

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Mejoramiento de subrasantes arcillosas incorporando agregados de  
carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en avenida Venezuela,  
José Leonardo Ortiz**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Luis Jhosut Gonzales Zuñe**

**ASESOR**

**Lucas Ludeña Gutierrez**

<https://orcid.org/0000-0001-7903-3646>

**Chiclayo, 2024**

**Mejoramiento de subrasantes arcillosas incorporando agregados de  
carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en avenida  
Venezuela, José Leonardo Ortiz**

PRESENTADA POR  
**Luis Jhosut Gonzales Zuñe**

A la Facultad de Ingeniería de  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Gian Franco Perez Garavito  
PRESIDENTE

Joaquin Hernan Rojas Oblitas  
SECRETARIO

Lucas Ludeña Gutierrez  
VOCAL

### **Dedicatoria**

A mi madre, Marlene Zuñe Sánchez, por el sacrificio realizado para brindarme una educación superior y por todos sus consejos que me sirvieron en mi formación como persona, además, por ser mi mayor inspiración en el día a día, así mismo, por haber confiado y creído en mí desde el primer instante que comencé esta carrera. A mis hermanos, por el apoyo incondicional brindado y por ser otro de mis motivos para no haberme rendido durante este proceso.

### **Agradecimientos**

En primera instancia, agradecido con Dios por brindarme salud y perseverancia para culminar esta tesis. A mi madre y hermanos por brindarme su apoyo y confianza. A los ingenieros pertenecientes a la escuela profesional de ingeniería civil ambiental, por sus sugerencias y recomendaciones aportadas. A mi asesor, el ing. Ludeña Gutiérrez Lucas, por el tiempo, paciencia, sugerencias y apoyo, resaltando su alto profesionalismo y conocimiento en el área de interés. Así mismo, a todas las personas como familiares y amigos que me dieron ese ánimo para desarrollar esta investigación.

# Mejoramiento de subrasantes arcillosas incorporando agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en avenida Venezuela, José Leonardo Ortiz

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez</b>	<b>&lt;1%</b>

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>14</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>Revisión De Literatura</b> .....	<b>21</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>21</b>
Antecedentes Internacionales .....	21
Antecedentes Nacionales .....	23
Antecedentes Locales.....	24
<b>Bases Legales</b> .....	<b>25</b>
<b>Bases Teóricas</b> .....	<b>29</b>
Suelos Arcillosos .....	29
Ensayos De Laboratorio.....	33
Clasificación Según Aashto .....	39
Clasificación Según Sucs.....	41
Subrasante .....	43
Agregados De Carpetas Asfálticas Recicladadas.....	45
Cenizas De Aserrín .....	47
Definición De Términos .....	49
<b>Materiales Y Métodos</b> .....	<b>50</b>
<b>Tipo De Estudio</b> .....	<b>50</b>
<b>Nivel De Investigación</b> .....	<b>50</b>
<b>Diseño De Investigación</b> .....	<b>51</b>
<b>Población, Muestra Y Muestreo De Estudio</b> .....	<b>51</b>
Población.....	51
Muestra.....	51
Muestreo De Estudio.....	51
<b>Hipótesis</b> .....	<b>52</b>
<b>VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN</b> .....	<b>54</b>
Variables .....	54
Operacionalización .....	54
<b>Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos</b> .....	<b>55</b>
<b>Procedimiento</b> .....	<b>56</b>
Ejecución De Calicatas .....	56
Ensayo De Contenido De Humedad .....	62
Ensayo De Análisis Granulométrico Por Tamizado.....	62
Ensayo De Análisis Granulométrico Por Medio Del Hidrómetro.....	63
Ensayo De Límite Líquido.....	64
Ensayo De Límite Plástico E Índice De Plasticidad.....	65
Ensayo De Proctor Modificado .....	66

Ensayo De Relación De Soporte De California (Cbr).....	66
Ensayo De Análisis Químico Por Fluorescencia De Rayos X.....	67
Selección De Metodología Para Carpetas Asálticas Recicladas (Car).....	68
Proceso De Obtención De Agregados De Carpetas Asfálticas .....	71
Selección De Metodología Para Cenizas De Aserrín (Cda).....	75
Proceso De Obtención De Cenizas De Aserrín .....	78
Elaboración De Muestras Experimentales.....	85
<b>Plan De Procesamiento Y Análisis De Datos .....</b>	<b>95</b>
<b>Consideraciones Éticas .....</b>	<b>96</b>
<b>Resultados Y Discusión.....</b>	<b>97</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>97</b>
Caracterización De Muestras Naturales De Subrasantes Arcillosas .....	97
Clasificación De Agregados De Carpetas Asfálticas Recicladas.....	104
Clasificación De Cenizas De Aserrín .....	105
Ensayos En Muestras Experimentales: Suelo Más Car Y Cda .....	106
<b>Discusión.....</b>	<b>118</b>
Muestras Naturales De Subrasantes Arcillosas .....	118
Agregados De Carpetas Asfálticas Recicladas.....	124
Cenizas De Aserrín .....	124
Muestras Experimentales: Suelo Más Car Y Cda .....	125
Selección De La Combinación Óptima .....	153
Comparación De Resultados Con Antecedentes .....	160
Análisis De La Rentabilidad Económica.....	162
Evaluación De Impactos Ambientales.....	184
<b>Conclusiones.....</b>	<b>191</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>193</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>194</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>202</b>
<b>Anexo 01: Documentación .....</b>	<b>202</b>
<b>Anexo 02: Encuesta Aplicada .....</b>	<b>205</b>
<b>Anexo 03: Matriz De Consistencia.....</b>	<b>209</b>
<b>Anexo 04: Panel Fotográfico .....</b>	<b>211</b>
<b>Anexo 05: Diseño De Pavimento Flexible Bajo Metodología Aashto 93 .....</b>	<b>235</b>
<b>Anexo 06: Matriz De Leopold .....</b>	<b>242</b>
<b>Anexo 07: Sustentación De Resultados De Laboratorio .....</b>	<b>245</b>
<b>Anexo 08: Plano De Ubicación De Calicatas.....</b>	<b>245</b>

## Lista De Tablas

Tabla 1: Clasificación de suelos según índice de Plasticidad. Emitido por [20].....	31
Tabla 2: Tamices para el análisis granulométrico de suelos. Fuente: MTC E-107.....	34
Tabla 3: Factor K para determinar el Límite Líquido en suelos. Fuente: MTC E- 110.....	35
Tabla 4: Clasificación de suelos según AASHTO M 145. Emitido por [20].....	40
Tabla 5: Clasificación de suelos según la SUCS. Fuente: [28] .....	42
Tabla 6: Categorías de la subrasante. Emitido por [20].....	43
Tabla 7: Categorías de la subrasante. Emitido por [22].....	43
Tabla 8: Composición química de las cenizas de aserrín, según distinto autores .....	47
Tabla 9: Requisitos químicos de clasificación para puzolanas. Fuente: ASTM-C618-19 [27]. .....	47
Tabla 10: Número de puntos de investigación, según el tipo de vía. Emitido por [22] .....	51
Tabla 11: Operacionalización de las variables en estudio. Fuente: Propia .....	54
Tabla 12: Revisión de antecedentes para el uso de CAR. Fuente: Propia.....	69
Tabla 13:Revisión de antecedentes para el uso de CDA. Fuente: Propia.....	76
Tabla 14: Mediciones de temperaturas de calcinación. Fuente: Propia .....	83
Tabla 15: Cuantificación de aditivo para muestras C-01. Fuente: Propia.....	87
Tabla 16: Cuantificación de aditivo para muestras C-02. Fuente: Propia.....	90
Tabla 17: Cuantificación de aditivo para cada muestra C-02. Fuente: Propia .....	93
Tabla 18: Contenido de humedad en muestras naturales. Fuente: Propia .....	97
Tabla 19: Distribución granulométrica por tamizado de muestras naturales. Fuente: Propia.....	98
Tabla 20: Distribución granulométrica por hidrometría de muestras naturales. Fuente: Propia.....	98
Tabla 21: Límites de consistencia de muestras naturales. Fuente: Propia.....	99
Tabla 22: Clasificación de muestras naturales. Fuente: Propia .....	100
Tabla 23: Densidad específica de muestras naturales. Fuente: Propia .....	100
Tabla 24: Resultados de prueba proctor modificado en muestras naturales. Fuente: Propia.....	101
Tabla 25: CBR de muestras naturales. Fuente: Propia .....	102
Tabla 26: Clasificación de agregados de carpetas asfálticas recicladas. Fuente: Propia .....	104
Tabla 27: Resultados de ensayos de laboratorio en cenizas de aserrín. Fuente: Propia.....	105
Tabla 28: Comparación de requerimientos para clasificar las cenizas de aserrín. Fuente: Propia .....	105
Tabla 29: Límites de consistencia en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia .....	106
Tabla 30: Límites de consistencia en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia .....	107
Tabla 31: Límites de consistencia en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia .....	108
Tabla 32: Proctor modificado en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia .....	109
Tabla 33: Proctor modificado en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia .....	110
Tabla 34: Proctor modificado en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia .....	111
Tabla 35: CBR(%) en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia .....	112
Tabla 36: CBR(%) en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia .....	114
Tabla 37: CBR(%) en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia .....	116

Tabla 38: Límite líquido (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia .....	125
Tabla 39: Límite plástico (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia.....	129
Tabla 40: Índice plástico(%) en todas las muestras analizadas. Fuente:Propia.....	133
Tabla 41: OCH (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia.....	137
Tabla 42: M.D.S. (g/cm <sup>3</sup> ) de todas las muestras analizadas. Fuente: Propia.....	141
Tabla 43: CBR (%) en todas las muestras analizadas al 95% de su M.D.S. Fuente: Propia.....	145
Tabla 44: CBR en todas las muestras analizadas al 100% de su M.D.S. Fuente: Propia.....	149
Tabla 45 ACU: Trazo, replanteo y control topográfico.....	165
Tabla 46 ACU: Corte a nivel de subrasante en material suelto.....	165
Tabla 47 ACU: Eliminación externa de material excedente.....	166
Tabla 48 ACU: Perfilado, nivelación y compactación de la subrasante.....	166
Tabla 49 ACU: Estabilización con over (8" – 15"), h=0.30m.....	167
Tabla 50 ACU: Obtención de agregados de CAR-Artesanal .....	168
Tabla 51 ACU: Obtención de agregados de CAR-Industrial .....	169
Tabla 52 ACU: Obtención de CDA – Artesanal.....	169
Tabla 53 ACU: Obtención de CDA - Industrializado.....	170
Tabla 54 ACU: Batido de material natural con estabilizantes para subrasantes (CAR + SDA).....	170
Tabla 55: Presupuesto de estabilización a nivel de subrasante con Over.....	171
Tabla 56: Presupuesto de estabilización a nivel de subrasante con 70% CAR + 4% CDA.....	172
Tabla 57 ACU: Imprimación asfáltica .....	177
Tabla 58 ACU: Carpeta asfáltica en caliente e=10cm (4in).....	177
Tabla 59 ACU: Subbase granular e=20.00cm (8.0 pulg) .....	178
Tabla 60 ACU: Base granular e=20.00cm (8.0 pulg).....	178
Tabla 61 ACU: Subbase granular e=15cm (6pulg) .....	179
Tabla 62 ACU: Base granular e=15cm (6pulg).....	179
Tabla 63: Presupuesto de estabilización a nivel de proyecto con Over.....	180
Tabla 64: Presupuesto a nivel de proyecto con 70% CAR + 4% CDA.....	181
Tabla 65: Factores ambientales identificados. Fuente: Propia .....	187
Tabla 66: Resultados obtenidos del análisis por Matriz de Leopold. Fuente: Propia .....	187
Tabla 67: Acciones de prevención y mitigación ante la emisión de gases.....	188
Tabla 68: Acciones de prevención y mitigación ante partículas en suspensión.....	189
Tabla 69: Acciones de prevención y mitigación ante ruido.....	189
Tabla 70: Acciones de prevención y mitigación ante alteración en la morfología del suelo. ....	189
Tabla 71: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de la flora. ....	190
Tabla 72: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de la fauna.....	190
Tabla 73: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de calidad de vida. ....	190

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pavimento defectuoso en Av. México cdra. 04. Fuente: Propia .....	16
Figura 2: Pavimento defectuoso en Av. El dorado cdra. 08. Fuente: Propia.....	16
Figura 3: Problemas de transitabilidad en intersección Av. Venezuela y Nicolás Ayllón.....	17
Figura 4: Asentamiento en veredas e indicios de arcillas expansivas en Av. Venezuela cdra. 14. ....	17
Figura 5: Depósito de carpeta asfáltica en carretera Panamericana Norte (Salida Reque). ....	18
Figura 6: Depósito de carpeta asfáltica en carretera San José (Salida Ciudad de Dios). ....	18
Figura 7: Límites de Atterberg. Fuente: [28] .....	31
Figura 8: Curva para el cálculo del índice de CBR. Fuente: MTC E-132.....	38
Figura 9: Signos convencionales para perfil de calicatas. Emitido por [20]. ....	39
Figura 10: Signos convencionales para perfil de calicatas. Emitido por [20]. ....	41
Figura 11: Obtención del área del tramo de estudio. Fuente: Google Earth Pro .....	52
Figura 12: Ubicación de las calicatas en el tramo de estudio, Av. Venezuela. ....	57
Figura 13: Calicata-01: Intersección Av. Venezuela y España. Fuente: Propia.....	58
Figura 14: Calicata-02: Intersección Av. Venezuela y Húsares de Junín. Fuente: Propia .....	59
Figura 15: Calicata-03: Intersección Av. Venezuela y Próceres. Fuente: propia.....	59
Figura 16: Perfil stratigráfico calicata 01. Fuente: Propia .....	60
Figura 17: Perfil stratigráfico calicata 02. Fuente: Propia. ....	61
Figura 18: Perfil stratigráfico calicata 03. Fuente: Propia. ....	61
Figura 19: Ensayo de humedad. Fuente: Propia .....	62
Figura 20: Ensayo granulometría por tamizado. Fuente: Propia .....	63
Figura 21: Ensayo granulometría por Hidrómetro. Fuente: Propia .....	64
Figura 22: Ensayo límite líquido. Fuente: Propia .....	65
Figura 23: Ensayo límite plástico. Fuente: Propia .....	65
Figura 24: Ensayo Proctor modificado. Fuente: Propia.....	66
Figura 25: Ensayo de CBR. Fuente: Propia .....	66
Figura 26: Muestra de CDA y espectrómetro (WDXRF) utilizados. Fuente: Propia. ....	67
Figura 27: Ubicación del botadero empleado. Fuente: Propia.....	71
Figura 28: Botadero en carretera Panamericana Norte (Salida Reque). Fuente: Propia .....	71
Figura 29: Recolección de carpetas asfálticas. Fuente: Propia.....	72
Figura 30: Disgregado de carpeta asfáltica. Fuente: Propia .....	72
Figura 31: Tamizado de agregados reciclados por la malla de 1". Fuente: Propia .....	73
Figura 32: Tamizado de agregados reciclados por la malla N°04. Fuente: Propia .....	73
Figura 33: Lavado del material disgregado. Fuente: Propia.....	73
Figura 34: Secado de agregados reciclados al aire libre (anexo 04). Fuente: Propia .....	74
Figura 35: Traslado de material disgregado a laboratorio. Fuente: Propia .....	74
Figura 36: Ubicación del aserradero empleado. Fuente: Propia.....	78
Figura 37: Aserradero FERPESI. SAC. Fuente: Propia .....	78

Figura 38: Compra del aserrín. Fuente: Propia.....	79
Figura 39: Mini horno casero de mampostería. Fuente: Propia.....	79
Figura 40: Extracción de corteza presente en el aserrín. Fuente: Propia.....	80
Figura 41: Encendido del aserrín con apoyo de viruta y fósforos de cocina. Fuente: Propia .....	80
Figura 42:Fuego estable durante el calcinado del aserrín. Fuente: Propia .....	81
Figura 43: Protección del horno con láminas metálicas. Fuente: Propia.....	81
Figura 44: Tamizado de cenizas obtenidas. Fuente: Propia.....	82
Figura 45: Cenizas de aserrín tratadas. Fuente: Propia.....	82
Figura 46: Pistola termómetro infrarrojo utilizada. Fuente: Propia.....	83
Figura 47: Medición N°01 de temperatura.. Fuente: Propia.....	84
Figura 48: Medición N°02 de temperatura. Fuente: Propia.....	84
Figura 49: Medición N°03 de temperatura. Fuente: Propia.....	84
Figura 50: Elaboración de muestra C-01 (1). Fuente: Propia .....	87
Figura 51: Elaboración de muestra C-01 (2). Fuente: Propia .....	87
Figura 52: Elaboración de muestra C-01 (3). Fuente: Propia .....	88
Figura 53: Elaboración de muestra C-01 (4). Fuente: Propia.....	88
Figura 54: Elaboración de muestra C-01 (5). Fuente: Propia.....	89
Figura 55: Elaboración de muestra C-01 (6). Fuente: Propia.....	89
Figura 56: Elaboración de muestras C-02 (1) y C-02 (2). Fuente: Propia.....	91
Figura 57: Elaboración de muestras C-02 (3) y C-02 (4). Fuente: Propia.....	92
Figura 58: Elaboración de muestras C-02 (5) y C-02 (6). Fuente: Propia.....	92
Figura 59: Elaboración de muestras C-03 (1) y C-03 (2). Fuente: Propia.....	94
Figura 60: Elaboración de muestras C-03 (3) y C-03 (4). Fuente: Propia.....	94
Figura 61: Elaboración de muestras C-03 (5) y C-03 (6). Fuente: Propia.....	95
Figura 62: Consideraciones utilizadas para la comparativa económica entre ambas propuestas .....	164
Figura 63: Estructura del pavimento para la subrasante estabilizada con over .....	175
Figura 64: Estructura del pavimento para la subrasante estabilizada con 70%CAR + 4%CDA .....	176

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Proceso de corroboración de hipótesis. Fuente: Propia .....	53
Gráfica 2: Curva granulométrica por tamizado de muestras naturales. Fuente: propia .....	98
Gráfica 3: Curva granulométrica mediante hidrómetro de muestras naturales. Fuente: Propia.....	99
Gráfica 4: Límites de consistencia de muestras naturales. Fuente: Propia.....	99
Gráfica 5: Curva de compactación de muestras naturales. Fuente: Propia .....	101
Gráfica 6: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 55 golpes. Fuente: Propia .....	102
Gráfica 7: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 26 golpes. Fuente: Propia .....	103
Gráfica 8: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 12 golpes. Fuente: Propia .....	103
Gráfica 9: Curva granulométrica para agregados de CAR. Fuente: Propia.....	104
Gráfica 10: Límites de consistencia en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia.....	106
Gráfica 11: Límites de consistencia en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia.....	107
Gráfica 12: Límites de consistencia en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia.....	108
Gráfica 13: Curvas de compactación de muestras experimentales C-01. Fuente: Propia .....	109
Gráfica 14: Curvas de compactación de muestras experimentales C-02. Fuente: Propia .....	110
Gráfica 15: Curvas de compactación de muestras experimentales C-03. Fuente: Propia .....	111
Gráfica 16: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 55 golpes. Fuente: Propia .....	112
Gráfica 17: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 26 golpes. Fuente: Propia .....	113
Gráfica 18: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 12 golpes. Fuente: Propia .....	113
Gráfica 19: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 55 golpes. Fuente: Propia .....	114
Gráfica 20: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 26 golpes. Fuente: Propia .....	115
Gráfica 21: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 12 golpes. Fuente: Propia .....	115
Gráfica 22: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 55 golpes. Fuente: Propia .....	116
Gráfica 23: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 26 golpes. Fuente: Propia .....	117
Gráfica 24: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 12 golpes. Fuente: Propia .....	117
Gráfica 25: Contenido de humedad muestras naturales. Fuente: Propia .....	118
Gráfica 26: Análisis granulométrico – Pasantes a la malla N°200. Fuente: Propia .....	119
Gráfica 27: Índice de plasticidad – muestras naturales. Fuente: Propia.....	120
Gráfica 28: Gravedad específica de muestras naturales. Fuente: Propia.....	121
Gráfica 29: Gravedad específica de muestras naturales. Fuente: Propia.....	122
Gráfica 30: óptimo Contenido de humedad – muestras naturales. Fuente: Propia .....	122
Gráfica 31: Capacidad de soporte – muestras naturales. Fuente: Propia.....	123
Gráfica 32: Límite líquido en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia.....	126
Gráfica 33: Límite líquido en muestras de subrasante C-02.Fuente: Propia.....	127
Gráfica 34: Límite líquido en muestras de subrasante C-03.Fuente: Propia.....	128
Gráfica 35: Límite plástico en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia.....	130
Gráfica 36: Límite plástico en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia.....	131

Gráfica 37: Límite plástico en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia.....	132
Gráfica 38: Índice plástico en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia.....	134
Gráfica 39: Índice plástico en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia.....	135
Gráfica 40: Índice plástico en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia.....	136
Gráfica 41: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia .....	138
Gráfica 42: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia .....	139
Gráfica 43: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia .....	140
Gráfica 44: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia .....	142
Gráfica 45: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia .....	143
Gráfica 46: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia .....	144
Gráfica 47: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia.....	146
Gráfica 48: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia.....	147
Gráfica 49: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia.....	148
Gráfica 50: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia .....	150
Gráfica 51: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia .....	151
Gráfica 52: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia .....	152
Gráfica 53: índice de plasticidad en muestras de subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia.....	154
Gráfica 54: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia .....	154
Gráfica 55: Óptimo contenido de humedad en subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia .....	155
Gráfica 56: CBR (%) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia.....	156
Gráfica 57: CBR (%) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia.....	156
Gráfica 58: CBR (%) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia.....	157
Gráfica 59: Comparación de IP (%) entre muestra natural y combinación óptima.Fuente: Propia .....	157
Gráfica 60: Comparación de MDS (g/cm <sup>3</sup> ) entre muestra natural y combinación óptima.....	158
Gráfica 61: Comparación del OCH (%) entre muestra natural y combinación óptima. ....	158
Gráfica 62: Comparación de CBR (95%) entre muestra natural y combinación óptima. Fuente: Propia ...	159
Gráfica 63: Comparación de CBR (100%) entre muestra natural y combinación óptima. Fuente:Propia ..	159
Gráfica 64: Presupuesto a nivel de subrasante por metro cuadrado. Fuente:Propia .....	173
Gráfica 65: Costo unitario de mano de obra – propuestas a nivel de proyecto. Fuente:Propia .....	182
Gráfica 66: Costo unitario de materiales – propuestas a nivel de proyecto. Fuente:Propia.....	183
Gráfica 67: Costo unitario de equipos y herramientas- propuestas a nivel de proyecto. Fuente:Propia.....	183
Gráfica 68: Presupuesto a nivel de proyecto por medio kilómetro. Fuente:Propia.....	184
Gráfica 69: Identificación de impactos, propuesta: pavimento flexible con Over. Fuente Propia. ....	185
Gráfica 70: Identificación de impactos, propuesta: pavimento flexible con 70%CAR + 4%CDA.. ....	186

## RESUMEN

Actualmente, el tramo de Av. Venezuela desde Próceres hasta España, presenta un suelo de baja capacidad de soporte, con un grado plástico entre medio a alto y con indicios de ser expansivo, siendo este el responsable de generar problemas de transitabilidad en épocas de lluvias, asentamientos a nivel de vereda y hundimientos en la vía con ausencia de pavimento.

