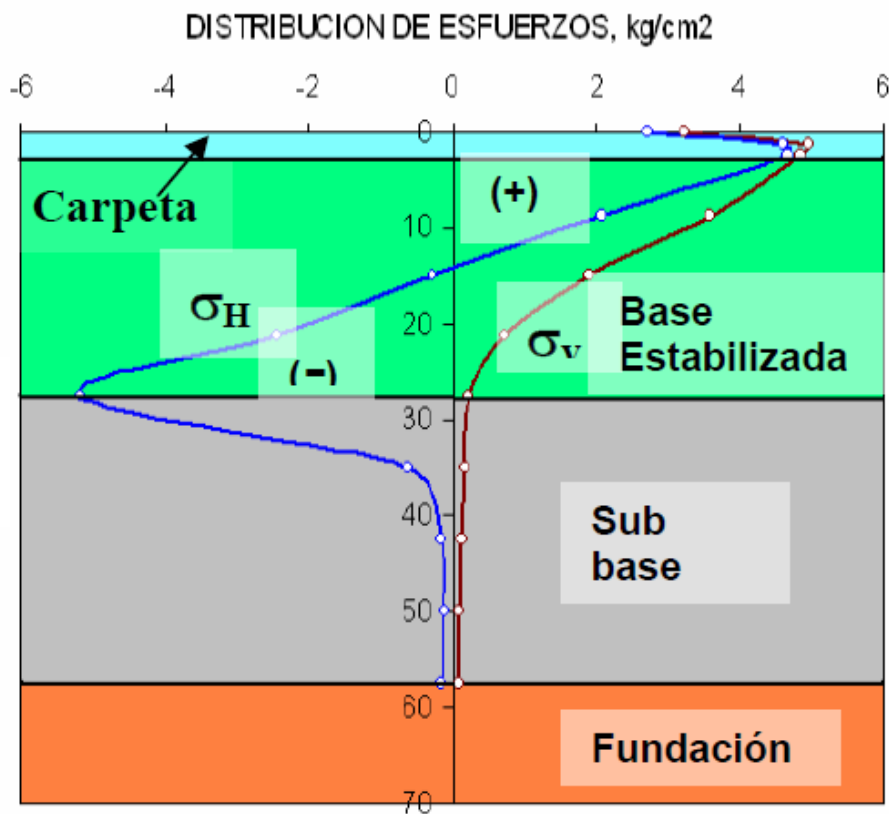


*Nota:* Minaya & Ordoñez (2006)

La figura muestra el esquema de distribución de esfuerzos en una estructura de pavimento con cimentación estable y / o cimentación secundaria. La capa de fieltro de asfalto solo soporta la tensión de compresión, mientras que la tensión de tracción es absorbida por la base estable.

**Figura 6**

*Distribución de Esfuerzos en Pavimentos con Base y/o Sub Base Estabilizada*



*Nota:* Minaya & Ordoñez (2006)

Desde esta perspectiva, la prueba de tracción indirecta y los parámetros correspondientes (como el módulo de resiliencia) no representan las propiedades mecánicas de la capa de asfalto, por lo que la prueba de compresión cíclica constreñida representará las propiedades mecánicas.

Witczak et al. De la Universidad de Arizona sugirieron evaluar el módulo dinámico complejo obtenido de una prueba de compresión triaxial cíclica.

"AASHTO 2002 Pavement Design Guide" recomienda utilizar este parámetro. El módulo dinámico  $E^*$  también se ha convertido en el principal candidato para la prueba de rendimiento simple Superpave, que puede predecir la deformación permanente y las grietas por fatiga de los pavimentos asfálticos. (Minaya & Ordóñez, 2006)

### 2.3 Marco conceptual

- **AASHTO.** Abreviatura que hace referencia a la American Association of State Highways and Transit Officials. Su traducción en español se representa como “La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes”, esta institución es una organización que se encarga de precisar normas, así como presentar especificaciones, y realizar pruebas para protocolos y/o guías que son utilizadas para el diseño y construcción de vías en países como EEUU. Un dato importante es que independientemente de que su nombre indique carreteras, también se aplica para el transporte por aire, agua, ferrocarril, y también transporte público. (Geotecnia online, 2021)
- **Asfalto.** Es una clase de bitumen o alquitrán conformado por hidrocarburos de tipo sólido, los cuales se forman por la evaporación del petróleo con sus fracciones ligeras, cabe indicar que se puede hallar almacenado en la roca depósito. (RAI, 2014)
- **Base.** Fundación o pieza sobre la cual descansa un objeto o un aparato. (RAI, 2014)
- **Carga.** Se refiere a todo tipo de causa, razón, motivo e inclusive agente que pueda producir u ocasionar estados de tensión o deformación en estructuras o en superficies de terreno. (Fundacion laboral, 2023) También puede referirse a las

- fuerzas o el conjunto de ellas que intervienen en una respectiva estructura o en su defecto en un elemento estructural. (RAI, 2014)
- **Carpeta asfáltica.** También llamada capa de asfalto, es el estrato superior en la variedad de pavimento flexible, esta capa permite que la superficie tenga características para el rodamiento, es creada con elementos de origen pétreo que son selectos y con materiales asfálticos de la clase requerida para el tipo de vía que se ejecutará. (Girly-Blogger, 2009)
  - **Deformación.** Cualquier magnitud relacionada de una u otra manera con cambios de la longitud de un cuerpo. (RAI, 2014)
  - **Ensayo CBR.** Ensayo de medida de la capacidad soporte, denominado Índice Soporte de California (California Bearing Ratio, CBR). Se basa en las normas ASTM D1883, AASHTO T193. Objeto. Obtener la resistencia a la penetración por punzonado de un vástago en una muestra de material compactado en un molde rígido, y determinar la expansión. MTC. (2016)
  - **Ensayo Proctor modificado.** Ensayo similar al ensayo Proctor, pero con mayor peso del pisón y mayor altura de caída. (RAI, 2014)
  - **Ensayo Proctor.** Procedimiento de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico. (RAI, 2014)
  - **Estabilización.** Técnica, relativamente moderna, que consiste en el estudio de la estabilidad del propio suelo y su tratamiento con cal o con cemento para mejorar su capacidad portante, cuya aplicación permite llegar a espesores mucho más



- reducidos de las capas de firme con total garantía, haciendo que el conjunto del pavimento resulte más económico. (RAI, 2014)
- **Estructural.** Formato de estructura. Sistema estructural ideal que se usa para el cálculo, estimación, análisis, evaluación y verificación. (Fundación Laboral de la Construcción, 2023) Análisis estructural. Determinación de esfuerzos y deformaciones en una estructura determinada. (RAI, 2014)
  - **Geotecnia.** Es un área de la ingeniería que establece criterios que proporcionan información para tratar de manera racional las soluciones a la problemática originada por los cambios del medio geológico, por lo tanto, su finalidad de estudio de esta disciplina es el terreno. (Geotecnia online, 2021)
  - **Granular.** Formar o cristalizar en granos, gránulos, o pequeñas masas.(RAI, 2014) Esta característica se otorga con frecuencia a los suelos, y ello indica que las dimensiones del grano que existen en mayor cantidad, incluso más de la mitad, es más elevado a 0.075 mm. El tipo de suelos granulares o de grano de mayor espesor están compuestos mayormente por feldespato, calcita, y cuarzo, y en menor número están presentes los sulfatos, vidrios volcánicos y sales. (Fundacion laboral, 2023)
  - **Intemperismo.** También conocido como meteorización, es la separación, deterioro, descomposición, disgregación y demolición de rocas, ello como reacción a la exhibición y presentación a los elementos de la intemperie, como son el aire, los cambios de temperatura, el agua, y la actuación de organismos. (Caballero, 2010)
  - **Materiales pétreos.** Son los elementos que tienen su origen en la roca, peñasco o piedra, estos se suelen ubicar como una clase de bloques, módulos, losetas, o

porciones de varias dimensiones, especialmente en el medio natural, se conocen otra variedad de este tipo de elementos que son producidos por la mano de hombre, al ser industrializados. (RAE, 2015)

- **Mezcla asfáltica.** Es el elemento más importante utilizado para la edificación de carreteras, suele estar compuesto por una variedad de materiales, para lo cual es de gran relevancia conocer cuál será la vida de servicio de la obra a realizar. (VISE, 2016) De manera más específica, la mezcla asfáltica está confirmada por 02 compuestos esenciales, en primer lugar, los agregados o el compuesto de tipo mineral como la arena y grava, y el material ligante de asfalto. Como se mencionó, se debe tener la información de la obra como es la utilidad que se le dará o con qué objetivo se la ejecuta, ya que de ello depende la mezcla que se va a utilizar, puesto que la conformación granular puede presentar algunas alteraciones. Así mismo, estas mezclas de asfalto podrían distinguirse por la clase de material ligante que le agregue, teniendo en cuenta si es que se utiliza algún tipo de modificador para que aumente el nivel de trabajo y servicio (MTC, 2016).
- **Subbase.** Denominada también capa o estrato subbase, el que es representado como una capa de material que se realiza de manera directa en la terracería, cuya misión es disminuir el precio/costo del pavimento, reduciendo el grosor del estrato base. Además de preservar el estrato base separándolo de la terracería, puesto que, si se agrega este material en la base, se dan variaciones volumétricas producidas al modificar las circunstancias de humedad, que como consecuencia originan un descenso en el soporte de la base. Otras funciones que cumple son la protección de la base evitando que el recurso hídrico ascienda por la característica de

capilaridad; también transfiere y reparte los esfuerzos de las terracerías (VISE, 2016).

- **Subrasante.** Término utilizado para denominar a la capa o estrato subrasante, que se define de manera general como un terreno de tipo natural, que sirve de soporte para todos los elementos que conforman la estructura del pavimento, se dice que no compone esta estructura, no obstante, su facultad de resistencia y soporte es una característica importante que repercute de manera directa la elección de los grosores en su totalidad de los estratos del pavimento. El objetivo de esta capa es soportar los esfuerzos que el tránsito emite sobre el pavimento, además de transferir y repartir estas cargas al sistema del terraplén, además de impedir que los elementos plásticos y finos del sistema del terraplén puedan contaminar el pavimento, así como realizando un ahorro a la economía de los grosores del pavimento (VISE, 2016).

- **Cemento Tipo IP.** El presente elemento aglutinante (cemento) tiene características que proporcionan una mayor trabajabilidad, por ende, tiene un endurecimiento con un mayor parámetro de tiempo, siendo utilizado de manera específica en ambientes fríos, para compensar esta propiedad la mezcla necesitara mayor porcentaje de humedad que un cemento Portland de uso general; se debe tener en cuenta que este parámetro fomenta a el aumento de la resistencia a la compresión, teniendo mayores resistencias que otros aglutinantes, a su vez el hormigón obtiene propiedades que elevan su densidad, aminorando los poros y mejorando la conjunción de los elementos de su estructura, lo que provocara que este elemento o la mezcla de los mencionados mejore proporcionalmente la tolerancia a los químicos. Se endurecen más lentamente, en especial en un

ambiente frío, y requieren en general más agua para el amasado que el Pórtland normal; pero a largo plazo llegan a superar las resistencias de este, confiriendo al hormigón una elevada densidad, disminuyendo su porosidad y haciéndolo más compacto, lo que aumenta su resistencia química. Lo mencionado anteriormente le dará una serie de atributos para el uso en diferentes tipos de edificaciones, obras hidráulicas, diseño de carreteras y entre otros que requieran en su proceso lo estipulado. (Quiroz & Salamanca, 2006). Aglutinante que presente una añadidura de porcentajes de puzolana en base a un parámetro establecido del 15 – 40 por ciento del peso de la totalidad. (Pasquel, 1993)

- **Capa base del pavimento flexible.** De los diferentes tipos de superficie de rodadura, el presente está compuesto por una carpeta asfáltica (bituminosa), que es soportada en la mayoría de los casos sobre un par de superficies no rígidas que conforman capas en su estructura (base y sub base). Sin embargo, según el comportamiento de cada obra en base al diseño propuesto, las mencionadas serán alteradas o retiradas en base a los parámetros establecidos. (Monsal, & Giraldo & Maya, 2012). Una de las funciones principales es dar soporte, disgregando de manera equitativa y transferir las fuerzas que ocasiona el tránsito de vehículos en la carpeta asfáltica, este comportamiento se le atribuye a la capa anterior a la rodadura. La presente tendrá en su estructura presencia de elementos granulares que presentaran un comportamiento drenante ( $CBR \geq 80\%$ ) o en su defecto se incluirá en sus propiedades del asfalto, cal o cemento. (Zecenarro, 2013)

## CAPÍTULO III

### MÉTODO

#### 3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente estudio varía de acuerdo a la clasificación que se tome según la información que se revise.

- Según la época o momento de la toma de la información es un estudio *Prospectivo*.
- Según el número de mediciones de la variable de estudio es una investigación *Transversal*.
- Según la profundidad del estudio es una investigación *Analítica*.
- Según la naturaleza de los datos es un estudio *Cuantitativo*.
- Según la utilidad y el objetivo que persigue el estudio es una investigación *Aplicada*.
- Según el objetivo o propósito estadístico del estudio es una investigación de *Estimación*.
- Según el contexto del estudio es una investigación *Académica*.

El Nivel de Investigación del estudio es **Relacional**, puesto que este nivel incluye investigaciones bivariados que engloban estudios de asociación, relación y/o comparación, no son investigaciones de causa y efecto, ya que no se pretende explicar ello, este tipo correspondería a un nivel superior de investigación. En este nivel investigativo se suele utilizar además de la estadística descriptiva, la estadística inferencial, con pruebas estadísticas para demostrar la significancia de los resultados según el objetivo que se ha planteado. (Rodríguez, 2015) La característica más importante de este nivel es que posee análisis estadístico bivariado (de dos variables) y es, precisamente, lo que lo diferencia del nivel descriptivo (donde el análisis estadístico es univariado); y la diferencia con el nivel explicativo es que no pretenden demostrar relaciones de causalidad. (Moreno, 2016). El presente estudio pretende analizar el efecto que produce la adición del cemento Tipo I en el comportamiento de la estructura de la base de un pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021, evaluando a través de ello las dos variables por las cuales se compone esta investigación, siendo como ya se mencionó líneas arriba una investigación bivariado, mediante el análisis estadístico a nivel descriptivo, con valores absolutos y porcentuales de los resultados obtenidos tras la aplicación de las pruebas de laboratorio.

### **3.2 Diseño de investigación**

Cuasi Experimental:

El actual proyecto de investigación presenta un diseño Cuasi Experimental, puesto que no satisface los requisitos de un diseño experimental verdadero (Moreno, 2016), debido a que la asignación de sujetos o muestras no son incluidos de manera aleatoria en los conjuntos de grupos (Bono, 2012). Al realizar la presente

investigación, que implica la adición un cemento tipo IP en la estructura de la base de un pavimento flexible en la zona de estudio de la ciudad de Moquegua, no se hizo uso de una selección aleatoria de los especímenes de estudio, sino que estos son escogidos por conveniencia del investigador, según las características que estime necesarias.

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población.

En esta investigación las unidades de estudio (población) las constituyeron las vías urbanas de trocha carrozable del distrito San Antonio de la ciudad de Moquegua, específicamente de la AV El Trébol.

#### 3.3.2 Muestra.

Para la selección de la muestra se hizo uso de la *Técnica de Muestreo de tipo No Probabilístico por Conveniencia*, en la que el investigador selecciono los sujetos de estudio (calicatas), empleando su criterio que fue determinada por la necesidad del estudio, para ello, cuando se desarrolló la presente investigación se asumió como muestra la exploración de suelos (calicatas), las cuales se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas.

**Tabla 4**

*Exploración de suelos*

Exploración de Suelos				
N° Ensayo	Denominación	Altitud	Este	Sur
01	C – 01	1366 m.s.n.m.	292628.44 m	8097110.24 m
02	C – 02	1342 m.s.n.m.	292149.81 m	8096998.73 m
03	C – 03	1345 m.s.n.m.	292586.39 m	8096859.31 m

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- ✓ Tamices: Es un material instrumental que se utilizó para realizar un análisis granulométrico de una muestra representativa de cada calicata, con lo que consiguió los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.
- ✓ Copa de Casagrande: Es un instrumento utilizado para realizar el ensayo de Límite líquido de una muestra representativa de cada calicata, con lo que alcanzo los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.
- ✓ Pipeta y moldes: Son instrumentos utilizados para realizar el ensayo de Límite plástico de una muestra representativa de cada calicata, con lo que se adquirió los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.
- ✓ Prensa de Carga: Es un instrumento utilizado para realizar el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), de una muestra representativa de cada calicata, con lo que extrajo los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.
- ✓ Moldes y Martillos Proctor: Son instrumentos utilizados para realizar el ensayo de laboratorio denominado Proctor Modificado, de especímenes representativos de estudio de cada calicata, con lo que alcanzo los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.
- ✓ Probetas en Acrílico: Es un instrumento utilizado para realizar el ensayo de Equivalente de arena, de una muestra representativa de cada calicata, con lo que se consiguió los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación.



### **3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento de los datos que se obtuvo de los ensayos y análisis, se hizo uso de los siguientes softwares que nos han provisto la información necesaria analizada mediante valores para el desarrollo de la investigación, los siguientes se detallan a continuación:

Ms Word versión 2016: Con el siguiente software se realizó la redacción del informe en el que se incluirán tablas, gráficos y fórmulas que se vieron por conveniente para plasmar el fin de la investigación.

Ms Excel versión 2016: Con el siguiente software se complementó el análisis estadístico y nos sirvió para el cálculo correspondiente de los diferentes puntos que se tocaron en esta investigación.

AutoCAD versión 2016: Con el siguiente software se crearon o dibujaron los diferentes planos que indicaron referentes importantes para el proceso de esta investigación.

Para el procesamiento de los datos y análisis estadístico se utilizó el software IBM SPSS Statistics 22, en el que se obtuvo los resultados de la estadística descriptiva e inferencial a través de la aplicación de pruebas de normalidad y comparación estadística entre los valores obtenidos al adicionar un cemento tipo IP a la estructura de la base del pavimento flexible en contraste con otros métodos de estabilización, se analizó el nivel significancia logrado.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1 Presentación de los resultados por variables**

Para el desarrollo de la investigación se consideró como zona de estudio la av. el Trébol del Distrito de San Antonio de la Región de Moquegua, motivo por el cual, en conjunta coordinación con las áreas respectivas, se dio inicio a las actividades pertinentes del caso, con la finalidad de poder tener mayor acceso a las vías urbanas de trocha carrozable.

Para la obtención de los resultados en la presente investigación se siguió los siguientes parámetros:

#### **4.1.1 Fase Administrativa.**

Para obtener un desarrollo eficiente de la investigación, es necesario la inclusión de más involucrados, logrando conseguir una mayor información sobre la zona de estudio, además de permitir el manejo de una información verídica y confiable.

##### **4.1.1.1 Zona de estudio.**

La ejecución de la investigación será en el distrito de San Antonio de la región de Moquegua, el distrito limita por el norte y noreste con el distrito de Moquegua en la provincia de mariscal Nieto, iniciando en el punto de coordenada UTM 282 677 m E y 8 101 513 m N; hasta alcanzar el punto de coordenada UTM 287 178 m E y 8 101 023 m N, encontrándose con la quebrada trapiche, e interceptándose con el río de Moquegua por el sur este y por el este limita con el distrito de Moquegua, siguiendo la trayectoria se llega a encontrar con la quebrada los pajaritos, y la quebrada de los burros; y por el oeste y noroeste limita con la provincia mariscal nieto, y el distrito Algarrobal. El distrito pertenece a una zona urbana en donde las condiciones de la calidad de vida de sus habitantes son promedio, y cuenta con vías urbanas de trocha carrozable, que tienen características geométricas que no alcanzan a las de una carretera, motivo por el cual no son fácilmente transitables.

La zona de estudio de la av. trébol ha sido diseñada empleando un pavimento flexible para soportar las cargas ejercidas por el tránsito vehicular, las que serán distribuidas de manera descendente en cada una de sus capas que conforman la estructura del pavimento. (Anexo 1 Plano de ubicación)

#### **4.1.1.2 Coordinación con laboratorio de suelos.**

El conocimiento sobre los suelos es la base fundamental que permitirá que se pueda llevar a cabo la ejecución de diversos proyectos, mismos que tienen por finalidad proporcionar condiciones óptimas para una calidad de vida. Resulta ser relevante conocer las características y propiedades de la zona de estudio, razón por la que se optó ejecutar un análisis de la zona de estudio en el laboratorio Geotécnico SERGEO E.I.R.L. con la PROPUESTA DE EJECUCIÓN DE SERVICIO PES N° 22-0362, esto con la finalidad que los resultados obtenidos sean verídicos, y confiables. Las acciones llevadas a cabo para determinar que el laboratorio sea el indicado para realizar este tipo de ensayo son las mostradas a continuación:

- Se realizó una búsqueda exhaustiva sobre todos aquellos laboratorios que brindan este tipo de servicio de EMS (Estudio de Mecánica de Suelos).
- Se procedió a realizar una selección de los laboratorios que mejor se adecuen a las necesidades de la investigación.
- Se contactó directamente con el laboratorio que según la investigación fue el que cumple con todas las medidas y características necesarias para poder llevar a cabo el desarrollo de la investigación.
- Se llegó a realizar una reunión en donde se estipularon y se acordaron todos los términos y acciones legales con el laboratorio Geotécnico SERGEO E.I.R.L. para iniciar con el estudio de mecánica de suelos.

El estudio de mecánica de suelos permite obtener información específica sobre la zona de estudio de la investigación, logrando conocer la naturaleza y las propiedades del terreno. Este tipo de gestión reduce el error relativo obtenido en los datos de los ensayos. (Anexo 2 Cotización de laboratorio)

#### **4.1.2 Fase de Laboratorio.**

Un estudio geotécnico es un proceso en donde se realizan diversas actividades en conjunto, mismas que permiten al usuario poder llevar a cabo la obtención de información sobre un terreno determinado, la información obtenida de este proceso, permite que se lleven a cabo proyectos a pequeña, mediana y gran escala, y en diferentes periodos de tiempo. Un estudio geotécnico deberá ser realizado antes de dar inicio a la ejecución de un proyecto, esto es debido a que el estudio geotécnico proporcionará información relevante sobre las características, propiedades y tipología del terreno, si por lo contrario sucediera el caso que las personas a cargo del proyecto, decidieran iniciar con la ejecución del mismo sin antes haber realizado un estudio geotécnico, no garantizara que el cálculo del diseño realizado tenga una se encuentre en los parámetros de la fiabilidad y es muy probable que se susciten fallas en las estructuras que se tiene planificado construir, las que son un peligro latente para los usuarios que se dispuso el uso de esta infraestructura.

Para desarrollar la investigación y proceder con el curso de la misma fue relevante la realización de ensayos al terreno ubicado en la av. el trébol, la cual ha sido designada como zona de estudio, los estudios fueron realizados por el laboratorio Sergio E.I.R.L. quien cumple con todos los parámetros requeridos en la investigación. Toda la información proporcionada mediante estos ensayos da a conocer las características, propiedades y tipología del terreno.

De esta manera se logra conseguir la siguiente información:

#### 4.1.2.1 *Análisis granulométrico.*

*Objeto:*

Determinar las cantidades exactas de los tamaños de partículas de suelo.

*Finalidad y alcance:*

Se describe el desarrollo del proceso llevado a cabo para determinar cuáles son los porcentajes que tiene la zona de estudio, el proceso realizado consiste en hacer que el suelo pase por distintos tamizados.

*Norma:*

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

**Tabla 5**

*Análisis granulométrico - D6913 C1*

<b>Análisis Granulométrico - D6913 C1</b>				
Malla (Pulg)	mm.	Masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	1279	2.53	97
1 1/2 in.	38.100	668	1.32	96
1 in.	25.000	2049	4.05	92
3/4 in.	19.000	1887	3.73	88
3/8 in.	9.500	6248	12.34	76
Nº. 4	4.750	7251	14.32	62
Nº. 10	2.000	130.09	14.61	47
Nº. 20	0.850	132.41	14.87	32
Nº. 40	0.425	91.03	10.22	22
Nº. 60	0.250	61.15	6.87	15
Nº. 100	0.150	50.73	5.70	9
Nº. 140	0.106	21.82	2.45	7
Nº. 200	0.075	12.20	1.37	6

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 6**

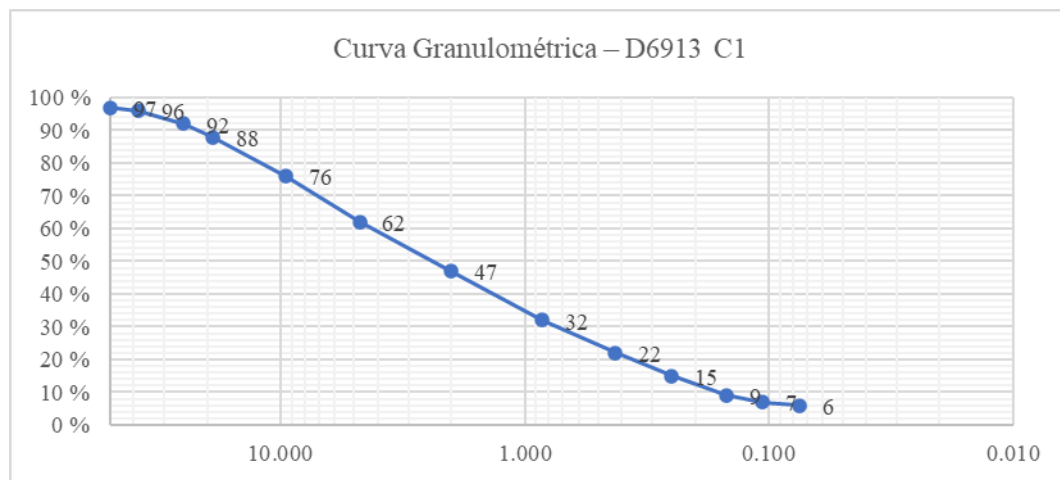
*Resumen de resultados - D6913 C1*

<b>Resumen de Resultados - D6913 C1</b>	
S.U.C.S	SP SC
A.A.S.H.T.O	A-2-4-(0)
D <sub>60</sub>	4.43
D <sub>30</sub>	0.76
D <sub>10</sub>	0.16
Cu	27.76
Cc	0.81
Límite líquido	27.00
Límite plástico	20
Índice de Plasticidad	7
Cantos Rodados > 3. in. (%)	-
Grava (%)	38
Arena (%)	56
Finos (%)	6

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 7**

*Curva Granulométrica – D6913 C1*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura se logra apreciar que la curva granulométrica es de forma tendida lo que significa que existe una mejor distribución del material, por lo tanto, es un suelo que aparentemente tiene buenas propiedades de soporte de carga.

**Tabla 7***Análisis granulométrico - D6913 C2*

<b>Análisis Granulométrico - D6913 C2</b>				
Malla (Pulg)	mm.	Masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	-	-	100
1 1/2 in.	38.100	-	-	100
1 in.	25.000	-	-	100
3/4 in.	19.000	-	-	100
3/8 in.	9.500	-	-	100
N°. 4	4.750	-	-	100
N°. 10	2.000	0.01	0.00	100
N°. 20	0.850	0.29	0.14	100
N°. 40	0.425	1.90	0.93	99
N°. 60	0.250	17.74	8.69	90
N°. 100	0.150	30.63	15.01	75
N°. 140	0.106	24.35	11.93	63
N°. 200	0.075	22.50	11.02	52

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.**Tabla 8***Resumen de resultados - D6913 C2*

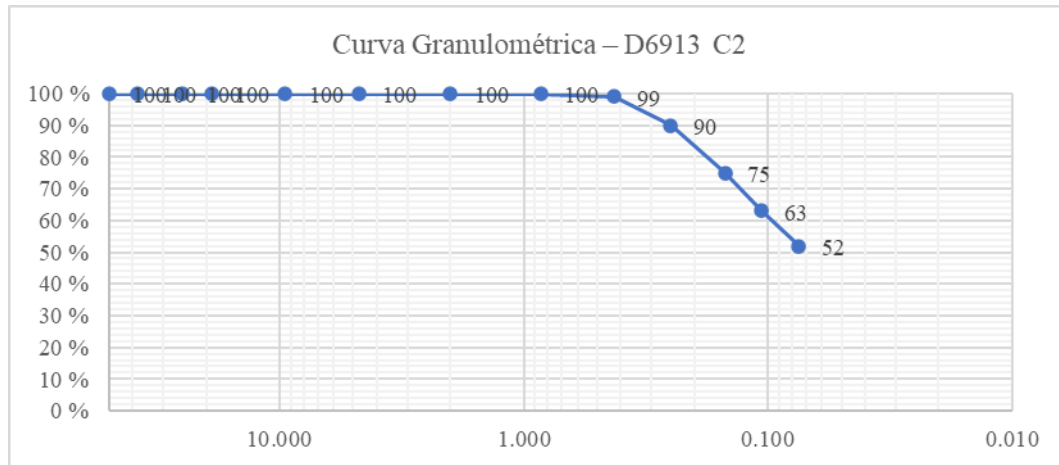
<b>Resumen de Resultados - D6913 C2</b>	
S.U.C.S	SP SC
A.A.S.H.T.O	A-2-4-(0)
D <sub>60</sub>	-
D <sub>30</sub>	-
D <sub>10</sub>	-
Cu	-
Cc	-
Límite líquido	38
Límite plástico	24
Índice de Plasticidad	14
Cantos Rodados > 3. in. (%)	-
Grava (%)	0
Arena (%)	48
Finos (%)	52

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.



**Figura 8**

*Curva Granulométrica – D6913 C2*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura 2 la forma de la curva de la C2, da a conocer que las propiedades mecánicas del suelo son deficientes, ocasionando grandes vacíos en el momento de la compactación, por lo tanto, es un suelo mal graduado.

**Tabla 9**

*Análisis granulométrico – D6913 C3*

Análisis Granulométrico - D6913 C3				
Malla (Pulg)	mm.	masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	-	-	100
1 1/2 in.	38.100	-	-	100
1 in.	25.000	-	-	100
3/4 in.	19.000	-	-	100
3/8 in.	9.500	-	-	100
Nº. 4	4.750	-	-	100
Nº. 10	2.000	2.24	0.17	100
Nº. 20	0.850	5.85	0.43	99
Nº. 40	0.425	13.78	1.02	98
Nº. 60	0.250	25.41	1.88	97
Nº. 100	0.150	105.12	7.78	89
Nº. 140	0.106	92.54	6.85	82
Nº. 200	0.075	54.10	4.00	78

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 10**

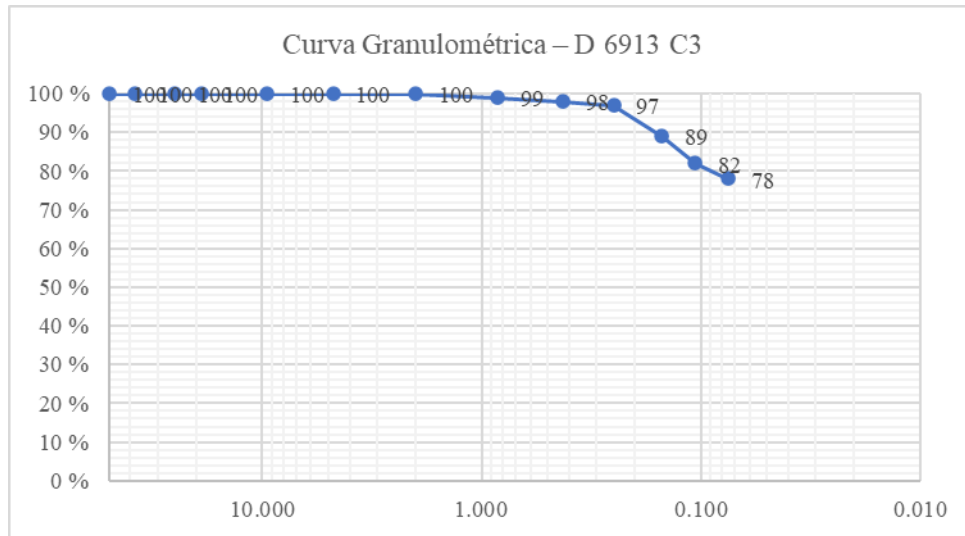
*Resumen de resultados -D6913 C3*

Resumen de Resultados - D6913 C3	
S.U.C.S	CL
A.A.S.H.T.O	A-2-7-(0)
D <sub>60</sub>	0
D <sub>30</sub>	0
D <sub>10</sub>	0
Cu	0
Cc	0
Límite líquido	43.000
Límite plástico	25.000
Índice de Plasticidad	18.000
Cantos Rodados > 3. in.(%)	0
Grava (%)	0
Arena (%)	22
Finos (%)	78

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 9**

*Curva Granulométrica – D 6913 C3*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. La forma de la curva de la C3 es uniforme por lo que en el momento de la compactación se produciría gran cantidad de espacios vacíos, originando que no pueda tener un buen soporte de carga.

(Anexo 3 Resultados del laboratorio del Análisis Granulométrico)

#### ***4.1.2.2 Límite líquido de los suelos.***

*Objeto:*

Determinar la cantidad de humedad con la que cuenta el suelo, considerando los límites líquido y plástico.

*Finalidad y alcance:*

Se utiliza comúnmente para determinar las características de fracciones de grano fino de suelos, también es usado para especificar la fracción de grano de materiales que se usaran en el proyecto.

El límite líquido de un suelo contiene cantidades considerables de materia orgánica, que comienza su decrecimiento cuando se produce un secado en horno, este decrecimiento es drástico.

*Normas:*

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

**Tabla 11**

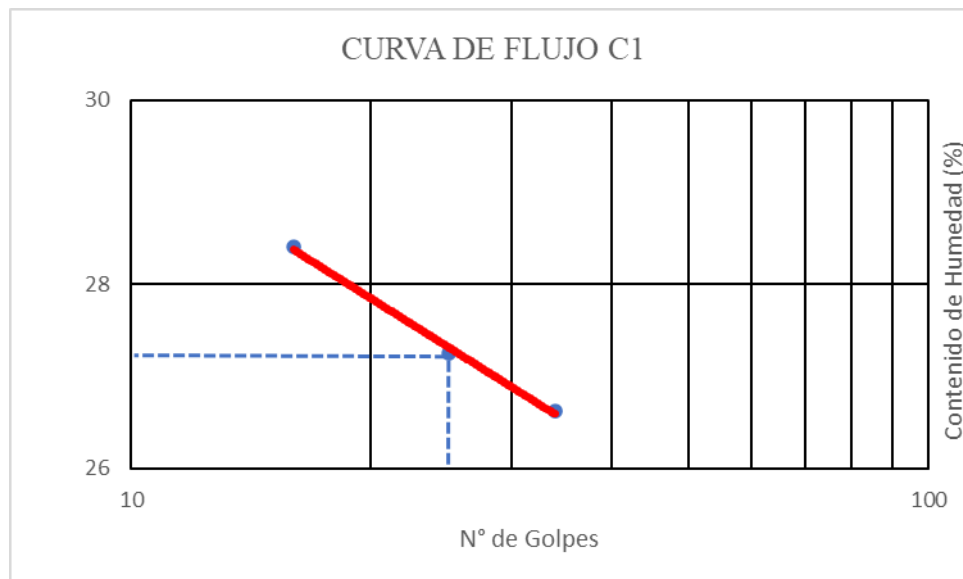
*Límite líquido -D4318 C1*

<b>Límite Líquido - D4318 C1</b>			
No. Tara	241	240	248
Masa muestra humedad + tara (g)	40.50	38.01	36.61
Masa muestra seca + tara (g)	37.44	35.28	33.81
Masa tara (g)	25.95	25.26	23.95
Masa de agua (g)	3.06	2.73	2.8
Masas de suelo seco (g)	11.49	10.02	9.86
Humedad (%)	26.63	27.25	28.40
Golpes	34	25	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L

**Figura 10**

*Curva de flujo C1*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la curva de flujo de la C1 se muestra que el porcentaje máximo de humedad que se puede utilizar es 27.25% con una cantidad de golpes de 25. Si se aumenta la humedad por encima del porcentaje reflejado en la curva, el suelo tendrá alteraciones en sus propiedades, por consiguiente, la consistencia del suelo cambiaría de plástico a líquido.

**Tabla 12**

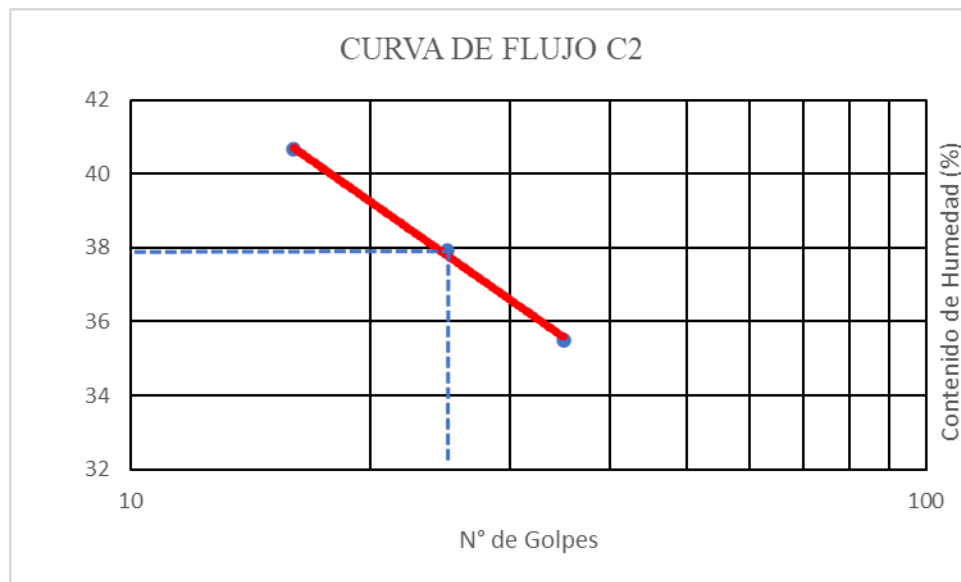
*Límite líquido-D4318 C2*

<b>Límite Líquido - D4318 C2</b>			
No. Tara	234	236	228
Masa muestra humedad + tara (g)	36.69	37.42	37.91
Masa muestra seca + tara (g)	33.90	34.37	34.58
Masa tara (g)	26.04	26.33	26.39
Masa de agua (g)	2.79	3.05	3.33
Masas de suelo seco (g)	7.86	8.04	8.19
Humedad (%)	35.50	37.94	40.66
Golpes	35	25	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 11**

*Curva de flujo C2*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. Se visualiza en la figura 5, que la curva de flujo está comprendida de 3 puntos en donde los resultados de la curva de flujo dan a conocer que el número de golpes es 25 a un porcentaje de humedad de 37.94, el porcentaje resultante es el nivel máximo de humedad que permite que se produzca el cierre de ranura, si se incrementara el porcentaje de humedad, el cierre de ranura se produciría, pero a menos cantidad de golpes lo que indicaría que el suelo está en un estado líquido.

**Tabla 13**

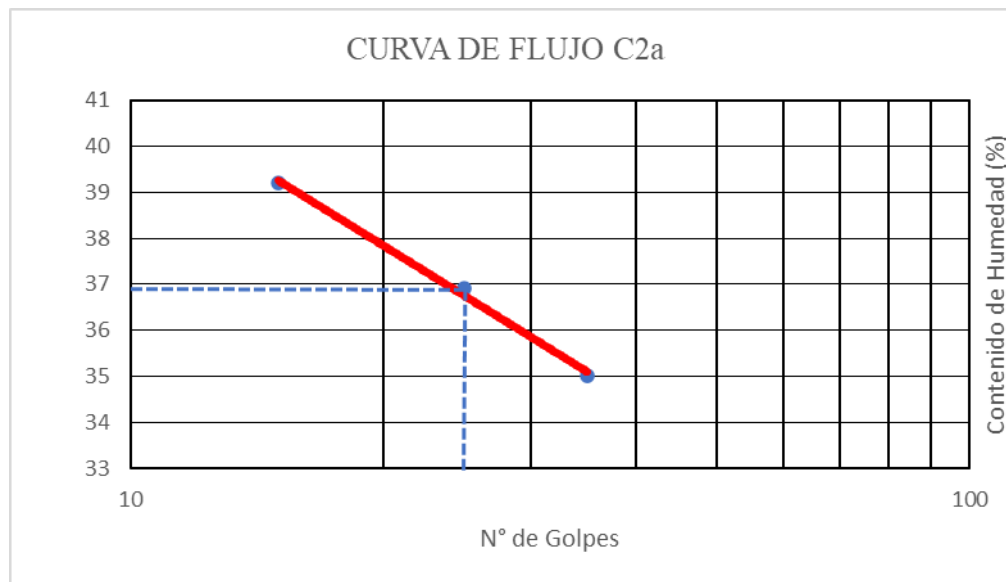
*Límite líquido -D4318 C2a*

<b>Límite Líquido - D4318 C2a</b>			
No. Tara	234	248	236
Masa muestra humedad + tara (g)	38.41	36.84	36.69
Masa muestra seca + tara (g)	35.21	33.37	33.77
Masa tara (g)	26.07	23.97	26.32
Masa de agua (g)	3.2	3.47	2.92
Masas de suelo seco (g)	9.14	9.40	7.45
Humedad (%)	35.01	36.91	39.19
Golpes	35	25	15

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 12**

*Curva de flujo C2a*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. La figura 6 muestra que el porcentaje de humedad permitido para 25 golpes es 36.91%, si se disminuye el porcentaje de humedad la consistencia del suelo se vería afectada.

**Tabla 14**

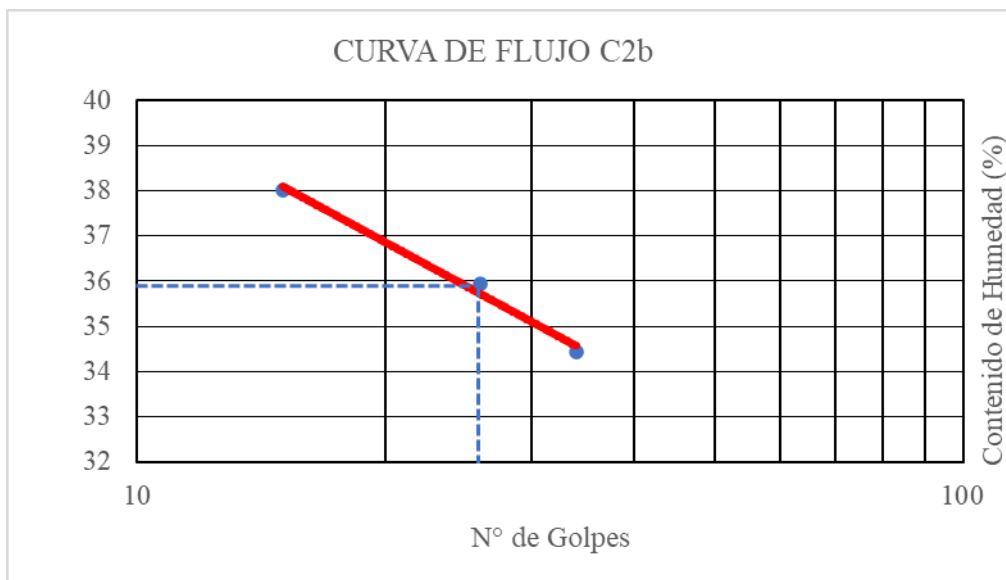
*Límite líquido -D4318 C2b*

Límite Líquido - D4318 C2b			
No. Tara	229	243	356
Masa muestra humedad + tara (g)	37.98	35.89	35.42
Masa muestra seca + tara (g)	35.03	33.27	32.91
Masa tara (g)	26.46	25.98	26.31
Masa de agua (g)	2.95	2.62	2.51
Masas de suelo seco (g)	8.57	7.29	6.60
Humedad (%)	34.42	35.94	38.03
Golpes	34	26	15

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.

**Figura 13**

*Curva de flujo C2b*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L. la curva de flujo de la figura 7 se muestra el límite líquido con un porcentaje de humedad de 35.95% a la cantidad de 26 golpes, la información proveniente de la curva de flujo indica un límite máximo y mínimo del porcentaje de humedad, al que el suelo estaría sometido para ser capaz de resistir los soportes de carga.

**Tabla 15**

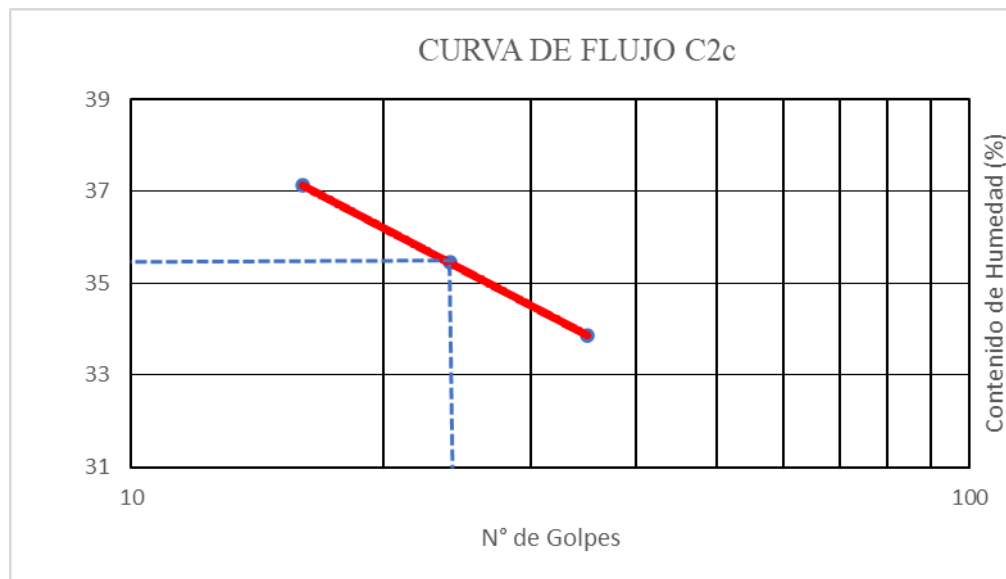
*Límite líquido -D4318 C2c*

<b>Límite Líquido - D4318 C2c</b>			
No. Tara	210	203	211
Masa muestra humedad + tara (g)	38.90	39.03	38.81
Masa muestra seca + tara (g)	35.68	35.69	35.38
Masa tara (g)	26.17	26.27	26.14
Masa de agua (g)	3.22	3.34	3.43
Masas de suelo seco (g)	9.51	9.42	9.24
Humedad (%)	33.86	35.46	37.12
Golpes	35	24	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 14**

*Curva de flujo C2c*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la curva de flujo se presenta un límite líquido con un porcentaje de humedad de 35.46%, y una cantidad de 24 golpes. El porcentaje de humedad permite que el suelo sea conveniente y el más propicio para que soporte las cargas.



**Tabla 16**

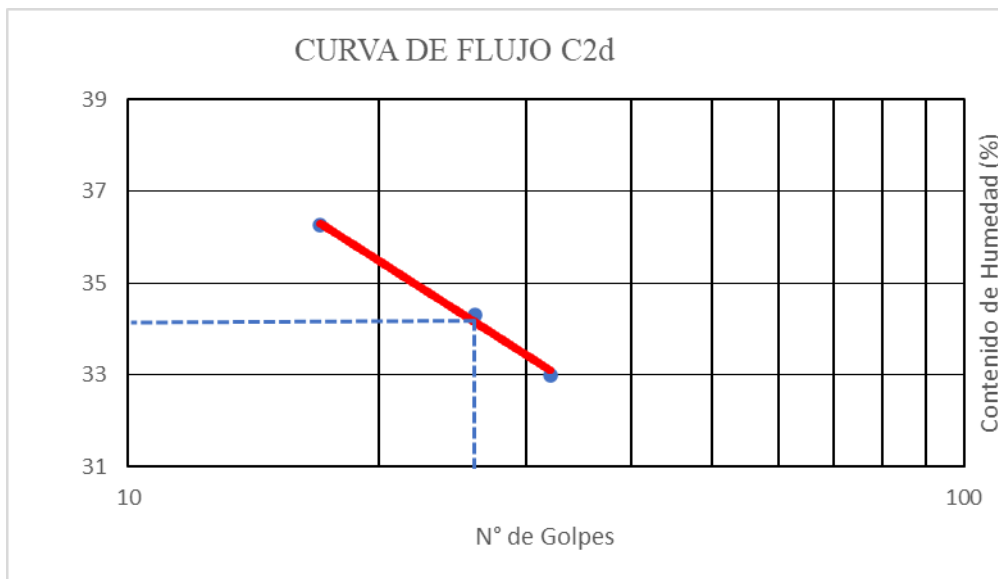
*Límite líquido -D4318 C2d*

<b>Límite Líquido - D4318 C2d</b>			
No. Tara	199	3	23
Masa muestra humedad + tara (g)	25.62	24.17	25.31
Masa muestra seca + tara (g)	22.67	21.68	22.37
Masa tara (g)	13.73	14.42	14.26
Masa de agua (g)	2.95	2.49	2.94
Masas de suelo seco (g)	8.94	7.26	8.11
Humedad (%)	33.00	34.30	36.25
Golpes	32	26	17

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 15**

*Curva de flujo C2d*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura 9 se visualiza que, para el cierre de ranura el número de golpes permitidos será de 26, mientras que el porcentaje de humedad del suelo será de 34.30%, con estos resultados se asegura que el suelo tenga un límite líquido exacto y sea capaz de moldearse.

**Tabla 17**

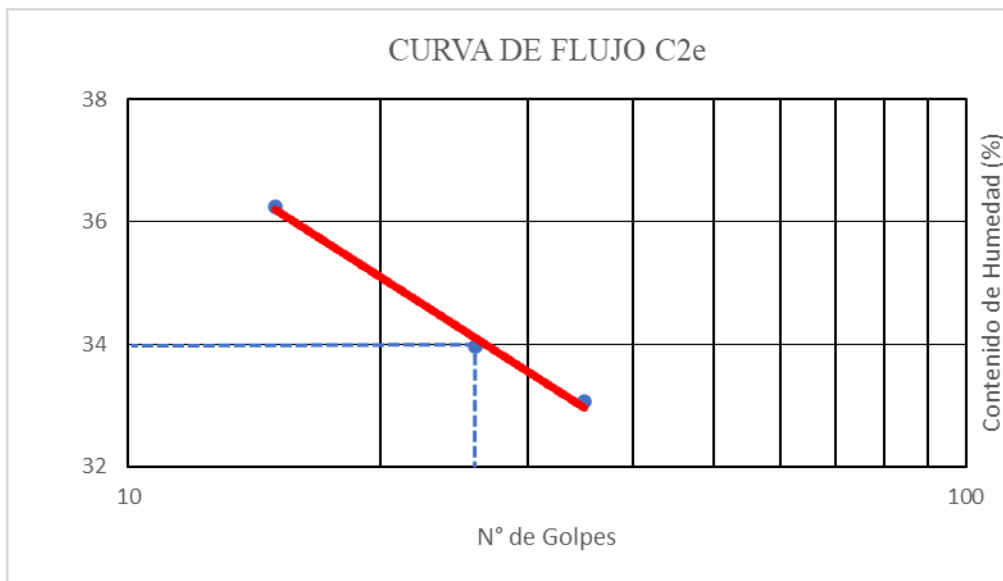
*Límite líquido -D4318 C2e*

<b>Límite Líquido - D4318 C2e</b>			
No. Tara	229	211	203
Masa muestra humedad + tara (g)	35.79	35.37	36.11
Masa muestra seca + tara (g)	33.47	33.03	33.49
Masa tara (g)	26.45	26.14	26.26
Masa de agua (g)	2.32	2.34	2.62
Masas de suelo seco (g)	7.02	6.89	7.23
Humedad (%)	33.05	33.96	36.24
Golpes	35	26	15

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 16**

*Curva de flujo C2e*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. La figura 10 muestra que el límite del porcentaje de humedad permitido para 25 golpes es de 33.96%, este resultado indica que el suelo se encuentra en un buen estado de consistencia.

**Tabla 18**

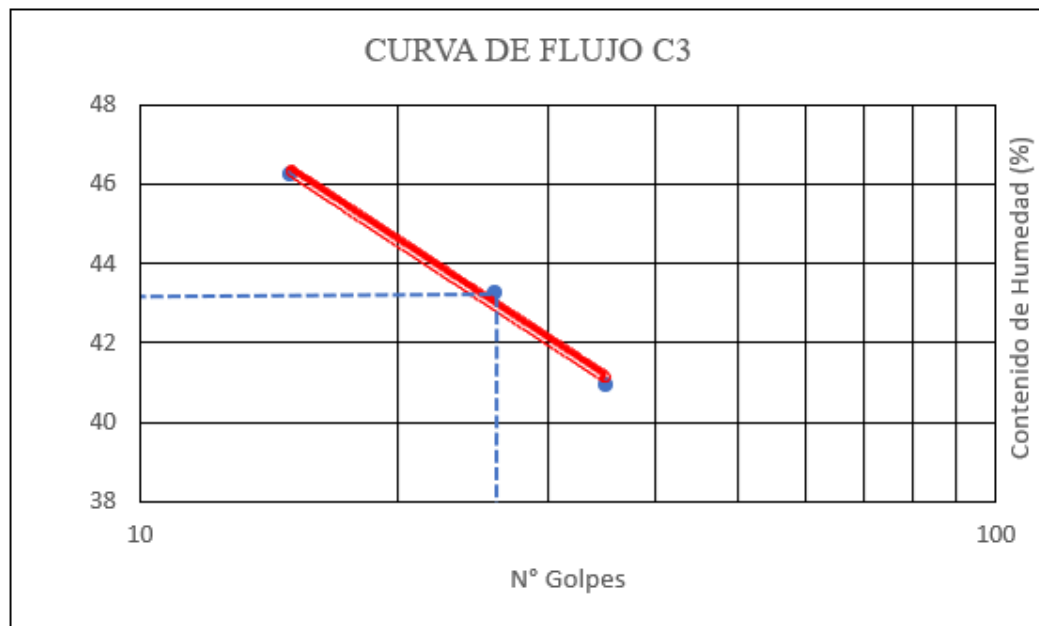
*Límite líquido D4318 C3*

<b>Límite Líquido - D4318 C3</b>			
No Tara	210	235	246
Masa muestra humedad + tara (g)	36.07	36.90	37.64
Masa muestra seca + tara (g)	33.20	33.78	34.14
Masa tara (g)	26.19	26.57	26.57
Masa de agua (g)	2.87	3.12	3.5
Masas de suelo seco (g)	7.01	7.21	7.57
Humedad (%)	40.94	43.27	46.24
Golpes	35	26	15

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.

**Figura 17**

*Curva de flujo C3*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L. En la figura 11 los datos del límite líquido permiten observar el porcentaje de humedad para 26 golpes que es de 43.27%, estos resultados indican que la alteración del porcentaje de humedad ocasionaría en el suelo una alteración en su consistencia.

**Tabla 19**

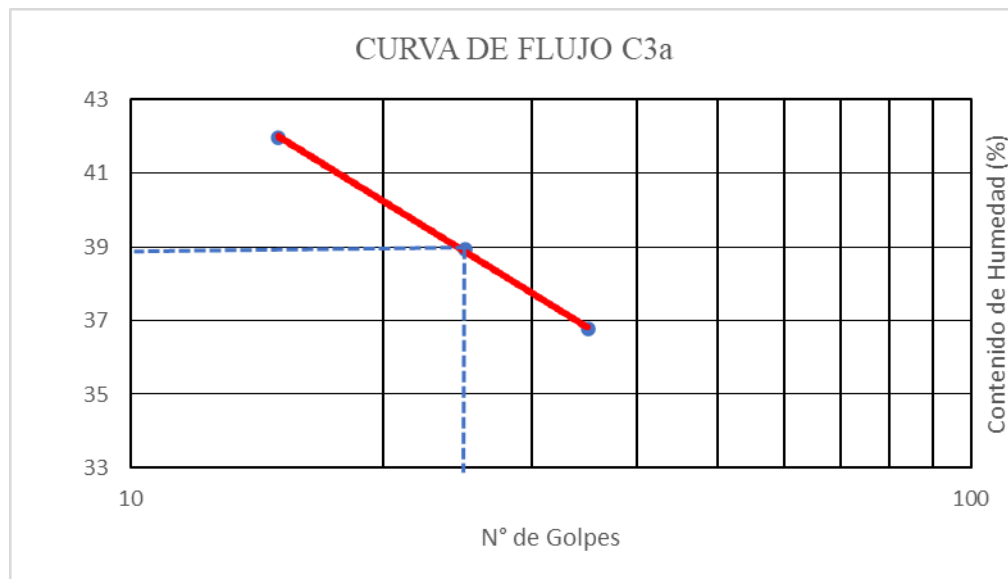
*Límite líquido - D4318 C3a*

<b>Límite Líquido - D4318 C3a</b>			
No Tara	241	209	211
Masa muestra humedad + tara (g)	35.72	35.24	34.46
Masa muestra seca + tara (g)	33.09	32.39	32.00
Masa tara (g)	25.94	25.07	26.14
Masa de agua (g)	2.63	2.85	2.46
Masas de suelo seco (g)	7.15	7.32	5.86
Humedad (%)	36.78	38.93	41.98
Golpes	35	25	15

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 18**

*Límite líquido D4318 C3a*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. La figura 12 muestra que para la cantidad de 25 golpes el porcentaje de humedad es de 38.93%, el incremento del porcentaje de humedad genera la alteración de la consistencia del suelo.

**Tabla 20**

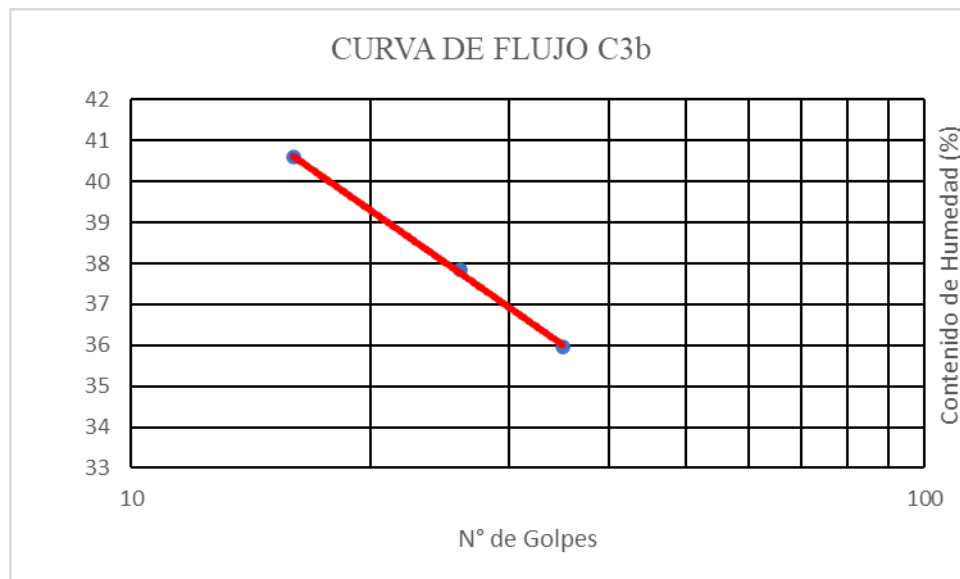
*Límite líquido - D4318 C3b*

<b>Límite Líquido - D4318 C3b</b>			
No Tara	210	235	243
Masa muestra humedad + tara (g)	36.68	37.16	36.91
Masa muestra seca + tara (g)	33.90	34.25	33.76
Masa tara (g)	26.17	26.56	26.00
Masa de agua (g)	2.78	2.91	3.15
Masas de suelo seco (g)	7.73	7.69	7.76
Humedad (%)	35.96	37.84	40.59
Golpes	35	26	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L

**Figura 19**

*Límite líquido D4318 C3b*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura 13 se observa que se produce el cierre de ranura al aplicar una cantidad de golpes equivalente a 26, esto será consecuente a un porcentaje de humedad de 37.84% que presenta el suelo, siendo un indicador del estado óptimo de la consistencia del suelo.

**Tabla 21**

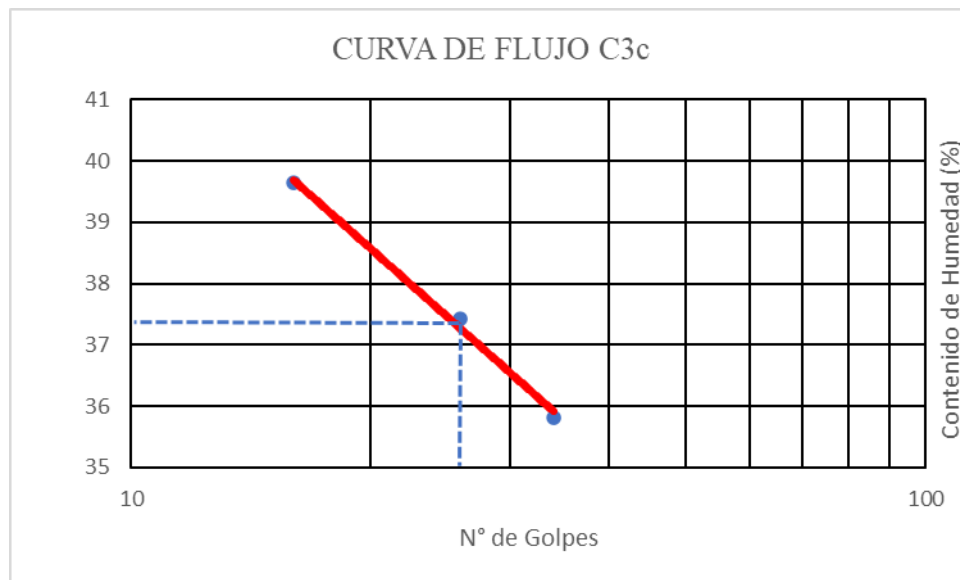
*Límite líquido -D4318 C3c*

<b>Límite Líquido - D4318 C3c</b>			
No. Tara	209	203	234
Masa muestra humedad + tara (g)	35.83	37.60	37.64
Masa muestra seca + tara (g)	33.00	34.52	34.37
Masa tara (g)	25.10	26.29	26.12
Masa de agua (g)	2.83	3.08	3.27
Masas de suelo seco (g)	7.90	8.23	8.25
Humedad (%)	35.82	37.42	39.64
Golpes	34	26	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 20**

*Límite líquido D4318 C3c*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura 14 el límite líquido es de 37.42%, el cual es consecuencia de aplicar un número de golpes equivalente a 26, siendo estos los valores que permitirán que se origine el cierre de ranura, que indica el estado de consistencia del suelo.