Debido a la problemática anterior, la presente tesis busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas (CAR) más cenizas de aserrín (CDA), evaluándose las siguientes combinaciones: 50%CAR+4CDA+46%S, 50%CAR+8%CDA+42%S, 60%CAR+4%CDA+36%S, 60%CAR+8%CDA+32%S, 70%CAR+4%CDA+26%S y 70%CAR+8%CDA+22%S, estos porcentajes fueron ensayados en cada muestra de subrasante arcillosa: ML(C-01), CL(C-02) y CH(C-03).

En base a los ensayos de laboratorio desarrollados, se obtuvo el 70%CAR+4%CDA como porcentajes óptimos de los estabilizantes, ocasionando en las tres subrasantes arcillosas los siguientes cambios: el IP, varió entre 0.55 a 1.00 veces su valor natural, determinándose 17.00%, 18.00% y 17.00% según sea la muestra, así mismo, la MDS, incrementó entre 2.23 a 3.24 veces su valor original, obteniéndose 1.907, 1.930 y 1.922 g/cm<sup>3</sup> correspondientemente, en tanto, el CBR(95%), aumentó entre 2.23 a 3.24 veces su valor inicial, alcanzando 9.50%, 6.70% y 9.40% respectivamente, recalándose que, las tres muestras pasaron de ser una subrasante inadecuada a una regular.

Finalmente, para la ejecución de pavimento flexible cuya subrasante esté mejorada con 70%CAR+4%CDA se necesitará S/893,764.88 soles por cada 500m, no obstante, esta propuesta disminuye al 42.11% los impactos que tradicionalmente se generarán.

**Palabras Clave:** Suelos arcillosos, subrasante, carpetas asfálticas recicladas, cenizas de aserrín, capacidad de soporte.

## ABSTRACT

Currently, the section of Av. Venezuela from Próceres to España, presents a soil with low bearing capacity, with a medium to high degree of plasticity and with signs of being expansive, this being responsible for generating traffic problems in rainy seasons, settlements at sidewalk level and subsidence on the road with no pavement.

Due to the above problems, this thesis seeks to improve the physical-mechanical properties of the soil by incorporating aggregates of recycled asphalt pavement (RAP) plus sawdust ashes (SDA), evaluating the following combinations: 50%RAP+4%SDA+46%S, 50%RAP+8%SDA+42%S, 60%RAP+4%SDA+36%S, 60%RAP+8%SDA+32%S, 70%RAP+4%SDA+26%S y 70%RAP+8%SDA+22%S, these percentages were tested in each sample of clayey subgrade: ML(C-01), CL(C-02) and CH(C-03).

Based on the developed laboratory tests, 70%RAP+4%SDA was obtained as optimal percentages of the stabilizers, causing the following changes in the three clayey subgrades: the IP varied between 0.55 to 1.00 times its natural value, determining 17.00%, 18.00% and 17.00% depending on the sample, likewise, the MDD increased between 2.23 to 3.24 times its original value, obtaining 1.907, 1.930 and 1.922 g/cm<sup>3</sup> correspondingly, while the CBR(95%), increased between 2.23 to 3.24 times its initial value, reaching 9.50%, 6.70% and 9.40% respectively, emphasizing that the three samples went from being an inadequate subgrade to a regular one.

Finally, for the execution of flexible pavement whose subgrade is improved with 70%RAP+4%SDA, it will cost a total of S/893,764.88 per 500m, however, this proposal reduces the impacts that will traditionally be generated to 42.11%.

**Keywords:** Clay soils, subgrade, recycled asphalt pavement, sawdust ash, bearing capacity.

## **INTRODUCCIÓN**

La infraestructura vial, cumple un rol importante en las actividades de la sociedad, pues sus vías sirven de conexión entre dos o más lugares, incitando de esta forma el crecimiento económico, la interrelación cultural y el cambio de tecnologías, dicho en otras palabras, sobre la red vial de una nación, se proyecta el desarrollo de la misma [1].

Sin embargo, uno de los problemas a los cuales se enfrenta la red vial, es la presencia de terreno de fundación de baja capacidad de soporte, generando complicaciones y sobrecostos en los pavimentos que se acentuarán sobre ellos.

Según [2] los suelos arcillosos suelen poseer un índice de capacidad de soporte bajo, esto debido a su limitada resistencia mecánica, además, aquellos que poseen una humedad natural alta, indican un riesgo en la estabilidad del pavimento, dado que son susceptibles a generar asientos diferenciales.

En la provincia de Chiclayo, según la zonificación geotécnica realizada por los ingenieros D. Luna Durán y J. Alba Hurtado, el distrito de José Leonardo Ortiz en el cual se ubica la zona de estudio, es uno de los más afectados ante suelos arcillosos, pues este presenta arcillas de media y alta plasticidad en porcentajes de 17% y 76% respectivamente, además el contenido de humedad de sus suelos es alto, rodeando entre el 70 y 90% del grado de saturación [3], lo cual afecta el estado de los pavimentos construidos en estos sectores.

Así mismo, según la microzonificación de la ciudad de Chiclayo [4], indica que los suelos predominantes en este distrito son: además de las arcillas de media y alta plasticidad ya mencionadas, se cuenta con arenas arcillosas, limosas y pobremente graduadas, siendo el grado de expansión de sus suelos de media a alta, con una baja capacidad portante, estando en un promedio de 0.50 a 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, siendo estos suelos los más críticos, pues se caracterizan por su alta deformabilidad, baja resistencia y alta expansividad, lo cual ocasiona problemas en el proceso constructivo como en el comportamiento posterior del pavimento [5].

A su vez, este distrito presenta problemas en cuanto al estado de sus calles, pues según la Contraloría de la República en el año 2017, el 95% del total de sus vías necesitaban ser rehabilitadas de manera urgente [6], evidenciándose a continuación lo antes mencionado.



*Figura 1: Pavimento defectuoso en Av. México cdra. 04. Fuente: Propia*



*Figura 2: Pavimento defectuoso en Av. El dorado cdra. 08. Fuente: Propia*

Como se observa en la figura 01 y 02, las vías mostradas presentan fallas estructurales importantes, según [7] dichas fallas afectan comúnmente al terreno de fundación, y peor aún, se incrementan las deformaciones permanentes en la estructura del pavimento cuando existe una falta de estabilidad o calidad en la subrasante.

En cuanto a la zona de estudio, esta se encuentra ubicada en Av. Venezuela, desde Próceres hasta España, en ella, se realizó una visita a campo el día 26/09/21, observándose la presencia de problemas tales como: poca transitabilidad en épocas de lluvia, asentamientos a nivel de veredas e indicios de arcillas expansivas, evidenciándose lo descrito en las imágenes siguientes.

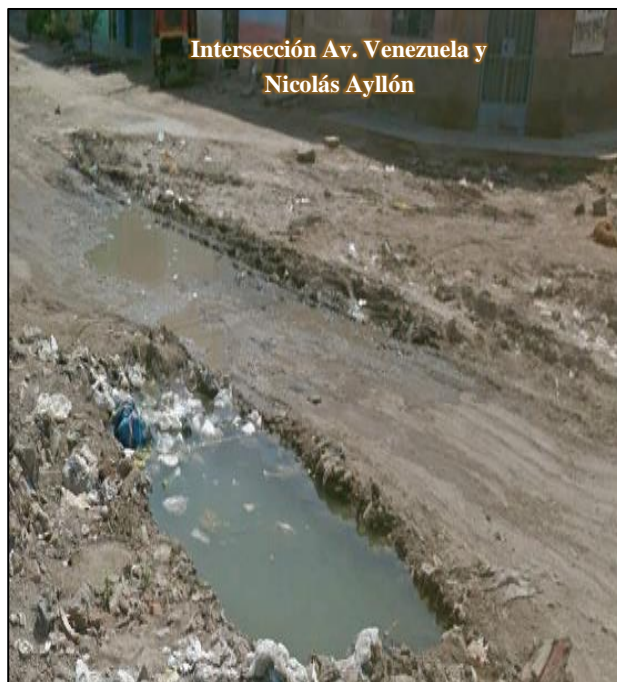


Figura 3: Problemas de transitabilidad en intersección Av. Venezuela y Nicolás Ayllón. Fuente: Propia



Figura 4: Asentamiento en veredas e indicios de arcillas expansivas en Av. Venezuela cdra. 14.

Con respecto a las carpetas asfálticas recicladas (CAR), su uso radica en los EE.UU. a inicios de la década de los 70, pues con la crisis del petróleo y los escasos de agregados, generaba el incremento de los costos en la ejecución de proyectos viales, ante ello, resultó conveniente la reutilización en la industria de la construcción [8].

Sin embargo, en nuestro departamento, muy pocos o casi ningún proyecto de rehabilitación reutiliza las carpetas asfálticas extraídas, acarreado su eliminación en botaderos informales, esto se debe a que se tiene una errada concepción sobre su vida útil, creyendo

que tienen un único uso e incrementando el volumen eliminado de las mismas; sustentando el presente párrafo, en las siguientes imágenes.



*Figura 5: Depósito de carpeta asfáltica en carretera Panamericana Norte (Salida Reque). Fuente: Propia*



*Figura 6: Depósito de carpeta asfáltica en carretera San José (Salida Ciudad de Dios). Fuente: Propia*

En Lambayeque, según el Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento [9], el departamento produce más de 222 mil toneladas de residuos de construcción y demolición, ocupando el 6to lugar a nivel nacional, de este total, el asfalto representa el 5%, es decir, un promedio de 11 mil toneladas anuales.

En base al Gobierno Regional de Lambayeque [10], en promedio, el 21.7% de sus vías se encuentran pavimentadas, mientras, el 78.3% sin pavimentar, presentando estas últimas un estado de conservación entre regular y deficiente, donde, los proyectos de desarrollo vial, al proponer el mejoramiento de subrasante, podrán reutilizar las carpetas asfálticas en las mismas rehabilitaciones estructurales o ser extraídas de los propios botaderos, como mejor resulte conveniente, utilizando de manera eficiente y racional los materiales de construcción requeridos.

En cuanto a la problemática del aserrín, en el Perú, según la revista de la universidad San Ignacio de Loyola [11], afirma que la acumulación de este material es considerado un pasivo ambiental, pues contamina el suelo donde se deposita, siendo un punto localizado con predominio de hongos. Así mismo, la proliferación de sus partículas en suspensión incrementa enfermedades respiratorias como asma, bronquitis y otras asociadas con alergias.

Respecto al distrito de José Leonardo Ortiz, según el informe anual desarrollado por SIGERSOL en el año 2018 [12], afirma que el aserrín producido se encuentra dentro de la categoría madera y follaje, ocupando el 5° lugar entre sus mayores residuos emitidos, cuyo tonelaje radica entre los 13.8ton/día, 414ton/mes y 5 037ton/año, y en base a la encuesta aplicada a un grupo de aserrados del presente distrito (Ver Anexo 02), se demuestra que los principales problemas de este material es el incremento de molestias respiratorias, siendo las más comunes, obstrucción nasal, dolores de cabeza e irritación de ojos, así mismo, el exceso en su acumulación atrae a roedores e insectos.

Ante la problemática expuesta, se pretende reutilizar las carpetas asfálticas recicladas, extrayendo de ellas, sus agregados presentes, así mismo, realizarse la quema del aserrín mediante un horno casero de mampostería, aprovechando las cenizas obtenidas como material puzolánico, de este modo, incorporar de manera conjunta ambos materiales. En base a todo lo antes mencionado, surge la interrogante: ¿Cómo influye la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en las propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosas provenientes de la Avenida Venezuela, Distrito de José Leonardo Ortiz?

Para la comprensión del problema, se planteó la siguiente hipótesis: la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín mejorarán las propiedades físico – mecánicas de las subrasantes arcillosas provenientes de Avenida Venezuela, distrito de José Leonardo Ortiz.

Así mismo, se definió como objetivo general: demostrar la hipótesis planteada que afirma el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas incorporando agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en Avenida Venezuela distrito de José Leonardo Ortiz.

A su vez, como objetivos específicos los siguientes: caracterizar las muestras naturales de subrasantes arcillosas provenientes de Avenida Venezuela desde Próceres hasta España; clasificar los agregados de carpetas asfálticas recicladas y las cenizas de aserrín que se emplearán en la presente investigación; cuantificar los cambios producidos en las propiedades de cada subrasante arciloso al adicionar de manera conjunta agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en distintos porcentajes, mediante los ensayos de Límites de Consistencia, Proctor Modificado y CBR; comparar las propiedades físico-mecánica entre la muestra natural y las muestras con agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín por cada subrasante arciloso, determinándose los porcentajes óptimos para cada una; analizar la rentabilidad económica del mejoramiento del suelo con los estabilizadores propuestos, y, por último, evaluar el impacto ambiental de la presente alternativa de solución.

En tanto, la justificación de la presente investigación se enmarca en los siguientes criterios: según su implicancia técnica, se obtendrán suelos con mejor desempeño para su uso como subrasantes, esto debido al mejoramiento en las propiedades físico-mecánicas que generarán los estabilizantes propuestos; según su relevancia social, con el mejoramiento de las subrasantes arcillosas, los conductores y transeúntes se verán beneficiados debido a la mejora en la transitabilidad de los pavimentos; según su conveniencia económica, se plantea la reutilización de carpetas asfálticas recicladas en los mismos proyectos de rehabilitación estructural o ser extraídas de los propios botaderos, como mejor resulte conveniente, así mismo, se establece la incorporación de cenizas de aserrín, donde la combinación de ambos materiales, tiene por finalidad disminuir costos en la ejecución de pavimentos; según su implicancia ambiental, se pretende demostrar el reaprovechamiento de dos materiales desechables (carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín), de esta manera, disminuir la contaminación ambiental, visual y el consumo de energía que conllevaría la producción de nuevos estabilizantes.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **ANTECEDENTES**

#### **ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

El suelo arcilloso, es uno de los más problemáticos debido a su expansión y contracción que genera la presencia y ausencia de agua respectivamente, este suelo se encuentra en gran magnitud en las regiones de Nigeria y la India, provocando problemas sobre el pavimento que se asienta sobre ellos, por esta razón, se planteó la siguiente metodología, estabilizar un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH), incorporándole carpetas asfálticas recicladas (CAR) en porcentajes comprendidos entre 0 y 100%, donde, los resultados señalan que los porcentajes óptimos son 30% y 60% de CAR, las cuales incrementan la máxima densidad seca e índice de capacidad de soporte CBR, concluyéndose que la incorporación de CAR mejora las propiedades mecánicas del suelo enfocadas a su resistencia (CBR) [13].

La reparación de carreteras conlleva un gran gasto económico en muchos países, esto se debe repentinamente por la inestabilidad del suelo en donde se construyen, es por ello que se estabilizan con materiales cementosos tales como el cemento y la cal, no obstante, se busca nuevos materiales, pues las cenizas de aserrín (CDA) resultó una propuesta nueva a investigar, bajo este enfoque, se planteó el siguiente proceso, analizar un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), mezclándolo con cenizas de aserrín (CDA) en porcentajes comprendidos entre 0 y 12% respecto el peso seco de la muestra, caracterizándose el estabilizante por poseer un tamaño de partículas inferiores a 600um, resultando como contenido óptimo el 4%, según los ensayos de CBR y resistencia a la compresión no confinada, así mismo se concluye lo siguiente, a mayor cantidad de CDA mayor es el incremento del límite líquido y plástico del suelo. Según el autor, afirma, que la utilización de cenizas de aserrín reduce costos en la construcción de carreteras, específicamente en zonas rurales para países en vías de desarrollo como es el caso de la India [14].

Los ingenieros geotécnicos, a nivel mundial siempre se han encontrado con suelos problemáticos, como es el caso de las arcillas, estas presentan características no deseables, pues son altamente comprensible e inestables atentando contra la integridad vial de los proyectos, es por ello que se buscó mejorar sus propiedades mediante la siguiente metodología, estabilizar un suelo expansivo (CH), con cierto porcentaje de cenizas de aserrín (CDA), obtenidas de una quema a cielo abierto y con tamaño de partículas inferior a 600um. Resultando como porcentaje óptimo de CDA fue el 5%, pues se concluye que esta genera el incremento de resistencias y la disminución de la plasticidad [15].

## ANTECEDENTES NACIONALES

La provincia dos de Mayo (Huánuco) presenta un suelo de material orgánico y arena fina con material arcilloso, susceptible a sufrir licuación y asentamientos diferenciales, es por ello que el presente antecedente plantea la siguiente metodología, estabilizar un suelo limoso de baja plasticidad (ML) extraído de la zona, utilizando concreto asfáltico reciclado (CAR) en porcentajes de 10%, 15% y 20%, con el fin de aumentar su máxima densidad seca e índice de capacidad de soporte (CBR); para ello, primero se analizó las propiedades físico-mecánicas de la muestra natural y luego las combinaciones suelo-CAR. Resultando como dosificación óptima el 20%, convirtiendo una subrasante inadecuada a una regular-buena. Concluyéndose que, al adicionar concreto asfáltico reciclado para todas las muestras, genera la pérdida de humedad, aumento en la máxima densidad seca e índice de CBR [16].

Los métodos tradicionales para mejorar las propiedades físico mecánicas de suelos cohesivos ya han sido muy investigados, es por ello que este antecedente buscó un método no tradicional, como es el uso de materiales orgánicos, pues las cenizas de madera resultó una alternativa provechosa, para ello, se plantea el siguiente proceso, analizar el mejoramiento de una arena arcillosa (SC) adicionándole cenizas de madera provenientes del Eucalipto, utilizando dosificaciones comprendidas entre 0 y 50%, de las cuales, en base al ensayo Proctor Modificado, resultaron como porcentajes óptimos el 10% y 20%, con el cual se obtuvo un incremento en la máxima densidad seca, así mismo, se concluye que, al incrementar la cantidad de cenizas, los límites de consistencia disminuyeron progresivamente [17].

## ANTECEDENTES LOCALES

La estabilización de suelos es uno de los principales problemas a nivel mundial, en muchos países, tales como, Estados Unidos, Europa y Brasil, se han empleado cenizas de carbón como material de pavimentos, obteniendo como resultado la mejora en los suelos empleados, evitando el sobre costo en obra y disminuyendo la contaminación generada por este residuo, para probar este nuevo material se realizó el siguiente método, analizar el mejoramiento de arenas arcillosas (SC) y arenas pobremente gradadas (SP), mediante la adición de cenizas de carbón vegetal, siendo este proveniente de la combustión de madera, considerando el tamaño de sus partículas inferiores a 75 $\mu$ m, incorporando las cenizas en porcentajes de 7%, 14% y 21% respecto el peso seco de la muestra, obteniéndose como resultados que, la máxima densidad seca y la resistencia a la compresión no confinada se ven incrementadas para un 7%, así mismo se concluye, el contenido óptimo de humedad y límites de plasticidad disminuyen a medida que se incrementa la resistencia [18].

En el mundo, existen diversidad de tipos de suelos, sin embargo, uno de los más difíciles en cimentar son los de tipo blando y débil, estos se convierten en causa de muchos problemas geotécnicos, debido a sus pobres propiedades físicas y mecánicas, generando desastres a nivel de subrasante en terraplenes, carreteras o edificaciones, por la cual resulta conveniente su mejoramiento, el presente antecedente planteó la siguiente metodología, evaluar la incorporación de cenizas de *Oryza Sativa* a un suelo arenoso pobremente gradado (SP), donde se analizó las dosificaciones comprendidos entre 3, 5, 7 y 9%, resultando como porcentaje óptimo el 7% de cenizas respecto al peso seco de la muestra, según los resultados, se concluyó que, se mejoraron las propiedades mecánicas del suelo inicial, pues se incrementó la máxima densidad seca, así mismo, el índice de CBR [19].

## **BASES LEGALES**

### **MANUAL DE CARRETERAS, SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS - MTC/14**

El presente manual, brinda los criterios técnico-económicos para el eficiente diseño de todas las capas estructurales pertenecientes a los pavimentos, donde en su capítulo IV nos da un alcance de recomendaciones para desarrollar una adecuada exploración de suelos, así mismo, nos presenta la caracterización de la subrasante, donde nos indica los parámetros mínimos que esta debe cumplir para ser utilizada como suelo de fundación. A su vez, el capítulo IX está referido a la estabilización de suelos, donde detalla los criterios que se deberán de tomar y los tipos de estabilización existentes [20].

### **MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN (EG-2013)**

Este manual, establece las instrucciones y requisitos de las actividades referidas a infraestructura vial, con la finalidad de mejorar la calidad de las mismas, donde en su capítulo III señala los ensayos que se deberán realizar a los suelos según el tipo de estabilización aplicado, así mismo, indica los criterios de aceptación de los trabajos [21].

### **NTP CE.010 PAVIMENTOS URBANOS**

La presente norma, establece los requisitos mínimos para la adecuada durabilidad de los pavimentos urbanos, detallando en su capítulo tres, las técnicas para la ejecución de estudios de mecánica de suelos aplicado al diseño de pavimentos, a su vez, indica los ensayos de laboratorio, requisitos de materiales y pruebas de control [22].

### **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO, MTC E 108**

La norma en mención, se encarga de establecer el proceso para determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo [23].

### **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO, MTC E 107**

Esta norma, contiene los requisitos necesarios para desarrollar en muestras de suelos, el análisis granulométrico por tamizado y por sedimentación, aclarando que es posible ejecutar ambos métodos de forma combinada [23].

### **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO, MTC E 109**

En la presente norma, se establecen las pautas para determinar la cantidad de partículas cuyo tamaño sea inferior a 75  $\mu\text{m}$  [23].

### **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110**

La presente norma, establece las pautas para un adecuado desarrollo de distintos ensayos, con el fin de determinar el límite líquido, obteniéndose humedades donde el suelo pasará de una consistencia plástica a líquida [23].

### **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.), MTC E 111**

La presente norma, establece las pautas para determinar el límite plástico e índice de plasticidad, obteniéndose un rango de humedades donde el suelo tendrá una consistencia distinta [23].

### **MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA, MTC E 113**

La presente norma, indica el método para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas, mediante el uso de un picnómetro, con el fin de utilizar dicho valor en las relaciones volumétricas de un suelo [23].

### **CLASSIFICATION OF SOIL AND SOIL-AGGREGATE MIXTURES FOR HIGHWAY CONSTRUCTION PURPOSES (CLASIFICACIÓN DE SUELO Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO PARA FINES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS), AASHTO M 145**

La normativa presente, describe el proceso de clasificación de suelos en base a su distribución granulométrica y sus límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), presentando un total de 7 grupos (A-1 a A-7), donde los suelos limo-arcillosos abarcan en su mayoría los grupos comprendidos desde A-4 hasta A-7 [24].

### **MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, SUCS), NTP 339.134**

La norma en mención establece el proceso para la clasificación de suelos minerales y orgánico, con fines de ingeniería, basándose en pruebas de laboratorio como son: granulometría, límite líquido e índice plástico, indicando la tipología principal de suelos como: gravas, arenas, limos, arcillas y suelos orgánicos, así mismo, la clasificación de la combinación entre ellos [25].

### **COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO), MTC E 115**

Esta norma, indica el procedimiento necesario para desarrollar la compactación del suelo a nivel de laboratorio, buscando determinar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, proporcionándole al suelo una mayor resistencia y mejorando su estabilidad [23].

### **MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO, MTC E 132**

La presente normativa, describe el proceso para determinar el valor de la relación de soporte o CBR (California Bearing Ratio). Siendo necesario para el desarrollo de este ensayo, que el suelo posea su óptimo contenido humedad [23].

### **LEY GENERAL DEL AMBIENTE, LEY N°28611**

La ley en mención, establece los requisitos para el adecuado uso del derecho a un ambiente saludable, así como las medidas necesarias para el cumplimiento de una óptima gestión ambiental, contribuyendo con el desarrollo sostenible del país [26].

### **STANDARD SPECIFICATION FOR COAL FLY ASH AND RAW OR CALCINED NATURAL POZZOLAN FOR USE IN CONCRETE, ASTM C618**

La norma en mención está referida a cenizas volantes y puzolanas, para la aplicación de las mismas como material cementante, así mismo, nos presenta los parámetros para clasificarlas dependiendo de su composición química y densidad relativa [27].

## **BASES TEÓRICAS**

### **SUELOS ARCILLOSOS**

#### **DEFINICION**

Según Crespo Villalaz [28], se les llama arcillas a las partículas sólidas de diámetro menor a 0.005 milímetros, y al ser mezclada con agua la masa tiende a volverse plástica. Así mismo, según su estructura química está compuesta en gran porcentaje por alúmina hidratado y silicato de hierro o magnesio en menor proporción.

#### **CLASIFICACIÓN**

- 1) El caolinitico. - siendo integradas por dos láminas superpuestas de manera indefinida, una silicia y otra alumínica, cuya unión no permite el ingreso de moléculas de agua entre ellas, lo cual genera que estas arcillas sean estables.
- 2) El Montmorilonitico. – en este grupo encontramos a la bentonita, siendo constituidas por una lámina alumínica que está dentro de 2 láminas silícicas, pero cuya unión es débil, lo cual genera que estas arcillas presenten una fuerte expansión e inestabilidad.
- 3) El Ilítico. - presentan una estructura química muy semejante al de las montmoriloníticas, sin embargo, estas no son tan expansivas como el grupo anterior.

#### **PROPIEDADES FISICAS**

##### PESO VOLUMÉTRICO:

El peso volumétrico de una arcilla, es dicho peso por unidad de volumen, expresando en  $\text{kg/m}^3$ ; otro concepto en relación es el peso volumétrico aparente, siendo este el peso por volumen seco y suelto, el cual considera los vacíos presentes en el suelo, el principal beneficio de estos datos, es la conversión directa de pesos a volumen o viceversa [28].

### DENSIDAD:

La densidad absoluta es la masa de un material contenida en la unidad del volumen, pero sin incluir sus vacíos, mientras que la densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen la cual si incluyendo sus vacíos [28].

### GRANULOMETRÍA

La granulometria se refiere a la determinación de diferentes tamaños de las partículas que forman el suelo, para el cual hay varios procedimientos, pero el más simple y fácil es el tamizado.

Sin embargo, debido a la finura de la arcilla, hace difícil su tamizado, es por ello que acudimos al procedimiento de sedimentación; no obstante, ambos métodos tienen por finalidad obtener la curva granulométrica.

Un punto importante para identificar este tipo de suelo durante el tamizado es el siguiente: si en malla N° 200 el pasante es más del 50%, la muestra se clasificará como grano fino (limo y/o arcilla) [28]

### PLASTICIDAD

Es la principal propiedad de las arcillas, siendo esta la capacidad del suelo para deformarse hasta cierto límite sin romperse [28].

Para determinar la plasticidad se hace utilizan de los siguientes límites establecidos por Atterberg:

- ✓ Límite De Contracción. - Es el porcentaje de humedad respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no provoca una variación en el volumen del suelo.
- ✓ Límite Plástico. – Es el porcentaje de humedad respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo pasa de un estado semisólido a uno plástico.
- ✓ Límite Líquido. - Es el porcentaje de humedad respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo pasa del estado plástico al líquido.

- ✓ Índice de Plasticidad. – es la diferencia numérica entre el límite líquido y plástico, indica el margen de humedades donde el suelo se encontraría en un estado plástico.

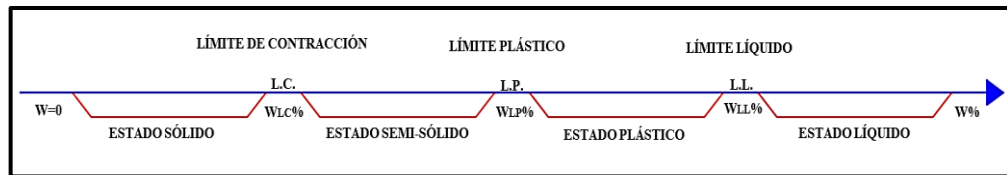


Figura 7: Límites de Atterberg. Fuente: [28]

Según el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, presenta una clasificación de suelos según su índice de plasticidad, donde detalla cuando el IP es mayor o igual a 20, es un suelo muy arcilloso, mientras, si su índice está en el rango entre 7 y 20, el suelo es arcilloso, en tanto, su índice sea inferior a 7, el suelo es poco arcilloso, y cuando el índice es igual a cero, este será no posee arcilla.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Tabla 1: Clasificación de suelos según índice de Plasticidad. Emitido por [20]

## PROPIEDADES MECÁNICAS

### ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

La estabilidad volumétrica está condicionada por los procesos de expansión y contracción generados en suelos arcillosos, estos son ocasionados por variaciones en la humedad, donde se incrementan las presiones en la estructura del pavimento, lo cual ocasiona deformaciones y rupturas en los mismos; resultando necesario identificar y caracterizar estos suelos expansivos, siendo la solución más común, la transformación de la arcilla en una masa granular o rígida [5].

### RESISTENCIA

La resistencia mecánica en suelos arcillosos, es la capacidad que poseen para resistir ante sollicitaciones externas, donde esta dependerá del contenido de humedad y de la energía de compactación, pues un suelo compactado con su óptimo contenido de humedad generando su máxima densidad seca, presentará un comportamiento elástico y resistencias altas, a diferencia, si se compactara con una alta humedad, y por ende, baja densidad seca, pues ocasionará un comportamiento plástico o viscoso y una baja resistencia en el suelo, esto se debe a que el exceso de humedad en las arcillas generan la repulsión de sus partículas, ocasionando que la cohesión incremente o disminuya de forma proporcional al contenido de agua [5].

### PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la capacidad que tiene el suelo para permitir que el agua atraviese por él. Esta propiedad en subrasantes arcillosas está relacionada con dos problemas: el primero, la disipación de presiones de poro y el segundo, el flujo de agua a través del suelo; donde, al presentarse altas presiones de poros generarán deslizamientos en las explanaciones, mientras, el flujo de agua a través del suelo, ocasionará tubificaciones y arrastre de partículas, alterando las capas subyacentes del pavimento, por ende, es necesario que la compactación se realice con el óptimo contenido de humedad, pues las partículas del suelo tenderán a reordenarse, disminuyendo la cantidad de vacíos, y de esta forma, obtener una baja permeabilidad [5].

### COMPRESIBILIDAD

La comprensibilidad es el grado de deformación que presenta un suelo cuando este trabaja bajo cargas, siendo los más comprensibles, las arcillas. Esta propiedad, altera la permeabilidad, las presiones de poros y la resistencia del suelo, donde la humedad de compactación juega un papel muy importante, pues con la necesaria, el comportamiento del suelo resultará óptimo para su aplicación en obras viales.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO, MTC E 108 [23]:

#### DESCRIPCIÓN:

El contenido de humedad de un suelo responde a una relación entre el peso del agua presente en él y el peso de sus partículas sólidas, expresado en porcentaje, dicho de otra forma, es que tanto por ciento del suelo analizar es agua.

#### EQUIPOS:

- Horno, con capacidad de alcanzar temperaturas de  $110 \pm 5$  °C
- Balanzas, con margen de error según lo permitido por la norma ( $\pm 0.01$  gr)

#### MATERIALES:

- Recipientes, resistentes al calor y a la corrosión

#### CÁLCULOS:

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

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

Donde:

- $W$  = es el contenido de humedad, (%)
- $M_{CWS}$  = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos
- $M_{CS}$  = es el peso del contenedor más el suelo seco en horno, en gramos
- $M_C$  = es el peso del contenedor, en gramos
- $M_W$  = es el peso del agua, en gramos
- $M_S$  = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO, MTC E 107 [23]:

### DESCRIPCIÓN:

Este ensayo, determina las proporciones relativas del tamaño de los granos presentes en el suelo, distribuyéndolos por rangos según las dimensiones de los mismos.

### EQUIPOS:

- Balanzas, con sensibilidad de  $\pm 0.01\text{gr}$
- Estufa capaz de mantener constante  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , con el fin de secar la muestra

### MATERIALES:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Tabla 2: Tamices para el análisis granulométrico de suelos. Fuente: MTC E-107

### CÁLCULOS:

- El % que pasa la malla número 200:

$$\% \text{ Pasa N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido En El Tamiz N}^\circ 200}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- La cantidad de partículas retenidas expresadas en %, según cada tamiz:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido En El Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- El % de partículas que pasa, según cada abertura:

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

## DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110 [23]:

### DESCRIPCIÓN:

El límite líquido corresponde a la máxima cantidad de agua, que un material puede presentar y, aun así, conservar su plasticidad.

### EQUIPOS:

- Copa de Casagrande
- Acanalador
- Calibrador
- Balanza, sensibilidad  $\pm 0.01$  gr
- Horno para temperaturas de  $110 \pm 5$  °C

### MATERIALES:

- Espátula, según lo especificado en la presente norma

### CÁLCULOS:

Donde:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{O} \quad LL = kW^n$$

- $N = N^\circ$  de golpes para cerrar la ranura para el contenido de humedad
- $W^n =$  Contenido de humedad del suelo
- $k =$  factor que se observa en la siguiente tabla

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Tabla 3: Factor K para determinar el Límite Líquido en suelos. Fuente: MTC E- 110

## **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.), MTC E 111 [23]:**

### DESCRIPCIÓN:

El límite plástico es la menor cantidad de agua que puede presentar un material, sin dejar este estado.

En tanto, el índice de plasticidad, es la diferencia algebraica entre el LL – LP.

### EQUIPOS:

- Tamiz N°40
- Superficie de trabajo (vidrio esmerilado grueso)
- Recipientes para la determinación de humedades del suelo

### MATERIALES:

- Espátula, según lo especificado en la presente norma

### CÁLCULOS:

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

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

Donde:

- *L.L.* = Límite Líquido
- *L.P.* = Límite Plástico
- *L.L* y *L.P.* son valores enteros
- Nota: *I.P* Tamiz N°40

**COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO), MTC E 115 [23]:**

DESCRIPCIÓN:

Este ensayo, busca calcular el contenido óptimo de humedad, siendo este el cual genera el reacomodo de partículas, formando una muestra más compacta, por ende, se obtiene una alta densidad seca.

EQUIPOS:

- Ensamblaje del molde: cada molde deberá poseer un collar de ensamblado y un plato base, donde, dicho collar como mínimo tendrá una altura de 2.0 pulgadas.
- Molde de 6 pulgadas: Se respetará lo indicado en la presente norma
- Pisón Manual: deberá poseer una guía con suficiente espacio libre y además la cabeza no deberá estar restringida.

MATERIALES:

- Tamices, para suelos finos se requerirá el N°04

CÁLCULOS:

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

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- $\rho_m$  = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- $M_{md}$  = Masa del molde de compactación (kg)
- $V$  = Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)
- $\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $W$  = contenido de agua (%)

## MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO, MTC E 132 [23]:

### DESCRIPCIÓN:

Este ensayo, es una medida indirecta de la resistencia a la penetración que posee el suelo, el valor esperado del CBR depende de la granulometría del material, contenido de finos y la plasticidad de los mismos.

### EQUIPOS:

- Molde metálico cilíndrico
- Disco espaciador de metal
- Pesas con masa de  $4,54 \pm 0,02\text{kg}$
- Pistón de penetración
- Prensa utilizada para la penetración de un espécimen.

### MATERIALES:

- Tamices, para suelos finos se requerirá el N°04

### CÁLCULOS:

- Se grafica una curva que relacione presiones vs penetraciones, vea figura 08, se observa si esta curva presenta punto de inflexión, si no presenta, se consideran los valores de 2.54mm y 5.08mm de penetración, sin embargo, si la curva presentara punto de inflexión, se deberá de corregir tal como estipula la presente norma.

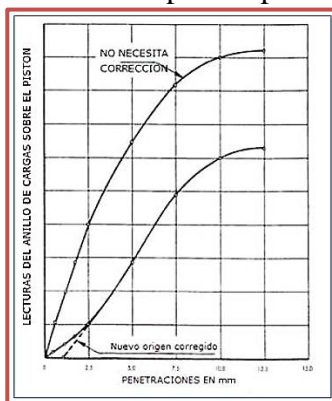


Figura 8: Curva para el cálculo del índice de CBR. Fuente: MTC E-132

## CLASIFICACIÓN SEGÚN AASHTO

### CONCEPTUALIZACIÓN

La presente metodología, fue creada en 1929 bajo el nombre de Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos, con el pasar de los años, fue sufriendo modificaciones hasta llegar a la actual normativa conocida como método AASHTO M145, propuesto en 1945 por el Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras.

Este sistema define siete grupos de suelos, desde A-1 hasta A-7, diferenciando los materiales granulares de los finos por el pasante de la malla N°200; si pasa menos del 35% será un material granular, comprendido entre los grupos A-1, A-2 y A-3, pero si pasa más del 35% será un material fino, estando comprendido entre los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. [20]

### SIMBOLOGÍA

Para clasificar los suelos mediante la presente metodología, se empleará los siguientes signos convencionales

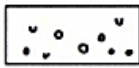

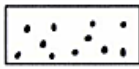



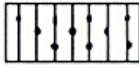
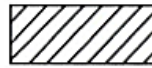

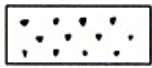

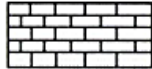

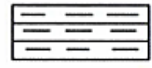

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Figura 9: Signos convencionales para perfil de calicatas. Emitido por [20].

## PROCESO DE CLASIFICACIÓN

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>Análisis granulométrico</b> % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	min. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
<b>Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)</b>												
<b>Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)</b>												
<b>LL: Límite de Líquido</b>				máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	Min. 41	máx. 40	min. 41	min. 41
<b>IP: Índice de Plasticidad</b>	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11 <sup>(a)</sup>	min. 11 <sup>(b)</sup>
<b>Tipo de material</b>	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>Estimación general del suelo como sub rasante</b>	Exelente a bueno						Regular a insuficiente					

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.

- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5),A-7-5 (17), etc

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

Tabla 4: Clasificación de suelos según AASHTO M 145. Emitido por [20].

## CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS

### CONCEPTUALIZACIÓN

Este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942, cuyo fin era la construcción de aeropuertos en la Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, en 1952 el sistema fue revisado con apoyo de la Oficina de Restauración de los Estados Unidos, estandarizándose su uso hasta la actualidad.

Esta clasificación, distingue dos grupos de suelos, basándose en el pasante por la malla N°200, si pasa menos del 50%, el suelo será grava (G) o arena (S), pero si pasa más del 50%, el suelo será limo inorgánico (M), arcilla inorgánica (C) o limo-arcilla orgánica (O). [20]

### SIMBOLOGÍA

Para clasificar los suelos mediante la presente metodología, se empleará los siguientes signos convencionales

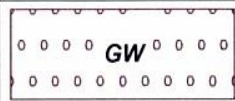


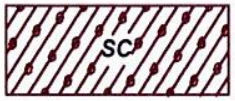


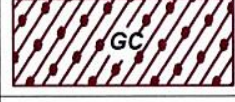

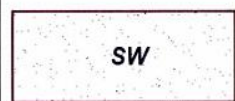

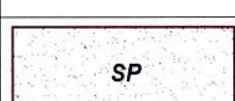

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fina, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

Figura 10: Signos convencionales para perfil de calicatas. Emitido por [20].

## PROCESO DE CLASIFICACIÓN

DIVISIONES PRINCIPALES			SÍMBOLOS	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz N° 200.	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4 (4.76mm)	<b>Gravas Limpias</b> (sin o con pocos finos)	GW	Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.	Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz N° 200), los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% GW, GP, SW, SP >12% GM, GC, SM, SC 5 al 12% casos límite que requieren usar doble símbolo	Cu>4, Cc entre 1 y 3.	
			GP	Grava mal graduada, mezclas grava - arena, poco o ningún fino.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		<b>Gravas con Finos</b> (apreciable cantidad de finos)	GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Grava arcillosa, mezclas grava - arena arcillosas.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N° 4 (4.76mm)	<b>Arenas Limpias</b> (pocos o sin finos)	SW	Arena bien graduada.		Cu>6, Cc entre 1 y 3.	
			SP	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		<b>Arenas con Finos</b> (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren de doble símbolo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200.	<b>Limos y Arcillas</b> Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		<div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">CARTA DE PLASTICIDAD</p> </div>	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
OL			Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
<b>Limos y Arcillas</b> Límite Líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.				
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.				
<b>Suelos muy Orgánicos</b>			P	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

Tabla 5: Clasificación de suelos según la SUCS. Fuente: [28]

## SUBRASANTE

### DEFINICIÓN

La subrasante, según [20], es la superficie terminada a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno) sobre la cual descansará la estructura de un pavimento. Así mismo, esta superficie deberá presentar características y propiedades aceptables, siendo como mínimo los últimos 30cm de suelo por debajo de ella, compactado al 95% de su máxima densidad seca, obtenida del ensayo Proctor modificado.

### CATEGORÍAS DE LA SUBRASANTE

Las categorías de la subrasante según el Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos [20], y a su vez, según la NTP CE.010 Pavimentos Urbanos [22], es la siguiente

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Subrasante insuficiente	De $CBR \geq 3\%$ A $CBR < 6\%$
S2: Subrasante regular	De $CBR \geq 6\%$ A $CBR < 10\%$
S3: Subrasante buena	De $CBR \geq 10\%$ A $CBR < 20\%$
S4: Subrasante muy buena	De $CBR \geq 20\%$ A $CBR < 30\%$
S5: Subrasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

Tabla 6: Categorías de la subrasante. Emitido por [20].

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
Subrasante Pobre	$CBR \leq 3\%$
Subrasante Regular	$3\% < CBR < 8\%$
Subrasante Buena	$8\% < CBR < 17\%$
Subrasante Excelente	$CBR \geq 17\%$

Tabla 7: Categorías de la subrasante. Emitido por [22].