**Tabla 22**

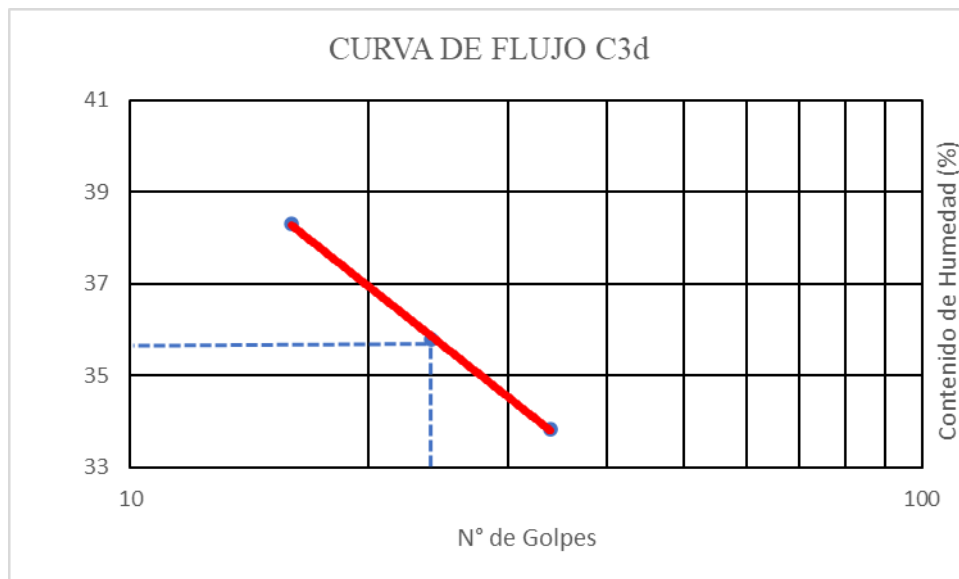
*Límite líquido - D4318 C3d*

Límite Líquido - D4318 C3d			
No. Tara	229	246	241
Masa muestra humedad + tara (g)	38.09	37.56	36.99
Masa muestra seca + tara (g)	35.15	34.66	33.93
Masa tara (g)	26.46	26.56	25.94
Masa de agua (g)	2.94	2.9	3.06
Masas de suelo seco (g)	8.69	8.10	7.99
Humedad (%)	33.83	35.80	38.30
Golpes	34	24	16

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 21**

*Límite líquido D4318 C3d*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. Se visualiza en la figura 15, una curva de flujo que está comprendida de 3 puntos, en donde los resultados de la curva de flujo dan a conocer, que el número de golpes es 24 correspondiente a una humedad de 35.80%, el porcentaje resultante es el nivel máximo de humedad que permite que se produzca el cierre de ranura, si se añade un incremento en la humedad, la tendencia del cierre de ranura se efectuaría a una menor cantidad de golpes, indicando el estado líquido de consistencia del suelo.

**Tabla 23**

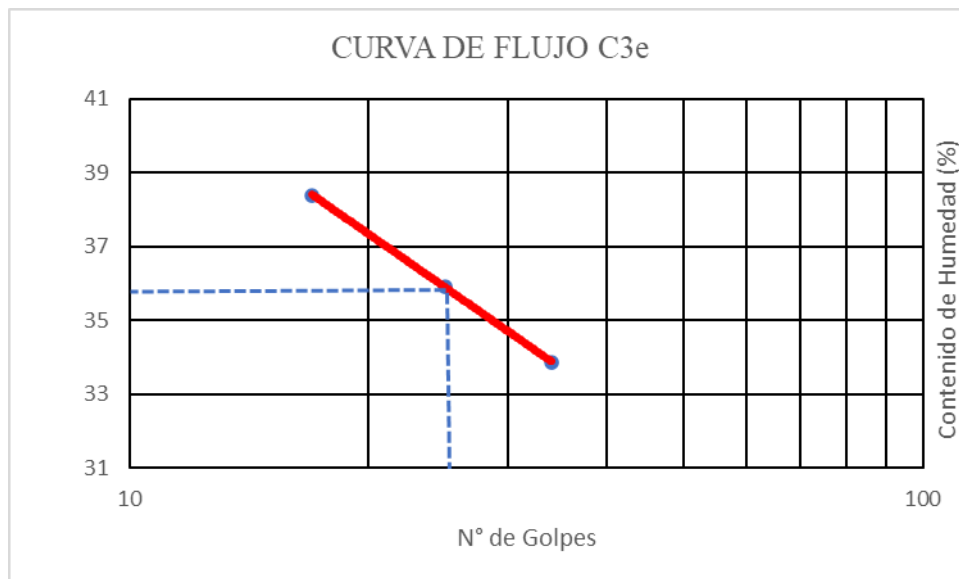
*Límite líquido -D4318 C3e*

<b>Límite Líquido - D4318 C3e</b>			
No. Tara	229	203	226
Masa muestra humedad + tara (g)	37.33	37.80	37.26
Masa muestra seca + tara (g)	34.58	34.75	34.20
Masa tara (g)	26.46	26.26	26.23
Masa de agua (g)	2.75	3.05	3.06
Masas de suelo seco (g)	8.12	8.49	7.97
Humedad (%)	33.87	35.92	38.39
Golpes	34	25	17

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Figura 22**

*Límite líquido D4318 C3e*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. La figura 16 muestra que la cantidad de golpes permitidos según el porcentaje de humedad de 35.92 es de 25 golpes, identificando el porcentaje máximo de humedad. Logrando que sea esa la cantidad mayor de fuerza ejercida en el suelo.

(Anexo 4 Resultados de laboratorio de análisis Límite líquido plástico e índice de plasticidad)



#### **4.1.2.3 Límite plástico.**

##### *Objeto:*

Este ensayo logra determinar cuál será el límite plástico del suelo de la zona de estudio, además de permitir conocer el índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

##### *Finalidad y alcance:*

El límite plástico es el porcentaje de humedad más baja que presenta el suelo, se logra formar con ello barras consistentes que no se desmoronaran cuando toquen una superficie plana y lisa.

La propiedad plástica de un suelo es capaz de usar la propiedad humedad del terreno para dar a conocer su consistencia, o índice de liquidez, empleándose el porcentaje más fino para determinar su número de incidencia.

##### *Normas:*

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

**Tabla 24***Límite plástico - D4318 C1*

<b>Límite Plástico - D4318 C1</b>		
Recipiente N°	234	240
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.93	21.78
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.65	20.51
Masa del recipiente (g)	13.21	14.04
Masa de agua (g)	1.28	1.27
Masa de suelo seco (g)	6.44	6.47
Humedad (%)	19.88	19.63

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 25***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C1*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C1</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
27	20	7

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 26***Límite plástico - D4318 C2*

<b>Límite Plástico - D4318 C2</b>		
Recipiente N°	228	209
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.65	22.04
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.13	20.48
Masa del recipiente (g)	12.85	14.17
Masa de agua (g)	1.52	1.56
Masa de suelo seco (g)	6.28	6.31
Humedad (%)	24.20	24.71

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 27***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
38	24	14

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 28***Límite plástico - D4318 C2a*

<b>Límite Plástico - D4318 C2a</b>		
Recipiente N°	242	246
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.85	23.15
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.36	21.11
Masa del recipiente (g)	13.21	12.67
Masa de agua (g)	1.49	2.04
Masa de suelo seco (g)	6.15	8.44
Humedad (%)	24.23	24.17

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 29***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2a*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2a</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
37	24	13

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 30***Límite plástico - D4318 C2b*

<b>Límite Plástico - D4318 C2b</b>		
Recipiente N°	241	243
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.84	23.42
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.37	21.43
Masa del recipiente (g)	13.32	13.26
Masa de agua (g)	1.47	1.99
Masa de suelo seco (g)	6.05	8.17
Humedad (%)	24.30	24.36

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 31***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2b*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2b</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
36	24	12

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 32***Límite plástico - D4318 C2c*

<b>Límite Plástico - D4318 C2c</b>		
Recipiente N°	256	253
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	26.15	19.78
Masa recipiente + suelo seco (g)	23.52	18.46
Masa del recipiente (g)	12.94	12.87
Masa de agua (g)	2.63	1.317
Masa de suelo seco (g)	10.58	5.59
Humedad (%)	24.86	23.56

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 33***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2c*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2c</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
35	24	11

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 34***Límite plástico - D4318 C2d*

<b>Límite Plástico - D4318 C2d</b>		
Recipiente N°	249	210
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.76	21.35
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.18	19.77
Masa del recipiente (g)	12.71	13.08
Masa de agua (g)	1.58	1.58
Masa de suelo seco (g)	6.47	6.69
Humedad (%)	24.42	23.62

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 35***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2d*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2d</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
34	24	10

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 36***Límite plástico - D4318 C2e*

<b>Límite Plástico - D4318 C2e</b>		
Recipiente N°	241	242
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	21.96	21.82
Masa recipiente + suelo seco (g)	20.29	20.16
Masa del recipiente (g)	13.32	13.22
Masa de agua (g)	1.67	1.66
Masa de suelo seco (g)	6.97	6.94
Humedad (%)	23.96	23.92

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 37***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C2e*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C2e</b>		
Límite Líquido	Límite Plástico	Índice De Plasticidad
34	24	10

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 38***Límite plástico - D4318 C3*

<b>Límite Plástico - D4318 C3</b>		
Recipiente N°	234	242
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.92	20.98
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.38	19.45
Masa del recipiente (g)	13.22	13.22
Masa de agua (g)	1.54	1.53
Masa de suelo seco (g)	6.16	6.23
Humedad (%)	25.00	24.56

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 39***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3</b>		
Límite Líquido	Límite Plástico	Índice De Plasticidad
43	25	18

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 40***Límite plástico - D4318 C3a*

<b>Límite Plástico - D4318 C3a</b>		
Recipiente N°	241	242
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	21.03	21.43
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.49	19.80
Masa del recipiente (g)	13.32	13.22
Masa de agua (g)	1.54	1.63
Masa de suelo seco (g)	6.17	6.58
Humedad (%)	24.96	24.77

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 41***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3a*

<b>Resultados De Los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3a</b>		
Límite Líquido	Límite Plástico	Índice De Plasticidad
39	25	14

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 42***Límite plástico - D4318 C3b*

<b>Límite Plástico - D4318 C3b</b>		
Recipiente N°	248	209
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	23.16	22.25
Masa recipiente + suelo seco (g)	21.56	20.62
Masa del recipiente (g)	15.29	14.17
Masa de agua (g)	1.6	1.63
Masa de suelo seco (g)	6.27	6.45
Humedad (%)	25.52	25.27

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 43***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3b*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3b</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
38	25	13

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 44***Límite plástico - D4318 C3c*

<b>Límite Plástico - D4318 C3c</b>		
Recipiente N°	236	249
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	21.11	20.75
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.46	19.13
Masa del recipiente (g)	12.93	12.71
Masa de agua (g)	1.65	1.62
Masa de suelo seco (g)	6.53	6.42
Humedad (%)	25.27	25.23

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 45***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3c*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3c</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
37	25	12

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 46***Límite plástico - D4318 C3d*

<b>Límite Plástico - D4318 C3d</b>		
Recipiente N°	234	256
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	21.44	21.21
Masa recipiente + suelo seco (g)	19.82	19.57
Masa del recipiente (g)	13.21	12.93
Masa de agua (g)	1.62	1.64
Masa de suelo seco (g)	6.61	6.64
Humedad (%)	24.51	24.70

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 47***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3d*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3d</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
36	25	11

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 48***Límite plástico - D4318 C3e*

<b>Límite Plástico - D4318 C3e</b>		
Recipiente N°	256	210
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	20.92	21.40
Masa recipiente + suelo seco(g)	19.34	19.75
Masa del recipiente (g)	12.93	13.09
Masa de agua (g)	1.58	1.65
Masa de suelo seco (g)	6.41	6.66
Humedad (%)	24.65	24.77

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.**Tabla 49***Resultados de los límites líquidos, plástico - D4318 C3e*

<b>Resultados de los Límites Líquidos, Plástico - D4318 C3e</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
36	25	11

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.

(Anexo 4 Resultados de laboratorio de análisis Límites líquido plástico e índice de plasticidad)



#### **4.1.2.4 Humedad del suelo.**

*Objeto:*

Determinar cuál el contenido de humedad que tendría el suelo del terreno de la zona de estudio.

*Finalidad y alcance:*

El peso del agua de una muestra del suelo con el peso de las partículas sólidas da como resultado la humedad del suelo en porcentajes. Lo que se realiza en la aplicación de este método, es el cálculo de la cantidad de agua que ha sido eliminada, en el proceso de secado del suelo.

*Norma:*

ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

**Tabla 50***Humedad - D2216 C1*

<b>Humedad - D2216 C1</b>	
No Tara	11
Masa muestra humedad + tara (g)	5596.0
Masa muestra seca + tara (g)	5395.0
Masa tara (g)	183.6
Humedad (%)	4

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 51***Humedad del suelo - D2216 C2*

<b>Humedad del Suelo - D2216 C2</b>	
No Tara	7
Masa muestra humedad + tara (g)	806.0
Masa muestra seca + tara (g)	767.0
Masa tara (g)	294.3
Humedad (%)	8

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 52***Humedad del suelo - D2216 C3*

<b>Humedad del Suelo - D2216 C3</b>	
No. Tara	11
Masa muestra humedad + tara (g)	844.0
Masa muestra seca + tara (g)	799.0
Masa tara (g)	281.5
Humedad (%)	9

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

(Anexo 5 Resultados de laboratorio del análisis Humedad del suelo)

#### 4.1.2.5 Gravedad específica.

##### *Objeto:*

El método se encarga de encontrar la gravedad específica de sólidos que se encuentran contenidos en el suelo, los cuales han sido tamizados usando un picnómetro de agua.

##### *Finalidad y alcance:*

El grado de saturación, la relación de vacíos y las relaciones de suelos, se obtienen luego de haber ejecutado un cálculo de la gravedad específica de los sólidos de un suelo.

##### *Normas:*

NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo.

#### **Tabla 53**

##### *Gravedad específica y absorción - D854 C1*

<b>Gravedad Específica y Absorción - D854 C1</b>	
Masa de la muestra cerca del horno OD (g)	8,775
Masa de la muestra al aire SSD (g)	8,970
Masa de la muestra sumergida (g)	5,473
Densidad Relativa (Gravedad específica)	2.51
Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)	2.56
Densidad Relativa Aparente	2.66
No Tara	-
Masa de la muestra al aire SSD (g)	8,970
Masa de la muestra cerca del horno OD (g)	8,775
% Absorción	2.2

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 54***Gravedad específica del suelo usando un picnómetro con agua - D854 C1*

<b>Gravedad Específica del Suelo Usando un Picnómetro con Agua - D854 C1</b>	
Picnómetro N°	4
Masa del picnómetro (g)	0
Masa del picnómetro + sólidos del suelo (g)	60.03
Masa del picnómetro + sólidos del suelo + agua a temperatura de ensayo (g)	394.66
Temperatura de ensayo (°C)	22.2
Masa del picnómetro + agua a temperatura de ensayo(g)	357.22
Recipiente N°	-
Masa del recipiente (g)	-
Masa del recipiente + solidos del suelo (g)	-
Masa de los sólidos del suelo (g)	60.03
Coefficiente de temperatura K a temperatura de ensayo	1.000
Gravedad específica aparente de los sólidos del suelo a 20°C	2.66
Material < malla No. 4 (%)	38.28
Material > malla No. 4 (%)	61.72
Gs material > malla No. 4 a 20 °C	2.66
Gravedad específica aparente promedio del suelo	2.66

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.**Tabla 55***Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua D854 C2*

<b>Gravedad Específica del Suelo Usando Picnómetro con Agua D854 C2</b>	
Picnómetro N°	1
Masa del picnómetro (g)	0
Masa del picnómetro + sólidos del suelo (g)	60
Masa del picnómetro + sólidos del suelo + agua a temperatura de ensayo (g)	389.16
Temperatura de ensayo (°C)	19.5
Masa del picnómetro + agua a temperatura de ensayo(g)	350.88
Recipiente N°	-
Masa del recipiente (g)	-
Masa del recipiente + solidos del suelo (g)	-
Masa de los sólidos del suelo (g)	60
Coefficiente de temperatura K a temperatura de ensayo	1000
Gravedad específica aparente de los sólidos del suelo a 20°C	2.76
Material < malla No. 4 (%)	0
Material > malla No. 4 (%)	100.00
Gs material > malla No. 4 a 20 °C	-
Gravedad específica aparente promedio del suelo	2.763

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.

**Tabla 56***Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua - D854 C3*

<b>Gravedad Específica del Suelo Usando Picnómetro con Agua - D854 C3</b>	
Picnómetro N°	4
Masa del picnómetro (g)	0
Masa del picnómetro + sólidos del suelo (g)	60.03
Masa del picnómetro + sólidos del suelo + agua a temperatura de ensayo (g)	388.95
Temperatura de ensayo (°C)	19.6
Masa del picnómetro + agua a temperatura de ensayo(g)	350.86
Recipiente N°	-
Masa del recipiente (g)	-
Masa del recipiente + solidos del suelo (g)	-
Masa de los sólidos del suelo (g)	60.03
Coefficiente de temperatura K a temperatura de ensayo	1.000
Gravedad específica aparente de los sólidos del suelo a 20°C	2.74
Material < malla No. 4 (%)	0
Material > malla No. 4 (%)	100.00
Gs material > malla No. 4 a 20 °C	-
Gravedad específica aparente promedio del suelo	2.74

*Nota: Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.***Tabla 57***Gravedad específica del suelo usando picnómetro con agua - D854 C-3*

<b>Gravedad Específica del Suelo Usando Picnómetro con Agua - D854 C-3</b>	
Picnómetro N°	1
Masa del picnómetro (g)	0
Masa del picnómetro + sólidos del suelo (g)	60
Masa del picnómetro + sólidos del suelo + agua a temperatura de ensayo (g)	705.2
Temperatura de ensayo (°C)	24.3
Masa del picnómetro + agua a temperatura de ensayo(g)	667.35
Recipiente N°	-
Masa del recipiente (g)	-
Masa del recipiente + solidos del suelo (g)	-
Masa de los sólidos del suelo (g)	60
Coefficiente de temperatura K a temperatura de ensayo	0.999
Gravedad específica aparente de los sólidos del suelo a 20°C	2.71
Material < malla No. 4 (%)	100
Material > malla No. 4 (%)	0.00
Gs material > malla No. 4 a 20 °C	-
Gravedad específica aparente promedio del suelo	2.71

*Nota: Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.*

(Anexo 6 Resultados del laboratorio del análisis Gravedad específica del suelo)

#### **4.1.2.6 Densidad y peso unitario del suelo.**

##### *Objeto:*

Determinar la densidad y el peso unitario del suelo en el sitio, a través de la ejecución del método de cono de arena.

##### *Finalidad y alcance:*

El procedimiento del método del cono de arena es importante su ejecución en un suelo que contenga una gran cantidad de material grueso (compactado), además de poder mantener su estabilidad cuando se realice la apertura del agujero. Esta prueba solo debe realizarse a suelos que no sean muy plásticos ni orgánicos.

##### *Normas:*

NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

#### **Tabla 58**

##### *Densidad del método A - D7263 C2*

<b>Densidad del Método A - D7263 C2</b>	
Masa del espécimen sin parafina (g)	1,250
Masa del espécimen con parafina (g)	1,266
Masa del espécimen parafinado sumergido en agua (g)	714
Densidad de la parafina (g)	0.87
Masa de la parafina (g)	16.00
Volumen desplazado (cm <sup>3</sup> )	533.61
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.34

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.

**Tabla 59***Humedad - D7263 C2*

<b>Humedad - D7263 C2</b>	
Masa muestra húmedo + recipiente (g)	1,337.04
Masa muestra seco + recipiente (g)	1,242.78
Masa recipiente (g)	98.09
Masa agua (g)	94.26
Masa muestra seca (g)	1,144.69
% humedad	8.24
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.164

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 60***Densidad del método A - D7263 C3*

<b>Densidad del Método A - D7263 C3</b>	
Masa del espécimen sin parafina (g)	1,114
Masa del espécimen con parafina (g)	1,140
Masa del espécimen parafinado sumergido en agua (g)	631
Densidad de la parafina (g)	0.87
Masa de la parafina (g)	26.00
Volumen desplazado (cm <sup>3</sup> )	479.11
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.33

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 61***Humedad - D7263 C3*

<b>Humedad - D7263 C3</b>	
Masa muestra húmedo + recipiente (g)	863.59
Masa muestra seco + recipiente (g)	802.25
Masa recipiente (g)	93.84
Masa agua (g)	61.34
Masa muestra seca (g)	708.41
% humedad	8.66
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.140

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

(Anexo 7 Densidad de las muestras Resultados de laboratorio del análisis de la densidad del suelo)

#### 4.1.2.7 Compactación del suelo con energía estándar.

##### *Objeto:*

Se requiere lograr establecer una compactación del suelo haciendo uso de la energía estándar.

##### *Finalidad y alcance:*

La finalidad del uso del método es para conseguir determinar la relación existente de la cantidad de agua almacenada y el peso unitario seco de los suelos. Para lo cual se utilizó el método A.

##### *Normas:*

NTP 339.142: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estándar (600 kN-m/m<sup>3</sup> (12 400 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))

**Tabla 62**

*Compactación del suelo con energía estándar -D1557- 12e1*

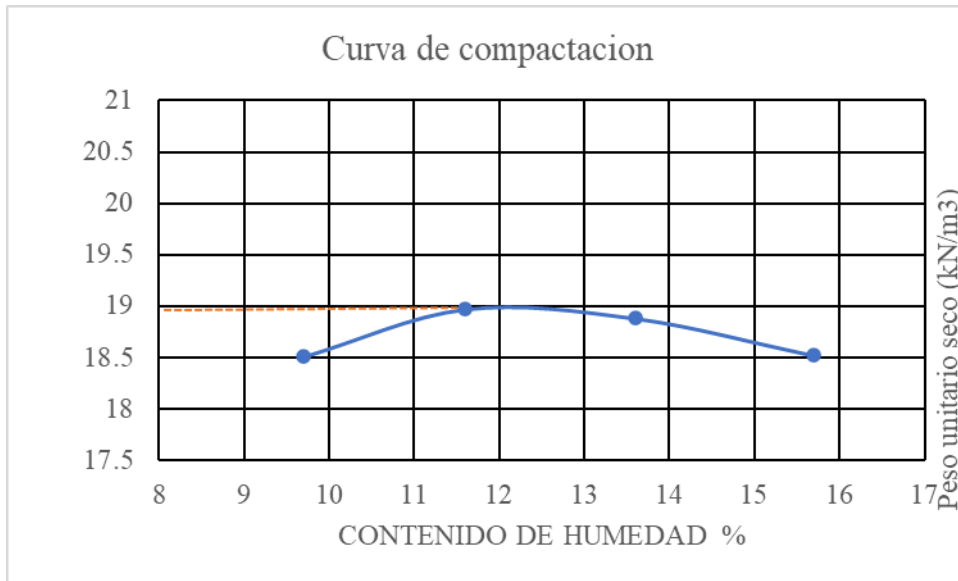
<b>Compactación del suelo - D1557- 12e1</b>				
Prueba No.	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Masa Molde + Suelo Húmedo Compactado (g)	5729	5812	5839	5836
Masa Suelo Húmedo Compactado (g)	1954	2037	2064	2061
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.07	2.16	2.19	2.18
Recipiente N°	15	9	19	16
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	1148	1278	1162	1148.3
Masa recipiente + suelo seco (g)	1051.7	1151.4	1030	1001
Masa recipiente (g)	60.9	58.8	58.5	60.4
Contenido de Humedad (%)	9.7	11.6	13.6	15.7
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.89	1.93	1.93	1.89
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	18.51	18.97	18.88	18.52

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L.



**Figura 23**

*Curva de compactación*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L. En la figura 17 la curva de compactación, presente una forma casi plana, por lo tanto, se da a conocer que la compactación no es tan sensible a los cambios de humedad.

(Anexo 8 Resultados de laboratorio de la Compactación del suelo)

#### **4.1.3 Fase de Gabinete.**

Este proyecto tiene como finalidad dar a conocer cuál es el efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible.

Todas las coordinaciones necesarias para la autorización de las actividades a la zona de estudio, han sido realizadas bajo la responsabilidad del laboratorio contratado, realizando todos los procedimientos bajo una coordinación verbal con los responsables del suelo del terreno (zona de estudio), logrando obtener por medio de ello, los planos de ubicación con el que se logra delimitar correctamente la zona de estudio.

El laboratorio coordinó reuniones con los pobladores de la av. el trébol, para darles los alcances de los motivos, y actividades que se realizara en la av. Posterior a todo ello el laboratorio Sergeo E.I.R.L., procedió a la ejecución de los ensayos en el suelo, como son la apertura de calicatas con la finalidad de poder explorar mejor el terreno, estas calicatas permiten obtener diferentes tipos de muestras; otras de las actividades realizadas son los ensayos granulométricos del suelo dando a conocer sus porcentajes, ensayos sobre los límites líquidos, plástico, humedad, gravedad y densidad exacta del terreno, consiguiéndose conocer la humedad, su densidad y sus límites líquidos y plásticos de la zona de estudio.

Toda la información obtenida por medio de los ensayos realizados a cargo del laboratorio se guardó en una base de datos, la cual fue procesada utilizando diferentes tipos de cálculos y haciendo uso de la estadística descriptiva, que nos permita responder el planteamiento hipotético, haciendo uso de las tablas y gráficas para una mejor apreciación de la información para su análisis.

#### 4.1.3.1 Matriz de datos.

##### 4.1.3.1.1 Estadística descriptiva.

##### a) Hipótesis Específica A.

**Tabla 63**

*Análisis granulométrico – D6913 C1*

<b>Análisis Granulométrico -D6913 C1</b>				
Malla (Pulg)	mm.	Masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	1279	2.53	97
1 1/2 in.	38.100	668	1.32	96
1 in.	25.000	2049	4.05	92
3/4 in.	19.000	1887	3.73	88
3/8 in.	9.500	6248	12.34	76
No. 4	4.750	7251	14.32	62
No. 10	2.000	130.09	14.61	47
No. 20	0.850	132.41	14.87	32
No. 40	0.425	91.03	10.22	22
No. 60	0.250	61.15	6.87	15
No. 100	0.150	50.73	5.70	9
No. 140	0.106	21.82	2.45	7
No. 200	0.075	12.20	1.37	6

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 64**

*Análisis granulométrico – D6913 C2*

<b>Análisis Granulométrico - D6913 C2</b>				
Malla (Pulg)	mm.	Masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	-	-	100
1 1/2 in.	38.100	-	-	100
1 in.	25.000	-	-	100
3/4 in.	19.000	-	-	100
3/8 in.	9.500	-	-	100
No. 4	4.750	-	-	100
No. 10	2.000	0.01	0.00	100
No. 20	0.850	0.29	0.14	100
No. 40	0.425	1.90	0.93	99
No. 60	0.250	17.74	8.69	90
No. 100	0.150	30.63	15.01	75
No. 140	0.106	24.35	11.93	63
No. 200	0.075	22.50	11.02	52

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 65***Análisis granulométrico – D6913 C3*

<b>Análisis Granulométrico - D6913 C3</b>				
Malla (Pulg)	mm.	masa retenida (g)	% Retenido	% Pasante
3 in.	75.000	-	-	100
2 in.	50.000	-	-	100
1 1/2 in.	38.100	-	-	100
1 in.	25.000	-	-	100
3/4 in.	19.000	-	-	100
3/8 in.	9.500	-	-	100
No. 4	4.750	-	-	100
No. 10	2.000	2.24	0.17	100
No. 20	0.850	5.85	0.43	99
No. 40	0.425	13.78	1.02	98
No. 60	0.250	25.41	1.88	97
No. 100	0.150	105.12	7.78	89
No. 140	0.106	92.54	6.85	82
No. 200	0.075	54.10	4.00	78

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.**Tabla 66***Matriz Límite líquido – D4318 C1*

<b>Matriz - Límite líquido - D4318 C1</b>			
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)	Golpes
3.06	11.49	26.63	34
2.73	10.02	27.25	25
2.8	9.86	28.40	16

**Tabla 67***Matriz -Límite líquido - D4318 C2*

<b>Matriz - Límite líquido - D4318 C2</b>			
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)	Golpes
2.79	7.86	35.50	35
3.05	8.04	37.94	25
3.33	8.19	40.66	16

**Tabla 68***Matriz - Límite líquido - D4318 C3*

<b>Matriz - Límite líquido - D4318 C3</b>			
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)	Golpes
2.87	7.01	40.94	35
3.12	7.21	43.27	26
3.5	7.57	46.24	15

**Tabla 69***Matriz - Límite plástico - D4318 C1*

<b>Matriz - Límite plástico -D4318 C1</b>		
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)
1.28	6.44	19.88
1.27	6.47	19.63

**Tabla 70***Matriz - Límite plástico - D4318 C2*

<b>Matriz - Límite plástico - D4318 C2</b>		
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)
1.52	6.28	24.20
1.56	6.31	24.72

**Tabla 71***Matriz - Límite plástico - D4318 C3*

<b>Matriz - Límite plástico - D4318 C3</b>		
Masa de agua (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad (%)
1.54	6.16	25
1.53	6.23	24.56

**Tabla 72***Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C1*

<b>Matriz - Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C1</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de Plasticidad
27	20	7

**Tabla 73***Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C2*

<b>Matriz - Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C2</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de Plasticidad
38	24	14

**Tabla 74***Matriz – Resultados del índice de plasticidad – D4318 C3*

<b>Matriz - Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C3</b>		
Límite líquido	Límite plástico	Índice de Plasticidad
43	25	18

**Tabla 75***Matriz – Consistencia del suelo*

<b>Matriz - Consistencia del suelo</b>			
Calicata	Límite líquido	Límite plástico	Índice de Plasticidad
C1	27	20	7
C2	38	24	14
C3	43	25	18

**Tabla 76***Matriz – Estados del suelo – D2216 C1*

<b>Matriz - Estados del suelo – D2216 C1</b>	
Masa muestra húmeda (g)	Masa muestra seca (g)
5412.4	5211.4

**Tabla 77***Matriz – Estados del suelo – D2216 C2*

<b>Matriz - Estados del suelo – D2216 C2</b>	
Masa muestra húmeda (g)	Masa muestra seca (g)
511.7	472.7

**Tabla 78**

*Matriz – Estados del suelo – D2216 C3*

<b>Matriz - Estados del suelo – D2216 C3</b>	
Masa muestra húmeda (g)	Masa muestra seca (g)
562.5	517.5

**Tabla 79**

*Matriz Humedad del suelo – D2216*

<b>Matriz - Humedad del suelo – D2216</b>	
Calicata	Humedad (%)
C1	4
C2	8
C3	9

b) *Hipótesis Específica B.*

**Tabla 80**

*Matriz - Porcentaje de Compactación*

<b>Matriz - Porcentaje de Compactación</b>				
Prueba N°	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.07	2.16	2.19	2.18
Contenido de Humedad (%)	9.7	11.6	13.6	15.7
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.89	1.93	1.93	1.89
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	18.51	18.97	18.88	18.52

**Tabla 81**

*Matriz - Valores máximos de la densidad*

<b>Matriz - Valores máximos de la densidad</b>	
Densidad máxima seca fracción fina (p <sub>maxF</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> )	1.94
Densidad máxima seca máxima corregida ( p <sub>maxc</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> )	1.94

**Tabla 82**

*Matriz - Valores máximos del peso unitario*

<b>Matriz - Valores máximos del peso unitario</b>	
Peso unitario fracción fina ( p <sub>maxF</sub> ) (kN/cm <sup>3</sup> )	18.98
Peso unitario máximo corregido ( p <sub>maxc</sub> ) (kN/cm <sup>3</sup> )	19.02

**Tabla 83**

*Matriz - Valores máximos de la humedad optima*

<b>Matriz - Valores máximos de la humedad optima</b>	
Humedad optima fracción fina (p <sub>maxF</sub> )(%)	12.7
Humedad optima corregida (p <sub>maxc</sub> )(%)	12.7



c) *Hipótesis Específica C.*

**Tabla 84**

*Matriz - nivel de estabilización C2*

<b>Matriz - nivel de estabilización C2</b>				
Ítem	Cemento %	LL	LP	IP
1	0	38	24	14
2	1	37	24	13
3	2	36	24	12
4	4	35	24	11
5	6	34	24	10
6	8	34	24	10

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

**Tabla 85**

*Matriz - nivel de estabilización C3*

<b>Matriz - nivel de estabilización C3</b>				
Ítem	Cemento %	LL	LP	IP
1	0	43	25	18
2	1	39	25	14
3	2	38	25	13
4	4	37	25	12
5	6	36	25	11
6	8	36	25	11

*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

4.1.3.1.2 Estadística inferencial.

a) Hipótesis Específica B.

**Tabla 86**

*Matriz de Datos\_Análisis - Porcentaje de Compactación*

<b>Matriz de Datos_Análisis - Porcentaje de Compactación</b>						
% Compactación - Estudio		98.42	% Compactación - Norma		95	
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1		18.51		102.4378205	2.44	+
2	Peso Unitario Seco	18.97	18.06949807	104.983547	4.98	+
3		18.88		104.4854701	4.49	+
4		18.52		102.4931624	2.49	+
5		9.7		79.44031621	20.56	-
6	Contenido de Humedad %	11.6	12.21042471	95.00079051	5.00	-
7		13.6		111.3802372	11.38	+
8		15.7		128.5786561	28.58	+
9		2.07		99.74511628	0.25	-
10	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.16	2.075289575	104.0818605	4.08	+
11		2.19		105.5274419	5.53	+
12		2.18		105.0455814	5.05	+
13		1087.1		100.1610245	0.16	+
14	Suelo Húmedo(g)	1219.2	1085.352317	112.3321876	12.33	+
15		1103.5		101.6720546	1.67	+
16		1087.9		100.2347333	0.23	+
17		990.8		102.7624878	2.76	+
18	Suelo Seco (g)	1092.6	964.1650579	113.320846	13.32	+
19		971.5		100.7607559	0.76	+
20		940.6		97.5559104	2.44	-
21		96.3		79.46379928	20.54	-
22	Humedad (g)	126.6	121.1872587	104.4664277	4.47	+
23		132		108.9223417	8.92	+
24		147.3		121.5474313	21.55	+
25	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	19.02	18.35907336	103.6000	3.60	+

**Tabla 87**

*MC\_1 Matriz de Datos\_Control - Porcentaje de Compactación*

<b>MC_1 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación</b>						
% Compactación - Estudio		98.82	% Compactación - Norma		95	
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1	Peso Unitario Seco	16.84	15.4847495	108.7392	8.74	+
2		15.20		98.1629	1.84	-
3		15.87		102.4694	2.47	+
4		16.52		106.7126	6.71	+
5		6.90		109.5794	9.58	+
6	Contenido de Humedad %	6.00	6.29680227	95.2865	4.71	-
7		6.60		104.8151	4.82	+
8		6.70		106.4032	6.40	+
9	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.80	1.65110808	109.0177	9.02	+
10		1.60		96.9046	3.10	-
11		1.69		102.3555	2.36	+
12		1.78		107.8064	7.81	+
13		162.78		116.0956	16.10	+
14	Suelo Húmedo (g)	136.77	140.212002	97.5451	2.45	-
15		140.90		100.4907	0.49	+
16		142.95		101.9528	1.95	+
17	Suelo Seco (g)	148.96	127.969288	116.4029	16.40	+
18		124.29		97.1249	2.88	-
19		128.82		100.6648	0.66	+
20		130.39		101.8916	1.89	+
21	Humedad (g)	15.82	12.4109492	127.4681	27.47	+
22		10.74		86.5365	13.46	-
23		12.52		100.8787	0.88	+
24		12.56		101.2010	1.20	+
25	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	17.26	16.5924865	104.0211	4.02	+

**Tabla 88**

*MC\_2 Matriz de Datos\_Control - Porcentaje de Compactación*

<b>MC_2 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación</b>						
% Compactación - Estudio			98.82	% Compactación - Norma		95
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1	Peso Unitario Seco	17.2302592	15.8147137	108.9508	8.95	+
2		15.4356448		97.6031	2.40	-
3		16.2299823		102.6258	2.63	+
4		16.9066402		106.9045	6.90	+
5		6.9		109.5794	9.58	+
6	Contenido de Humedad %	6	6.29680227	95.2865	4.71	-
7		6.6		104.8151	4.82	+
8		6.7		106.4032	6.40	+
9		1.85		112.0460	12.05	+
10	Densidad Húmeda (g/cm3)	1.64	1.69797359	99.3272	0.67	-
11		1.745		105.6866	5.69	+
12		1.83		110.8347	10.83	+
13	Suelo Húmedo (g)	100.21	86.1556365	71.4703	28.53	-
14		70.9		50.5663	49.43	-
15		92.7		66.1142	33.89	-
16		94.67		67.5192	32.48	-
17		97.04		75.8307	24.17	-
18	Suelo Seco (g)	68.25	83.0420841	53.3331	46.67	-
19		88.645		69.2705	30.73	-
20		91.59		71.5719	28.43	-
21	Humedad (g)	4.68	3.2397288	37.7086	62.29	-
22		2.65		21.3521	78.65	-
23		3.07		24.7362	75.26	-
24		3.08		24.8168	75.18	-
25	Peso Unitario Máximo (KN/m3)	17.2596791	16.5924865	104.0211	4.02	+

**Tabla 89**

*MC\_3 Matriz de Datos\_Control - Porcentaje de Compactación*

<b>MC_3 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación</b>						
% Compactación - Estudio		98.82	% Compactación - Norma		95	
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1		17.2106459		108.2541	8.25	+
2	Peso Unitario Seco	15.6710041	15.8983832	98.5698	1.43	-
3		16.3231454		102.6717	2.67	+
4		16.9458668		106.5886	6.59	+
5		6.9		109.5794	9.58	+
6	Contenido de Humedad %	6	6.29680227	95.2865	4.71	-
7		6.6		104.8151	4.82	+
8		6.7		106.4032	6.40	+
9		1.87		113.2573	13.26	+
10	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.7	1.72921726	102.9612	2.96	+
11		1.775		107.5036	7.50	+
12		1.85		112.0460	12.05	+
13		119.635		85.3244	14.68	-
14	Suelo Húmedo(g)	91.47	106.082492	65.2369	34.76	-
15		112.4775		80.2196	19.78	-
16		117.81		84.0228	15.98	-
17		112.475		87.8922	12.11	-
18	Suelo Seco (g)	86.55	99.6102446	67.6334	32.37	-
19		105.2025		82.2092	17.79	-
20		110.235		86.1418	13.86	-
21		7.53		60.6722	39.33	-
22	Humedad (g)	5.91	6.6014281	47.6192	52.38	-
23		7.0025		56.4220	43.58	-
24		7.025		56.6032	43.40	-
25	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	17.2596791	16.5924865	104.0211	4.02	+

**Tabla 90**

*MC\_4 Matriz de Datos\_Control - Porcentaje de Compactación*

<b>MC_4 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación</b>						
% Compactación - Estudio		98.82	% Compactación - Norma		95	
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1		16.9556734		107.9060	7.91	+
2	Peso Unitario Seco	15.5435178	15.7133675	98.9191	1.08	-
3		16.1613359		102.8509	2.85	+
4		16.7203141		106.4082	6.41	+
5		6.9		109.5794	9.58	+
6	Contenido de Humedad %	6	6.29680227	95.2865	4.71	-
7		6.6		104.8151	4.82	+
8		6.7		106.4032	6.40	+
9		1.88		113.8629	13.86	+
10	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.71	1.74003238	103.5668	3.57	+
11		1.79		108.4120	8.41	+
12		1.86		112.6516	12.65	+
13		131.76		93.9720	6.03	-
14	Suelo Húmedo(g)	109.89	119.003554	78.3742	21.63	-
15		124.695		88.9332	11.07	-
16		128.81		91.8680	8.13	-
17		122.16		95.4604	4.54	-
18	Suelo Seco (g)	99.97	109.924863	78.1203	21.88	-
19		115.37		90.1544	9.85	-
20		119.88		93.6787	6.32	-
21		10.74		86.5365	13.46	-
22	Humedad (g)	8.93	9.38271605	71.9526	28.05	-
23		9.49		76.4647	23.54	-
24		9.88		79.6071	20.39	-
25	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	17.2596791	16.5924865	104.0211	4.02	+

**Tabla 91***MC\_5 Matriz de Datos\_Control - Porcentaje de Compactación*

<b>MC_5 Matriz de Datos_Control - Porcentaje de Compactación</b>						
	% Compactación - Estudio		98.82	% Compactación - Norma		95
N <sup>a</sup>	Característica	Valores	Parámetro	% Calidad	Exceso / Déficit Magnitud	Δ
1		16.8281871		108.4777	8.48	+
2	Peso Unitario Seco	15.1218325	15.5130321	97.4783	2.52	-
3		15.9750098		102.9780	2.98	+
4		16.6222478		107.1502	7.15	+
5		6.9		109.5794	9.58	+
6	Contenido de Humedad %	6	6.29680227	95.2865	4.71	-
7		6.6		104.8151	4.82	+
8		6.7		106.4032	6.40	+
9		1.87		113.2573	13.26	+
10	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.73162062	102.3555	2.36	+
11		1.785		108.1092	8.11	+
12		1.86		112.6516	12.65	+
13		117.11		83.5235	16.48	-
14	Suelo Húmedo(g)	91.38	104.546145	65.1727	34.83	-
15		110.27		78.6452	21.35	-
16		116.24		82.9030	17.10	-
17		109.71		85.7315	14.27	-
18	Suelo Seco (g)	86.34	97.8359644	67.4693	32.53	-
19		102.66		80.2224	19.78	-
20		108.37		84.6844	15.32	-
21		7.28		58.6579	41.34	-
22	Humedad (g)	5.74	6.37971817	46.2495	53.75	-
23		6.745		54.3472	45.65	-
24		6.78		54.6292	45.37	-
25	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	17.2596791	16.5924865	104.0211	4.02	+

b) *Hipótesis Específica C.*

**Tabla 92**

*P\_A - Matriz de Datos\_Análisis - Nivel de Consistencia*

<b>P_A - Matriz de Datos_Análisis - Nivel de Consistencia</b>													
N <sup>a</sup>	Característica	Parámetro LL < 40				Parámetro LP < 22				Parámetro IP < 18			
		40		40		22		22		18		18	
		Cemento 0 %		Cemento 1 %		Cemento 2 %		Cemento 4 %		Cemento 6 %		Cemento 8 %	
		C2	C3	C2a	C3a	C2b	C3b	C2c	C3c	C2d	C3d	C2e	C3e
1	LL (%)	38.0	43.0	37.0	39.0	35.0	38.0	35.0	37.0	34.0	36.0	34.0	36.0
2	LP (%)	24.0	25.0	24.0	25.0	24.0	25.0	24.0	25.0	24.0	25.0	24.0	25.0
3	IP (%)	14.0	18.0	13.0	14.0	12.0	13.0	11.0	12.0	10.0	11.0	10.0	11.0
4	Humedad - LP (%)	24.5	25.0	24.2	24.9	24.3	25.5	24.8	25.2	24.4	24.5	23.9	24.6
5		24.7	24.5	24.1	24.7	24.3	25.2	23.5	25.2	23.6	24.7	23.9	24.7
6	Humedad - LL (%)	35.5	40.9	35.0	36.7	34.4	35.9	33.8	35.8	33.0	33.8	33.0	33.8
7		37.9	43.2	36.9	38.9	35.9	37.8	35.4	37.4	34.3	35.8	33.9	35.9
8	N <sup>a</sup> Golpes	40.6	46.2	39.1	41.9	38.0	40.5	37.1	39.6	36.2	38.3	35.2	38.3
9		35.0	35.0	35.0	35.0	34.0	35.0	35.0	34.0	32.0	35.0	35.0	34.0
10	Peso Muestra Seca - LL (gr)	25.0	26.0	25.0	25.0	26.0	26.0	24.0	26.0	26.0	24.0	25.0	25.0
11		16.0	15.0	15.0	15.0	15.0	16.0	16.0	16.0	17.0	16.0	15.0	17.0
12	Peso Muestra Seca - LP (gr)	7.86	7.01	9.14	7.15	8.57	7.73	9.51	7.90	8.94	8.69	7.02	8.12
13		8.04	7.21	9.40	7.32	7.29	7.69	9.42	8.23	7.26	8.10	6.89	8.49
14	Peso Muestra Seca - LP (gr)	8.19	7.57	7.45	5.86	6.60	7.76	9.24	8.25	8.11	7.99	7.23	7.97
15		6.28	6.16	6.15	6.17	6.05	6.27	10.58	6.53	6.47	6.61	6.97	6.41
16	Peso Agua - LL (gr)	6.31	6.23	8.44	6.58	8.17	6.45	5.59	6.42	6.69	6.64	6.94	6.66
17		2.79	2.87	3.20	2.63	2.95	2.78	3.22	2.83	2.95	2.94	2.32	2.75
18	Peso Agua - LP (gr)	3.05	3.12	3.47	2.85	2.62	2.91	3.34	3.08	2.49	2.90	2.34	3.05
19		3.33	3.50	2.92	2.46	2.51	3.15	3.43	3.27	2.94	3.06	2.62	3.06
20	Peso Muestra Húmeda - LL (gr)	1.52	1.54	1.49	1.54	1.47	1.60	2.63	1.65	1.58	1.62	1.67	1.58
21		1.56	1.53	2.04	1.63	1.99	1.63	1.32	1.62	1.58	1.64	1.66	1.65
22	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	10.6	9.88	12.3	9.78	11.5	10.5	12.7	10.7	11.8	11.6	9.34	10.8
23		11.0	10.3	12.8	10.1	9.91	10.6	12.7	11.3	9.75	11.0	9.23	11.5
24	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	9	3	7	7	0	6	1	9	0	0	4	4
25		11.5	11.0	10.3	8.32	9.11	10.9	12.6	11.5	11.0	11.0	9.85	11.0
26	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	2	7	7		1	7	2	5	5		3	3
27		7.80	7.70	7.64	7.71	7.52	7.87	13.21	8.18	8.05	8.23	8.64	7.99
28	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	7.87	7.76	10.48	8.21	10.16	8.08	6.91	8.04	8.27	8.28	8.60	8.31
29													



**Tabla 93***P\_B - Matriz de Datos\_Análisis - Nivel de Consistencia*

<b>P_B - Matriz de Datos_Análisis - Nivel de Consistencia</b>					
N <sup>a</sup>	Valor Promedio	% Δ	Exceso / Déficit Magnitud	Δ	Valor Corregido Análisis
1	36.83	92.0833333	7.91666667	+	39.7493056
2	24.50	111.363636	11.3636364	-	21.7159091
3	12.42	68.9814815	31.0185185	+	16.2681327
4	24.68	112.189394	12.1893939	-	21.6731211
5	24.47	111.231061	11.2310606	-	21.7224992
6	35.17	87.925	12.075	+	39.4167775
7	36.97	92.4354167	7.56458333	+	39.7711083
8	39.30	98.25625	1.74375	+	39.9878373
9	34.50	86.25	13.75	+	39.24375
10	25.25	63.125	36.875	+	34.5609375
11	15.75	39.375	60.625	+	25.2984375
12	8.14	20.3416667	79.6583333	+	14.6181997
13	7.95	19.8625	80.1375	+	14.3119244
14	7.69	19.2125	80.7875	+	13.8935194
15	6.72	30.5492424	69.4507576	+	11.388503
16	6.76	30.7272727	69.2727273	+	11.4428364
17	2.85	7.13125	92.86875	+	5.50158109
18	2.94	7.3375	92.6625	+	5.65464438
19	3.02	7.55208333	92.4479167	+	5.81353082
20	1.66	7.53409091	92.4659091	+	3.19012244
21	1.65	7.51780303	92.482197	+	3.18349514
22	10.99	27.4729167	72.5270833	+	18.9592887
23	10.88	27.2	72.8	+	18.80064
24	10.71	26.7645833	73.2354167	+	18.546295
25	8.38	38.0833333	61.9166667	+	13.5659181
26	8.41	38.2450758	61.7549242	+	13.6099245

**Tabla 94***P\_A - Matriz de Datos\_Control - Nivel de Consistencia*

<b>P_A - Matriz de Datos_Control - Nivel de Consistencia</b>												
N <sup>a</sup>	Característica	Parámetro LL < 40			Parámetro LP < 22				Parámetro IP < 18			Valor Promedio
		Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	Valor 5	Valor 6	Valor 7	Valor 8	Valor 9		
1	LL (%)	38.36	30.24	37.03	30.92	34.67	39.18	30.35	26.76	22.83	32.26	
2	LP (%)	26.17	27.35	22.58	28.01	31.92	27.82	23.83	12.07	17.07	24.09	
3	IP (%)	12.19	2.89	14.45	2.91	2.75	11.36	6.51	14.69	5.76	8.17	
4	Humedad - LP (%)	26.42	28.15	22.66	26.64	32.30	25.89	25.34	11.10	18.12	24.07	
5		25.93	26.54	22.51	29.37	31.54	29.75	22.32	13.05	16.02	24.11	
6	Humedad - LL (%)	42.65	37.55	39.56	35.61	44.93	45.31	29.09	33.66	16.10	36.05	
7		39.22	35.03	37.08	31.73	40.26	38.07	30.54	31.19	20.54	33.74	
8		38.19	22.42	33.29	23.84	25.49	35.09	32.17	24.27	30.19	29.44	
9		15.00	16.00	15.00	19.00	18.00	19.00	18.00	13.00	16.00	16.56	
10	N <sup>a</sup> Golpes	22.00	20.00	29.00	24.00	20.00	25.00	27.00	20.00	24.00	23.44	
11		26.00	34.00	35.00	34.00	32.00	30.00	34.00	28.00	33.00	31.78	
12	Peso Muestra Seca - LL (gr)	26.61	15.90	10.11	13.93	13.91	23.79	18.70	15.45	21.00	17.71	
13		24.22	13.36	16.91	15.60	14.58	22.80	18.73	16.83	18.06	17.90	
14		18.38	10.57	17.09	16.15	13.38	19.69	20.14	22.41	18.32	17.35	
15	Peso Muestra Seca - LP (gr)	7.38	4.44	4.59	5.03	4.21	8.11	7.26	7.75	7.89	6.30	
16		7.29	4.22	7.33	4.46	3.90	6.52	9.99	7.05	6.99	6.42	
17		11.35	5.97	4.00	4.96	6.25	10.78	5.44	5.20	3.38	6.37	
18	Peso Agua - LL (gr)	9.50	4.68	6.27	4.95	5.87	8.68	5.72	5.25	3.71	6.07	
19		7.02	2.37	5.69	3.85	3.41	6.91	6.48	5.44	5.53	5.19	
20	Peso Agua - LP (gr)	1.95	1.25	1.04	1.34	1.36	2.10	1.84	0.86	1.43	1.46	
21		1.89	1.12	1.65	1.31	1.23	1.94	2.23	0.92	1.12	1.49	
22	Peso Muestra Húmeda - LL (gr)	37.96	21.87	14.11	18.89	20.16	34.57	24.14	20.65	24.38	24.08	
23		33.72	18.04	23.18	20.55	20.45	31.48	24.45	22.08	21.77	23.97	
24		25.40	12.94	22.78	20.00	16.79	26.60	26.62	27.85	23.85	22.54	
25	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	9.33	5.69	5.63	6.37	5.57	10.21	9.10	8.61	9.32	7.76	
26		9.18	5.34	8.98	5.77	5.13	8.46	12.22	7.97	8.11	7.91	

**Tabla 95***P\_B - Matriz de Datos\_Control - Nivel de Consistencia*

<b>P_B - Matriz de Datos_Control - Nivel de Consistencia</b>				
N <sup>a</sup>	% Δ	Exceso / Déficit		Valor Corregido Control
		Magnitud	Δ	
1	80.65	19.35	+	38.50231
2	109.5050505	9.50505051	-	21.8012388
3	45.37654321	54.6234568	+	12.6293003
4	109.4040404	9.4040404	-	21.8054409
5	109.6111111	9.61111111	-	21.7967784
6	90.12777778	9.87222222	+	39.6101569
7	84.35	15.65	+	39.02031
8	73.59722222	26.4027778	+	37.2115733
9	41.38888889	58.6111111	+	26.2589506
10	58.61111111	41.3888889	+	33.1478395
11	79.44444444	20.5555556	+	38.3098765
12	44.27777778	55.7222222	+	27.5801358
13	44.74722222	55.2527778	+	27.7885222
14	43.36944444	56.6305556	+	27.1719207
15	28.61616162	71.3838384	+	10.7895648
16	29.16666667	70.8333333	+	10.9618056
17	15.925	84.075	+	11.7255775
18	15.175	84.825	+	11.2188775
19	12.97222222	87.0277778	+	9.70466358
20	6.651515152	93.3484848	+	2.82933283
21	6.772727273	93.2272727	+	2.87908636
22	60.20277778	39.7972222	+	33.6647244
23	59.92222222	40.0777778	+	33.5750869
24	56.34166667	43.6583333	+	32.3757997
25	35.26767677	64.7323232	+	12.7813979
26	35.93939394	64.0606061	+	12.9717253

**Tabla 96***Matriz de Datos\_Aproximación - Nivel de Consistencia*

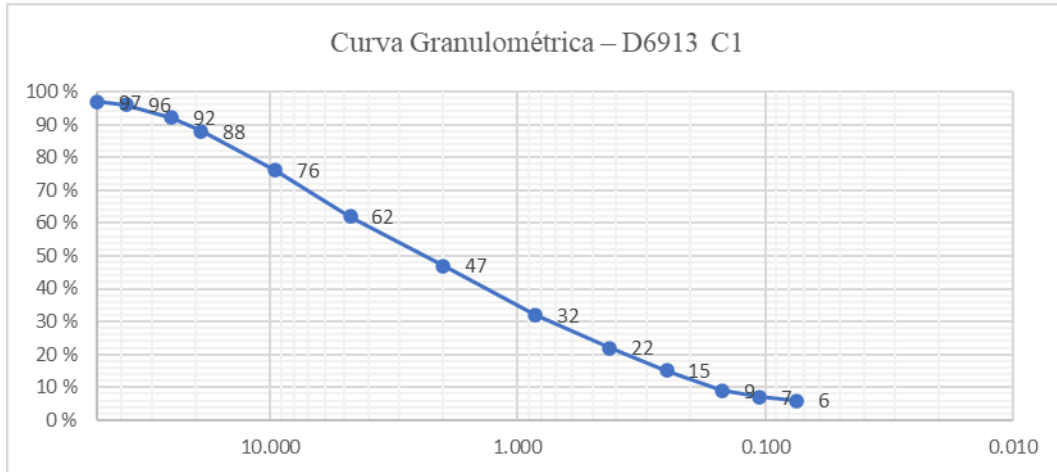
<b>Matriz de Datos_Aproximación - Nivel de Consistencia</b>			
	Parámetro LL < 40		40
	Parámetro LP < 22		22
	Parámetro IP < 18		18
N <sup>a</sup>	Característica	Valor Corregido Control	% Δ
1	LL (%)	38.50231	96.255775
2	LP (%)	21.80123883	99.0965401
3	IP (%)	12.62930034	70.1627797
4	Humedad - LP	21.80544085	99.1156402
5	(%)	21.7967784	99.0762654
6	Humedad - LL	39.61015691	99.0253923
7	(%)	39.02031	97.550775
8		37.2115733	93.0289333
9		26.25895062	65.6473765
10	N <sup>a</sup> Golpes	33.14783951	82.8695988
11		38.30987654	95.7746914
12		27.5801358	68.9503395
13	Peso Muestra Seca - LL (gr)	27.78852219	69.4713055
14		27.17192071	67.9298018
15	Peso Muestra Seca - LP (gr)	10.78956476	49.0434762
16		10.96180556	49.8263889
17		11.7255775	29.3139438
18	Peso Agua - LL (gr)	11.2188775	28.0471938
19		9.70466358	24.261659
20	Peso Agua - LP (gr)	2.829332828	12.8606038
21		2.879086364	13.0867562
22		33.66472441	84.161811
23	Peso Muestra Húmeda - LL (gr)	33.57508691	83.9377173
24		32.37579972	80.9394993
25	Peso Muestra Húmeda - LP (gr)	12.78139792	58.0972633
26		12.97172525	58.9623875

#### 4.1.3.2 Comparación de efectos.

##### 4.1.3.2.1 Hipótesis Específica A.

**Figura 24**

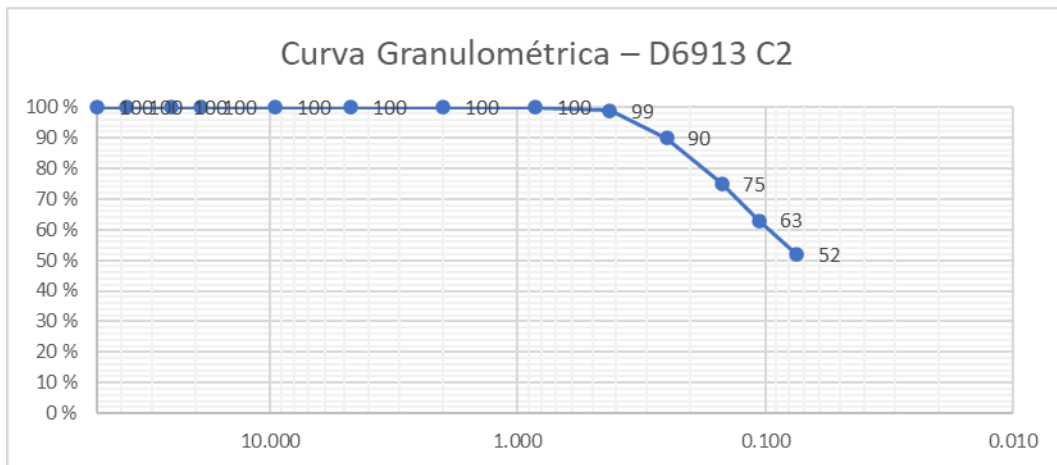
*Curva Granulométrica – D6913 C1*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura se logra apreciar que la curva granulométrica es de forma tendida lo que significa que existe una mejor distribución de material, por lo tanto, es un suelo propenso a tener buenas propiedades de soporte de carga.

**Figura 25**

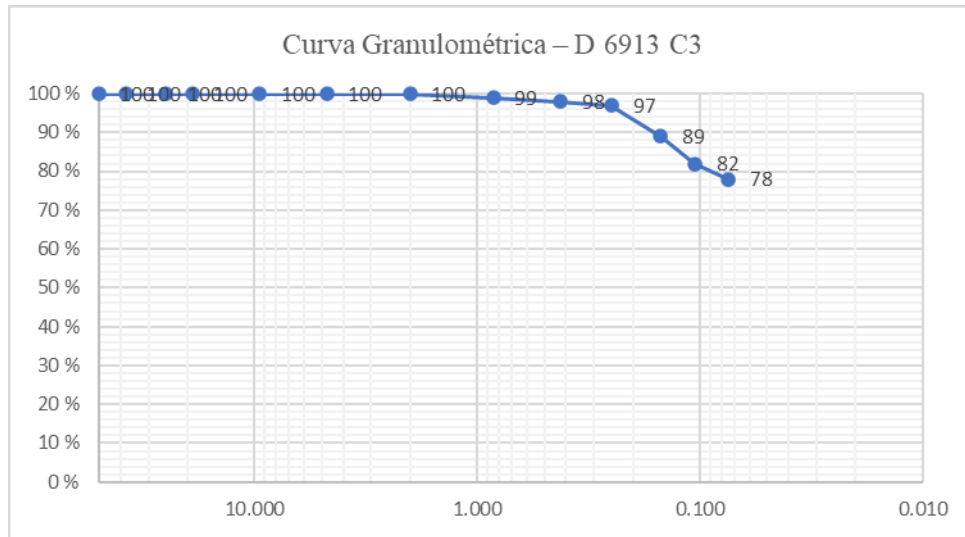
*Curva Granulométrica – D6913 C2*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L. En la figura 19 la forma de la curva de la C2, da a conocer que las propiedades mecánicas del suelo son deficientes, ocasionando grandes vacíos en el momento de la compactación, por lo tanto, es un suelo mal graduado.