## **TIPOS DE ESTABILIZACIÓN**

**ESTABILIZACIÓN MECÁNICA:** Esta estabilización no altera la estructura ni composición del suelo, se basa en la compactación, cuyo fin es disminuir la cantidad de vacíos presentes en él [20].

**ESTABILIZACIÓN FÍSICA:**

- **POR COMBINACIÓN DE SUELOS:** La presente estabilización se realiza mezclando el suelo existente con material de préstamo, para ello, se deberá de escarificar el terreno natural como mínimo una profundidad de 15cm, para luego, realizar la combinación y compactación de la mezcla, cumpliendo la densidad exigida y nivel de subrasante requerido [20].
- **POR SUSTITUCIÓN DE SUELOS:** Esta estabilización abarca dos situaciones, la primera, cuando la capa de material de préstamo, se construye directamente sobre el suelo existente, en este caso, se escarificará y compactará el terreno natural a una profundidad mínima de 15 cm, para luego acentuarse el material de préstamo, la segunda situación, corresponde al remplazo total del suelo natural por material de mejorar calidad, aquí se retirará el suelo a una profundidad según lo estipulado por el proyecto [20].

**ESTABILIZACIÓN QUÍMICA:** Este tipo de estabilización se basa en las reacciones químicas, el intercambio iónico y la cementación entre las partículas suelo-aditivo, buscando aumentar su resistencia, trabajabilidad y estabilidad volumétrica, siendo generalmente mejorados con este tipo de estabilización los suelos limosos y/o arcillosos [29].

**ESTABILIZACIÓN TÉRMICA:** Esta estabilización consiste en incrementar la temperatura de las arcillas a valores comprendidos entre 200 °C y 400 °C, cuyo fin es imposibilitar la rehidratación de la misma, obteniéndose grandes resistencias. Países como Rumania y Rusia han desarrollado este tipo de estabilización, sin embargo, sus tecnologías no se extienden a más de un par de metros [30].

## **AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS**

### **CONCEPTUALIZACIÓN**

Estos agregados, son materiales granulares extraídos de las mismas carpetas asfálticas ya sea mediante procesos de trituración o molienda, los cuales se caracterizan por estar cubiertos de betún [31]. Así mismo, el comportamiento de este material en el suelo dependerá de que tanto se ah variados sus propiedades, tales como: mineralogía, granulometría, forma de partícula, textura de superficie y angularidad.

En cuanto a su gradación, se afirma que dependiendo del proceso de extracción, los agregados reciclados presentarán mayor cantidad de finos que los áridos vírgenes [32].

En tanto, su resistencia, estos agregados reciclados presentan valores altos en su Módulo Resiliente (MR), lo cual le proporciona un buen comportamiento bajo carga de tipo tráfico, sin embargo, debido a su poca resistencia al corte, deberá de mezclarse con áridos virgen o estabilizarse con algún material cementante [33].

Respecto, su compactación, se descubrió al mezclarse suelo-agregados, a medida que se incrementa el material reciclado, la mezcla pierde estabilidad [33].

## **VENTAJAS DEL RECICLADO DE CARPETA ASFÁLTICA**

Dentro de las ventajas de reciclar esta capa de pavimento, según [34], tenemos:

- Mejora el comportamiento estructural de la capa del pavimento donde se reutilizará.
- Es aplicable como solución a los pavimentos que se encuentran con problemas relacionados a su capacidad resistente.
- Reduce costos en proyectos de rehabilitación y en otros como reforzamiento estructural.
- Genera la conservación de las fuentes de materiales y reduce el consumo de energía solicitada para producir nuevos agregados.
- Posee un menor grado de impacto ambiental.

## **TÉCNICAS DE RECICLACJE**

Según [34], existen dos grupos:

- **RECICLADO EN FRÍO:** En su mayoría realizada in-situ, al carecer de procesos constructivos eficaces, este grupo genera estructuras de calidad pobre, comparadas con las realizadas con agregados convencionales, sin embargo, si se corrige esta carencia, resulta beneficioso.
- **RECICLADO EN CALIENTE:** Producen estructuras de alta calidad comparadas con los pavimentos realizados con agregados convencionales, sin embargo, resulta más costoso que el reciclado en frío.

## CENIZAS DE ASERRÍN

### CONCEPTUALIZACIÓN

Las cenizas de aserrín, es un material muy fino, específicamente, polvo, caracterizado por poseer un color que varía entre negro y plomo [35]. Así mismo, debido a su alto contenido en SiO<sub>2</sub>, es aplicado como aditivo en el concreto y en el mejoramiento de suelos.

### CLASIFICACIÓN

Diversos autores clasifican este material como una puzolana artificial (ceniza volante), esto en base a sus características cementosas y su composición química, donde, se han determinado la cantidad porcentual de sus compuestos, presentándose a continuación algunos resultados:

Autor	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	LOI	Ref.
Butt	3.60%	86%	2.60%	10.27%	1.80%	0.45%	0.07%	-	0.43%	0.11%	-	[14]
Ikeagwuani	45.98%	33.20%	-	1.20%	0.03%	3.81%	1.01%	0.50%	2.20%	10.65%	-	[35]
Honest	3.50%	85%	2.70%	0.25%	1.70%	-	-	-	-	-	4.30%	[36]

Tabla 8: Composición química de las cenizas de aserrín, según distinto autores

Según los autores presentados [14], [35] y [36], concluyen que la incorporación de cenizas de aserrín mejora las propiedades del suelo, volviéndolo óptimo para su uso como subrasante.

Así mismo, para clasificar las cenizas en el presente estudio, se utilizará la siguiente Tabla:

	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) más óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) más óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), mín., %	70,0	50,0	50,0
Óxido de calcio (CaO), %	solo informar	18,0 máx.	< 18,0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx., %	4,0	5,0	5,0
Contenido de humedad, máx., %	3,0	3,0	3,0
Pérdida en ignición, máx., %	10,0	6,0 <sup>A</sup>	6,0

<sup>A</sup> El uso de puzolana de Clase F que contenga hasta un 12,0 % de pérdida en ignición puede ser aprobado por el usuario si están disponibles registros de desempeño aceptable o resultados de pruebas de laboratorio.

Tabla 9: Requisitos químicos de clasificación para puzolanas. Fuente: ASTM-C618-19 [27].

## CALCINACIÓN

Los compuestos químicos de las cenizas de aserrín que le otorgan sus propiedades cementicias son:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sin embargo, la generación de estos compuestos, depende del método de calcinación al cual se somete el aserrín.

Según [37], en su investigación, calcinó el aserrín mediante tres métodos: al aire libre, en estufa y en horno, a continuación, se describirá las consideraciones y resultados según cada proceso:

- **CALCINACIÓN AL AIRE LIBRE:** Se realizó la quema en una cámara abierta, a una temperatura que rodeaba los 450 a 600 °C. Obteniéndose como resultados, según el análisis químico que la suma de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fue de 50.03%
- **CALCINACIÓN EN ESTUFA:** Se desarrolló la calcinación en una estufa cilíndrica, a una temperatura inferior a los 700 °C. Según los resultados obtenidos, la suma porcentual de los componentes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fue de 57.17%
- **CALCINACIÓN EN HORNO:** Se realizó la combustión en un horno de crisol, a una temperatura que alcanzaba los 600 a 800 °C. Según el análisis químico, resultó la suma de componentes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  igual a 82.02%

Del análisis químico realizado, el autor afirma lo siguiente: la calcinación de las cenizas de aserrín en horno, genera mejores resultados, sin embargo, por los métodos restantes (al aire libre y en estufa), se obtienen puzolanas de menor calidad.

## DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Suelo expansivo:** Suelo que sufre expansión y/o retracción, poniendo en peligro la estructura que se asienta sobre ellos [20].
- **Plasticidad:** Propiedad que presenta el suelo, la cual le proporciona estabilidad, pero esta se ve limitada hasta cierto límite de humedad [20].
- **Estabilización de suelos:** Proceso físico o químico con el cual se mejoran las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, con el objetivo de volverlos estables [22].
- **Pavimento:** Estructura compuesta por capas, apoyadas sobre un terreno preparado para soportarlas durante un periodo de servicio [22].
- **Sub rasante:** Es la superficie terminada de la carretera, a nivel de corte o relleno, sobre la cual se asentará la estructura del pavimento [20].
- **Capa de base asfáltica:** capa estructural de pavimentos flexibles, compuesta por cemento asfáltico y agregados de alta calidad, esta se encuentra compactada y densa [22].

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **TIPO DE ESTUDIO**

Según [38] la presente investigación responde a la siguiente tipología:

- **SEGÚN SU FINALIDAD**

Investigación Aplicada: dado que la presente tesis busca aplicar los conocimientos existentes de la ingeniería de pavimentos para solucionar el problema de las subrasantes arcillosas, más no se pretende desarrollar nuevas teorías.

- **SEGÚN LOS DATOS ANALIZADOS**

Investigación Cuantitativa: debido a que se utilizarán valores numéricos obtenidos de los ensayos de laboratorio, para cuantificar con exactitud las variaciones en las propiedades físico mecánicas de las subrasantes en estudio.

- **SEGÚN LA METODOLOGÍA PARA CONSTATAR LA HIPÓTESIS**

Investigación Experimental: dado que la presente tesis, busca medir como influye la incorporación de agregados de carpeta asfáltica reciclada y cenizas de aserrín, sobre las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos, demostrándose la hipótesis, mediante los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

### **NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Según [38], en base al nivel de profundización del objeto de estudio, la presente investigación corresponde a un nivel correlacional, dado que busca medir la relación que existe entre las variables de interés.

## DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Consiste en establecer el proceso a desarrollar para demostrar la veracidad de la hipótesis; correspondiendo a la presente investigación, el diseño de Experimento Puro con Estudio Únicamente de Postprueba, donde la representación lógica, del diseño de investigación es el siguiente:

$O_c \_ \rightarrow -X_1 \_ \rightarrow M_2$ : Para el Grupo de Control

$O_e \_ \rightarrow X_1 \_ \rightarrow M_1$ : Para el Grupo Experimental

Donde:

- $O$  = Subrasantes arcillosas
- $-X_1$  = Ausencia de estabilizantes (sin estímulos)
- $X_1$  = Incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín (con estímulos)
- $M$  = Medición de las propiedades físico-mecánicas de los suelos en estudio.

## POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO DE ESTUDIO

### POBLACIÓN

En la presente investigación, la población en estudio son todas las subrasantes arcillosas ubicadas en la extensión total de Av. Venezuela, distrito de José Leonardo Ortiz.

### MUESTRA

La muestra en estudio, son todas las subrasantes arcillosas presentes en el tramo de la Avenida Venezuela desde Próceres hasta España.

### MUESTREO DE ESTUDIO

Para el desarrollo de la presente tesis, se utilizó el muestreo no probabilístico y por conveniencia, dado que depende del juicio del autor, sustentándose el número de puntos de muestreo según lo establecido por la NTP. CE.010 Pavimentos Urbanos, donde, en su artículo 3.2.2. presenta:

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

Tabla 10: Número de puntos de investigación, según el tipo de vía. Emitido por [22]

- ✓ TIPO DE VÍA: Según el Reglamento para el Sistema Vial Urbano de la provincia de Chiclayo [39], clasifica a la Av. Venezuela como una red colectora, caracterizándose por articular transversal y longitudinalmente a los anillos viales, enlazando en este caso a Carretera Panamericana Norte (Anillo Vial N°3) y Av. Chiclayo (Anillo Vial N°1).
- ✓ ÁREA: Según el sistema de información geográfica Google Earth Pro, mediante la herramienta “agregar polígono”, se estima un área aproximada de 5200m<sup>2</sup> pertenecientes al tramo de Avenida Venezuela desde Próceres hasta España, José Leonardo Ortiz.

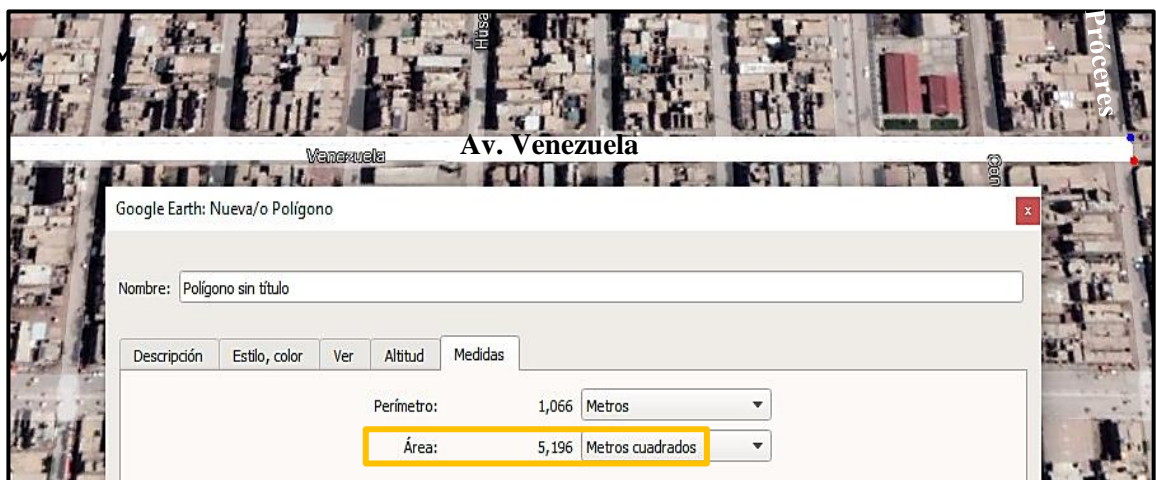


Figura 11: Obtención del área del tramo de estudio. Fuente: Google Earth Pro

- ✓ NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN:

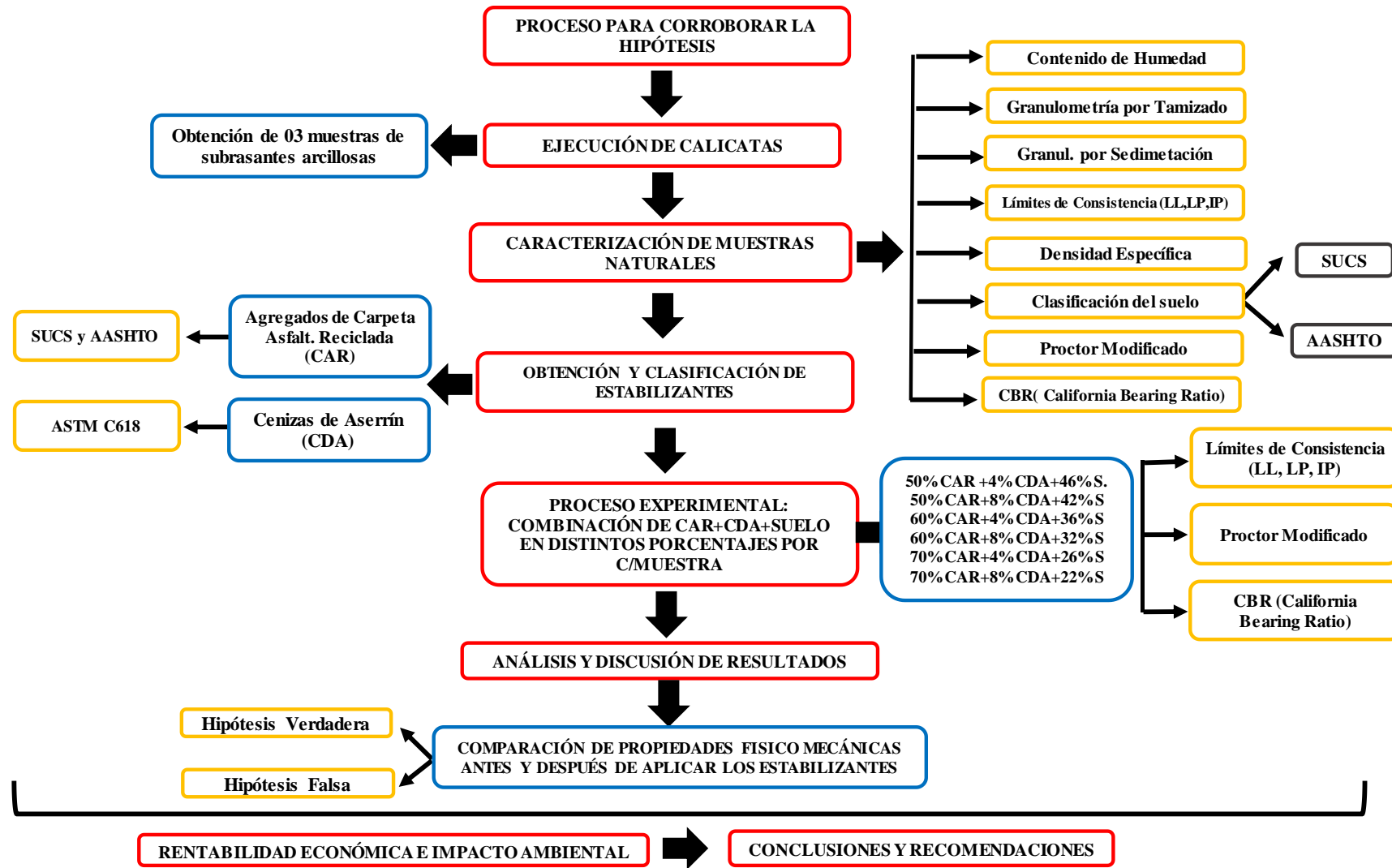
En base al tipo de Vía en estudio y el área calculada, se obtiene:

$5200\text{m}^2/3000\text{m}^2 = 1.73 \approx 2$  puntos de investigación, sin embargo, al ser el mínimo un total de 3, se optó por dicho valor; así mismo, las calicatas o puntos de exploración contarán con una profundidad de 1.50m, extrayéndose las muestras del estrato más profundo y uniforme, con el fin que estas sean representativas de subrasantes.

## HIPÓTESIS

La hipótesis planteada, es la siguiente: la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín mejorarán las propiedades físico – mecánicas de las subrasantes arcillosas provenientes de Avenida Venezuela, distrito de José Leonardo Ortiz.

Así mismo, a continuación, se muestra el proceso para demostrar dicha hipótesis.



Gráfica 1: Proceso de corroboración de hipótesis. Fuente: Propia

## VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

### VARIABLES

- ✓ Variable independiente:

Incorporación de agregados de carpeta asfáltica reciclada y cenizas de aserrín.

- ✓ Variables dependientes:

Propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas

### OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	MEDICIÓN	INSTRUMENTO	RANGOS
<b>Var. Independiente</b> Incorporación de agregados de carpeta asfáltica reciclada y cenizas de aserrín.	Agregados de Carpetas Asfálticas Recicladas	Cantidad de agregados reciclados	% en peso	Balanza electrónica con aproximación a 01.g	50, 60 y 70%
		Diámetro de los agregados reciclados	mm	Juego de Tamices	4.75mm a 25mm
	Cenizas de Aserrín	Cantidad de cenizas de aserrín	% en peso	Balanza electrónica con aproximación a 01.g	4 y 8%
		Diámetro de las cenizas de aserrín	mm	Tamiz N°30	< 600um (0.6mm)
<b>Var. Dependiente</b> Propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas.	Propiedades Físicas	Límite Líquido	%	MTC E110	-
		Límite Plástico	%	MTC E111	-
		Índice de Plasticidad	%	MTC E111	-
	Propiedades Mecánicas	Óptimo Contenido de Humedad	%	MTC E115	-
		Máxima Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>	MTC E115	-
Capacidad de Soporte CBR		%	MTC E132	-	

Tabla 11: Operacionalización de las variables en estudio. Fuente: Propia

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la presente investigación se aplicará las siguientes técnicas e instrumentos:

- ✓ **Técnica:** El muestreo de suelos según el MTC E -101 [23]

**Instrumento:** Para muestrear el suelo de estudio depende del material a analizar, donde los instrumentos requeridos en la presente investigación son:

- Pala, para excavaciones a cielo abierto con profundidad de 1.50m
- Bolsas de polietileno de capacidad 50kg aprox.
- Otros accesorios: cinta métrica, estacas, cámara fotográfica, pizarra, plumones, etc.

- ✓ **Técnica:** Análisis de resultados

**Instrumento:** Consiste en la discusión e interpretación de los mismos, dentro de los instrumentos a emplear tenemos: hojas de cálculo, gráficas, organizadores, cuadros comparativos, entre otros.

- ✓ **Procesamiento de información:** Se refiere a los medios con los cuales se procesará o tratará la data obtenida de los ensayos realizados, entre los softwares requeridos tenemos: Microsoft Word, Excel, Autocad y el sistema de información geográfica Google Earth Pro

## PROCEDIMIENTO

### EJECUCIÓN DE CALICATAS

Para dar inicio a la presente investigación, primero, se realizó una visita a campo preliminar para identificar de forma visual el estado de la vía, zonas con presencia de suelos arcillosos problemáticos (expansivos) y otros problemas que presenta el tramo de estudio (asentamiento a nivel de veredas), tal como se presentó en las ilustraciones 2 y 3, definiéndose por conveniencia la ubicación de los puntos de muestreo.

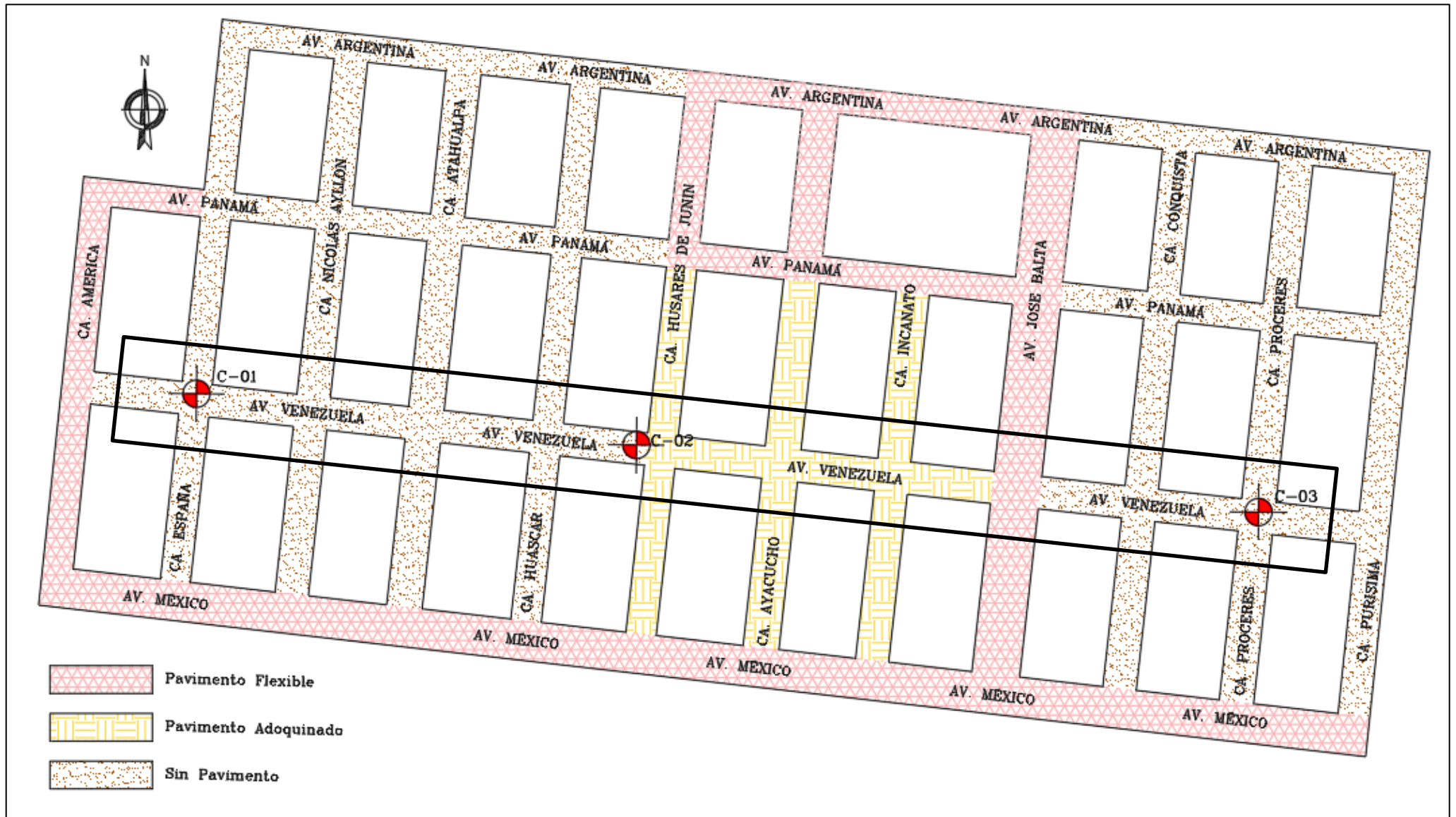
Posteriormente, se ejecutaron un total de 03 calicatas a cielo abierto, extrayéndose y almacenándose las muestras alteradas tal como estipula la normativa MTC E-101 “Muestreo de Suelos Y Rocas” [23].

Las calicatas se realizaron a un costado del eje de vía, en un clima cálido y en un horario no muy transitado, donde su ubicación se presenta a continuación (vea figura 12):

- C-01: Intersección Av. Venezuela y España.
  - E: 628167
  - N: 9253224
- C-02: Intersección Av. Venezuela y Húsares de Junín.
  - E: 628385
  - N: 9253202
- C-03: Intersección Av. Venezuela y Próceres.
  - E: 628676
  - N: 9253169

Las coordenadas mostradas, fueron extraídas con el sistema de información geográfica Google Earth Pro.

Figura 12: Ubicación de las calicatas en el tramo de estudio, Av. Venezuela desde Próceres hasta España.



Además, según la CE. 010 pavimentos Urbanos, establece una profundidad mínima de excavación de 1.50m, encontrándose por debajo de la cota de la rasante de la vía, la cual se respetó en la presente investigación, así mismo, según el MTC E-101 “Muestreo de Suelos Y Rocas”, indica que la cantidad mínima de muestra a extraer deberá ser la necesaria para desarrollar al menos los ensayos físicos del suelo.

Las calicatas realizadas tuvieron una profundidad de 1.50m, encontrándose un solo perfil estratigráfico compuesto por material de relleno, extendiéndose desde la superficie hasta 0.20m de profundidad, y a su vez, suelo arcilloso comprendido desde dicho nivel hasta fondo de excavación.

Cabe recalcar que, en ninguna calicata se encontró presencia de nivel freático, así mismo, por cada una se extrajo aproximadamente 125.00 kg de muestra de suelo, para luego ser trasladada en sacos de polietileno a laboratorio.



Figura 13: Calicata-01: Intersección Av. Venezuela y España. Fuente: Propia



Figura 14: Calicata-02: Intersección Av. Venezuela y Húsares de Junín. Fuente: Propia



Figura 15: Calicata-03: Intersección Av. Venezuela y Próceres. Fuente: propia

Seguidamente, se elaboró el perfil estratigráfico por cada calicata, en él se detalla la profundidad de cada estrato, como también, las características de los mismos.


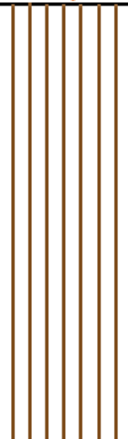
PERFIL ESTRATIGRÁFICO CALICATA N°01				
<b>TESIS:</b>		MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORANDO AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE ASERRÍN EN AVENIDA VENEZUELA, JOSÉ LEONARDO ORTIZ		
<b>UBICACIÓN:</b>		Av. Venezuela y España, JLO	<b>CODIFICACIÓN:</b> C-01	
PROFUNDIDAD	TIPO EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.10m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica.
0.20m				
0.30m			ML - A-7-6(14)	Limo de baja plasticidad Limite Líquido (L.L.) : 49 % Limite Plástico (L.P.) : 28 % Índice de Plasticidad (I.P.) : 21 % Contenido de Humedad: 21 %
0.40m				
0.50m				
0.60m				
0.70m				
0.80m				
0.90m				
1.00m				
1.10m				
1.20m				
1.30m				
1.40m				
1.50m				

Figura 16: Perfil estratigráfico calicata 01. Fuente: Propia

<b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO CALICATA N°02</b>	
<b>TESIS:</b>	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORANDO AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE ASERRÍN EN AVENIDA VENEZUELA, JOSÉ LEONARDO ORTIZ
<b>UBICACIÓN:</b>	Av. Venezuela y Húsares de Junín, JLO <b>CODIFICACIÓN:</b> C-02



PROFUNDIDAD	TIPO EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.10m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica.
0.20m				
0.30m			CL - A-7-6(12)	Arcilla de baja plasticidad Limite Líquido (L.L.) : 44 % Limite Plástico (L.P.) : 26 % Índice de Plasticidad (I.P.) : 18 % Contenido de Humedad: 20 %
0.40m				
0.50m				
0.60m				
0.70m				
0.80m				
0.90m				
1.00m				
1.10m				
1.20m				
1.30m				
1.40m				
1.50m				

Figura 17: Perfil estratigráfico calicata 02. Fuente: Propia.

<b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO CALICATA N°03</b>	
<b>TESIS:</b>	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORANDO AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE ASERRÍN EN AVENIDA VENEZUELA, JOSÉ LEONARDO ORTIZ
<b>UBICACIÓN:</b>	Av. Venezuela y Próceres, JLO <b>CODIFICACIÓN:</b> C-03

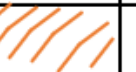

PROFUNDIDAD	TIPO EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.10m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica.
0.20m				
0.30m			CH - A-7-6(19)	Arcilla de baja plasticidad Limite Líquido (L.L.) : 54 % Limite Plástico (L.P.) : 23 % Índice de Plasticidad (I.P.) : 31 % Contenido de Humedad: 19 %
0.40m				
0.50m				
0.60m				
0.70m				
0.80m				
0.90m				
1.00m				
1.10m				
1.20m				
1.30m				
1.40m				
1.50m				

Figura 18: Perfil estratigráfico calicata 03. Fuente: Propia.

Luego de obtener las muestras de subrasantes arcillosas, se procedió a realizar los ensayos correspondientes para su caracterización, los cuales se desarrollaron en las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos, concreto, emulsiones y asfaltos Chiclayo – LMSCH. E.I.R.L., ubicado en Av. Augusto B. Leguía N°287, Simón Bolívar, describiéndose a continuación los ensayos realizados en él:

### **ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**

Según la norma MTC E-108, la humedad es la relación entre los sólidos y el peso del agua, para ello, se realiza primero un cuarteo, el cual consiste en dividir la muestra total en partes iguales, esto con el fin de seleccionar muestras representativas, para luego pesarlas en una balanza eléctrica.

Después, con las muestras seleccionadas del cuarteo, procedemos a almacenarlas en taras, registrando el peso del depósito con y sin material.

El siguiente paso a seguir es colocar las taras en un horno eléctrico a temperatura constante de 110°C por 24 horas

Luego de cumplirse el tiempo, se retira las muestras del horno, dejándolas enfriar a temperatura ambiente, posterior a ello, se registra el peso seco de la muestra con la tara, por último, se efectúa el cálculo del contenido de humedad natural.



*Figura 19: Ensayo de humedad. Fuente: Propia*

### **ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Este ensayo se realizó de acuerdo con la normativa MTC E-107:

Teniendo en cuenta la normativa ya mencionada, se debe distribuir por tamaños una muestra de cada calicata y anotar los resultados de peso retenido por los tamices de diferente tamaño.

Se pesa en una balanza la muestra, para posteriormente realizarle el ensayo. Después, se registra el peso retenido según cada tamiz, verificándose que la sumatoria de todos los retenidos sea igual al peso inicial de la muestra.



Figura 20: Ensayo granulometría por tamizado. Fuente: Propia

## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

Según la normativa MTC E-109, este ensayo debe cumplir con la condición que más del 50% de la muestra del ensayo de granulometría pase por el tamiz N° 200, si se cumple dicha solicitud, se podrá realizar el presente ensayo.

Para inicial con el ensayo, se debe de contar con agua destilada y una solución de hexamerafosfato de sodio, que debe estar en una porción de 40 gr y a una temperatura de 20°C.

La muestra a utilizar, deberá estar conservada a una humedad natural, por lo que debemos mezclar el sodio con agua destilada mediante una pipeta de 4 cm<sup>3</sup>, esto con el fin de lograr una buena disolución.

Una vez mezclado la muestra con el agente agregado, se deberá agitar la mezcla por 7 minutos aproximadamente.

Pasados los 7 minutos la mezcla se coloca en una probeta completándose 1000 ml de esta, luego se tapa con la mano y hace un giro rápido de 60 grados hasta lograr ver que la muestra quedo asentada en el fondo de la probeta

Ya casi por finalizar e introducir el hidrómetro, se debe tener el cronometro en la mano para comenzar a realizar las lecturas de la probeta, sabiendo que los tiempos irán variando para cada registro, así mismo, se medirá la temperatura de la mezcla con precaución que el hidrómetro se mueva.



*Figura 21: Ensayo granulometría por Hidrómetro. Fuente: Propia*

## **ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO**

Este ensayo se realizó en base a la norma MTC E-110, donde, para realizarlo debemos verificar que la cuchara de Casagrande este calibrada, dado que se colocará una pequeña porción de nuestra, la cual se encuentra saturada, cabe recalcar que, dicha muestra ah debido estar 24 horas en agua.

Luego de colocar la muestra en la cuchara, realizamos un corte central con apoyo de una ranura que debe tener una longitud aproximada de 13mm

Después, comenzamos a girar la manivela dejando caer el bol de la cuchara con la muestra, contándose la cantidad de golpes que ocasionan que la ranura que tenía la muestra se llega a cerrar o juntar, la cantidad de golpes varían entre 4 a 40, y estos, deben ser registrados en 4 fases: la primera, de 30 a 40 golpes, la segunda, de 20 a 30 golpes, la penúltima, de 10 a 20 y la última, de 4 a 10 golpes

Siguiendo con el proceso, se colocará una pequeña porción de agua en la muestra que no ha cerrado, para luego hacer de nuevo los golpes de 20 a 30.

Posterior a ello, se pesa la tara, pero sin la muestra; después, tomamos el peso de la tara, pero con la muestra

Ya para finalizar, dejamos las muestras en el horno a una temperatura 110°C por 24 horas, pasado dicho tiempo, se saca del horno y se procede a pesar, esto con el fin de obtener su humedad, el mismo proceso se debe aplicar con las muestras de todas las calicatas



*Figura 22: Ensayo límite líquido. Fuente: Propia*

### **ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

Según la MTC E-111, se procede a realizar pequeños cilindros los cuales deben tener un diámetro aproximado de 3mm cada uno. Luego, se pesa la tara con y sin las muestras. Finalmente, se deja los pequeños cilindros de 3mm en el horno a una temperatura de 110°C por 24 horas, una vez concluido el tiempo, se retiran y se procede a calcular su humedad.



*Figura 23: Ensayo límite plástico. Fuente: Propia*

### **ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Según la norma MTC E-115, para realizar el siguiente ensayo se deberá tomar mínimo 3 muestras por calicata, con el fin de obtener el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca, cabe recalcar que, cada muestra estará con un contenido de humedad diferente, sin embargo, cada una, deberá rellenar el molde de compactación en 5 capas, cada capa será compactada con 25 golpes.



*Figura 24: Ensayo Proctor modificado. Fuente: Propia*

### **ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

Este ensayo se realizará para cada una de las muestras correspondientes a las calicatas realizadas, donde, se obtendrá el porcentaje de expansión y la densidad seca del suelo compactado a 55, 26 y 12 golpes de acuerdo a la MTC E -132.

Una vez realizado lo antes mencionado, se anota los resultados, emitiéndose el valor de CBR para una penetración de 0.1” y 0.2” con una máxima densidad seca de 95% y 100%.



*Figura 25: Ensayo de CBR. Fuente: Propia*

## ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA CENIZAS DE ASERRÍN

El presente ensayo se realizó en las instalaciones del laboratorio de instrumentación analítica INKALLOYS, Ubicado en Av. Óscar R. Benavides 3046 - Of. 1403, Lima, Perú.

Este ensayo consiste en excitar una muestra de partículas con una fuente de radiación X, dicha radiación expulsa electrones de capas internas del átomo, donde, los electrones de capas externas, ocupan los espacios vacíos y el exceso de energía generado, se disipa en fotones y/o radiación X fluorescente, caracterizados por poseer una longitud de onda que depende del gradiente energético y una intensidad relacionada con la concentración de los elementos en la muestra [40].

Para el presente estudio, se analizó una muestra aproximada de 220 gr de cenizas de aserrín en un espectrómetro de fluorescencia de rayos X Rigaku (WDXRF), con la finalidad de conocer su composición química, para luego comparar los resultados con los rangos establecidos por la ASTM C-618 y así poder clasificarlas.



Figura 26: Muestra de CDA y espectrómetro (WDXRF) utilizados. Fuente: Propia.

## SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA CARPETAS ASÁLTICAS RECICLADAS (CAR)

ANTECEDENTES							INVESTIGACIÓN PROPIA	
REF.	AUTOR(ES)	TÍTULO	ADITIVO	% EN PESO DE LA MUESTRA	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PORCENTAJES SELECCIONADOS	METODOLOGÍA SELECCIONADA
[13]	Mustapha Mohammed Alhaja , Musa Alhassan	Efecto de la estabilización del pavimento de asfalto recuperado en el microestructura y resistencia del suelo de algodón negro	Carpeta asfáltica reciclada	10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%	Se recogieron las carpetas asfálticas, dejándolas secar al aire libre, para luego ser trituradas pasándolas por la malla de 5mm, utilizándose el pasante a dicho tamiz.	Los porcentajes del 30% y 60% de carpeta asfáltica resultaron ser los más óptimos (según ensayos de proctor modificado y CBR), sin embargo, los porcentajes de porcentaje de 40%, 50% y 70%, en adelante, generan un descenso en los resultados.	De acuerdo con las investigaciones revisadas, se propone para la presente investigación utilizar los porcentajes de 50%; 60% y 70% de CAR	Se recogerán las carpetas asfálticas, para luego ser disgregadas y tamizadas, utilizándose como límite superior la malla de 1" (25mm), y como límite inferior la malla N°4 (4.75mm), finalmente, se lavará el agregado para eliminar finos, dejándolo secar al aire libre.
[16]	J. L. Campos Rodríguez y A. E. Vega Arroyo	Estabilización De Suelos Con Concreto Asfáltico Reciclado En El P.J. Dos De Mayo-Chimbote	Carpeta asfáltica reciclada	10%; 15% y 20%	Las carpetas asfálticas se recogieron para luego ser trituradas utilizando una comba de 4 libras tratando de no partir la piedra del concreto asfáltico.	El porcentaje óptimo encontrado fue de 20%, sin embargo, se apreció que los resultados fueron más favorables a medida que aumentaba el porcentaje de carpeta		
[32]	AM Mustapha, R. Jibrin, NM Etsuwo, M. Alhassan	Estabilización de suelo laterítico A-6 mediante pavimento asfáltico recuperado en frío	Carpeta asfáltica reciclada	5%; 10%; 15%; 20%; .....; 85%; 90%; 95%; 100%	Se recogió una cantidad sustancial de carpeta asfáltica, se disgregó y se dejó secar al aire libre.	El porcentaje óptimos fue el 60% (según los ensayos de proctor modificado, CBR y resistencia a la compresión no confinada), sin embargo, a partir del 65% decrecen los resultados.		
[31]	R. Kumar, Goliya, R. Meher	Un estudio sobre el uso de material de pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la capa subrasante de pavimento flexible en la ciudad de Vidisha.	Carpeta asfáltica reciclada	5%, 10%, 15%, 20%, 25%	El pavimento asfáltico recuperado se disgregó y tamizó por la malla de 20mm, utilizándose el pasante a dicho tamiz.	Se concluyó que el porcentaje óptimo es del 25% carpeta asfáltica (según ensayo de CBR), sin embargo, se aprecia que los beneficios ascienden a medida que se incrementa su contenido.		

ANTECEDENTES							INVESTIGACIÓN PROPIA	
REF.	AUTOR(ES)	TÍTULO	ADITIVO	% EN PESO DE LA MUESTRA	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PORCENTAJES SELECCIONADOS	METODOLOGÍA SELECCIONADA
[41]	A. Arqam, Nischitha, Chethan, Manoj	Estabilización del suelo de subrasante utilizando Pavimento asfáltico recuperado (RAP)	Carpeta asfáltica reciclada	5%, 10%, 15%, 20%, 25%	Se recogieron las carpetas asfálticas, para luego ser trituradas utilizándose partículas cuyo tamaño pasa el tamiz de 20mm.	El porcentaje óptimo encontrado fue de 25% (según ensayos de proctor modificado y CBR), sin embargo, se observó que los resultados eran ascendentes a medida que aumentaba el porcentaje de carpeta asfáltica.	De acuerdo con las investigaciones revisadas, se propone para la presente investigación utilizar los porcentajes de 50%; 60% y 70% de CAR	Se obtendrá el aserín, para luego retirar la corteza (virutas) presentes en él, posterior a ello, se realizará su calcinación al aire libre y finalmente, se tamizará utilizando la malla de 600µm (N°30) evitando grumos y partículas no quemadas (materia orgánica)
[42]	K. J. Osinubi, J. E. Edeh, W. O. Onoja	Estabilización con cenizas de aserín de pavimento de asfalto recuperado	Carpeta asfáltica reciclada	10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%	Se recogieron las carpetas asfálticas, para luego ser disgregadas utilizándose partículas cuyo tamaño pasa el tamiz de 28mm.	El porcentaje óptimo encontrado fue de 90% (según ensayos de proctor modificado y CBR).		
[43]	J. Suebsuk, A. Suksan and S. Horpibulsuk	Evaluación de la resistencia de la mezcla de pavimento asfáltico recuperado (RAP) del suelo tratado con cemento	Carpeta asfáltica reciclada	20%, 40%, 50%, 60%, 80%	El pavimento asfáltico recogido, se secó al aire libre, para luego ser disgregado y tamizado por las mallas de 10mm y 75µm, utilizándose el material comprendido entre dicha	El porcentaje óptimo encontrado fue de 50% (según ensayos de proctor modificado).		
[44]	B. Mishra	Un estudio sobre el uso de Pavimento asfáltico recuperado (RAP) Materiales en pavimento Flexible	Carpeta asfáltica reciclada	10%, 20%, 30%, 40%, 100%	El pavimento asfáltico recuperado se disgregó y tamizó por la malla de 53mm, utilizándose el pasante a dicho tamiz.	El porcentaje óptimo encontrado fue de 30% (según ensayos de impacto y abrasión).		
[45]	R. Locander	Análisis del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) como material de capa base	Carpeta asfáltica reciclada	100%	Se recogieron las carpetas asfálticas, para luego ser trituradas utilizándose partículas cuyo límite superior fue de 50mm y su límite inferior de 75µm	El pavimento asfáltico ensayado con dicha granulometría, resultó estar muy cercano a los estándares de una base granular (según ensayos de límites de Atterberg, abrasión, proctor gravedad específica, absorción y contenido de asfalto).		