**Figura 26**

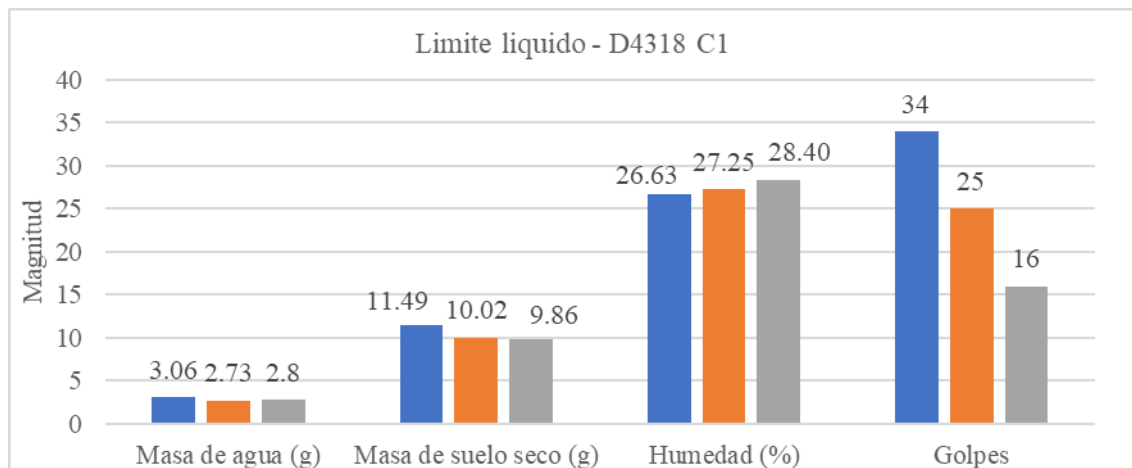
*Curva Granulométrica – D6913 C3*



*Nota:* Laboratorio Geotécnico Sergeo E.I.R.L. En la figura 20, se denota que la curva presenta una forma uniforme, por lo que, en el momento de la compactación se producirá una gran cantidad de espacios vacíos, originando que no pueda tener un buen soporte de carga.

**Figura 27**

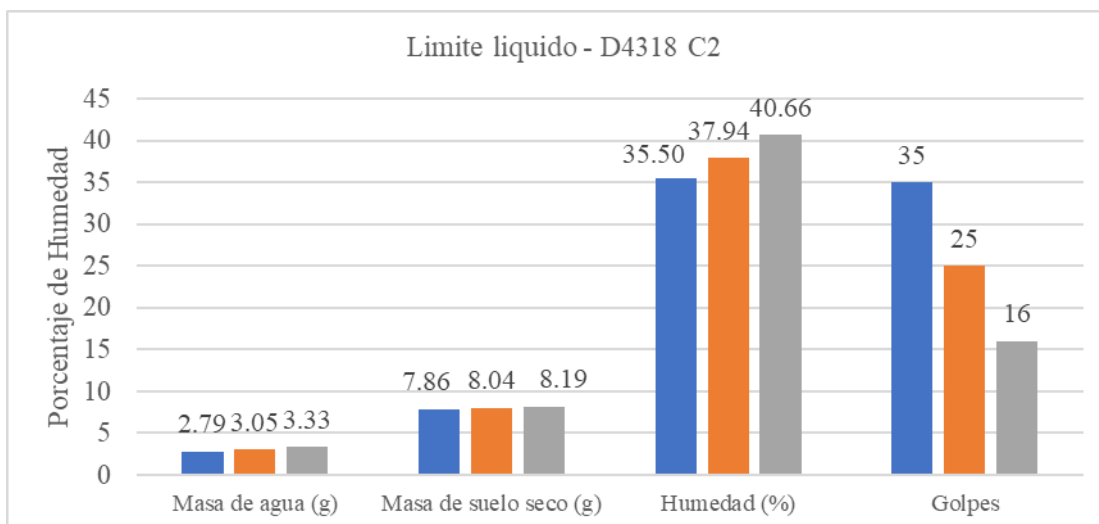
*Límite líquido - D4318 C1*



*Nota:* En la figura 21 se muestran 3 diferentes porcentajes de humedad, los cuales dan a conocer el límite líquido del suelo, teniendo en cuenta que el suelo a los 25 golpes presenta un porcentaje de humedad de 27.25%, indicando que a ese nivel obtendrá la resistencia suficiente para soportar las cargas, sin embargo, al incrementar o disminuir el porcentaje de humedad generaría la variación de la cantidad de golpes evaluar su estado de consistencia, indicando que el suelo experimentaría una tendencia de estado sólido si se disminuye el porcentaje de humedad y una tendencia estado líquido si se incrementa la humedad.

**Figura 28**

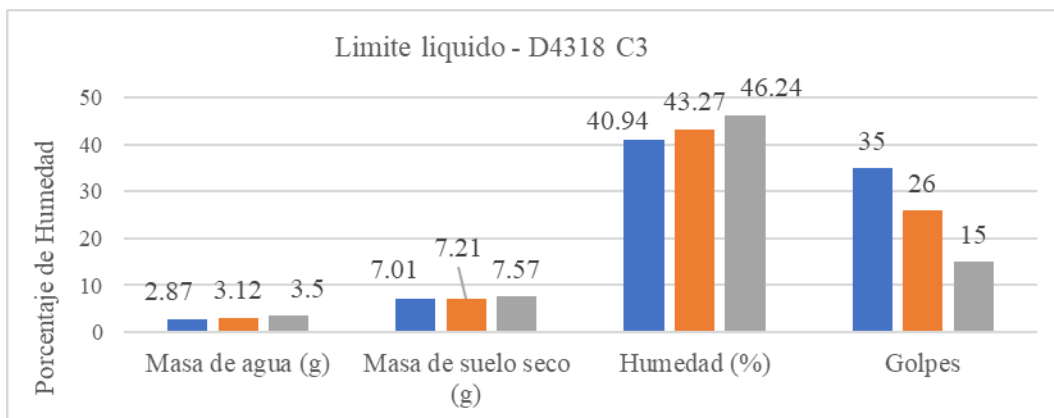
*Límite líquido - D4318 C2*



*Nota:* En la figura 22, se realizaron 3 estudios a la muestra de suelo, que arrojaron como resultado una variación en los porcentajes de humedad de 35.50%, 37.94% y 40.66% que alcanzaron respectivamente un número de golpes de 35, 25 y 16; en base al análisis de los datos se identifica que la humedad óptima para lograr una consistencia adecuada se suscita cuando el suelo contiene un porcentaje de 37.94.

**Figura 29**

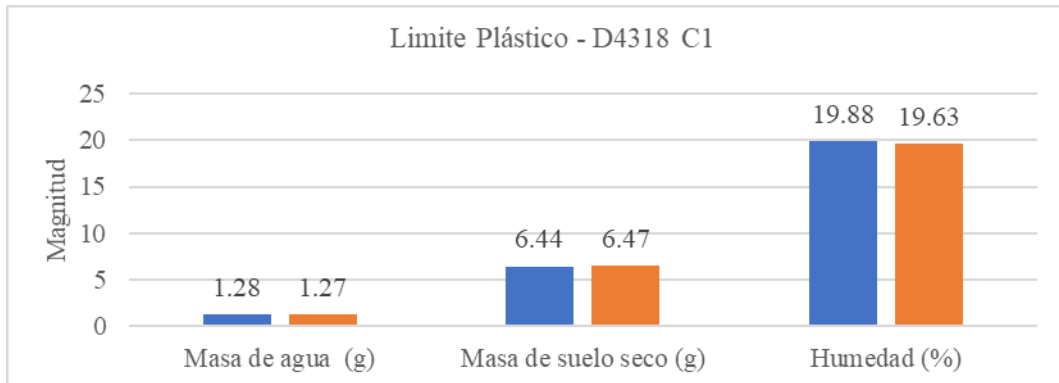
*Límite líquido - D4318 C3*



*Nota:* En la figura 23, se realizaron 3 estudios a la muestra de suelo, que arrojaron como resultado una variación en los porcentajes de humedad de 40.94%, 43.27% y 46.24% que alcanzaron respectivamente un número de golpes de 35, 26 y 16; en base al análisis de los datos se identifica que la humedad óptima para lograr una consistencia adecuada se suscita cuando el suelo contiene un porcentaje de 43.27.

**Figura 30**

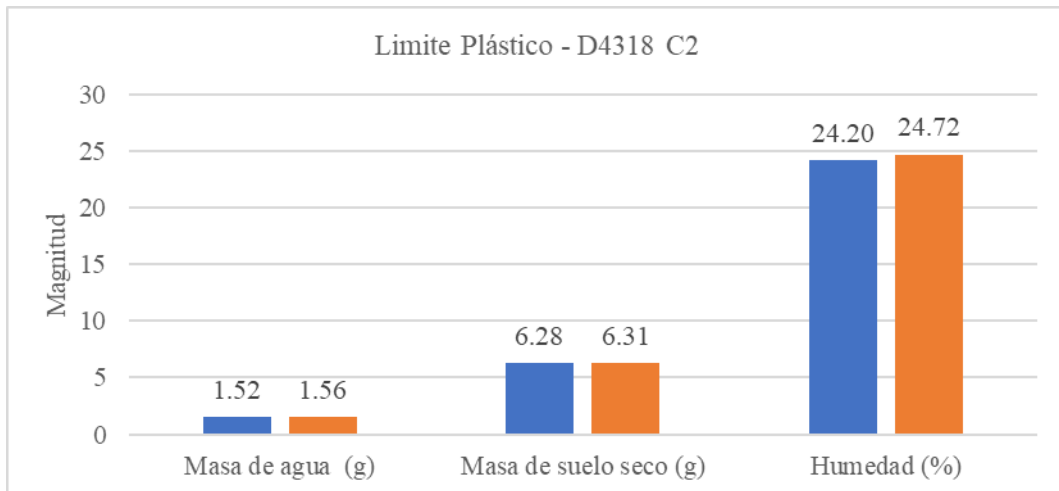
*Límite plástico - D4318 C1*



*Nota:* En la figura 24 se muestra la ejecución de 2 estudios, para hallar el límite plástico de la C1, el porcentaje de humedad del límite plástico se encuentra entre 19.88 y 19.63, estos resultados indican que al incrementarse el porcentaje de humedad las propiedades del suelo se alterarían, por lo tanto, el suelo cambiaría de estado, ocasionando que el mismo no alcance la resistencia para soportar el peso de las cargas a las que será sometido.

**Figura 31**

*Límite plástico - D4318 C2*

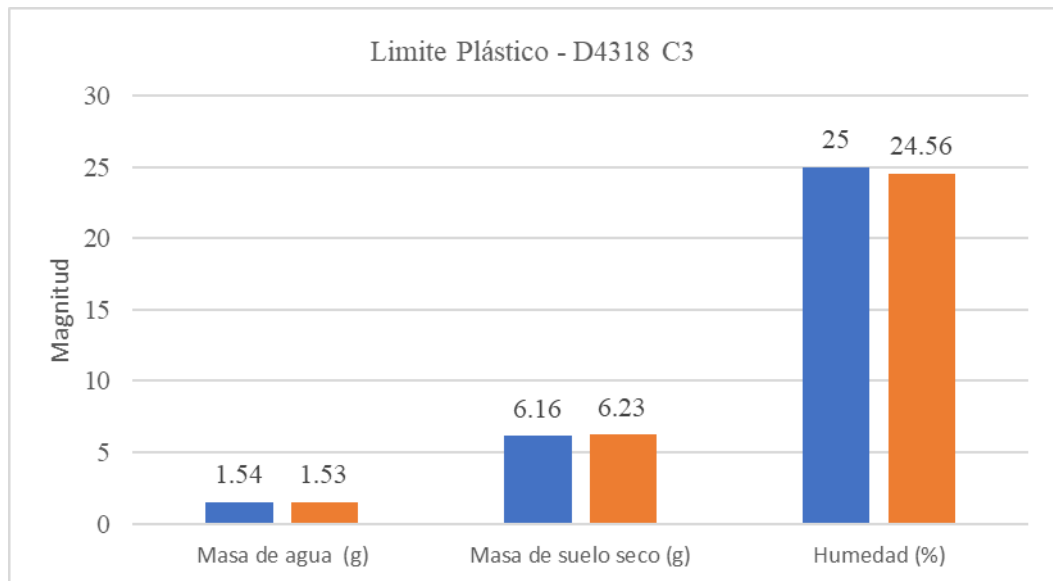


*Nota:* En la figura 25 se muestra que el porcentaje del límite plástico del suelo de la C2, es de 24.20% y 24.72%, al sobrepasar este porcentaje el suelo llega a perder su resistencia.



**Figura 32**

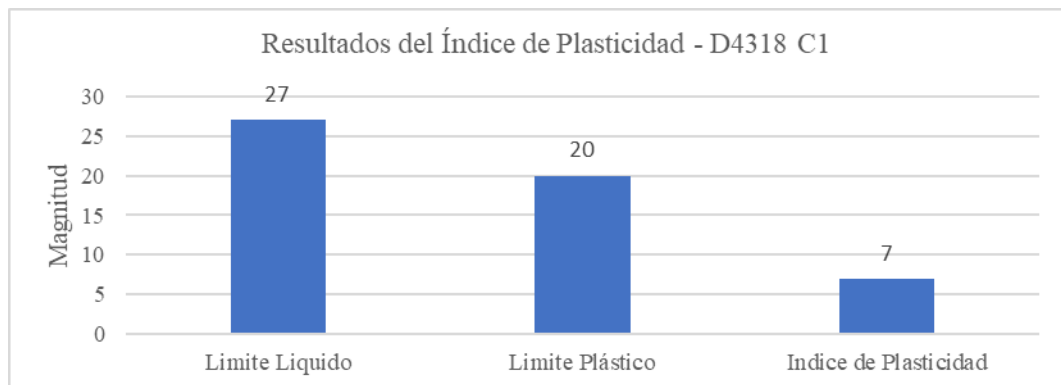
*Límite plástico - D4318 C3*



*Nota:* En la figura 26 se muestra que los porcentajes de humedad del límite plástico de la C3, es de 24.56% y 25%, teniendo en cuenta que estos porcentajes de humedad son los óptimos para un comportamiento plástico del suelo, que le permita el soporte de las cargas activas.

**Figura 33**

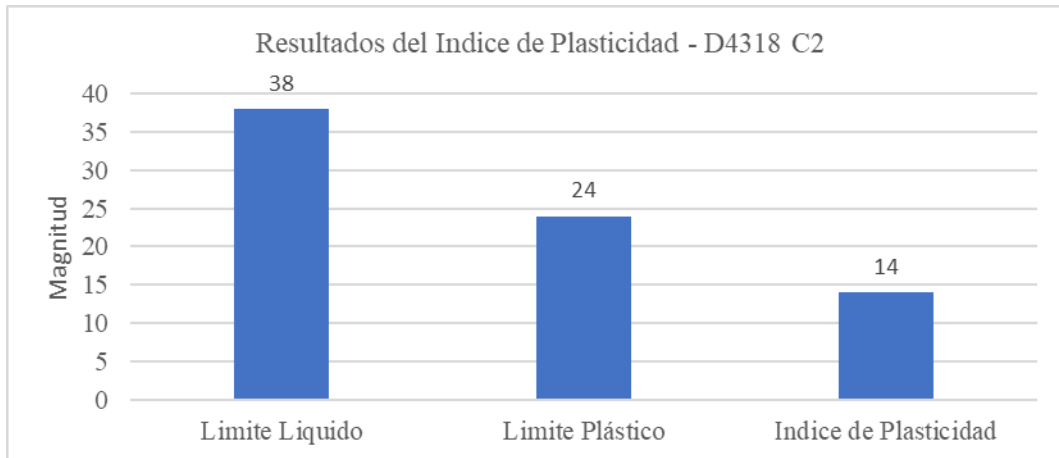
*Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C3*



*Nota:* En la figura 27 se visualiza los valores del límite líquido y el límite plástico, que al efectuar el cálculo se logra obtener el índice de plasticidad que arroja un valor de 7, evidenciando que el suelo presenta una baja plasticidad, que es el comportamiento de un suelo muy sensible a los cambios de humedad, ya que, sus características en un estado natural tienen una baja resistencia a los efectos de la humedad en su estructura.

**Figura 34**

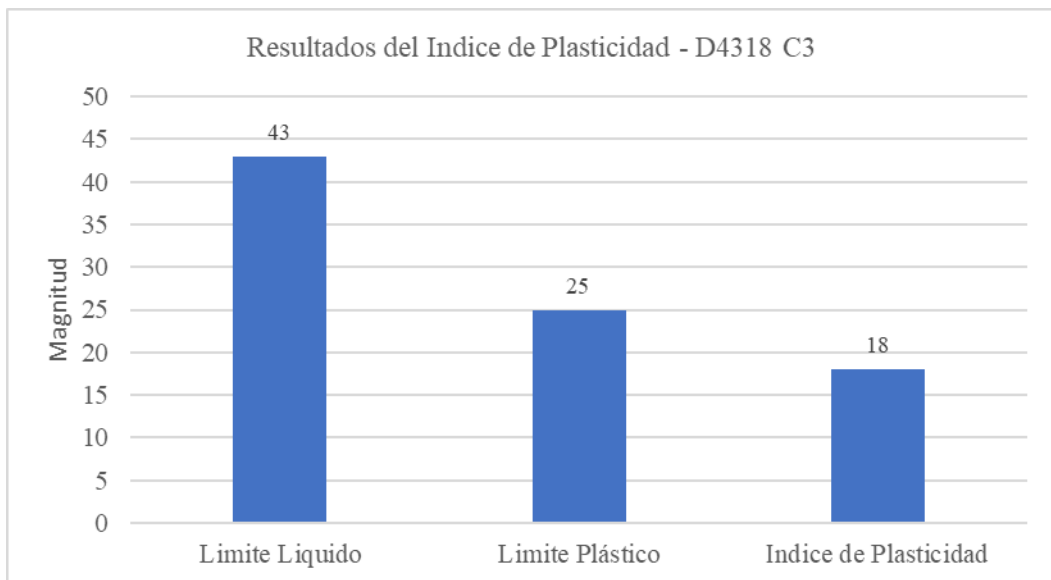
*Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C2*



*Nota:* En la figura 28 se visualiza los valores del límite líquido y el límite plástico, que al efectuar el cálculo se logra obtener el índice de plasticidad que arroja un valor de 14, evidenciando que el suelo presenta una plasticidad intermedia, que es el comportamiento de un suelo sensibilidad media a los cambios de humedad, ya que, sus características en un estado natural tienen una resistencia media a los efectos de la humedad en su estructura.

**Figura 35**

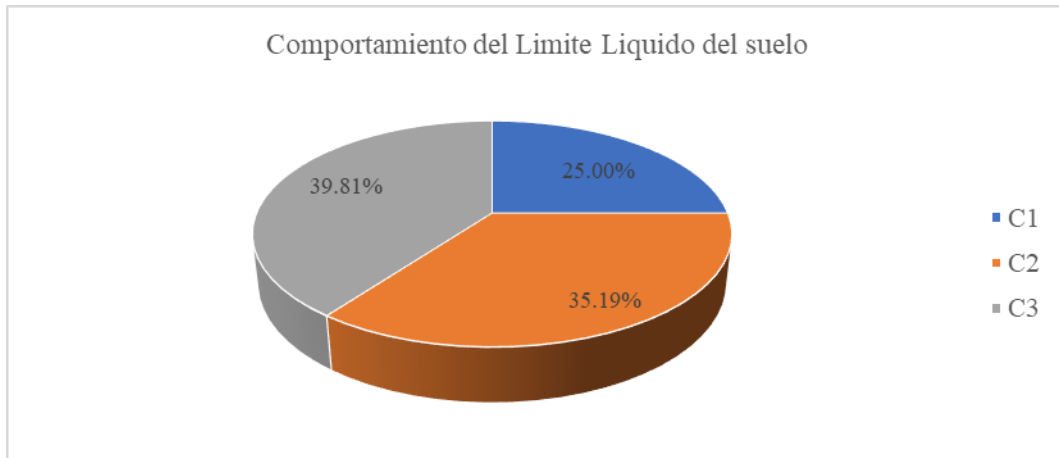
*Resultados del Índice de Plasticidad - D4318 C3*



*Nota:* En la figura 29 se visualiza los valores del límite líquido y el límite plástico, que al efectuar el cálculo se logra obtener el índice de plasticidad que arroja un valor de 18, evidenciando que el suelo presenta una plasticidad intermedia, que es el comportamiento de un suelo sensibilidad media a los cambios de humedad, ya que, sus características en un estado natural tienen una resistencia media a los efectos de la humedad en su estructura.

**Figura 36**

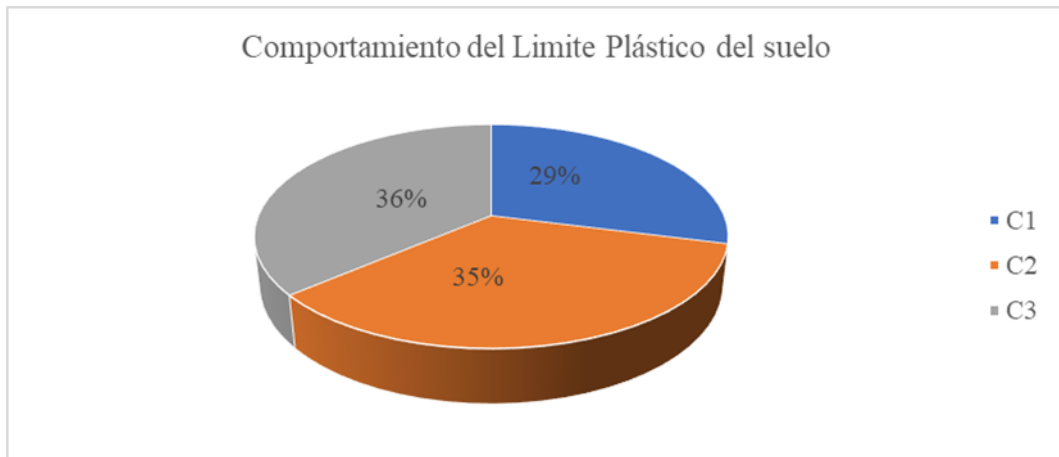
*Comportamiento del Límite líquido del suelo*



*Nota:* En la figura 30 se aprecia el resultado obtenido de los ensayos realizados en las tres calicatas, que es el efecto del comportamiento del límite líquido, el cual contiene los siguientes valores: C1 es 25%, C2 es 35.19% y la C3 es 39.81%.

**Figura 37**

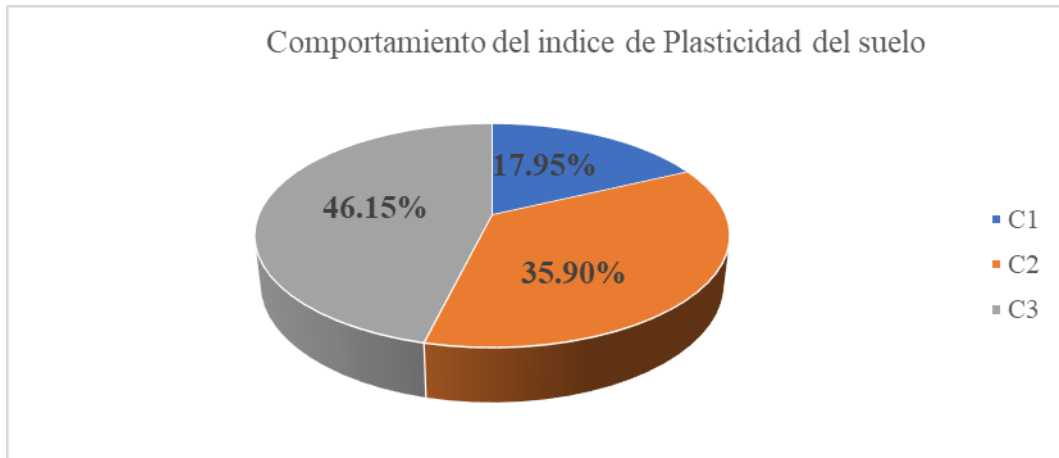
*Comportamiento del Límite plástico del suelo*



*Nota:* En la figura 31 se aprecia el resultado obtenido de los ensayos realizados en las tres calicatas, que es el efecto del comportamiento del límite plástico, el cual contiene los siguientes valores: C1 es 29%, C2 es 35% y la C3 es 36%.

**Figura 38**

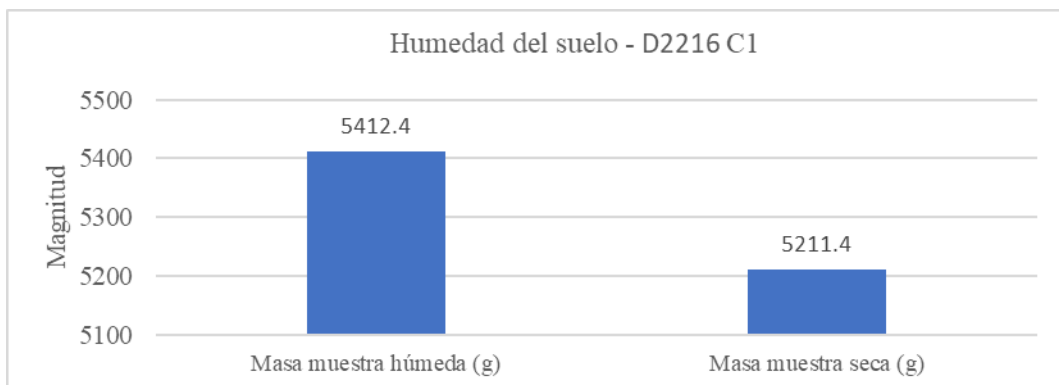
*Comportamiento del Índice de Plasticidad del suelo*



*Nota:* En la figura 32 se aprecia el resultado obtenido de los ensayos realizados en las tres calicatas, que es el efecto del comportamiento del índice de plasticidad, el cual contiene los siguientes valores: C1 es 17.95%, C2 es 35.90% y la C3 es 46.15%.

**Figura 39**

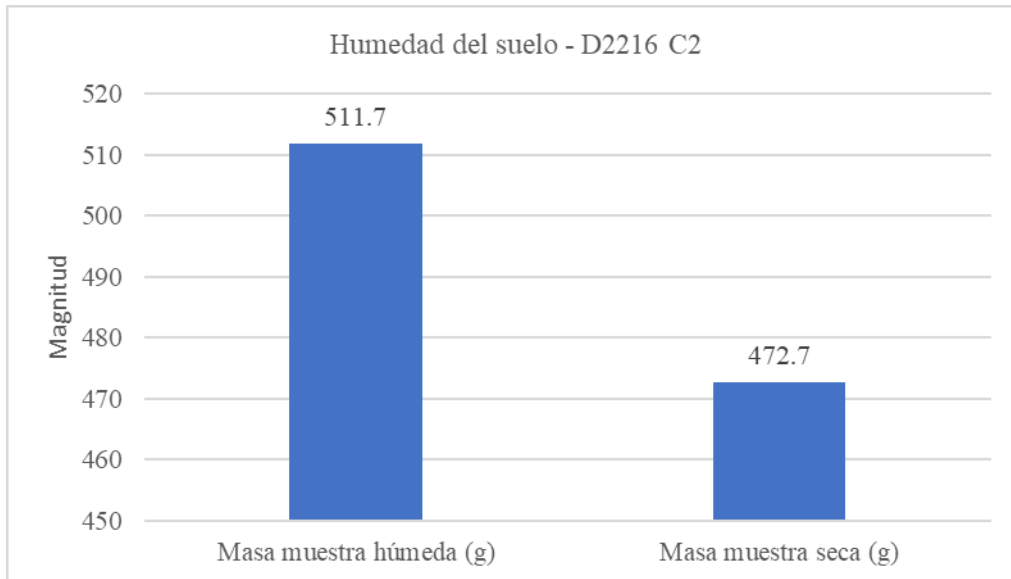
*Humedad del suelo - D2216 C1*



*Nota:* En la presente figura se aprecia los resultados del ensayo realizado a la C1, que dan a conocer que la muestra de humedad obtenida es de 5'412.4, mientras que la masa de la muestra seca es de 5'211.4.

**Figura 40**

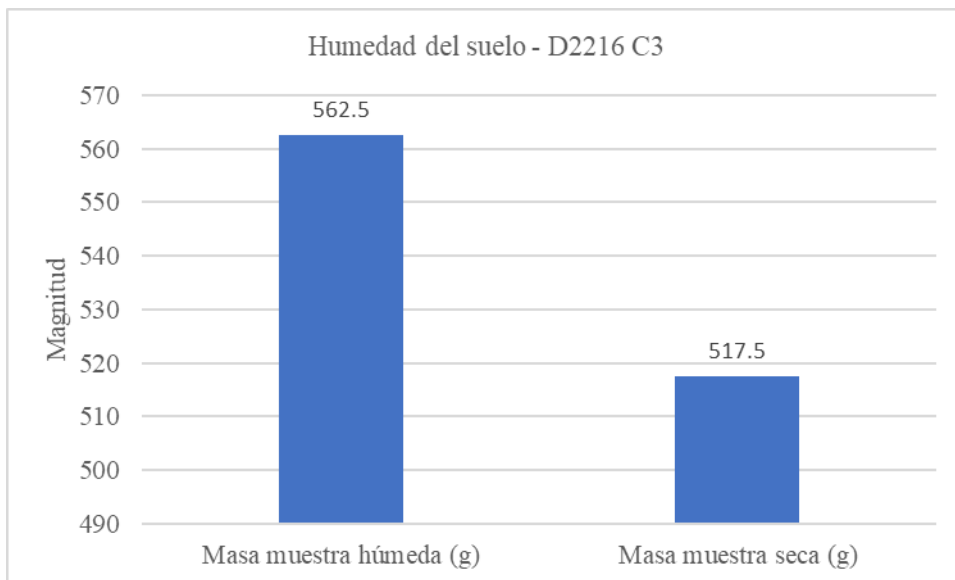
*Humedad del suelo - D2216 C2*



*Nota:* En la presenta figura se aprecia los resultados del ensayo realizado a la C1, que dan a conocer que la muestra de humedad obtenida es de 511.7, mientras que la masa de la muestra seca es de 472.7.

**Figura 41**

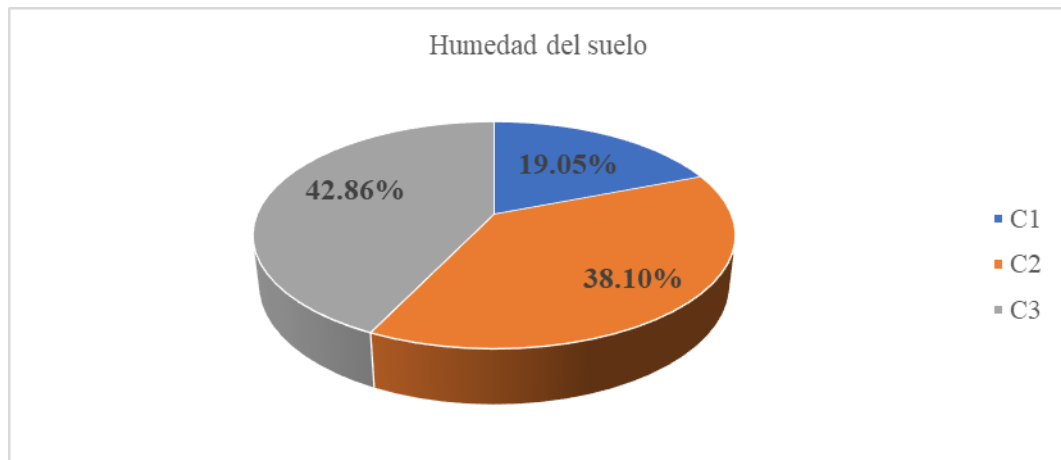
*Humedad del suelo - D2216 C3*



*Nota:* En la presenta figura se aprecia los resultados del ensayo realizado a la C1, que dan a conocer que la muestra de humedad obtenida es de 562.5, mientras que la masa de la muestra seca es de 517.5.

**Figura 42**

*Humedad del suelo*

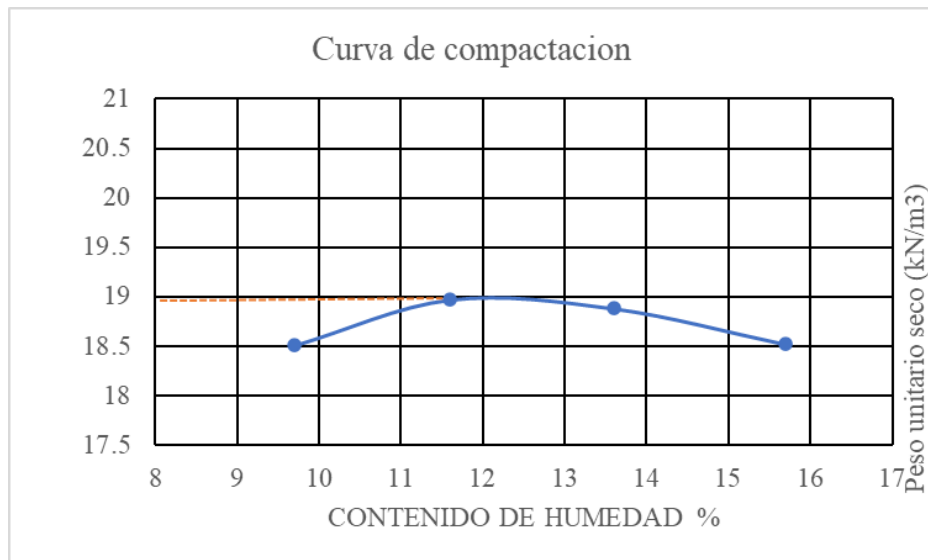


*Nota:* En la presente figura se aprecia que el porcentaje de humedad proveniente de la C1 es de 19.05%, para la C2 es 38.10%, y para la C3 es 42.86%.

#### 4.1.3.2.2 Hipótesis Específica B.

**Figura 43**

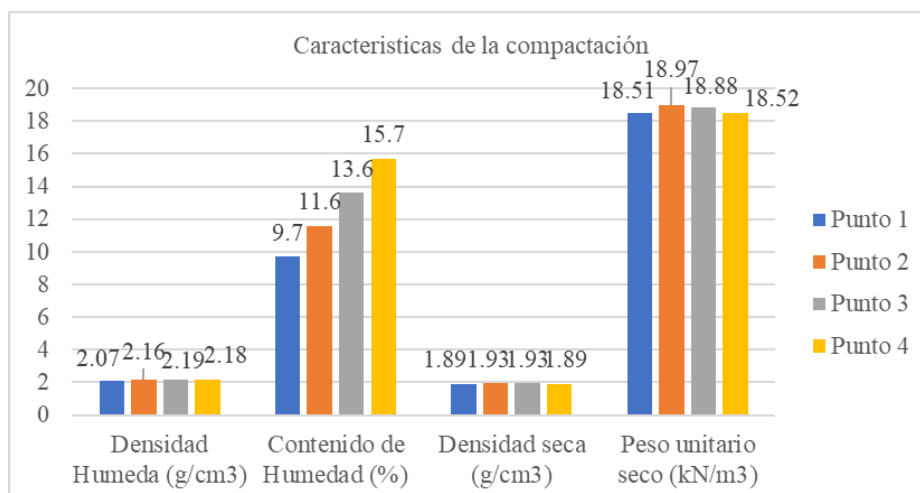
*Curva de compactación*



*Nota:* En la presente figura se aprecia la curva de compactación, que hace referencia a un suelo con un comportamiento poco sensible al agua, sin embargo, al seguir aumentando la humedad el peso unitario seco comienza a decaer, por lo que, el contenido de humedad óptimo en la curva de compactación varía aproximadamente entre 11.6% a 12.6% con un valor constante del Peso Unitario Seco de 18.97 KN/m<sup>3</sup>.

**Figura 44**

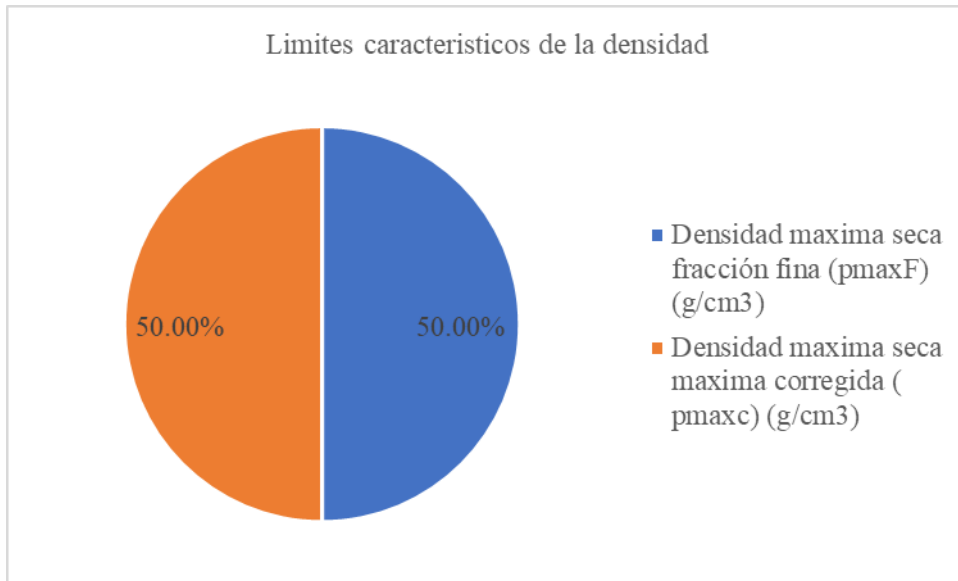
*Características de la compactación*



*Nota:* En la presente figura se aprecia el comportamiento del suelo respecto a las magnitudes del incremento de la humedad, las que presentan un efecto directamente proporcional hasta cierto límite, ya que, al sobrepasar el parámetro mencionado la tendencia cambia a una relación indirectamente proporcional, teniendo un efecto negativo en las características del suelo, originando una inestabilidad en la estructura de las partículas del terreno.

**Figura 45**

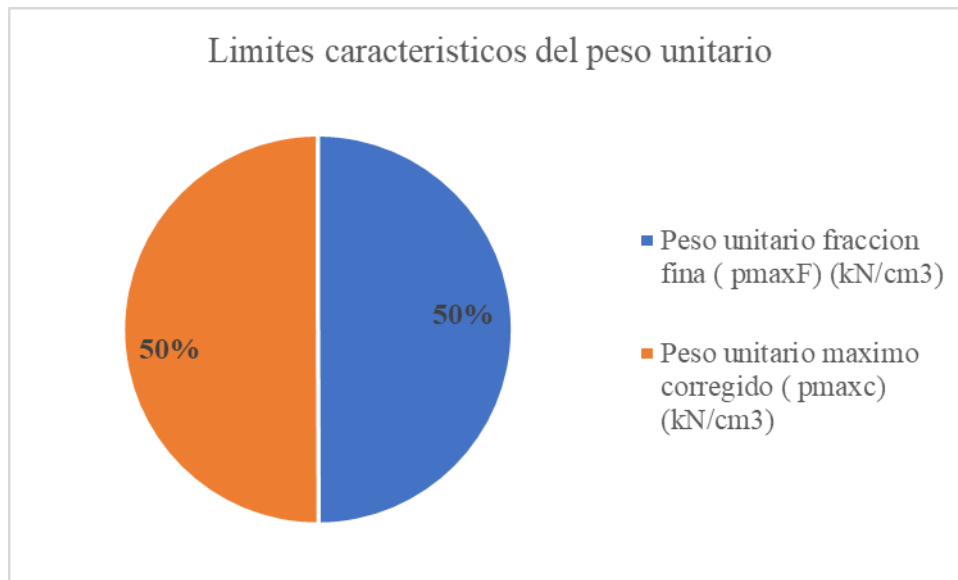
*Limites característicos de la densidad*



*Nota:* En la presente figura se aprecia la densidad máxima seca y la densidad máxima seca corregida, que contemplan en su magnitud un valor equivalente del 50% para ambos casos.

**Figura 46**

*Limites característicos del peso unitario*

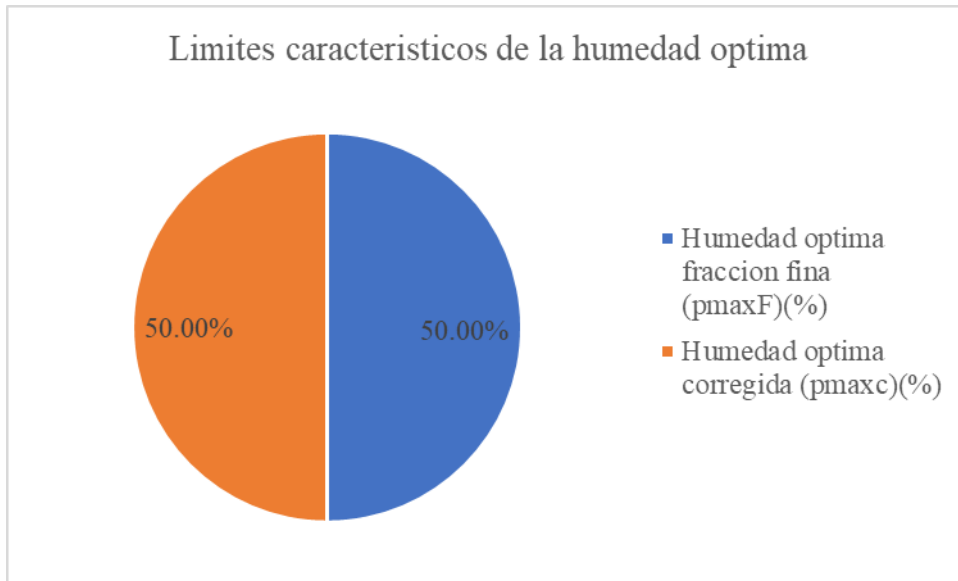


*Nota:* En la presente figura se aprecia los limites característicos del peso unitario, los cuales son el peso unitario fracción fino y peso unitario máximo corregido, que contemplan en su magnitud un valor equivalente del 50% para ambos casos.



**Figura 47**

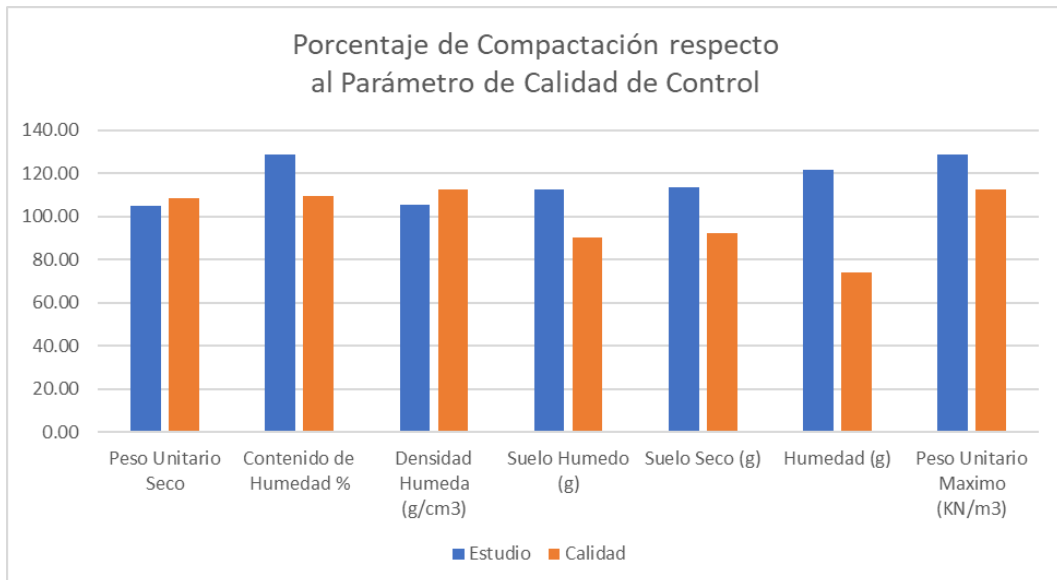
*Limites característicos de la Humedad óptima*



*Nota:* En la presente figura se aprecia los limites característicos de la humedad optima, los cuales son la humedad optima fracción fina y la humedad optima corregida, que contemplan en su magnitud un valor equivalente del 50% para ambos casos.

**Figura 48**

*Porcentaje de Compactación respecto al Parámetro de Calidad de Control*

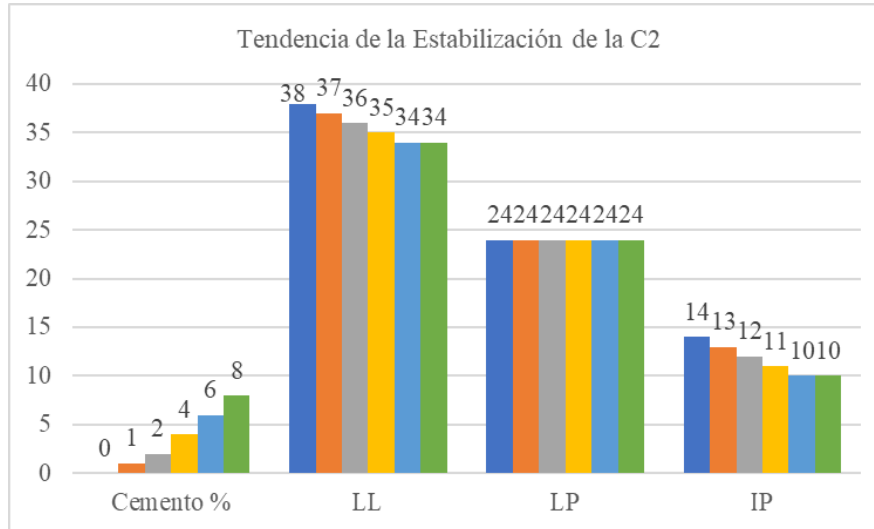


*Nota:* El efecto de la variabilidad de la compactación al incrementar los niveles de humedad, se corrobora con la existencia de una diferencia apreciable con respecto al parámetro de calidad de control, de un suelo en estado natural corregido con los valores indicados en la normativa.

#### 4.1.3.2.3 Hipótesis Específica C.

**Figura 49**

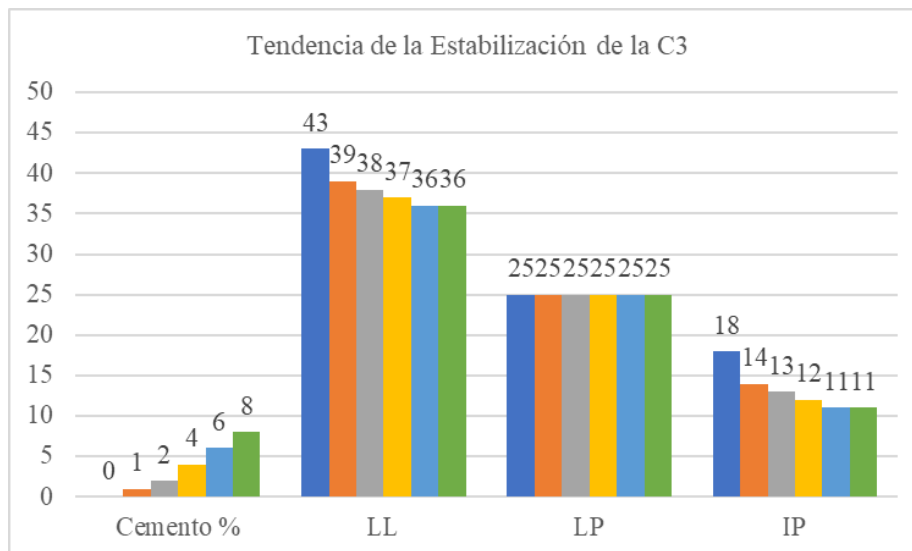
*Tendencia de la Estabilización de la C2*



*Nota:* En la presente figura se aprecian las variaciones existentes que suscitan al adicionar el cemento de manera porcentual, produciendo cambios en el LL, LP e IP alterando la magnitud de sus valores en una relación indirectamente proporcional, teniendo en cuenta que la tendencia es menor apreciable en el LP; este comportamiento indica que el suelo se encuentra en un estado consistente.

**Figura 50**

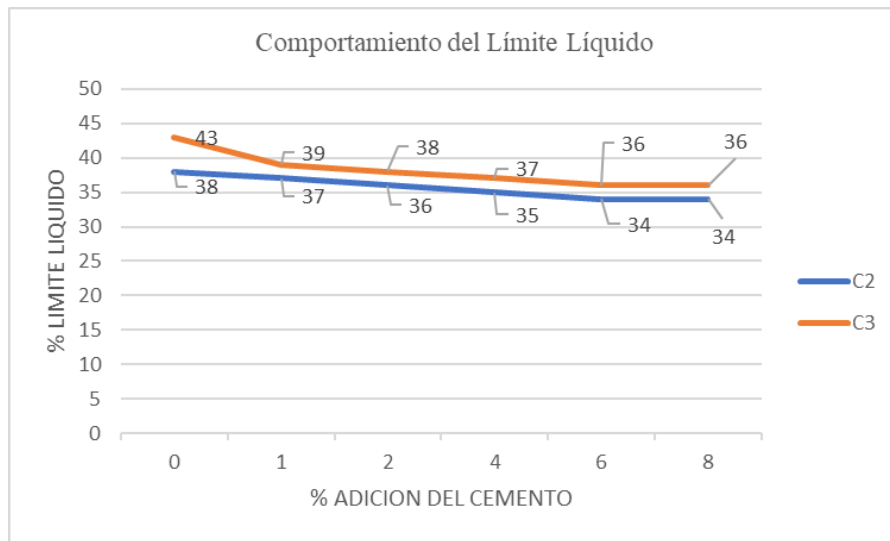
*Tendencia de la Estabilización*



*Nota:* En la presente figura se aprecian las variaciones existentes que suscitan al adicionar el cemento de manera porcentual, produciendo cambios en el LL, LP e IP alterando la magnitud de sus valores en una relación indirectamente proporcional, teniendo en cuenta que la tendencia es menor apreciable en el LP; este comportamiento indica que el suelo se encuentra en un estado consistente.

**Figura 51**

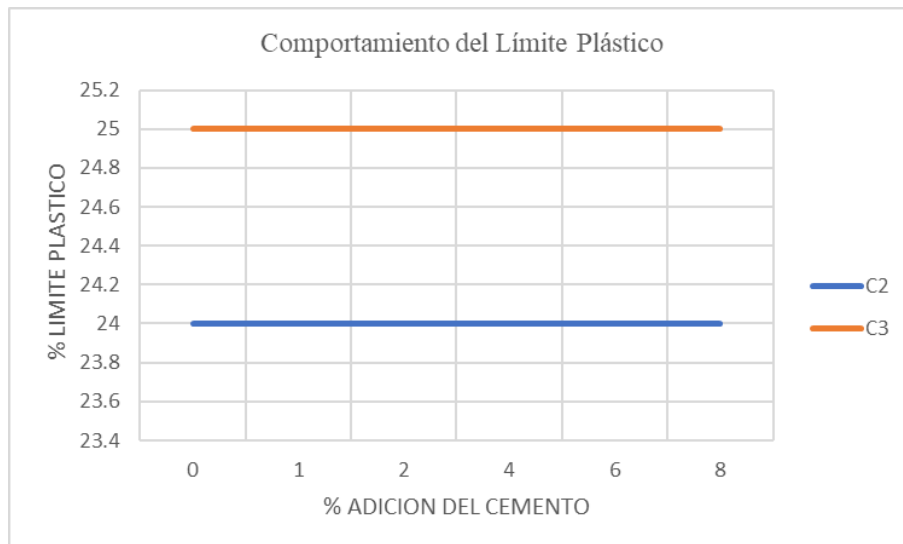
*Comportamiento del Límite líquido*



*Nota:* En la presente figura se aprecia la tendencia que experimenta el comportamiento de la propiedad del límite líquido causado por la adición de diferentes porcentajes de cemento, se logra visualizar cambios notorios en la línea del límite líquido al adicionar el cemento hasta un valor del 6%, a partir de este valor el comportamiento de la línea es constante, pero este suceso no indica que no exista una variación en sus características.

**Figura 52**

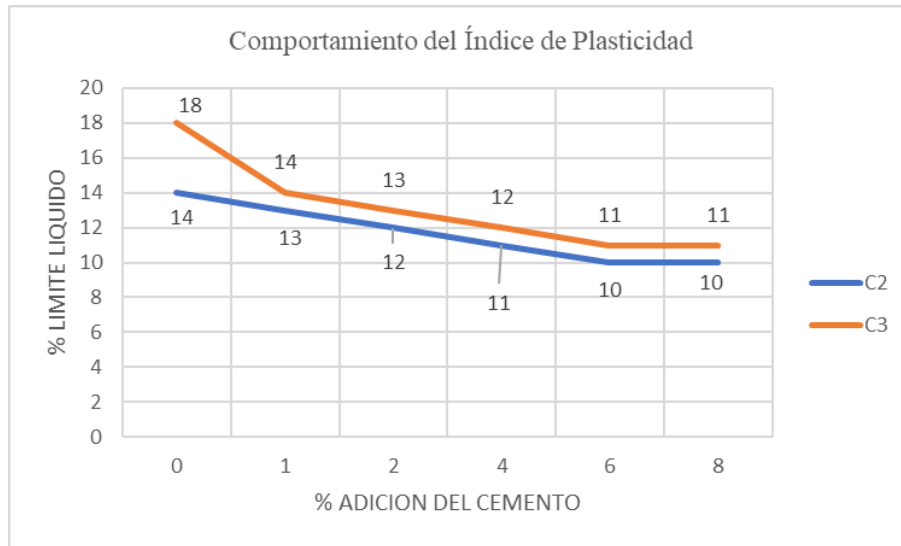
*Comportamiento del Límite plástico*



*Nota:* En la presente figura se aprecia la tendencia que experimenta el comportamiento de la propiedad del límite plástico causado por la adición de diferentes porcentajes de cemento, se logra visualizar que no existen cambios notorios en la línea del límite plástico al adicionar el cemento hasta un valor del 8%, sin embargo, en la información presentada por el laboratorio se encuentra una variación de decimales en el límite plástico, pero esta variación no se muestra en las líneas de tendencia, ya que, el laboratorio optó por no considerar los resultados en decimales.

**Figura 53**

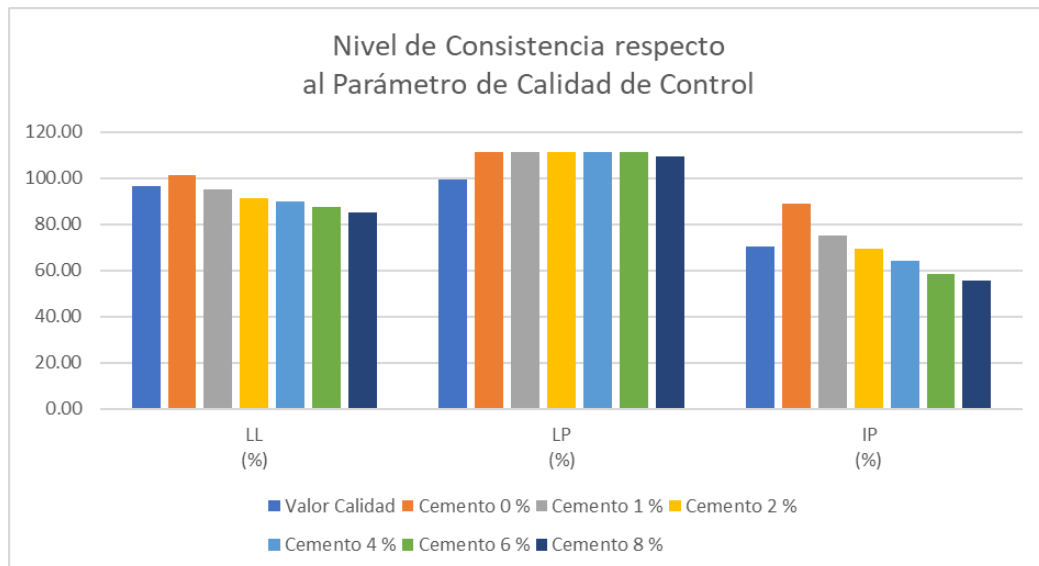
*Comportamiento del Índice de Plasticidad*



*Nota:* En la presente figura se aprecia la tendencia que experimenta el comportamiento de la propiedad del índice de plasticidad causado por la adición de diferentes porcentajes de cemento, se logra visualizar cambios notorios en la línea del índice de plasticidad al adicionar el cemento hasta un valor del 6%, a partir de este valor el comportamiento de la línea es constante, pero este suceso no indica que no exista una variación en sus características.

**Figura 54**

*Nivel de Consistencia respecto al Parámetro de Calidad de Control*



*Nota:* El nivel de consistencia de la estructura de un suelo se ve alterada al incrementar los porcentajes de la adición del cemento desde un valor del 1% al 8%, el comportamiento se corrobora al comparar este efecto con un parámetro de calidad de control de un suelo natural corregido por los valores estipulados en la normativa.

#### ***4.1.3.3 Estadística inferencial.***

Procediendo con el desarrollo de las actividades necesarias para obtener los valores estadísticos requeridos para la resolución de las hipótesis planteadas, teniendo en cuenta que se realizó el análisis respectivo de las características de los valores de estudio; el fin de esta etapa es lograr contextualizar y entender a un nivel lógico el comportamiento asumido en el planteamiento hipotético, siendo parte de la investigación el suponer un suceso que aún no ha ocurrido, con el objetivo de ser demostrado mediante gráficas, tablas o cálculos que permitan darle la veracidad en un estado probable de los resultados alcanzados. Para las hipótesis específicas que su contextualizan no es posible ser demostrada mediante herramientas básicas, es donde se emplea una estadística inferencial, la que permite obtener valores concluyentes de los hechos que están siendo evaluados en entorno contextualizado en la probabilidad de la estadística.

4.1.3.3.1 Hipótesis Específica B – Porcentaje de compactación.

a) Matriz de datos.

**Tabla 97**

*Matriz de Datos\_Estadística - Porcentaje de Compactación*

<b>Matriz de Datos_Estadística - Porcentaje de Compactación</b>						
N <sup>a</sup>	Matriz Estudio		Matriz Calidad		Exceso / Déficit	
	Magnitud	%	Magnitud	%	Magnitud	Δ
1	18.51	102.44	17.01	108.47	1.5	+
2	18.97	104.98	15.39	98.15	3.58	+
3	18.88	104.49	16.11	102.72	2.77	+
4	18.52	102.49	16.74	106.75	1.78	+
5	9.7	79.44	6.90	109.58	2.8	+
6	11.6	95.00	6.00	95.29	5.6	+
7	13.6	111.38	6.60	104.82	7	+
8	15.7	128.58	6.70	106.40	9	+
9	2.07	99.75	1.85	112.29	0.22	+
10	2.16	104.08	1.67	101.02	0.49	+
11	2.19	105.53	1.76	106.41	0.43	+
12	2.18	105.05	1.84	111.20	0.34	+
13	1087.1	100.16	126.30	90.08	960.8	+
14	1219.2	112.33	100.08	71.38	1119.12	+
15	1103.5	101.67	116.21	82.88	987.29	+
16	1087.9	100.23	120.10	85.65	967.8	+
17	990.8	102.76	118.07	92.26	872.73	+
18	1092.6	113.32	93.08	72.74	999.52	+
19	971.5	100.76	108.14	84.50	863.36	+
20	940.6	97.56	112.09	87.59	828.51	+
21	96.3	79.46	9.21	74.21	87.09	+
22	126.6	104.47	6.79	54.74	119.81	+
23	132	108.92	7.77	62.57	124.23	+
24	147.3	121.55	7.87	63.37	139.44	+
25	19.02	103.60	17.26	104.02	1.76	+

b) Alfa de Cronbach – Análisis de fiabilidad.

**Tabla 98**

Alfa de Cronbach – H2

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,867	2

Nota: IBM SPSS Statistics.

c) Prueba de normalidad

**Tabla 99**

Normalidad – H2

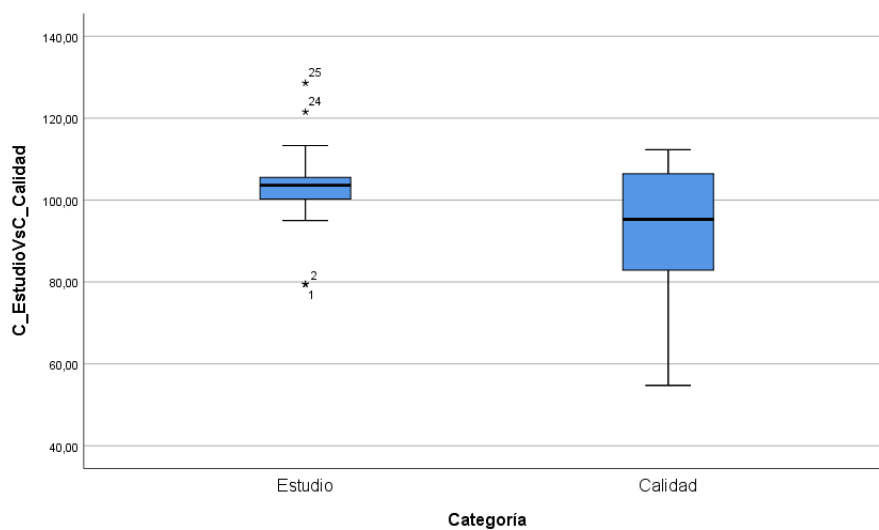
		Pruebas de normalidad					
Categoría	Estadístico	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C_EstudioVs	Estudio	,194	2	,01	,896	2	,01
			5	6		5	5
C_Calidad	Calidad	,151	2	,14	,914	2	,03
			5	4		5	8

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: IBM SPSS Statistics.