Tabla 12: Revisión de antecedentes para el uso de CAR. Fuente: Propia

En base a los antecedentes revisado, según [13], [32] y [43], se observa que los porcentajes en peso con mejores resultados fueron los de 50% y 60% de carpeta asfáltica, no obstante, se debe buscar un punto de quiebre, o porcentaje desfavorable para limitar de mejor manera el porcentaje óptimo, en efecto, estos porcentajes desfavorable resultaron a partir del 65%, según [32] y del 70% o en adelante según [13], [42], [43] y [44].

De lo antes mencionado, para la presente investigación se seleccionaron los porcentajes en peso de 50%, 60% y 70% de carpeta asfáltica, estas, se mezclarán en conjunto con las cenizas de aserrín, desarrollándose los ensayos de límites de consistencia (límite líquido, plástico e índice de plasticidad), Proctor modificado y CBR.

Como se evidencia, en las investigaciones revisadas, las carpetas asfálticas se disgregaron, se secaron al aire y se restringió su granulometría, inferior a: 5mm, 10mm, 20mm, 28mm, 50mm y 53mm, según [13], [43], [41], [42], [45] y [44] respectivamente, del mismo modo, se tuvo en cuenta esta consideración.

Para la utilización de las carpetas asfálticas en el presente estudio, se seleccionó una granulometría promedio en base a los antecedentes revisados, considerándose el lavado de finos, con el fin de aprovechar el material disgregado como grava, donde, el proceso seleccionado se explica a continuación:

- ✓ Primero, se recolectará las carpetas asfálticas exceptuando aquellas que presentan sustancias contaminantes como hidrocarburos, aguas residuales no tratadas, entre otras.
- ✓ Segundo, se disgregará las carpetas recolectadas, mediante un martillo manga de madera
- ✓ Tercero, el material disgregado tendrá una granulometría cuyo límite superior será la malla de 1" (25mm) y el límite inferior la malla N°04 (4.75mm).
- ✓ Finalmente, se lavará el material disgregado para eliminar finos y se dejará secar al aire libre.

## PROCESO DE OBTENCIÓN DE AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS

### RECOLECCIÓN:

Las carpetas asfálticas utilizadas, fueron obtenidas del botadero ubicado en la carretera Panamericana Norte, salida de la ciudad de Reque a 33 minutos del centro de Chiclayo.

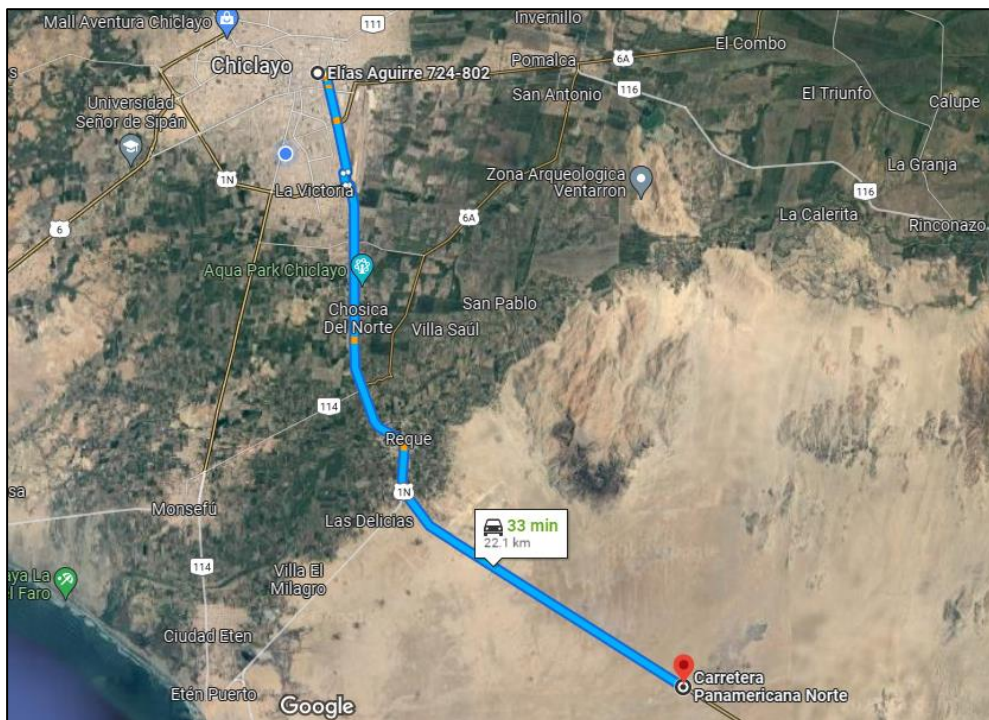


Figura 27: Ubicación del botadero empleado. Fuente: Propia



Figura 28: Botadero en carretera Panamericana Norte (Salida Reque). Fuente: Propia

Se recolectó las carpetas asfálticas del botadero antes mencionado, a su vez, se exceptuaron aquellas que presentan sustancias contaminantes como hidrocarburos, aguas residuales no tratadas, entre otras



*Figura 29: Recolección de carpetas asfálticas. Fuente: Propia*

#### TRATAMIENTO:

Primero, las carpetas asfálticas recolectas se disgregaron con apoyo de un martillo manga de madera.



*Figura 30: Disgregado de carpeta asfáltica. Fuente: Propia*

Segundo, el material disgregado fue tamizado por la malla de 1" (25mm), siendo este su límite superior, así mismo, por la malla N°04 (4.75mm), siendo este su límite inferior.



Figura 31: Tamizado de agregados reciclados por la malla de 1". Fuente: Propia



Figura 32: Tamizado de agregados reciclados por la malla N°04. Fuente: Propia

Tercero, se realizó el lavado al material disgregado, con el fin de eliminar finos



Figura 33: Lavado del material disgregado. Fuente: Propia

Finalmente, el material se dejó secar al aire libre, obteniéndose un total de 280.00 Kg de agregados tratados de carpetas asfálticas recicladas, estimándose un rendimiento de 150kg de CAR en 8hrs laborando una persona.



Figura 34: Secado de agregados reciclados al aire libre (mayor detalle en anexo 04). Fuente: Propia



Figura 35: Traslado de material disgregado a laboratorio. Fuente: Propia

## SELECCIÓN DE METODOLOGÍA PARA CENIZAS DE ASERRÍN (CDA)

ANTECEDENTES							INVESTIGACIÓN PROPIA	
REF.	AUTOR(ES)	TÍTULO	ADITIVO	% EN PESO DE LA MUESTRA	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PORCENTAJES SELECCIONADOS	METODOLOGÍA SELECCIONADA
[14]	W. A. Butt, K. Gupta, JN. Jha,	Comportamiento de resistencia del suelo arcilloso estabilizado con ceniza de aserrín	Cenizas de aserrín	4%; 8%; 12%	Se recolectó el aserrín, extrayéndose restos de virutas (corteza) presentes en él, para luego realizarle su calcinación al aire libre y finalmente, tamizar las cenizas con apoyo de la malla de 600um, eliminando grumos o partículas no quemadas.	Se concluye que el porcentaje óptimo es del 4% (según ensayos de CBR y resistencia a la compresión no confinada), mientras que los porcentajes de 8% y 12% generan resultados desfavorables	De acuerdo con las investigaciones revisadas, se propone para la presente investigación utilizar los porcentajes de 4% y 8% de CDA	Se obtendrá el aserrín, para luego realizar la quema del mismo y finalmente tamizarlo por la malla de 600um (N°30) evitando grumos y partículas no quemada (materia orgánica)
[15]	Jijo James	Beneficio de resistencia de la enmienda de aserrín/ceniza de madera en la estabilización con cemento de un suelo expansivo	Cenizas de aserrín	5%,10%, 20%	Se realizó la calcinación del aserrín al aire libre, para luego pasar las cenizas por el tamiz de 600 um	Se concluye que el porcentaje óptimo de CDA fue del 5%, generando el incremento de resistencias en conjunto con todos los porcentajes de cemento ensayados.		
[36]	B. K. Honest., G. Rowland Otoko, Braide	Estabilización de lateritas deltaicas nigerianas con Ceniza de serrín.	Cenizas de aserrín	2%; 4%; 6%; 8%; 10%	Se recolectó el aserrín, para luego calcinarlo y tamizarlo por la malla de 75 µm	Se obtuvo como porcentaje óptimo el 4% CDA (según ensayo proctor, CBR y resistencia a la compresión no confinada), en tanto, los porcentajes siguientes, generan resultados adversos.		
[42]	K. J. Osinubi, J. E. Edeh, W. O. Onoja	Estabilización con cenizas de aserrín de pavimento de asfalto recuperado	Cenizas de aserrín	10%; 20%, 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%	Se realizó la incineración del aserrín en una planta maderera, para luego pasar las cenizas obtenidas por un tamiz de 75um.	El porcentaje óptimo de cenizas de aserrín fue del 10%, esto según el ensayo de CBR.		

ANTECEDENTES							INVESTIGACIÓN PROPIA	
REF.	AUTOR(ES)	TÍTULO	ADITIVO	% EN PESO DE LA MUESTRA	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PORCENTAJES SELECCIONADOS	METODOLOGÍA SELECCIONADA
[46]	O. Moses, J. Segun, O. Olanike, P. Olu	Efecto de los esfuerzos de compactación sobre la resistencia de las lateritas estabilizadas con ceniza de aserrín	Cenizas de aserrín	2%, 4%, 6%, 8%, 10%	El aserrín recolectado, se convirtió en ceniza mediante una combustión al aire libre, para luego pasarse por la malla de 600um, utilizándose el pasante por dicho tamiz	Los porcentaje óptimos de cenizas de aserrín fueron el 2 y 4%, según ensayos de proctor y CBR, en tanto, según resistencia a la compresión no confinada, resultó el 4% como único porcentaje óptimo, así mismo, los límites de Attenberg, aumentaron conforme aumentaba el contenido de CDA.	De acuerdo con las investigaciones revisadas, se propone para la presente investigación utilizar los porcentajes de 4% y 8% de cenizas de aserrín (CDA)	Se obtendrá el aserrín, para luego retirar la corteza (virutas) presentes en él, posterior a ello, se realizará su calcinación al aire libre y finalmente, se tamizará utilizando la malla de 600um (Nº30) evitando grumos y partículas no quemadas (materia orgánica)
[47]	Kolo S., Jimoh Y. A., Yusuf I., Adeleke O., Balarebe, F. and M. Shehu*	Estabilización de suelo laterítico débil con cenizas de aserrín	Cenizas de aserrín	2%, 4%, 6%, 8%, 10%	Las cenizas de aserrín se obtuvieron de una planta de procesamiento de madera, para luego ser tamizadas por la malla de 75um	El óptimo porcentaje de cenizas de aserrín fue del 4% (Según ensayos de CBR y resistencia a la compresión no confinada), para porcentajes superiores se observó un descenso en la resistencia. No obstante, los límites de plasticidad disminuyeron conforme se incrementaba la cantidad de cenizas.		
[48]	Zahoor S., Ved Parkash, Vishal Kumar	Uso de cal y cenizas de aserrín en estabilización de suelo	Cenizas de aserrín	4%; 8%; 12%	Se recolectó el aserrín, para luego retirarse los restos de corteza que este poseía, luego de ello, se realizó su calcinación al aire libre y finalmente, se tamizaron las cenizas por la malla de 600um.	Se concluye que el porcentaje óptimo de CDA fue del 4%,según el ensayo proctor, sin embargo, según la resistencia a la compresión no confinada, resultó como óptimo el 8%. Cabe recalcar que, el 12% de CDA generó un descenso en cuanto a resistencia. En tanto, los límites de consistencia se incrementaron con el aumento de cenizas de aserrín.		

Tabla 13:Revisión de antecedentes para el uso de CDA. Fuente: Propia

De los antecedentes revisados [14], [36], [46], [47] y [48] se aprecia que el porcentaje en peso favorable de cenizas de aserrín, en su mayoría resultó ser el 4%, no obstante, se debe buscar un punto de quiebre, o porcentaje desfavorable para limitar de mejor manera el porcentaje óptimo, en efecto, estos porcentajes desfavorable resultaron a partir del 6% en adelante, según [14], [15], [36], [46] y [47].

De lo antes mencionado, para la presente investigación se seleccionaron los porcentajes en peso de 4% y 8% de cenizas de aserrín, y, mezclándose en conjunto con las carpetas asfálticas, se desarrollarán los ensayos de límites de consistencia (límite líquido, plástico e índice de plasticidad), Proctor modificado y CBR.

Como se evidencia, en las investigaciones revisadas, las cenizas de aserrín se obtuvieron siguiendo un proceso, siendo el más recurrentes el cual se centraban en retirar la corteza o restos de viruta que presentaba el aserrín, para luego ser calcinado ya sea de forma artesanal (según [14], [15], [46] y [48]) o de manera industrial (según [36], [42] y [47]), finalmente, se restringe su granulometría con tamaño de grano inferior a 75 $\mu$ m (según [36], [42] y [47]) o 600  $\mu$ m (según [14], [15], [46] y [48]), esto con la finalidad de evitar grumos o partículas no quemadas, del mismo modo, para la obtención de cenizas de aserrín en la presente investigación, se planteó el siguiente proceso:

- ✓ Primero, se efectuará la compra del aserrín en un aserradero colindante a la zona de estudio.
- ✓ Segundo, se retirará la corteza o algún elemento nocivo esté presente en él, así mismo, se dejará secar a temperatura ambiente.
- ✓ Tercero, se realizará su calcinación al aire libre en un mini horno casero hecho de mampostería.
- ✓ Finalmente, las cenizas obtenidas serán tamizadas por la malla de 600 $\mu$ m (N°30), utilizándose el pasante a dicho tamiz.

## PROCESO DE OBTENCIÓN DE CENIZAS DE ASERRÍN

### COMPRA DEL ASERRÍN:

El aserrín se compró de la Corporación de madera FERPESI. SAC. Ubicada en la intersección de Av. Tahuantinsuyo con calle 8 de agosto, José Leonardo Ortiz, a 11 minutos del centro de Chiclayo.

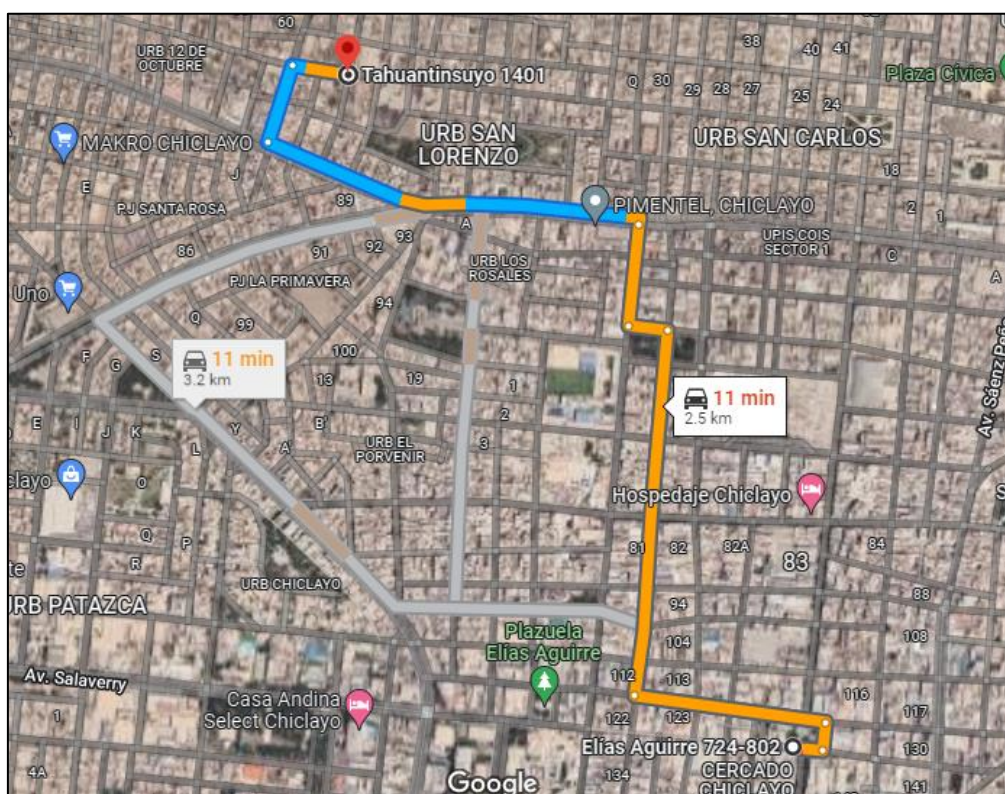


Figura 36: Ubicación del aserradero empleado. Fuente: Propia



Figura 37: Aserradero FERPESI. SAC. Fuente: Propia

Se realizó la compra de un total de 10 sacos de aserrín, los cuales poseen un peso promedio de 70kg.



Figura 38: Compra del aserrín. Fuente: Propia

### TRATAMIENTO:

Luego de la compra del aserrín, se construyó un mini horno casero de mampostería, cuyas medidas internas se presentan en la siguiente figura, esto se realizó con el fin de llevar a cabo la calcinación del mismo al aire libre, siguiendo el proceso que se detallará a continuación, cabe recalcar que, el horno casero poseía una capacidad de almacenar hasta un saco y medio de aserrín.



Figura 39: Mini horno casero de mampostería. Fuente: Propia

Primero, se dejó secar al aire libre el aserrín en un promedio de 4 a 5 horas, extrayéndose restos de corteza de madera y otros elementos nocivos presentes en él.



*Figura 40: Extracción de corteza presente en el aserrín. Fuente: Propia*

Segundo, se realizó su quema utilizando fósforos de cocina, con apoyo de restos de viruta para que el fuego pueda extenderse fácilmente.



*Figura 41: Encendido del aserrín con apoyo de viruta y fósforos de cocina. Fuente: Propia*

Tercero, luego de esperar que el fuego se vuelva estable, se procedía a cubrir el horno con láminas metálicas. Cabe resaltar que, para el presente horno, el aserrín demoraba en volverse totalmente cenizas un promedio de 10 horas, para luego, dejarlas enfriar allí mismo.



*Figura 42: Fuego estable durante el calcinado del aserrín. Fuente: Propia*



*Figura 43: Protección del horno con láminas metálicas. Fuente: Propia*

Cuarto, las cenizas obtenidas, fueron tamizadas por la malla de 600um (N°30), utilizándose el pasante a dicho tamiz con el fin de evitar grumos y partículas no quemada (materia orgánica), obteniéndose un total de 28.50 Kg de cenizas de aserrín tratadas. Estimándose un rendimiento de 2.85 kg de cenizas tamizadas por cada saco de 70 kg de aserrín en bruto.



*Figura 44: Tamizado de cenizas obtenidas. Fuente: Propia*



*Figura 45: Cenizas de aserrín tratadas. Fuente: Propia*

## TEMPERATURA DE CALCINACIÓN

Con la finalidad de cuantificar la temperatura a la cual se estaba calcinando las cenizas de aserrín, se utilizó una Pistola termómetro infrarrojo de temperatura Laser, Marca Sinometer, modelo DM3018.



Figura 46: Pistola termómetro infrarrojo utilizada. Fuente: Propia

La medición se realizó el día 17/05/22 entre las 13:00 y 18:00 horas, se efectuaron un total de tres mediciones y en base a estas, se obtuvo que la temperatura suministrada por el presente horno, siendo igual o superior a 400 °C.

Medición	Día	Hora	Temperatura
Medición N°01	17/05/22	13:00h	400.0 °C
Medición N°02	17/05/22	16:00h	474.6 °C
Medición N°03	17/05/22	18:00hr	433.8 °C

Tabla 14: Mediciones de temperaturas de calcinación. Fuente: Propia

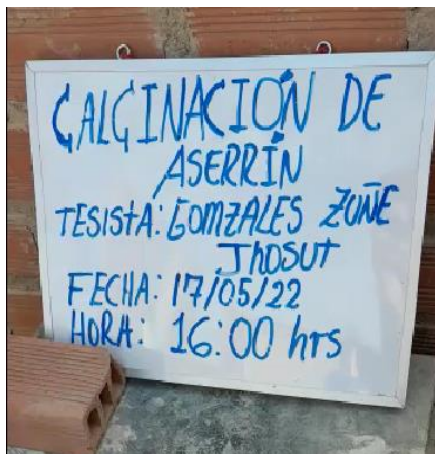
Los resultados obtenidos, concuerdan con la investigación realizada por [37], en dicha investigación se calcinó el aserrín mediante tres procesos (aire libre, estufa y horno), obteniéndose 450 °C como temperatura mínima para una quema no controlada, así mismo, la puzolana generada resultó ser de moderada calidad

Medición N°01 (13:00h-17/05/22). Temperatura: 400C°



*Figura 47: Medición N°01 de temperatura.. Fuente: Propia*

Medición N°02 (16:00h-17/05/22). Temperatura: 474.6C°



*Figura 48: Medición N°02 de temperatura. Fuente: Propia*

Medición N°03 (18:00h-17/05/22). Temperatura: 433.8C°



*Figura 49: Medición N°03 de temperatura. Fuente: Propia*

### ELABORACIÓN DE MUESTRAS EXPERIMENTALES

La elaboración de muestras experimentales, se efectuó por cada subrasante arcillosa (C-01, C-02 y C-03), realizándose seis muestras por cada una, donde, cada muestra experimental contiene suelo arcilloso más agregados de carpetas asfálticas y cenizas de aserrín en porcentajes definidos, cuyo proceso se detallará a continuación.

En base a la fórmula de humedad del suelo, se determinó el peso seco de la muestra, para aplicarle a este, los porcentajes de cada aditivo.