**Figura 55**

Gráfico de cajas - Normalidad – H2



Nota: IBM SPSS Statistics.

4.1.3.3.2 Hipótesis Específica C – Nivel de consistencia.

a) Matriz de datos.

**Tabla 100**

*Matriz de Datos\_Estadística - Porcentaje de Compactación*

<b>Matriz de Datos_Estadística - Nivel de Consistencia</b>							
N <sup>a</sup>	% Valor Normado Corregido	Cemento 0 %	Cemento 1 %	Cemento 2 %	Cemento 4 %	Cemento 6 %	Cemento 8 %
1	96.255775	101.25	95.00	91.25	90.00	87.50	85.00
2	99.09654015	111.36	111.36	111.36	111.36	111.36	109.09
3	70.16277968	88.89	75.00	69.44	63.89	58.33	55.56
4	99.11564024	112.50	111.80	113.23	113.93	111.20	108.91
5	99.07626543	112.00	111.23	112.80	110.89	109.82	108.73
6	99.02539228	95.55	89.74	87.98	87.10	83.54	82.63
7	97.550775	101.51	94.80	92.23	91.10	87.63	84.90
8	93.02893326	108.63	101.46	98.28	95.95	93.19	88.10
9	65.64737654	87.50	87.50	86.25	86.25	83.75	87.50
10	82.86959877	63.75	62.50	65.00	62.50	62.50	62.50
11	95.77469136	38.75	37.50	38.75	40.00	41.25	37.50
12	68.95033951	18.59	20.36	20.38	21.76	22.04	17.55
13	69.47130548	19.06	20.90	18.73	22.06	19.20	17.23
14	67.92980177	19.70	16.64	17.95	21.86	20.13	18.08
15	49.04347618	28.27	28.00	28.00	38.89	29.73	31.68
16	49.82638889	28.50	34.14	33.23	27.30	30.30	31.55
17	29.31394375	7.08	7.29	7.16	7.56	7.36	5.80
18	28.04719375	7.71	7.90	6.91	8.03	6.74	5.85
19	24.26165895	8.54	6.73	7.08	8.38	7.50	6.55
20	12.86060376	6.95	6.89	6.98	9.73	7.27	7.59
21	13.0867562	7.02	8.34	8.23	6.68	7.32	7.55
22	84.16181103	25.66	27.65	27.54	29.33	29.40	23.35
23	83.93771728	26.78	28.80	25.64	30.09	25.94	23.08
24	80.93949931	28.24	23.36	25.03	30.24	27.63	24.63
25	58.09726329	35.23	34.89	34.98	48.61	37.00	39.27
26	58.96238751	35.52	42.48	41.45	33.97	37.61	39.09



b) *Alfa de Cronbach – Análisis de fiabilidad.*

**Tabla 101**

*Alfa de Cronbach – Cemento 0% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,831	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 102**

*Alfa de Cronbach – Cemento 1% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,839	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 103**

*Alfa de Cronbach – Cemento 2% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,843	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 104**

*Alfa de Cronbach – Cemento 4% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,855	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 105***Alfa de Cronbach – Cemento 6% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,859	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.***Tabla 106***Alfa de Cronbach – Cemento 8% - H3*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,842	2

*Nota: IBM SPSS Statistics.*c) *Prueba de normalidad.***Tabla 107***Normalidad – Cemento 0% - H3*

		<b>Pruebas de normalidad</b>					
	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porc.0VsCalidad	Valor	,134	26	,200*	,898	26	,014
	Calidad						
Porc.0VsEstudio	Valor	,235	26	,001	,830	26	,001
	Estudio						

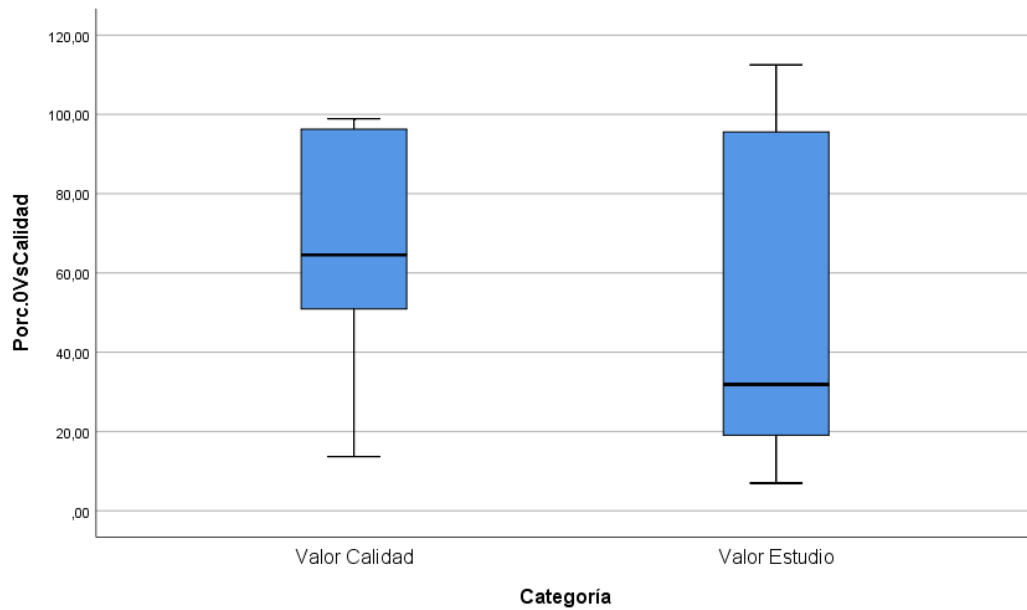
\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Figura 56**

*Cemento 0% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



Nota: IBM SPSS Statistics.

**Tabla 108**

*Normalidad – Cemento 1% - H3*

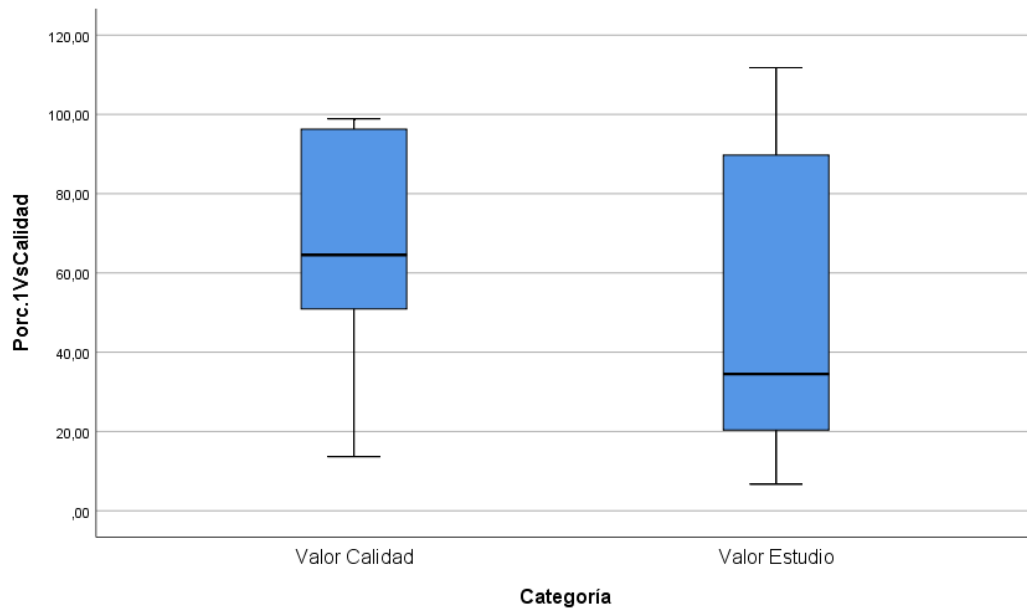
		Pruebas de normalidad					
Porc.1VsCalidad	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Valor Calidad	,134	26	,200*	,898	26	,014
	Valor Estudio	,202	26	,008	,860	26	,002

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: IBM SPSS Statistics.

**Figura 57**

*Cemento 1% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



Nota: IBM SPSS Statistics.

**Tabla 109**

*Normalidad – Cemento 2% - H3*

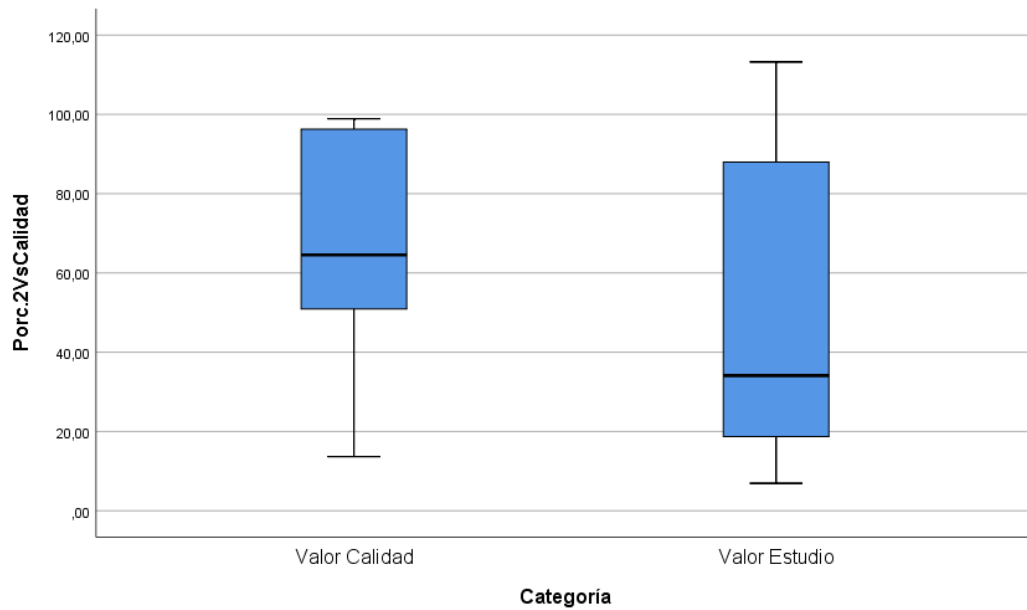
		Pruebas de normalidad					
Porc.2VsCalidad	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Valor Calidad	,134	26	,200*	,898	26	,014
	Valor Estudio	,195	26	,012	,866	26	,003

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: IBM SPSS Statistics.

**Figura 58**

*Cemento 2% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 110**

*Normalidad – Cemento 4% - H3*

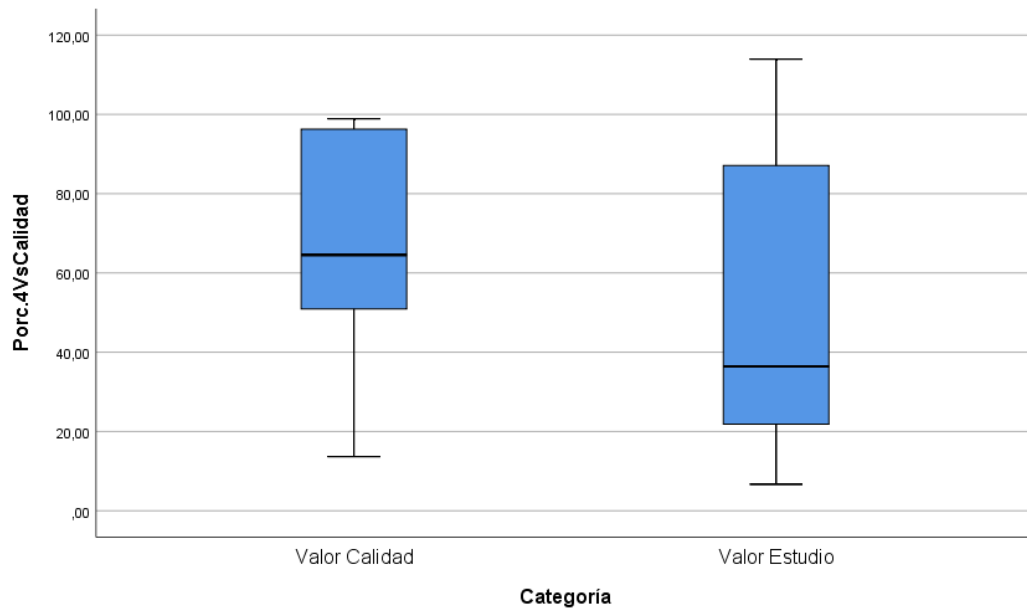
		<b>Pruebas de normalidad</b>					
	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porc.4VsCalidad	Valor	,134	26	,200*	,898	26	,014
	Estudio	,184	26	,024	,885	26	,007

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Figura 59**

*Cemento 4% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



*Nota:* IBM SPSS Statistics.

**Tabla 111**

*Normalidad – Cemento 6% - H3*

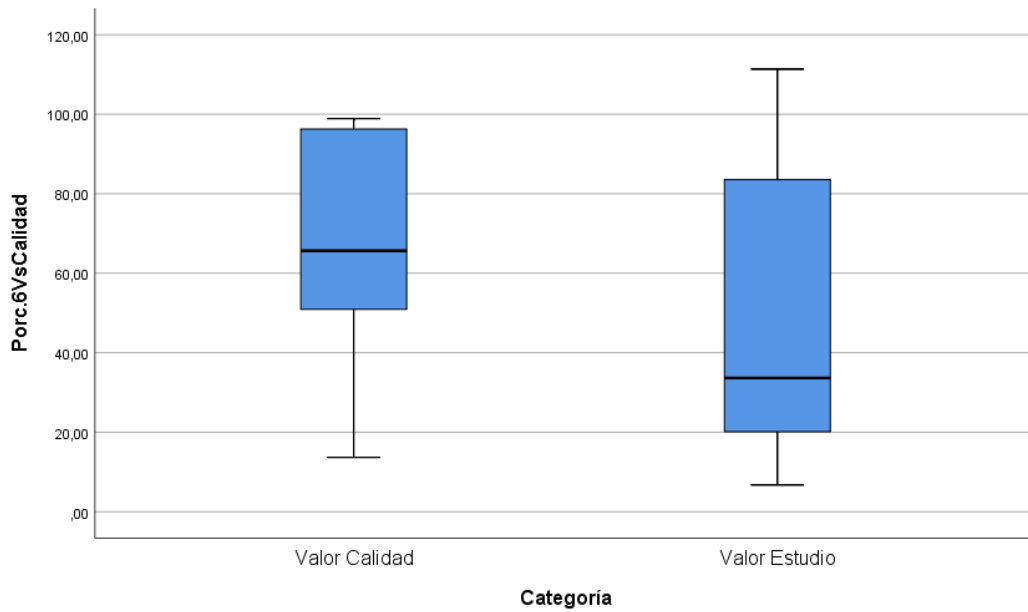
		<b>Pruebas de normalidad</b>					
	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porc.6VsCalidad	Valor Calidad	,146	26	,163	,890	26	,009
	Valor Estudio	,209	26	,005	,870	26	,004

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Nota:* IBM SPSS Statistics.

**Figura 60**

*Cemento 6% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



*Nota:* IBM SPSS Statistics.

**Tabla 112**

*Normalidad – Cemento 8% - H3*

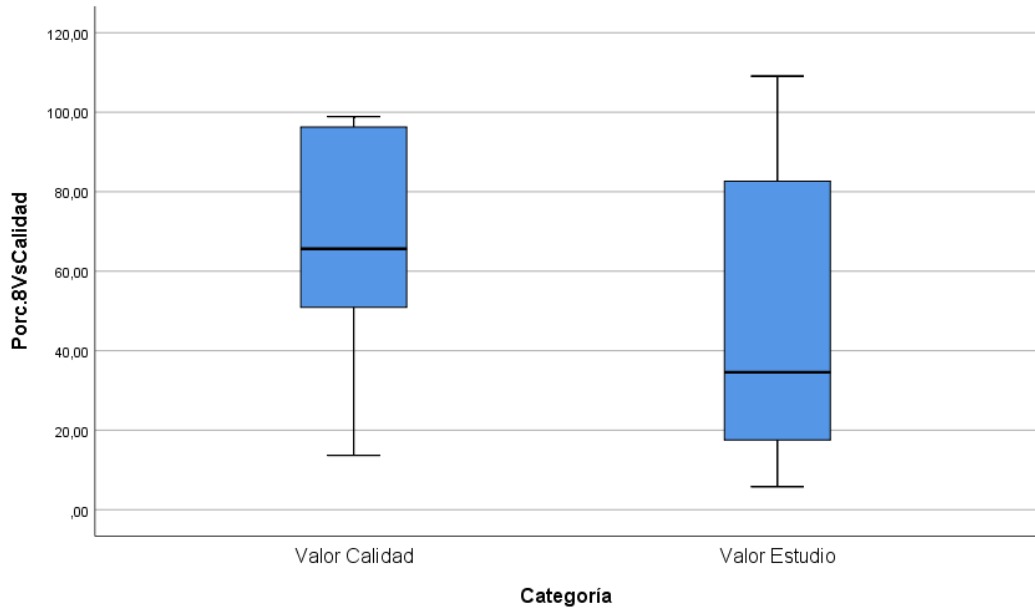
		Pruebas de normalidad					
	Categoría	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porc.8VsCalidad	Valor Calidad	,147	26	,152	,891	26	,010
	Valor Estudio	,216	26	,003	,871	26	,004

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Nota:* IBM SPSS Statistics.

**Figura 61**

*Cemento 8% - Grafico de cajas – Normalidad – H3*



*Nota: IBM SPSS Statistics.*



## **4.2 Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1 Hipótesis Específica A.**

#### ***4.2.1.1 Planteamiento Hipotético.***

Las características físico mecánicas de los suelos arcillosos afectarán negativamente a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### ***4.2.1.2 Estadísticos de Resolución.***

Para el desarrollo correcto de la investigación fue necesario hacer uso de diversas herramientas estadísticas, mismas que permitieron que se pueda obtener resultados con los cuales se logró llegar a responder a los cuestionamientos planteados en el estudio, teniendo en cuenta que la información con la que se resolvió los cuestionamientos se encuentran ubicados en los apartados 4.1.3.1 Matriz de datos y 4.1.3.2 Comparación de efectos, para lo obtención de los datos se emplearon la ejecución de ensayos, los cuales fueron llevados a cabo por el laboratorio Geotécnico Sergio E.I.R.L.

Mediante los ensayos se logró conocer con exactitud las propiedades físicas mecánicas del suelo a estudiar, con la finalidad de conocer si las propiedades que tiene el suelo influyen de manera negativa a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol.

Las propiedades físicas mecánicas del suelo, son las que afectan directamente a la resistencia que tendrá el terreno, cuando se ejerzan una fuerza externa. Estas propiedades determinan si el suelo cumple con las condiciones adecuadas y requeridas para efectuar un proyecto vial. Como es el caso de esta investigación, en donde se pretende analizar las propiedades del suelo de la av. el trébol, debido a

que este el terreno es el material de soporte de la estructura del pavimento y será el que absorberá en última instancia las cargas transmitidas por los vehículos que en el transiten.

#### **4.2.1.3 Hipótesis nula.**

Las características físico mecánicas de los suelos arcillosos no afectan negativamente a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### **4.2.1.4 Hipótesis alterna.**

Las características físico mecánicas de los suelos arcillosos afectan negativamente a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### **4.2.1.5 Resolución de la hipótesis.**

Para determinar la influencia negativa que producen las características físico mecánicas de los suelos arcillosos a la capa base del pavimento flexible de la AV el Trébol, fue relevante la ejecución de ensayos y la realización de análisis.

La información obtenida sobre las propiedades físicos mecánicos del suelo proporcionaron los siguientes resultados:

Ensayo del análisis granulométrico: para la realización del ensayo se realizó la apertura de tres (03) calicatas, C1, C2 y la C3, con la finalidad de determinar las características del tipo de suelo que será soporte de la capa base del pavimento flexible. Haciendo uso de lo consignado en la norma ASTM D 422 se logró encontrar y analizar los diferentes resultados.

La C1 es un suelo de Grava arena pobremente graduada con arcilla limosa de baja plasticidad, debido a lo siguiente:

- El porcentaje pasante del tamiz N° 200, resulto ser inferior al 50% convirtiendo el suelo en grueso.
- En el tamiz N° 4 el % pasante resulto ser mayor que 50% pasando a ser arena.
- Los coeficientes de uniformidad y curvatura dan a conocer que es pobremente graduada.
- Los límites de atterberg dan a conocer que contiene un suelo arcilloso limosa de baja plasticidad y cohesivo

En el caso del análisis de la C2 se encontró con un suelo fino arcillosa y de baja comprensibilidad, se resolvió que tiene esas características por la siguiente información:

- El porcentaje pasante del tamiz N° 200 es mayor que el 50% siendo un suelo fino.
- Los límites de Atterberg lo ubican en la tabla de plasticidad por encima del IPA siendo de esta manera el suelo arcilloso.
- Por el porcentaje de plasticidad que tiene la C2 es un suelo fino arcilloso de baja comprensibilidad.

Para la resolución del ensayo de la C3 los resultados obtenidos son semejantes al de la C2 por lo que la C3 es un suelo fino arcilloso de baja plasticidad debido a lo siguiente:

- El porcentaje pasante del tamiz N° 200 es mayor que el 50% siendo un suelo fino.
- Los límites de Atterberg lo ubican en la tabla de plasticidad por encima del IPA siendo de esta manera arcilla de mediana plasticidad.

El análisis de los ensayos de los límites de Atterberg realizados a diversas calicatas, C1, C2 y C3, dieron a conocer los siguientes resultados:

➤ En la C1 tiene como un máximo porcentaje de humedad un valor de 27.35% con un número de 25 golpes que según la norma ASTM 4318, indica con esa cantidad de golpes se produce el cierre de ranura, dando a conocer que el porcentaje de humedad del 27.35% el suelo de esta calicata tiene una humedad óptimo por lo que al disminuir o aumentar este porcentaje de humedad el suelo pasaría a ser un suelo plástico o un suelo semisólido hasta inclusive sería un suelo solido si el porcentaje de humedad disminuye, además presenta un índice de plasticidad de 7 y un límite plástico de 20.

➤ Mientras la C2 tiene como un máximo porcentaje de humedad un valor de 37.94% con una cantidad de golpes de 25, y un límite plástico de 24, finalmente su índice de plasticidad es de 14. El resultado encontrado del porcentaje de humedad de 37.94% da a conocer que al aumentar este porcentaje o al disminuir el porcentaje el suelo cambiaría su estado hacer muy plástico o hacer muy sólido.

➤ Por último, en la C3 el porcentaje de humedad es de 43% y el número de golpes correspondiente a la humedad es de 26 golpes, mientras tanto presenta un límite líquido 43 y su límite plástico es de 25, e índice de plasticidad de 18. El resultado encontrado en el suelo de esta calicata 03 da a conocer que el porcentaje de humedad óptimo es de 43% debido a que se presenta el cierre de ranura a 26 golpes, si se llega a incrementar el porcentaje de humedad el suelo automáticamente cambiaría de estado siendo un suelo en estado líquido.

Análisis de Humedad del suelo, el laboratorio procedió a realizar tres (03) ensayos, con la finalidad de conocer la humedad que presenta el suelo, razón por la

que se sustrajo 3 porciones de tierra de 3 calicatas diferentes determinándose lo siguiente:

- En la calicata C1 con la Tara de N° 11 se encontró un porcentaje de Humedad de 4.
- En la calicata C2 con la Tara de N° 7 se encontró un porcentaje de Humedad de 8.
- En la calicata C3 con la Tara de N° 11 se encontró un porcentaje de Humedad de 9.

Estos resultados dan a conocer que el suelo de la calicata 01 al encontrarse próxima a las calicatas 02 y 03 debía contener un porcentaje de humedad similar al de las calicatas 02 y 03 sin embargo se aprecia una diferencia del 4% y 5% entre esas calicatas respectivamente, por lo que una vez más se demuestra que el suelo no cuenta con las propiedades adecuadas para ser estable.

Ensayo de gravedad específica, el ensayo se realizó bajo el estudio de 3 calicatas la C1, C2 y C3; solo en esta circunstancia se logró conocer la composición de partículas con las que está conformada el suelo de estudio, el ensayo muestra que el promedio de la gravedad específica aparente del suelo es:

- Para la C1 su gravedad específica aparente promedio es 2.66 el cual indica que es un suelo arcilloso.
- Para la C2 su gravedad específica aparente promedio es 2.76 el cual indica que es un suelo arcilloso.
- Para la C3 su gravedad específica aparente promedio es 2.74 el cual indica que es un suelo arcilloso.

Los resultados encontrados en la gravedad específica aparente de las diferentes calicatas dan a conocer que la calicata C1 presenta un porcentaje de densidad aparente regular, sin embargo, en las calicatas 02 y 03 presentan una densidad aparente alta, lo cual indica que el suelo es compacto, por lo que no permite la permeabilidad del agua. dando como resultado un indicador que la calidad del suelo no es la más adecuada.

Análisis del ensayo de la Densidad del suelo, la prueba para la densidad humedad se realizó con el método A y la densidad seca con el método B, luego de obtener los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el laboratorio se procedió a realizar un análisis de la información en donde se logra conseguir los siguientes:

- Para la C2 la densidad humedad es de 2.16 y la densidad seca es de 2.34.
- En tanto para la C3 la densidad humedad es de 2.33 y la densidad seca es de 2.14.

Los resultados encontrados dan a entender con respecto a la densidad húmeda del suelo, la cual se denota en la calicata 02 y 03 una baja densidad en donde nuevamente se aprecia que el suelo no presenta las condiciones ni las propiedades óptimas para poder ser estable y soportar cargas.

Luego de haber analizado la información correspondiente a los ensayos físicos mecánicos del suelo, se logra encontrar que en efecto las propiedades físico mecánicas del suelo afectan negativamente a la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol.

## **4.2.2 Hipótesis Específica B.**

### ***4.2.2.1 Planteamiento Hipotético.***

El porcentaje de compactación de los suelos arcillosos disminuirán al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

### ***4.2.2.2 Estadísticos de Resolución.***

En la investigación se planteó la hipótesis sobre los porcentajes de compactación, en donde se expresa que estos porcentajes llegan a disminuir cuando se incrementan los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol.

Para el desarrollo de la investigación y solución al cuestionamiento de la hipótesis, el investigador contrato a un laboratorio que cuenta con todos los requerimientos de verificación y validación, para realizar ensayos necesarios.

El ensayo de compactación es una actividad que se ejecuta con la finalidad de obtener la información suficiente sobre el suelo, al realizarse en él, un impacto con fuerzas externas que logran presar sus partículas, todo con el único objeto de mejorar las propiedades del suelo.

Toda la información proveniente de los ensayos fue puesta en disposición en los apartados 4.1.3.1 Matriz de datos y 4.1.3.2 Comparación de efectos.

### ***4.2.2.3 Hipótesis nula.***

El porcentaje de compactación de los suelos arcillosos no disminuye al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### 4.2.2.4 Hipótesis alterna.

El porcentaje de compactación de los suelos arcillosos disminuye al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### 4.2.2.5 Valores estadísticos – H2.

**Tabla 113**

*Valores estadísticos - H2*

Caracteres Estadísticos	Investigación
Cálculo del Alfa de Cronbach	$0.867 \Rightarrow 1 - 0.867 = 0.133 \Rightarrow \alpha = 13.3 \%$
Nivel de Confianza	$0.867 = f = 86.7 \%$
	<i>Shapiro – Wilk</i>
	$P - valor = 0.01 \& 0.038$
Prueba de Normalidad	$\alpha = 0.133$
	Conclusión: Grafico y Calculo
	No provienen de una distribución normal
	Prueba No Paramétrica
Prueba Estadística	U Mann – Withney



#### 4.2.2.6 Selección de la prueba estadística – H2.

**Tabla 114**

*Selección de la prueba estadística - H2*

Pruebas No Paramétricas				Pruebas Paramétricas	
Variable Aleatoria		Nominal Dicotómica	Nominal Politómica	Ordinal	Numérica
Variable Fija	Un grupo	$\chi^2$ Bondad de Ajuste Binomial	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
Estudio Transversal Muestras Independientes	Dos grupos	$\chi^2$ Bondad Correccion de Yates Test exacto Fisher	$\chi^2$ de Homogeneidad	U Mann – Withney	T de Student (muestras Independientes)
	Más de dos grupos	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	H Kruskal – Wallis	Anova con un factor Intersujetos
Estudio Longitudinal Muestras Relacionadas	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	Anova para medidas repetidas Intrasujetos

#### 4.2.2.7 U Mann – Withney.

**Tabla 115**

*U Mann – Withney – H2*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	C_EstudioVs
	C_Calidad
U de Mann-Whitney	204,000
W de Wilcoxon	529,000
Z	-2,105
Sig. asintótica(bilateral)	,035

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota:* IBM SPSS Statistics.

#### ***4.2.2.8 Resolución de la hipótesis.***

El laboratorio encargado de sustraer toda la información del suelo brindó al investigador toda la información encontrada, con estos datos el investigador procedió a realizar el análisis. Una vez estudiada la información se concluyó lo siguiente:

Al ejecutar el análisis obtuvieron los siguientes valores del peso unitario 18.51, 18.97, 18,88 y 18.52, dando a conocer que el peso unitario óptimo es de un valor de 18.97, mismo que cuenta con un porcentaje de humedad de 11.6%. Por lo tanto, el nivel óptimo de humedad es de 11.6%, este porcentaje estaría indicando que al producirse un incremento en la cantidad de humedad por encima de él, el peso unitario disminuiría, afectando desde luego la estructura del suelo, perdiendo además su consistencia, por lo que no tendría la capacidad suficiente para soportar las cargas actuantes, dando como resultado una variación de su estructura sin retorno a su estado inicial.

Por lo expuesto en el párrafo anterior se logra concluir que el suelo será estable solo si no se llega a sobre pasar el 11.6 % de humedad con un peso unitario de 18.97, de esta manera se llega a responder a la hipótesis planteada, que el porcentaje de compactación de los suelos arcillosos disminuye al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol.

**Tabla 116**

*Evaluación P\_valor - Compactación – H2*

---

<b>Evaluación del P_valor vs <math>\alpha</math></b>		
$P_{valor} = 0.035$	<	$\alpha = 0.133$

---

**Conclusión:**

Existe una diferencia significativa.

Se acepta la hipótesis del investigador

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida  $P_{valor} \leq \alpha$ , rechace  $H_0$  (Se acepta  $H_1$ )

Si la probabilidad obtenida  $P_{valor} > \alpha$ , no rechace  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

---

Después de analizar los resultados obtenidos de aplicar la prueba estadística U Mann Withney, se concluye que, existe una diferencia significativa porque el contenido de humedad altera las características del suelo en su estado de consistencia, consiguiendo un suelo más compacto al adicionar un porcentaje adecuado del recurso hídrico. Entonces se determina que al proceder con la adición del agua se producirá una alteración de sus características y al revisar los gráficos sabemos que ese efecto es positivo para su compactación hasta cierto nivel de añadidura.

### **4.2.3 Hipótesis Específica C.**

#### ***4.2.3.1 Planteamiento Hipotético.***

El nivel de estabilización de los suelos arcillosos aumentará al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### ***4.2.3.2 Estadísticos de Resolución.***

Para el desarrollo de esta hipótesis fue necesario que el laboratorio contratado haga ensayos con la adición del cemento con porcentajes de 0% a 8%, esto con la finalidad de encontrar, si el suelo llegaría a tener mejor estabilidad cuando se le adicione el cemento o por lo contrario se volvería inestable.

Para este caso fue necesario y conveniente distribuir la información proveniente de los ensayos en diferentes apartados, los cuales se encuentran ubicados en 4.1.3.1 Matriz de datos y 4.1.3.2 Comparación de efectos.

El suelo por sí solo no contiene las características necesarias y suficientes para que le permitan ser estable, logrando ser capaz de soportar diversos porcentajes de cargas y mantenerse en un estado consistente, sin embargo, existen diversos factores que afectan la estabilidad natural del suelo. Es así que cuando se requiere realizar la ejecución de un proyecto, es necesario que se haga diversas investigaciones a fin de entender y comprender las propiedades físicas con las que cuenta el suelo, y tener en cuenta qué material se deberá adicionar para que se genere una estabilización, si la estructura del suelo lo requiere.

La estabilización del suelo permite que éste sea capaz de resistir, la ocurrencia de un ablandamiento por la humedad, además de permitir disminuir su

permeabilidad; logrando que el suelo tenga una mejor gradación del tamaño de sus partículas.

#### 4.2.3.3 *Hipótesis nula.*

El nivel de estabilización de los suelos arcillosos no aumenta al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### 4.2.3.4 *Hipótesis alterna.*

El nivel de estabilización de los suelos arcillosos aumenta al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua – 2021.

#### 4.2.3.5 *Valores estadísticos – H3.*

**Tabla 117**

*Valores estadísticos – Adición de Cemento - H3*

Valores estadísticos - Adición de Cemento - H3							
Adición de Cemento	Alfa de Cronbach	Fiabilidad	Normalidad		Sig. V_2	Condición	Prueba Estadística
			Sig. V_1	Condición			
0 %	0.169	0.169	0.014	No Paramétrica	0.001	No Paramétrica	U Mann – Withney
1 %	0.161	0.161	0.014	No Paramétrica	0.002	No Paramétrica	U Mann – Withney
2 %	0.157	0.157	0.014	No Paramétrica	0.003	No Paramétrica	U Mann – Withney
4 %	0.145	0.145	0.014	No Paramétrica	0.007	No Paramétrica	U Mann – Withney
6 %	0.141	0.141	0.009	No Paramétrica	0.004	No Paramétrica	U Mann – Withney
8 %	0.158	0.158	0.01	No Paramétrica	0.004	No Paramétrica	U Mann – Withney

### 4.2.3.6 Selección de la prueba estadística – H3.

**Tabla 118**

*Selección de la prueba estadística - H3*

		Pruebas No Paramétricas			Pruebas Paramétricas
Variable Aleatoria		Nominal Dicotómica	Nominal Politómica	Ordinal	Numérica
Variable Fija	Un grupo	$\chi^2$ Bondad de Ajuste Binomial	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
Estudio Transversal Muestras Independientes	Dos grupos	$\chi^2$ Bondad Correccion de Yates Test exacto Fisher	$\chi^2$ de Homogeneidad	U Mann – Withney	T de Student (muestras Independientes)
	Más de dos grupos	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	$\chi^2$ Bondad de Ajuste	H Kruskal – Wallis	Anova con un factor Intersujetos
Estudio Longitudinal Muestras Relacionadas	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	Anova para medidas repetidas Intrasujetos

#### 4.2.3.7 U Mann Withney.

**Tabla 119**

*U Mann Withney – Cemento 0% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.0VsCalidad
U de Mann-Whitney	273,000
W de Wilcoxon	624,000
Z	-1,190
Sig. asintótica(bilateral)	,234

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 120**

*U Mann Withney – Cemento 1% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.1VsCalidad
U de Mann-Whitney	255,000
W de Wilcoxon	606,000
Z	-1,519
Sig. asintótica(bilateral)	,129

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

**Tabla 121**

*U Mann Withney – Cemento 2% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.2VsCalidad
U de Mann-Whitney	250,000
W de Wilcoxon	601,000
Z	-1,611
Sig. asintótica(bilateral)	,107

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.*



**Tabla 122***U Mann Withney – Cemento 4% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.4VsCalidad
U de Mann-Whitney	253,000
W de Wilcoxon	604,000
Z	-1,556
Sig. asintótica(bilateral)	,120

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.***Tabla 123***U Mann Withney – Cemento 6% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.6VsCalidad
U de Mann-Whitney	226,000
W de Wilcoxon	577,000
Z	-2,050
Sig. asintótica(bilateral)	,040

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.***Tabla 124***U Mann Withney – Cemento 8% - H3*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Porc.8VsCalidad
U de Mann-Whitney	223,000
W de Wilcoxon	574,000
Z	-2,105
Sig. asintótica(bilateral)	,035

a. Variable de agrupación: Categoría

*Nota: IBM SPSS Statistics.*

#### **4.2.3.8 Resolución de la hipótesis.**

Para el desarrollo de esta hipótesis y poder obtener los resultados que permitirán aceptar o rechazar el planteamiento hipotético, fue necesario realizar diversos ensayos a las calicatas C2 y C3 en donde se realizó una adición del cemento tipo IP en diferentes porcentajes de 0% al 8%.

Una vez obtenía la información se procedió a realizar un análisis, por medio de las gráficas y figuras que fueron proporcionadas por el laboratorio, encontrando la siguiente interpretación:

El límite líquido de la calicata C2 se vio afectado al incrementarse de manera progresiva el porcentaje de cemento, el cual empezó a disminuir su límite líquido. Esta disminución quiere decir que el suelo va a cambiar de estado, pasando a ser un suelo con una fase más consistente, por lo tanto, este terreno será capaz de soportar las cargas y será un suelo estable.

Mientras tanto el límite líquido de la calicata C3 también se vio afectado por lo que redujo del 43% al 36%, produciéndose esta disminución mientras se iba incrementando el porcentaje de adición de cemento, lo cual indica que el suelo no será muy plástico y tendrá la capacidad suficiente para ser estable.

Otro de los resultados que se pudieron obtener al analizar los ensayos, son en las calicatas C2 y C3, en donde se logra apreciar en las tablas 26 y 38 una variación en los porcentajes de humedad del límite plástico, no obstante esta variación es en decimales, por lo que el laboratorio arroja un resultado en número entero, el cual da a entender a simple vista en la figura 45 que no se producen ninguna variación en sus porcentajes plásticos, dando a entender una vez más que la adición de diversos porcentajes del cemento Tipo IP en el suelo arcilloso produce una variación de los

límites plásticos en las calicatas C2 y C3, haciendo que el suelo pueda ser capaz de soportar cargas y sea estable.

Por consiguiente, en la figura 43 se logra apreciar una alteración en el índice de plasticidad de las calicatas C2 y C3, en donde se muestra una reducción en su plasticidad a medida que se va incrementando el porcentaje de la edición de Cemento Tipo IP en el suelo de estudio.

En conclusión, luego de haber analizado las gráficas y figuras se puede concluir que, en efecto, se produce un incremento en el nivel de estabilización de los suelos arcillosos a medida que va aumentando el porcentaje de adición del cemento Tipo IP en el terreno constituido por material arcilloso, por lo que se procede a aceptar la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 125**

*Evaluación P\_valor - Adición de Cemento - H3*

<b>Evaluación P_valor - Adición de Cemento - H3</b>				
N <sup>a</sup>	Cemento	P_valor	$\alpha$	Condición
1	0 %	0.234	0.169	H0
2	1 %	0.129	0.161	H1
3	2 %	0.107	0.157	H1
4	4 %	0.12	0.145	H1
5	6 %	0.04	0.141	H1
6	8 %	0.035	0.158	H1

Si la probabilidad obtenida  $P\_valor \leq \alpha$ , rechace  $H_0$  (Se acepta  $H_1$ )

Si la probabilidad obtenida  $P\_valor > \alpha$ , no rechace  $H_0$  (Se acepta  $H_0$ )

$H_1$ =Existe una diferencia significativa

$H_0$ =No existe una diferencia significativa

**Conclusión:**

Se acepta la hipótesis planteada del investigador

Después de analizar los resultados obtenidos de aplicar la prueba estadística U Mann Withney, se concluye que, al realizar una adición del 0% del cemento se corrobora la inexistencia de una diferencia significativa, porque no se evidencia alteraciones o mejoras en sus propiedades en una magnitud porcentual significativa, con respecto al parámetro de control de otro suelo en estado natural corregido por los parámetros estipulados en la normativa. En el caso en donde se inicia la adición del cemento en proporciones de 1% al 8%, se empieza a evidenciar la existencia de una diferencia significativa con respecto a sus propiedades, porque el cemento empieza a perturbar sus características del suelo, entonces se determina que el cemento altera las características del suelo y mediante los gráficos sabemos que ese efecto es positivo para su estructura.

### **4.3 Discusión de resultados**

#### **4.3.1 Resultados de las propiedades físico mecánicas y el efecto en la capa base del pavimento.**

El laboratorio geotécnico Sergio E.I.R.L fue contratado para que proceda a realizar diversos ensayos a diferentes calicatas, todo ello con la finalidad de poder obtener información que permita responder al cuestionamiento, de sí en verdad las propiedades físico mecánicas del suelo influyen de manera negativa a la capa base del pavimento flexible en la avenida el trébol. La información que se obtuvo por medio del laboratorio fue analizada y con el resultado obtenido se llegó a la conclusión, que las propiedades físico mecánicas del suelo afectan de manera negativa a la capa base del pavimento flexible.

El suelo de estudio de la investigación tiene propiedades que no benefician por sí solas a la capa base del pavimento flexible; dentro de los resultados obtenidos se aprecia que el suelo de la calicata 01 es grava arena con arcilla limosa de baja plasticidad, debido a que el porcentaje del pasante no superan el 50% del tamiz #200 , sin embargo, cuando se realizó el análisis para el tamiz #4 el porcentaje pasante superaba el 50% de este, mientras tanto el límite líquido y plástico se encuentran por debajo del 30% e índice de plasticidad tiene un valor de 7.

En referencia al estudio de la calicata 02 y 03 presentan resultados similares por lo que ambos son un suelo fino arcilloso de mediana plasticidad, ya que, ambas calicatas han superado el porcentaje pasante del tamiz #200 y sus índices de plasticidad se encuentran entre 14 y 18 respectivamente.

Por lo tanto, que el suelo de investigación tenga estas propiedades significa que no es estable, además de encontrarse que tiene poca resistencia al soporte de cargas, lo que claramente dificultara y será un gran problema para la capa base del pavimento flexible, por lo que, cuando los automóviles lleguen a transitar por esa avenida causaran daños en su sistema y la población se verá afectada de manera indirecta, perjudicando en sus actividades cotidianas.

Otro de los resultados obtenidos por medio del análisis realizado a estos ensayos ejecutados por el laboratorio Sergeo E.I.R.L., da a conocer qué en la calicata 02 y la calicata 03 no se tiene una buena distribución del material, por lo tanto, el suelo es deficiente, lo que ocasiona grandes vacíos en el momento de la compactación, teniendo una clasificación de un terreno mal graduado.

**Tabla 126**

*Discusión - Porcentaje de compactación y el nivel de humedad*

<b>Discusión - Análisis de las Propiedades físico mecánicas</b>							
Ítem	Autores	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Humedad Natural	SUCS	AASHTO
1	Meneses Mamani, E. (2022)	27	20	7	4	SP	A-2-4 (0)
		38	24	14	8	SC	A-2-6 (0)
		43	25	18	9	CL	A-2-2 (0)
		30.52	14.61	15.92	10.93	SC	A-6 (0)
		28.07	18.88	9.19	7.76	SC	A-2-4 (0)
2	Urcia García, F. (2017)	33.6	21.83	11.78	14.31	GC	A-6 (0)
		27.43	15.9	11.52	8.83	SC	A-6 (0)
		24.82	14.29	10.52	10.17	SC	A-6 (0)
		25.79	16.86	7.92	10.78	SC	A-2-4 (0)
3	Nureña Zavaleta, J. (2017)	26.2	10.5	15.7	2.9	SC	A-2-6 (0)
		NP	NP	NP	1.6	SM	A-2-5 (0)
		23.1	15.1	8	2.2	SC	A-2-6 (0)

Se efectuó el estudio de las características físico mecánicas de los suelos arcillosos y el efecto en la capa base del pavimento flexible, para determinar qué aspectos mecánicos del terreno tienden a tener mayor incidencia en la estructura. Resultados similares encontramos en el estudio de Urcia (2017) que tiene como propósito evaluar la influencia de las propiedades físico mecánicas del suelo a nivel de afirmado, aplicando procedimientos como el análisis de la Granulometría por tamizado, Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad. En otro enfoque encontramos en el estudio de Nureña (2017) que tiene como propósito evaluar las propiedades físico mecánicas de los tipos de suelos de adobes constructivos, aplicando procedimientos como el análisis de la Granulometría por tamizado, Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

#### **4.3.2 Resultados del porcentaje de compactación y el nivel de humedad.**

Para obtener el porcentaje de compactación y el nivel óptimo de humedad del suelo de investigación es necesario que el laboratorio contratado realice un estudio, el cual da a conocer por medio de un análisis realizado por el investigador lo siguiente: de los 4 puntos estudiados el punto 2 es donde se obtiene el máximo nivel del porcentaje de humedad con 11.6% el cual tiene un peso unitario seco de 18.97.

En la gráfica 38 se visualiza claramente que el punto 4 es el punto donde el peso unitario decae y en el cual la densidad seca decrece, por lo que, se encuentran cada uno en 18.52 y 1.89 respectivamente; mientras tanto, el porcentaje de humedad se incrementa hasta llegar al 15.7%, lo cual estaría por encima del porcentaje de humedad óptimo en el momento de la compactación.

Toda la información analizada da conocer que el suelo únicamente será estable si el porcentaje de humedad no supera el antes mencionado, sin embargo, si se sobrepasa el límite indicado, el suelo sufriría una disminución por parte de la densidad seca y lo mismo sucedería con el peso unitario, haciendo que el suelo sea inestable y no sea consistente ni capaz de soportar el peso de cargas.



**Tabla 127***Discusión - Porcentaje de compactación y el nivel de humedad*

<b>Discusión - Porcentaje de compactación y nivel de humedad</b>						
Ítem	Autores	% Humedad	Peso Unitario Seco (KN/m <sup>3</sup> )	% Humedad Optimo	Peso Unitario Máximo (KN/m <sup>3</sup> )	% Compactación
1	Meneses Mamani, E. (2022)	9.70	18.51	12.7	19.02	98.42%
		11.60	18.97			
		13.60	18.88			
		15.70	18.52			
		6.90	15.49			
2	Gongora Velasquez, C. (2019)	6.80	15.52	6.63	16.41	98.82%
		6.90	15.47			
		6.00	17.02			
		6.50	17.01			
		6.70	16.80			

Se efectuó el estudio del porcentaje de compactación de los suelos arcillosos al incrementar los niveles de humedad, para determinar el nivel de humedad óptima para mejorar las características de resistencia del suelo a cargas externas. Resultados similares encontramos en el estudio de Gongora (2019) que tiene como propósito determinar el nivel de humedad óptima para mejorar las características de resistencia del suelo a cargas externas.

### **4.3.3 Resultados del nivel de estabilización y la adición de un cemento tipo IP.**

Los estudios realizados por el laboratorio permitieron conocer el incremento en el nivel de estabilización del suelo, suceso que ocurre cuando se le adiciona un porcentaje de cemento tipo IP al suelo de investigación, como anteriormente ya se había mencionado las características del suelo no son las más óptimas ni las más adecuadas para trabajar con ellas, por lo que fue necesario realizar una adición de cemento tipo IP, para ver si éste terreno llegara a mejorar en su nivel de estabilización.

Cómo se visualiza en la figura 42 de la calicata C2 y figura 43 de la calicata C3, a medida que se va incrementando los porcentajes de cemento se va disminuyendo el límite líquido y de la misma manera sucede con el índice de plasticidad, que de consignar un valor de 18 llega a decrecer a un valor de 11. A medida que se llegaba a incrementar el porcentaje de cemento, las propiedades del suelo van mejorando, esto claramente indica que el suelo puede ser capaz de soportar mayores cargas.

Finalmente se logra visualizar que el nivel de estabilización del suelo de la presente investigación, llega a aumentar cuando se le proporciona una adición de cemento tipo IP, logrando incrementar la capacidad de soporte del suelo.

La mejora en la estabilización del suelo, ocurre debido a que las propiedades del cemento tipo IP proporcionan al terreno una reducción en su deformación y hace posible que éste sea más resistente, esto se logra visualizar en la figura 42 y figura 43, porque el límite líquido empieza a disminuir siendo  $< 40$  y su índice de plasticidad presenta el mismo comportamiento, llegando a un valor del 11%, por lo

tanto, el suelo pierde en un porcentaje la propiedad plástica, teniendo como resultado una disminución en la humedad, todo eso con lleva a que se pueda producir el incremento en el nivel de la estabilización del suelo.

La adición del cemento resulta ser el método más efectivo para este tipo de suelos, por esta razón, estaría permitiendo que se logre una estabilización y presentaría una mejora en su comportamiento a mayores cargas, convirtiendo al suelo apto para la estructura de la capa base del pavimento flexible.

**Tabla 128**

*Discusión - Nivel de estabilización y la adición de un cemento tipo IP*

<b>Discusión - Nivel de estabilización y la adición de un cemento tipo IP</b>			
Ítem	Autores	Material	%
1	Meneses Mamani, E. (2022)	Cemento Portlant Tipo I - Adición del 1% al 8%	Nivel de consistencia incrementa = 23.57 %
2	Ayala Lozano, E. & Gallardo Terrones, E. (2015)	Cemento Portlant Tipo I - Adición del 1% al 8%	Capacidad de soporte incrementa = 167 %
3	Benavides Sempértegui, F. (2016)	Cemento Portlant Tipo I - Adición del 1% al 6%	Capacidad de soporte incrementa = 122.10 %
4	Astorga Montaña, (2018)	Lechada Asfáltica + Escoria Adición del 30% al 100%	Capacidad de Desgaste decrece = 71.88 %
5	Arias, C. & López, K., (2020)	Calamina Adición del 5% al 35%	Capacidad de Desempeño incrementa = 15.43 %
6	Vacca, H. (2023)	Concreto de Ultra Alto desempeño	Capacidad de Flexión decrece = 40 %

Se efectuó el estudio de la capa base del pavimento flexible en tres (03) calicatas de estudio, para incrementar el nivel de estabilización de los suelos arcillosos con la adición de un cemento tipo IP. Resultados similares, se aprecia en la investigación realizada por Ayala & Gallardo (2015), que está enfocada en estabilizar la base de un pavimento rígido con cemento Portland tipo I adicionando diferentes porcentajes (2%, 4%, 6%, 8%), utilizando agregados provenientes de las

canteras El Gavilán, don Lucho y el río Chonta. De la misma manera, Benavides (2016) que tiene como objetivo determinar el comportamiento estructural del material de la base de los pavimentos flexibles al adicionar una magnitud del 2%, 4% y 6% de cemento Portland tipo I. Resultados diferentes encontramos, en la investigación realizada por Astorga (2018), que está enfocada en mejorar las propiedades de las mezclas de lechadas asfálticas con escoria de cobre, las que fueron sometidas a los ensayos correspondientes. La pérdida de material o desgaste de lechadas asfálticas se ve disminuido a medida que se aumenta el contenido de escoria de cobre, en cambio, la exudación de lechadas asfálticas es mayor a medida que el contenido de escoria de cobre va aumentando, pero sin sobrepasar el nivel de exudación máximo permitido. Resultados distintos, hallamos en la investigación realizada por Arias & López (2020), que realiza un estudio y análisis de desempeño de una mezcla asfáltica que incorpora material calamina a su estructura, a través de una equiparación de propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica usual y una mezcla asfáltica modificada. La modificación en la mezcla resulta de la adhesión por vía seca de material calamina en porcentajes del 5%, 15%, 25% y 35% del volumen total de agregado usado para el diseño de una mezcla asfáltica. Resultados desiguales, localizamos en la investigación realizada por Vacca (2023), que analiza el procedimiento de la rehabilitación de pavimentos flexibles o rígidos con una sobrecarpeta rígida, la que consiste en la aplicación de una capa de concreto hidráulico sobre la carpeta existente, con el objetivo evaluar la viabilidad técnica del uso sobrecarpetas de Concreto de Ultra Alto desempeño reforzado con fibras metálicas (UHPRFC) en la rehabilitación de un pavimento flexible.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

En la presente investigación se ejecutaron diversos estudios al terreno de la investigación, tarea que fue realizada por el laboratorio Geotécnico E.I.R.L., proporcionándole al investigador diversos ensayos sobre las propiedades físico mecánicas del suelo, la compactación y la adición de un cemento tipo IP; todos estos ensayos fueron consignados por medio de lineamientos que impiden la alteración de la información. Como consecuencia se logró llegar a las siguientes conclusiones:

**Primera.** En esta tesis se analizó el efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua; las condiciones particulares que presenta el suelo arcilloso no le permiten ser un buen material para brindarle el nivel de estabilización requerida por la capa base del pavimento flexible, por lo que al adicionarle un cemento tipo IP, se logra conseguir que el terreno cuente con las propiedades de un suelo bien graduado.

**Segunda.** En esta tesis se identificó las características físico mecánicas del suelo arcilloso de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua; el cual resulta tener características inapropiadas, por lo que no presenta las condiciones adecuadas para proporcionarle beneficios positivos a la capa base del pavimento flexible. El suelo de la investigación presenta propiedades de un fino arcilloso y arcilla limosa.

**Tercera.** En esta tesis se determinó que el porcentaje de compactación del suelo arcilloso disminuirá al incrementar los niveles de humedad de la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol distrito San Antonio, Moquegua; se encontró un porcentaje máximo de humedad de 11.6%, resultando ser este el porcentaje óptimo de humedad del terreno para la compactación, por consiguiente, si se produce un incremento en el porcentaje automáticamente se iniciará la disminución de la estabilidad del suelo.

**Cuarta.** En esta tesis se evaluó el nivel de estabilización de los suelos arcillosos al adicionar un cemento tipo IP en la capa base del pavimento flexible de la AV El Trébol, distrito San Antonio, Moquegua; en medida que se realizaba el incremento en el porcentaje de adición del cemento tipo IP al suelo arcilloso, se produjo una reducción en el límite líquido, en el límite plástico y en el índice de plasticidad. Conociéndose la reducción de los valores en la calicata 03 de un 43% al 36%, encontrando su límite líquido por debajo del 40%, mientras, que el índice de plasticidad disminuye gradualmente de 18% a 11%; para lo cual se concluye que la adición del cemento tipo IP beneficia al nivel de estabilización en la capa base del pavimento flexible.

## 5.2. Recomendaciones

Posterior a la ejecución de los ensayos y la interpretación de los análisis de la información proporcionada por el laboratorio geotécnico Sergio EIRL se logra concluir con la investigación, finalmente se procede a realizar la descripción de las pautas que permitirán a futuras investigaciones ser ejecutadas cumpliendo cabalmente las normas y los lineamientos establecidos en los proyectos de investigación, a continuación, el desarrollo de las pautas:

**Primera.** La recomendación que se genera va enfocado directamente al cumplimiento de confiabilidad de la información, razón por la cual los investigadores deben de asegurarse que los ensayos ejecutados se efectúen siguiendo los parámetros de los procedimientos consignados en cada proyecto.

**Segunda.** Se recomienda a los investigadores que decidan extraer información del terreno de la investigación, ejecutar estas actividades por medio de fuentes seguras como entidades u organizaciones que cumplan con los parámetros y lineamientos establecidos en las normas de construcción.

**Tercera.** Se recomienda a los investigadores realizar una inspección rigurosa sobre la calibración que tiene actualmente la maquinaria, y fijarse que la calibración sea la adecuada según la actividad a realizarse. La importancia de calibrar los equipos se fundamenta en base a los resultados y consecuencias que se van a producir con esta actividad en el proyecto de investigación.

**Cuarta.** Se recomienda a los investigadores tener mucho cuidado y controlar que las cantidades a adicionarse sean las correctas según la intención del proyecto de investigación, también se recomienda realizar una evaluación sobre el comportamiento que se produce al mezclar al suelo con este material corroborando que el resultado obtenido sea preciso, verídico y confiable.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ancade, Anter, & Ieca. (2012). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid: IECA. Recuperado de <https://www.ieca.es/producto/manual-de-estabilizacion-de-suelos-con-cemento-o-cal/>
- Arias, C. R., & López, K. D. (2020). *Análisis de las características de mezclas asfálticas en caliente modificada con calamina (residuo generado en el proceso de fabricación del alambro de acero) mediante el proceso en seco*. (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
- Astorga, F. J. (2018). *Evaluación de la influencia del contenido de escoria de cobre en la elaboración de lechadas asfálticas*.
- Ayala, E. y Gallardo, E. (2017). *Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento Portland tipo I utilizando las canteras El Gavilán, Don Lucho y El Río Chonta, Cajamarca, 2015*. (Tesis de Pregrado), Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/11206>
- Benavides, F. (2016). *Comportamiento estructural del material de base de pavimentos flexibles, al adicionar cemento Portland, 2016*. (Tesis de Pregrado), Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11382?show=full>
- Benites, Y. (2001). *Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4319>
- Bono, R. (2012). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*. Universidad de Narcelona. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2445/30783>

- Caballero, C. (2010). *Intemperismo*. Clase Ciencias de la Tierra Fac. Ciencias - UNAM. Recuperado de <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/34b-Intemperism.pdf>
- Corros, Urbáez & Corredor (2009). *Manual de Evaluación de Pavimentos*. Venezuela: MAYER 97 INGENIEROS ASOCIADOS, C.A. Recuperado de <https://docplayer.es/46108979-Modulo-iii-evaluacion-de-pavimentosmanual-de-evaluacion-de-pavimentos-ing-maylin-corros-b-ing-ernesto-urbaez-p-ing-gustavo-corredor-m.html>
- Delgado, F., & Quispe, C. (2012). *Diseño del pavimento de un aeropuerto*. (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1640>
- Deroussen, M. (2005). *Modelos empiricos de diseño de pavimentos flexibles para nuevas construcciones*. (Tesis de Posgrado), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Mexico. Recuperado de [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/567179/DocsTec\\_4170.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/567179/DocsTec_4170.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fundación Laboral de la Construcción (2023). *Diccionario de la construcción, terminos tecnicos del sector de la construcción*. Recuperado de <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/buscar>
- Geotecnia online, (2021). *Diccionario de Geotecnia en español*. Recuperado de <https://www.diccionario.geotecnia.online/>

- Girly-Blogger. (2009). *Descripción carpeta asfáltica*. Recuperado de <http://ingenieriacivilapuntes.blogspot.com/2009/05/descripcion-carpeta-asfaltica.html#:~:text=La%20carpeta%20asf%C3%A1ltica%20es%20la,a>.
- Gongora, C. (2019). *Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del distrito de Chillia, provincia de Patas - 2019*. (Tesis de Pregrado), Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21168>
- Macias, M. (2011). *Diseño de pavimento rígido para la vía Baba La Estrella Cantón Baba Provincia de Los Ríos*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/487>
- Menéndez, R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG. Recuperado de <https://pdfcoffee.com/ingenieria-de-pavimentos-icg-pdf-free.html>
- Minaya, S. & Ordóñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos* (UNI Ed. Segunda ed.). Lima: Instituto de Investigaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <https://www.udocz.com/apuntes/38456/disenomoderno-de-pavimentos-asfalticos-x-s-minaya-a-ordonez-3>
- Monsal, L. M., Giraldo, L. C., & Maya, J. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Quindío: Universidad del Quindío. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/DISE%20DE%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE%20Y%20R%C3%8DGIDO.pdf>

- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos*. (U.Católica Ed. Segunda ed.). Bogotá: Agora. Recuperado de <https://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2010/03/ingenieria-de-pavimentos-libro.html>
- Moreno, E. (2016). *Metodología de investigación, pautas para hacer tesis*. Recuperado de <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2016/12/niveles-de-investigacion-cientifica.html>
- Moreno, E. (2016). *Niveles de investigación*. Recuperado de <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2016/12/niveles-de-investigacion-cientifica.html>
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Recuperado de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)
- Nureña, J. (2017). *Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo, Trujillo*. (Tesis de Pregrado), Universidad Privada del Norte, Trujillo. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/11168>
- Pasquel, E. (1993) *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima Perú: colección del ingeniero civil.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1974). *Elastic solutions for soil and rock mechanics*.
- Quiroz, M. V., & Salamanca, L. E. (2006). *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje en la Asignatura de "Tecnología de hormigón"*. Cochabamba, Bolivia: UMSS
- RAE. (2015). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de <https://www.rae.es/>

- RAI. (2014). *Diccionario Español de Ingeniería*. Recuperado de <http://diccionario.raing.es/es>
- Robles, L. (2018). *Geomalla biaxial para optimizar base y subbase de pavimento flexible en la Av. Camino del Inca Izquierdo, distrito de Ventanilla en 2018*. (Tesis de Pregrado), Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24979>
- Rodríguez, F. (2015). *Tipos y niveles de investigación científica*. Recuperado de <https://www.doccity.com/es/investigacion-aplicada-5/4982572/>
- Sanchez, J. C. (2009). *Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles*.
- Urcia, F. (2017). *Estabilización del suelo con la aplicación de cemento Portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca – Quichuas*. Región Huancavelica, 2017. (Tesis de Pregrado), Universidad César Vallejo, Lima. Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/23128>
- Vacca, H. A. (2023). *Uso de concreto de Ultra-alto desempeño reforzado con fibra como alternativa en la rehabilitación de un pavimento flexible*.
- WISE. (2016). *Vise mezclas asfálticas*. Obtenido de [https://blog.wise.com.mx/hubfs/Tipos%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas/tiposmezclas-asfálticas\\_ok.pdf?hsCtaTracking=7a4e309f-0926-46a4-a2ff2fad1c631802%7C3d9c541f-1fb3-4935-a396-f08cae90dd3a](https://blog.wise.com.mx/hubfs/Tipos%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas/tiposmezclas-asfálticas_ok.pdf?hsCtaTracking=7a4e309f-0926-46a4-a2ff2fad1c631802%7C3d9c541f-1fb3-4935-a396-f08cae90dd3a)
- Zecenarro (2013). *“Manual de Carreteras Conservación Vial”* Ministerio de Transportes y Comunicación, Aspectos Conceptuales, Vol. 1, Peru, 2013.