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} * 100\%$$

Si se sabe que:

$$\text{Peso de suelo secado al horno} = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de agua}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, se obtiene:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de agua}} * 100\%$$

Despejando el peso del agua, tenemos:

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{w}{100} (\text{Peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

**CALICATA 01 (C-01):****Datos:**

Humedad: 21%

Peso de suelo húmedo (muestra): 30.00 kg

**Obtención del peso del agua:**

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{w}{100} (\text{Peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{21}{100} (30.00)}{\left(1 + \frac{21}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 5.21 \text{ kg}$$

**Peso seco de la muestra:**

$$\text{Peso seco de la muestra} = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de agua}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 30.00 \text{ kg} - 5.21 \text{ kg}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 24.79 \text{ kg}$$

**Cálculo del aditivo por cada combinación:**

1° COMB: 50%CAR + 4%CDA + 46%SUELO		
CAR=	$0.5 * 24.79 =$	12.40 kg
CDA=	$0.04 * 29.79 =$	0.99 kg
SUELO=	$P_w + 0.46 * 24.76 =$	16.61 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

4° COMB: 60%CAR + 8%CDA + 32%SUELO		
CAR=	$0.6 * 24.79 =$	14.88 kg
CDA=	$0.08 * 29.79 =$	1.98 kg
SUELO=	$P_w + 0.32 * 24.76 =$	13.14 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

2° COMB: 50%CAR + 8%CDA + 42%SUELO		
CAR=	$0.5 * 24.79 =$	12.40 kg
CDA=	$0.08 * 29.79 =$	1.98 kg
SUELO=	$P_w + 0.42 * 24.76 =$	15.62 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

5° COMB: 70%CAR + 4%CDA + 26%SUELO		
CAR=	$0.7 * 24.79 =$	17.36 kg
CDA=	$0.04 * 29.79 =$	0.99 kg
SUELO=	$P_w + 0.26 * 24.76 =$	11.65 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

3° COMB: 60%CAR + 4%CDA + 36%SUELO		
CAR=	$0.6 * 24.79 =$	14.88 kg
CDA=	$0.04 * 29.79 =$	0.99 kg
SUELO=	$P_w + 0.36 * 24.76 =$	14.13 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

6° COMB: 70%CAR + 8%CDA + 22%SUELO		
CAR=	$0.7 * 24.79 =$	17.36 kg
CDA=	$0.08 * 29.79 =$	1.98 kg
SUELO=	$P_w + 0.22 * 24.76 =$	10.66 kg
$\Sigma \text{ PESOS} =$		30.00 kg

Tabla 15: Cuantificación de aditivo para muestras C-01. Fuente: Propia

**Obtención de muestras:**

Luego de calcular la cantidad de aditivo a requerir según cada combinación, se procedió a pesarlos en una balanza digital con sensibilidad de 0.01g, en efecto esto es:

1° COMBINACIÓN: 50% CAR +4% CDA+46% SUELO		
CAR= 12.40 kg	CDA= 0.99 kg	MUESTRA C-01 (1) =30kg
		

Figura 50: Elaboración de muestra C-01 (1). Fuente: Propia

2° COMBINACIÓN: 50% CAR +8% CDA+42% SUELO		
CAR= 12.40 kg	CDA= 1.98 kg	MUESTRA C-01 (2) =30kg
		

Figura 51: Elaboración de muestra C-01 (2). Fuente: Propia

3° COMBINACIÓN: 60% CAR +4% CDA+36% SUELO		
CAR= 14.88 kg	CDA= 0.99 kg	MUESTRA C-01 (3) =30kg
		

Figura 52: Elaboración de muestra C-01 (3). Fuente: Propia

4° COMBINACIÓN: 60% CAR +8% CDA+32% SUELO		
CAR= 14.88 kg	CDA= 1.98 kg	MUESTRA C-01 (4) =30kg
		

Figura 53: Elaboración de muestra C-01 (4). Fuente: Propia

5° COMBINACIÓN: 70% CAR +4% CDA+26SUELO		
CAR= 17.36 kg	CDA= 0.99 kg	MUESTRA C-01 (5) =30kg
		

Figura 54: Elaboración de muestra C-01 (5). Fuente: Propia

6° COMBINACIÓN: 70% CAR +8% CDA+22SUELO		
CAR= 17.36 kg	CDA= 1.98 kg	MUESTRA C-01 (6) =30kg
		

Figura 55: Elaboración de muestra C-01 (6). Fuente: Propia

**CALICATA 02 (C-02):****Datos:**

Humedad: 20%

Peso de suelo húmedo (muestra): 30.00 kg

**Obtención del peso del agua:**

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{w}{100} (\text{Peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{20}{100} (30.00)}{\left(1 + \frac{20}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 5.00 \text{ kg}$$

**Peso seco de la muestra:**

$$\text{Peso seco de la muestra} = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de agua}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 30.00 \text{ kg} - 5.00 \text{ kg}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 25.00 \text{ kg}$$

**Cálculo del aditivo por cada combinación:**

1° COMB: 50%CAR +4%CDA+46%SUELO		
CAR=	0.5*25.00=	12.50 kg
CDA=	0.04*25.00=	1.00 kg
SUELO=	Pw+0.46*25.00=	16.50 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

4° COMB: 60%CAR+8%CDA+32%SUELO		
CAR=	0.6*25.00=	15.00 kg
CDA=	0.08*25.00=	2.00 kg
SUELO=	Pw+0.32*25.00=	13.00 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

2° COMB: 50%CAR+8%CDA+42%SUELO		
CAR=	0.5*25.00=	12.50 kg
CDA=	0.08*25.00=	2.00 kg
SUELO=	Pw+0.42*25.00=	15.50 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

5° COMB: 70%CAR+4%CDA+26%SUELO		
CAR=	0.7*25.00=	17.50 kg
CDA=	0.04*25.00=	1.00 kg
SUELO=	Pw+0.26*25.00=	11.50 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

3° COMB: 60%CAR+4%CDA+36%SUELO		
CAR=	0.6*25.00=	15.00 kg
CDA=	0.04*25.00=	1.00 kg
SUELO=	Pw+0.36*25.00=	14.00 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

6° COMB: 70%CAR+8%CDA+22%SUELO		
CAR=	0.7*25.00=	17.50 kg
CDA=	0.08*25.00=	2.00 kg
SUELO=	Pw+0.22*25.00=	10.50 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

Tabla 16: Cuantificación de aditivo para muestras C-02. Fuente: Propia

### Obtención de muestras:

Luego de calcular la cantidad de aditivo a requerir según cada combinación, se procedió a mezclarlos juntos con el suelo, tal como se desarrolló en la calicata anterior, mostrándose a continuación las muestras obtenidas:



1° COMBINACIÓN: 50% CAR +4% CDA+46% SUELO	2° COMBINACIÓN: 50% CAR +8% CDA+42% SUELO
MUESTRA C-02 (1) =30kg	MUESTRA C-02 (2) =30kg
	

Figura 56: Elaboración de muestras C-02 (1) y C-02 (2). Fuente: Propia

3° COMBINACIÓN: 60% CAR +4% CDA+36% SUELO	4° COMBINACIÓN: 60% CAR +8% CDA+32% SUELO
MUESTRA C-02 (3) =30kg	MUESTRA C-02 (4) =30kg
	

Figura 57: Elaboración de muestras C-02 (3) y C-02 (4). Fuente: Propia

5° COMBINACIÓN: 70%CAR +4%CDA+26SUELO	6° COMBINACIÓN: 70%CAR +8%CDA+26SUELO
MUESTRA C-02 (5) =30kg	MUESTRA C-02 (6) =30kg
	

Figura 58: Elaboración de muestras C-02 (5) y C-02 (6). Fuente: Propia

### CALICATA 03 (C-03):

#### Datos:

Humedad: 19%

Peso de suelo húmedo (muestra): 30.00 kg

#### Obtención del peso del agua:

$$\text{Peso de agua} = \frac{w}{100} \frac{(\text{Peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{19}{100} \frac{(30.00)}{\left(1 + \frac{20}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 4.79 \text{ kg}$$

#### Peso seco de la muestra:

$$\text{Peso seco de la muestra} = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de agua}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 30.00 \text{ kg} - 4.79 \text{ kg}$$

$$\text{Peso seco de la muestra} = 25.21 \text{ kg}$$

**Cálculo del aditivo por cada combinación:**

1° COMB: 50%CAR +4%CDA+46%SUELO		
CAR=	$0.5*25.21=$	12.61 kg
CDA=	$0.04*25.21=$	1.01 kg
SUELO=	$P_w+0.46*25.21=$	16.39 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

4° COMB: 60%CAR+8%CDA+32%SUELO		
CAR=	$0.6*25.21=$	15.13 kg
CDA=	$0.08*25.21=$	2.02 kg
SUELO=	$P_w+0.32*25.21=$	12.86 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

2° COMB: 50%CAR+8%CDA+42%SUELO		
CAR=	$0.5*25.21=$	12.61 kg
CDA=	$0.08*25.21=$	2.02 kg
SUELO=	$P_w+0.42*25.21=$	15.38 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

5° COMB: 70%CAR+4%CDA+26%SUELO		
CAR=	$0.7*25.21=$	17.65 kg
CDA=	$0.04*25.21=$	1.01 kg
SUELO=	$P_w+0.26*25.21=$	11.34 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

3° COMB: 60%CAR+4%CDA+36%SUELO		
CAR=	$0.6*25.21=$	15.13 kg
CDA=	$0.04*25.21=$	1.01 kg
SUELO=	$P_w+0.36*25.21=$	13.87 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

6° COMB: 70%CAR+8%CDA+22%SUELO		
CAR=	$0.7*25.21=$	17.65 kg
CDA=	$0.08*25.21=$	2.02 kg
SUELO=	$P_w+0.22*25.21=$	10.34 kg
$\Sigma$ PESOS=		30.00 kg

Tabla 17: Cuantificación de aditivo para cada muestra C-02. Fuente: Propia

### Obtención de muestras:

Luego de calcular la cantidad de aditivo a requerir según cada combinación, se procedió a mezclarlos juntos con el suelo, tal como se desarrolló en la primera calicata, mostrándose a continuación las muestras obtenidas:

1° COMBINACIÓN: 50% CAR +4% CDA+46% SUELO	2° COMBINACIÓN: 50% CAR +8% CDA+42% SUELO
MUESTRA C-03 (1) =30kg	MUESTRA C-03 (2) =30kg
	

Figura 59: Elaboración de muestras C-03 (1) y C-03 (2). Fuente: Propia

3° COMBINACIÓN: 60% CAR +4% CDA+36% SUELO	4° COMBINACIÓN: 60% CAR +8% CDA+32% SUELO
MUESTRA C-03 (3) =30kg	MUESTRA C-03 (4) =30kg
	

Figura 60: Elaboración de muestras C-03 (3) y C-03 (4). Fuente: Propia

5° COMBINACIÓN: 70%CAR +4%CDA+26SUELO	6° COMBINACIÓN: 70%CAR +8%CDA+26SUELO
MUESTRA C-03 (5) =30kg	MUESTRA C-03 (6) =30kg
	

Figura 61: Elaboración de muestras C-03 (5) y C-03 (6). Fuente: Propia

## PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el presente estudio, se ha desarrollado el plan de procesamiento para el análisis de datos en cinco etapas, siendo estas las siguientes:

### ETAPA I: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- ✓ Revisión teórica del tema a tratar
- ✓ Análisis de antecedentes relacionados con la investigación
- ✓ Revisión de la normativa vigente involucrada con el proyecto
- ✓ Desarrollo del plan para la ejecución del estudio
- ✓ Revisión parcial por parte del asesor

### ETAPA II: MUESTRAS NATURALES DE SUBRASANTES ARCILLOSAS Y ADITIVOS

- ✓ Ejecución de calicatas
- ✓ Obtención de agregados de carpetas asfálticas recicladas
- ✓ Obtención de cenizas de aserrín
- ✓ Elaboración de ensayos para la caracterización de subrasantes arcillosas
- ✓ Elaboración de ensayos para la clasificación de los agregados de carpetas asfálticas recicladas

- ✓ Elaboración de ensayos para la clasificación de las cenizas de aserrín
- ✓ Revisión parcial por parte del asesor

#### ETAPA III: COMBINACIÓN DE MUESTRAS NATURALES CON ADITIVOS

- ✓ Elaboración de muestras naturales de subrasantes arcillosas en combinación con agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín
- ✓ Ensayos comparativos entre dosificaciones
- ✓ Trabajo de gabinete
- ✓ Revisión parcial por parte del asesor

#### ETAPA IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ✓ Cuantificación de los cambios producidos en las propiedades de cada subrasante arcillosa al adicionarle los aditivos en distintos porcentajes
- ✓ Comparación de los resultados obtenidos entre las muestras naturales y las muestras con aditivos, determinándose del porcentaje óptimo según cada subrasante arcillosa
- ✓ Análisis de rentabilidad económica del mejoramiento de suelo con los estabilizadores propuestos
- ✓ Desarrollo de la evaluación de impacto ambiental
- ✓ Revisión parcial por parte del asesor

#### ETAPA V: SUSTENTACIÓN FINAL

- ✓ Presentación de la investigación definitiva a los jurados
- ✓ Levantamiento de observaciones
- ✓ Sustentación final de tesis

### CONSIDERACIONES ÉTICAS

Ética durante el comienzo de la investigación:

- ✓ La investigación se deberá desarrollar de forma responsable y sistemática, esto con el fin de obtener óptimos resultados.
- ✓ Se gestionará los permisos correspondientes para el acceso al área de estudio.

Ética durante la ejecución de la investigación

- ✓ Regirse al reglamento de ensayos de materiales del MTC [23], durante la ejecución de los mismos.
- ✓ No alterar los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Ética durante la interpretación de resultados

- ✓ Ser capaz de interpretar los resultados obtenidos, con el fin de proponer opciones de solución.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **RESULTADOS**

#### **CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS NATURALES DE SUBRASANTES ARCILLOSAS**

Todas las muestras ensayadas, fueron obtenidas de campo, correspondientes a las calicatas C-01, C-02 y C-03, así mismo, el muestreo se realizó con las medidas correspondientes, evitando alterar sus propiedades naturales.

Para caracterizar las propiedades físico-mecánicas del suelo extraído, se desarrollaron los siguientes ensayos: contenido de humedad, granulometría por tamizado, granulometría por sedimentación, límites de consistencia, densidad específica, Proctor modificado, relación de soporte de california (CBR); presentándose a continuación los resultados obtenidos:

#### **CONTENIDO DE HUMEDAD - MUESTRAS NATURALES**

Este ensayo se desarrolló siguiendo la norma MTC E-108, con esta prueba se mide la relación existente entre el peso del agua respecto a los sólidos, presentándose en la tabla 18 los resultados obtenidos.

<b>Calicata</b>	<b>Muestra</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Humedad (%)</b>
C-01	M-01	0.20-1.50	21.00
C-02	M-01	0.20-1.50	20.00
C-03	M-01	0.20-1.50	19.00

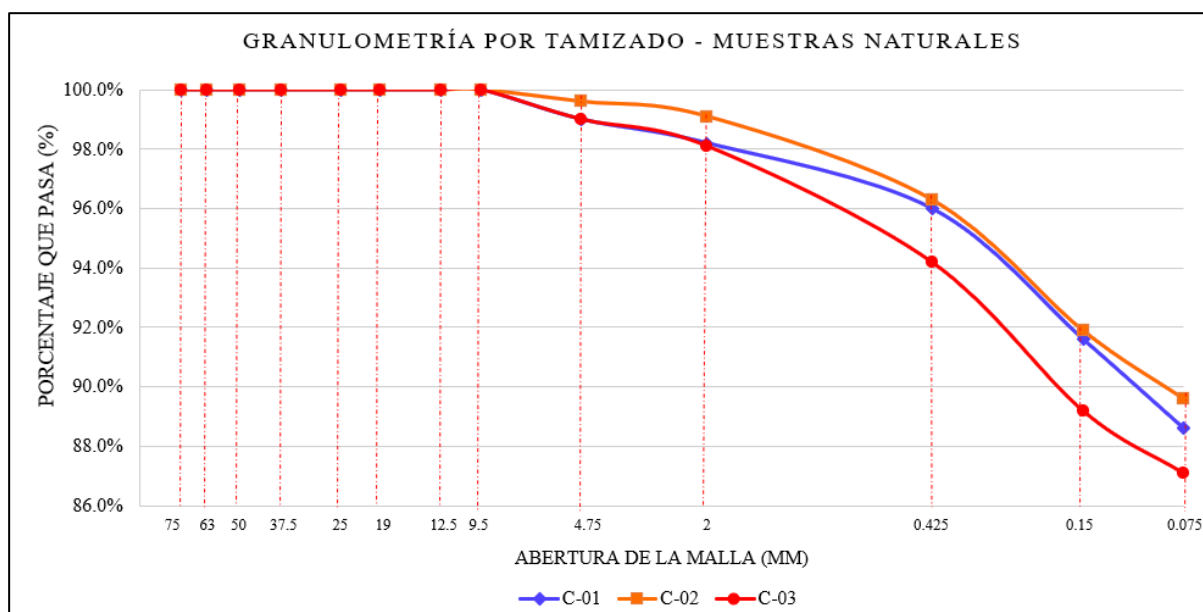
*Tabla 18: Contenido de humedad en muestras naturales. Fuente: Propia*

#### **DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - MUESTRAS NATURALES**

Para determinar la granulometría o gradación de partículas de las muestras de suelo natural, se desarrolló mediante dos ensayos, el primero, granulometría por tamizado, siguiendo lo establecido en la MTC E-107, y el segundo, granulometría por hidrómetro, basado en la MTC E-109, ambos ensayos se complementan entre sí, mostrándose en la tabla 19 y gráfica 02 los resultados obtenidos para el primero.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO				
Calicata	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Limo/ Arcilla (%)
		75.00- 4.75mm	4.75 – 0.075mm	< 0.075mm
C-01	M-01	1.00%	10.00%	89.00%
C-02	M-01	0.00%	10.00%	90.00%
C-03	M-01	1.00%	12.00%	87.00%

Tabla 19: Distribución granulométrica por tamizado de muestras naturales. Fuente: Propia

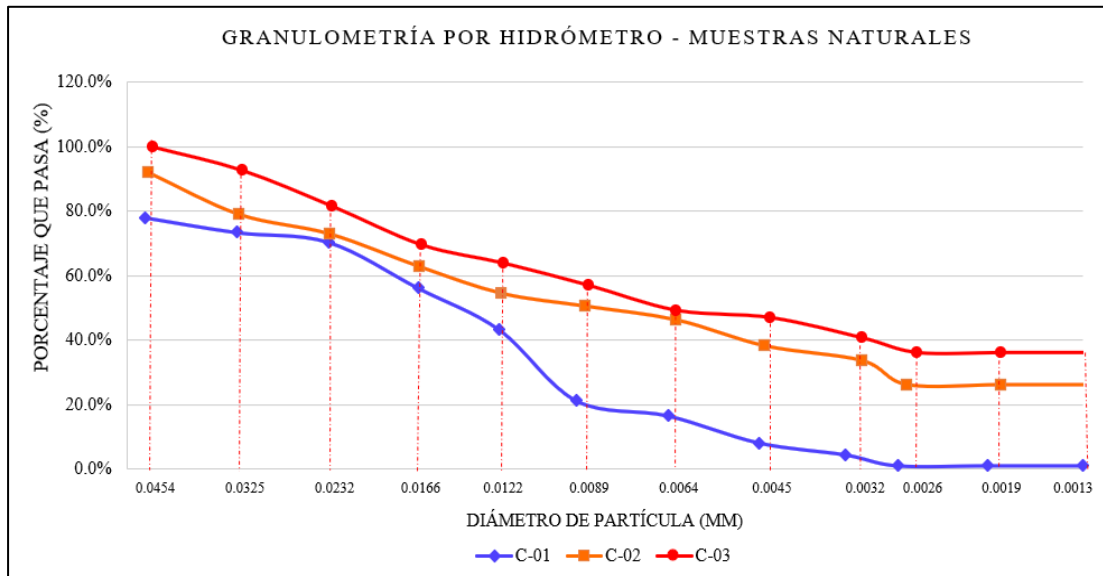


Gráfica 2: Curva granulométrica por tamizado de muestras naturales. Fuente: propia

En base a la tabla 19 y gráfica 02, se aprecia que, el pasante a la malla N°200 (0.075mm) para las tres muestras de interés supera el 80%, por ende, para un mejor análisis de dicho material, se requiere una granulometría por hidrómetro, tal como establece la MTC E- 109, mostrándose en la tabla 20 y gráfica 03 los resultados obteniéndose para este ensayo.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRÍA				
Calicata	Muestra	Pasante a la malla	Limo (%)	Arcilla (%)
		No 200 (%)	0.075- 0.005mm	Menor a 0.005mm
C-01	M-01	89.00%	74.32%	14.68%
C-02	M-01	90.00%	44.71%	45.29%
C-03	M-01	87.00%	44.20%	42.80%

Tabla 20: Distribución granulométrica por hidrometría de muestras naturales. Fuente: Propia



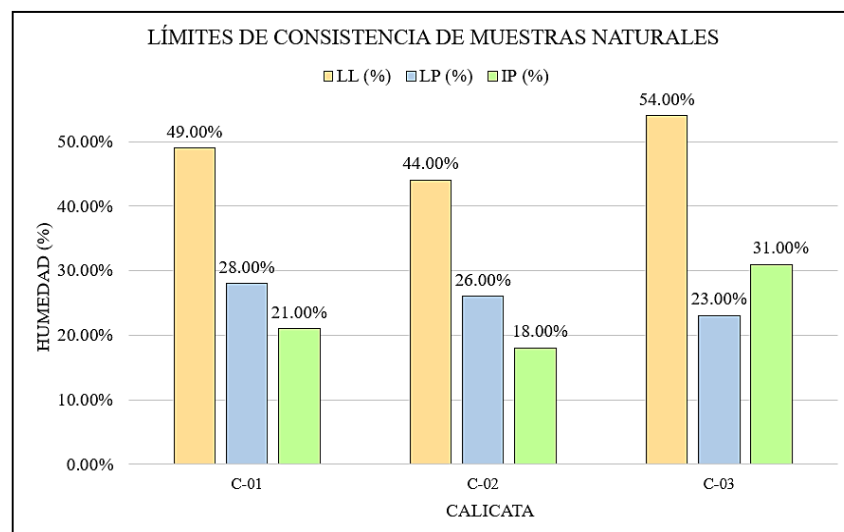
Gráfica 3: Curva granulométrica mediante hidrómetro de muestras naturales. Fuente: Propia

### LÍMITES DE CONSISTENCIA - MUESTRAS NATURALES

Los límites de Atterberg, son las humedades críticas para las cuales el suelo pasa a diferentes estados de consistencia, y, para determinarlas, se siguió lo establecido en las normativas MTC E- 110 y MTC E-111, mostrándose los resultados en la tabla 21 y gráfica 04:

Calicata	Muestra	Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-01	M-01	0.20-1.50	49.00%	28.00%	21.00%
C-02	M-01	0.20-1.50	44.00%	26.00%	18.00%
C-03	M-01	0.20-1.50	54.00%	23.00%	31.00%

Tabla 21: Límites de consistencia de muestras naturales. Fuente: Propia



Gráfica 4: Límites de consistencia de muestras naturales. Fuente: Propia

### CLASIFICACIÓN DE SUELO - MUESTRAS NATURALES

En base a los ensayos de granulometría por tamizado y con apoyo de los límites de consistencia, se clasificó las muestras naturales mediante el criterio de la AASHTO y la SUCS, obteniéndose lo siguiente:

Calicata	Muestra	Prof. (m)	AASHTO	SUCS
C-01	M-01	0.20-1.50	A-7-6(14)	ML
C-02	M-01	0.20-1.50	A-7-6(12)	CL
C-03	M-01	0.20-1.50	A-7-6(19)	CH

Tabla 22: Clasificación de muestras naturales. Fuente: Propia

### DENSIDAD ESPECÍFICA – MUESTRAS NATURALES

La densidad específica de un suelo, corresponde a la relación entre el peso sólido del mismo y el peso del agua; cabe recalcar que, para determinar dicha propiedad física, se siguió lo normado en la MTC E-113, mostrándose en la tabla 23 lo obtenido:

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Gs
C-01	M-01	0.20-1.50	2.487
C-02	M-01	0.20-1.50	2.486
C-03	M-01	0.20-1.50	2.428

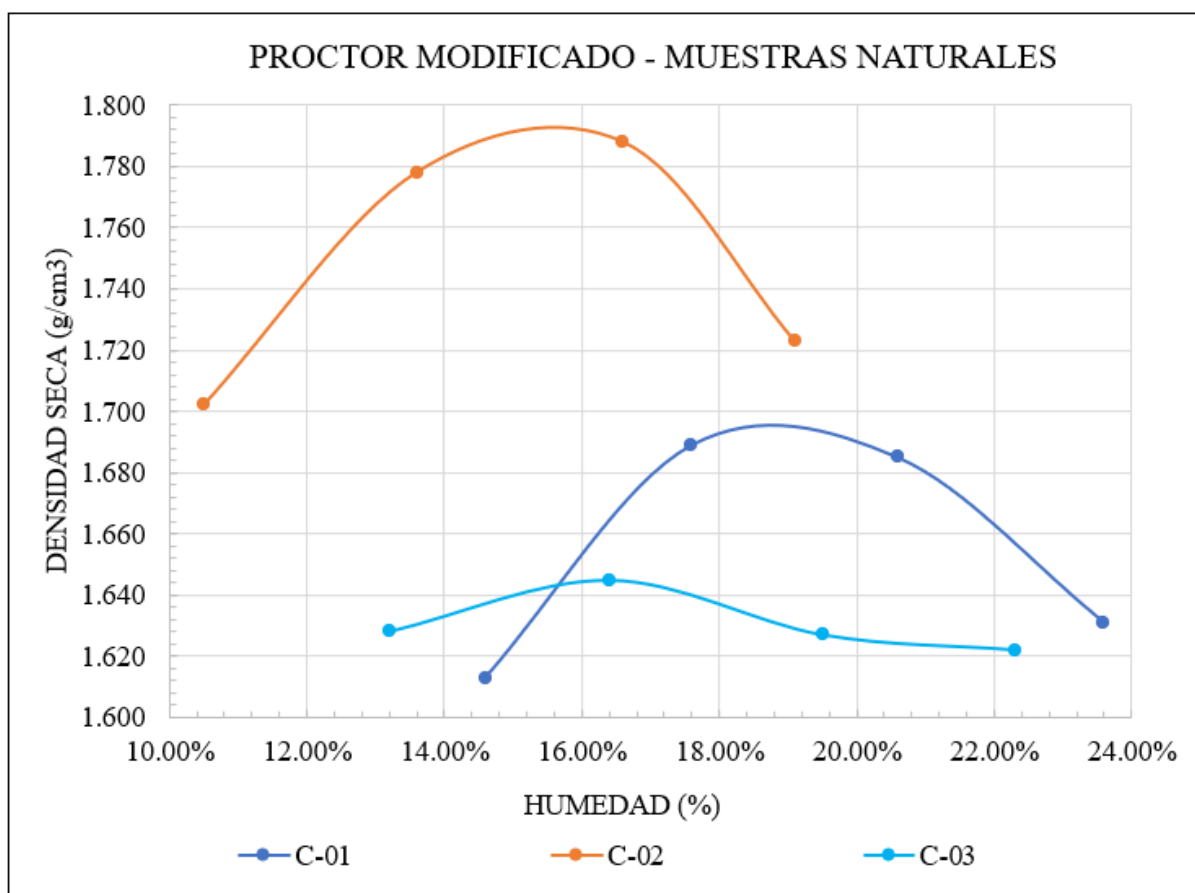
Tabla 23: Densidad específica de muestras naturales. Fuente: Propia

### PROCTOR MODIFICADO – MUESTRAS NATURALES

El ensayo de Proctor modificado, se realizó en base a la norma MTC E-115, este ensayo determina el óptimo contenido de humedad de un suelo con el fin de generar su máxima densidad seca, proporcionándole una mayor resistencia y estabilidad. En el presente estudio, se utilizó el método de compactación “A”, mostrándose en la tabla 24 los resultados según cada calicata, obteniéndose estos valores mediante las curvas de compactación presentadas en la gráfica 05.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Contenido Óptimo de Humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )
C-01	M-01	0.20-1.50	18.92	1.695
C-02	M-01	0.20-1.50	15.49	1.793
C-03	M-01	0.20-1.50	15.58	1.646

Tabla 24: Resultados de prueba proctor modificado en muestras naturales. Fuente: Propia



Gráfica 5: Curva de compactación de muestras naturales. Fuente: Propia

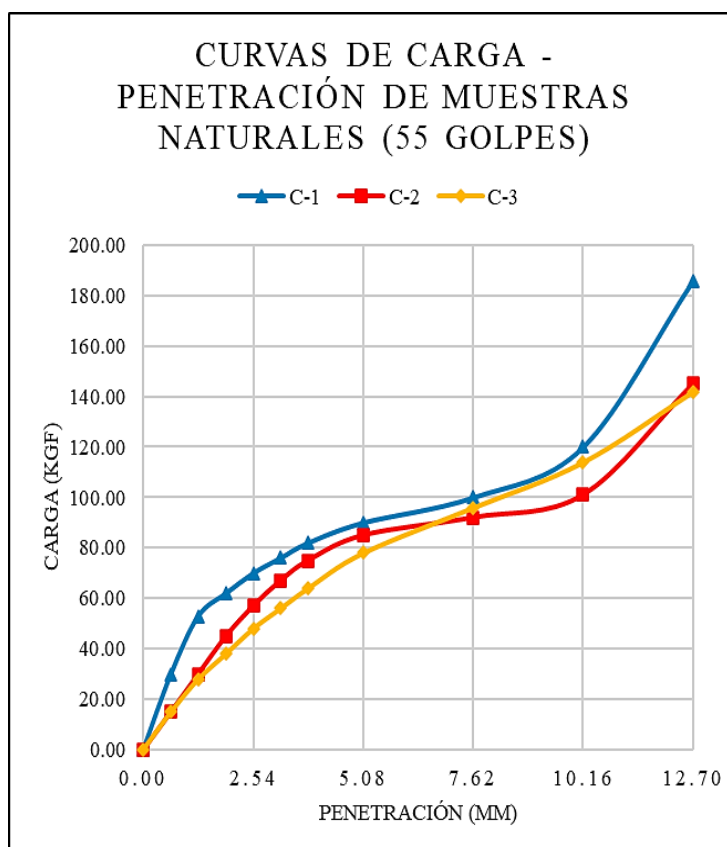
### CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) – MUESTRAS NATURALES

El presente ensayo tiene por finalidad cuantificar la resistencia a la penetración que posee el suelo, siendo este desarrollado en base a la norma MTC E-132.

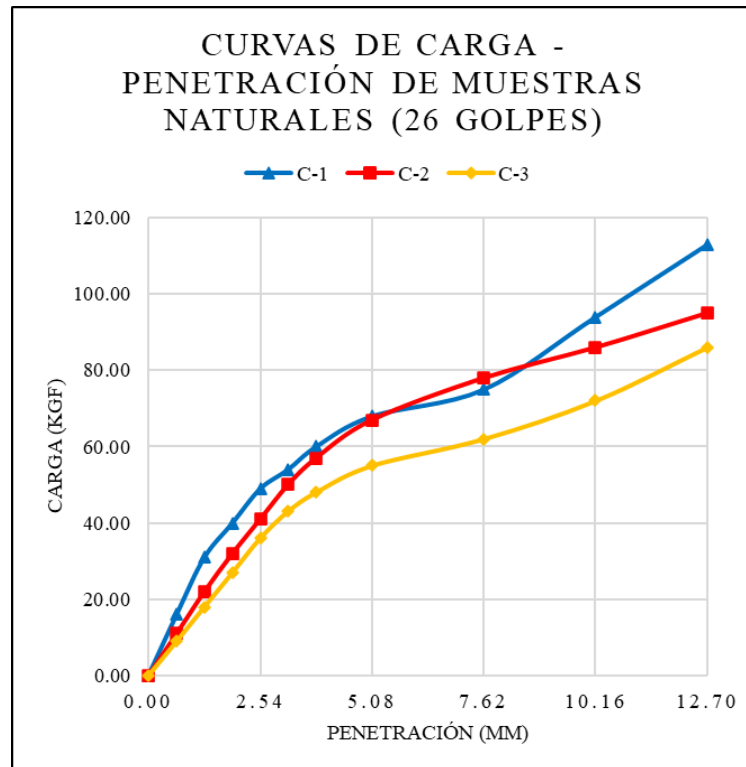
Así mismo, según [20], el valor del CBR estará referenciado para una penetración de 2.54mm (0.1”), mostrándose dicho requerimiento en la tabla 25, estos valores fueron obtenidos mediante las curvas de carga - penetración mostradas en las gráficas 06, 07 y 08.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	CBR (%) al 95% M.D.S.	CBR (%) al 100% M.D.S.
C-01	M-01	0.20-1.50	3.00	4.90
C-02	M-01	0.20-1.50	3.00	4.20
C-03	M-01	0.20-1.50	2.90	3.50

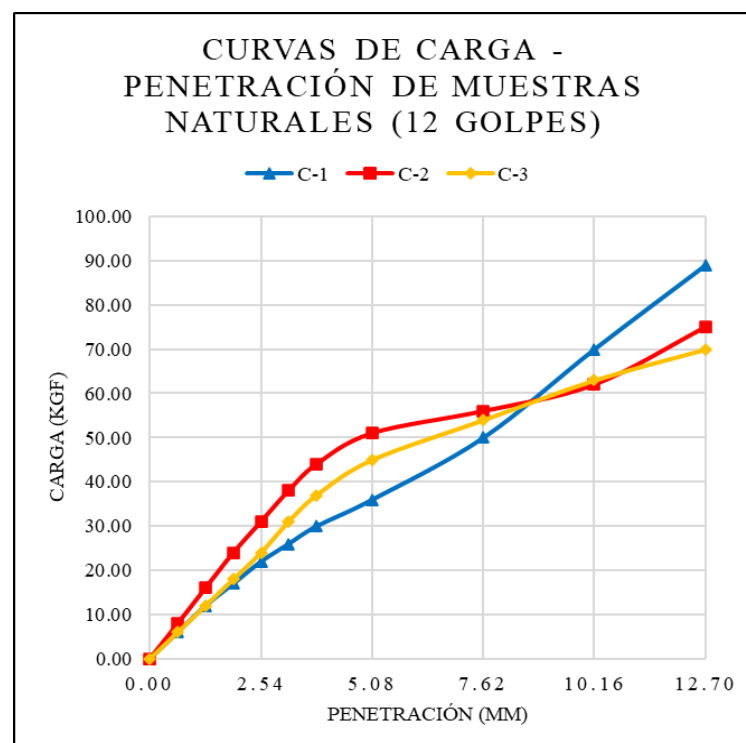
Tabla 25: CBR de muestras naturales. Fuente: Propia



Gráfica 6: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 55 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 7: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 26 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 8: Curvas de carga- penetración de muestras naturales a 12 golpes. Fuente: Propia

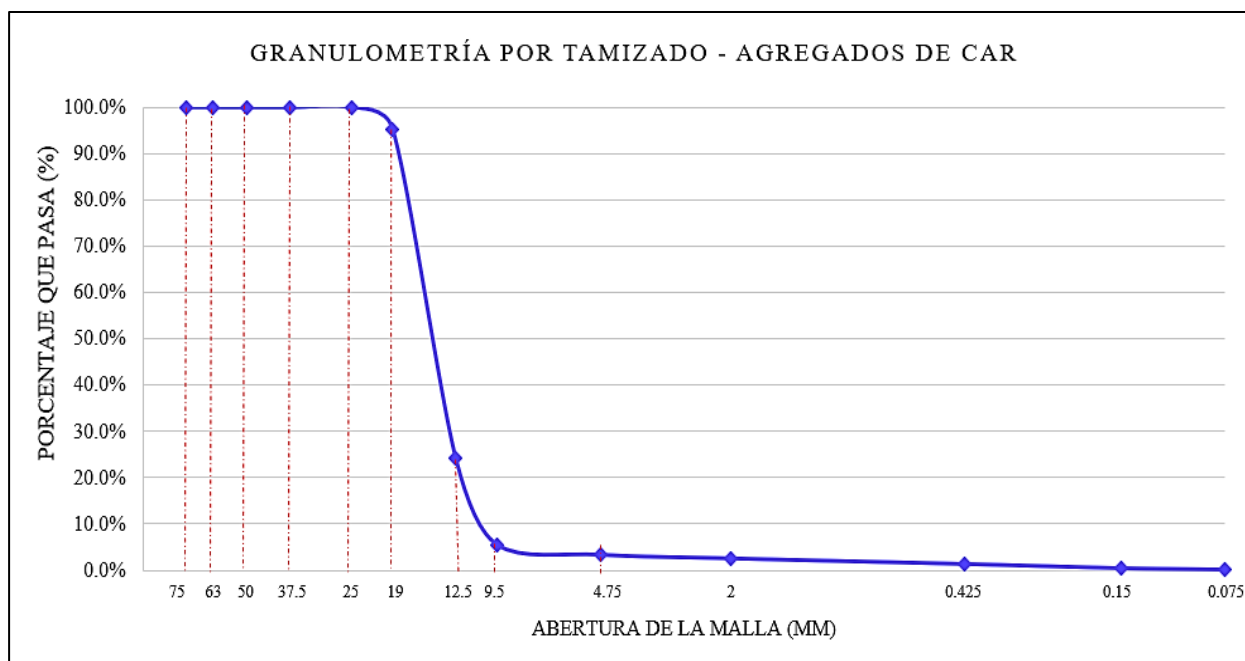
## CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS

Los agregados de carpetas asfálticas ensayados, fueron los obtenidos del proceso de disgregado, tamizado y lavado de finos, siendo estos utilizados en la preparación de muestras experimentales por cada calicata C-01, C-02 y C-03. Así mismo, debido a la función que este material desempeñará, será clasificado como tal, es decir, como un suelo, por ende, para cumplir lo antes mencionado se desarrollaron los ensayos de contenido de humedad, granulometría por tamizado, clasificación SUCS y AASHTO, plasmándose los resultados en la tabla 26.

Ensayo	Resultados
Contenido de humedad	2.00%
Granulometría por tamizado	92% grava fina y 05% grava gruesa
Clasificación SUCS	GP (Grava Pobrementamente Gradada)
Clasificación AASHTO	A-1-a (0) Bueno

Tabla 26: Clasificación de agregados de carpetas asfálticas recicladas. Fuente: Propia

Cabe precisar que, el ensayo de granulometría por tamizado se realizó según la norma MTC- E 107, y, en base a su distribución granulométrica, se afirma que, el presente material contiene 92% de grava fina y 5.0% de grava gruesa, mostrándose a continuación la curva granulométrica obtenida



Gráfica 9: Curva granulométrica para agregados de CAR. Fuente: Propia

### CLASIFICACIÓN DE CENIZAS DE ASERRÍN

Las cenizas de aserrín ensayadas, fueron obtenidas del proceso de quemado y tamizado explicado anteriormente, en ellas, se desarrollaron los ensayos de contenido de humedad, densidad y composición química por Fluorescencia de Rayos X, presentándose a continuación los resultados obtenidos:

Ensayo	Resultado
Contenido de humedad	0.45 %
Densidad	2.13 g/ml

Análisis químico por Fluorescencia de Rayos X	
Componente	Contenido (%)
Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	64.25%
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.16%
Óxido de magnesio (MgO)	2.37%
Óxido de calcio (CaO)	2.59%
Óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.74%

Tabla 27: Resultados de ensayos de laboratorio en cenizas de aserrín. Fuente: Propia

Para clasificar las cenizas de aserrín, se realizará en base a los requerimientos establecidos por la ASTM C-618 [27], esta norma, clasifica a las puzolanas naturales como clase N, mientras, las puzolanas artificiales (cenizas volantes) conforman las clases F y C. Desarrollándose a continuación la clasificación de las cenizas propuestas.

Requisito	Clase N	Clase F	Clase C	Ceniza de Aserrín
$\sum$ (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	70.00 % min	50.00% min	50.00% min	69.15%
Óxido de calcio (CaO)	Solo informar	18.00 % máx.	> 18.00%	2.59%
Contenido de humedad	3.00% máx.	3.00% máx.	3.00% máx.	0.45%
Densidad	-	-	-	2.130 g/ml

Tabla 28: Comparación de requerimientos para clasificar las cenizas de aserrín. Fuente: Propia

En base a la tabla anterior, se afirma que, las cenizas de aserrín empleadas en el presente estudio se clasifican como una ceniza volante clase F, esto según [27].

## ENSAYOS EN MUESTRAS EXPERIMENTALES: SUELO MÁS CAR Y CDA

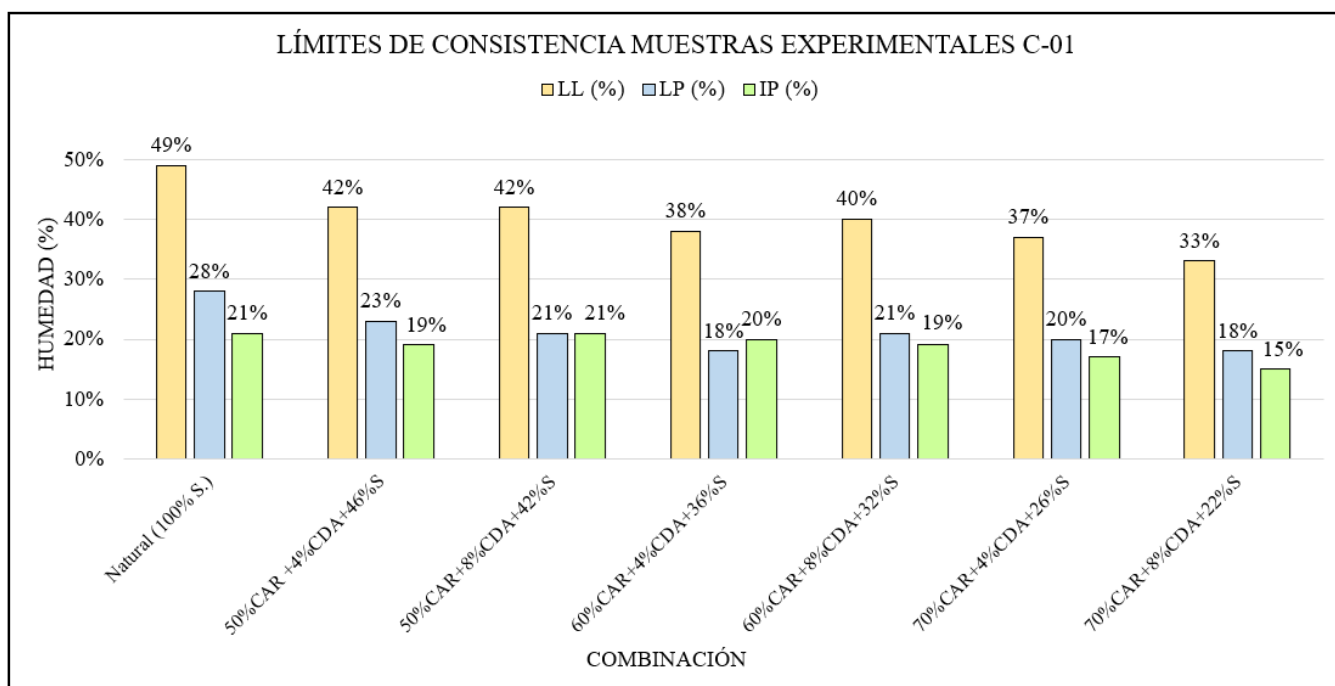
Los ensayos desarrollados en muestras experimentales fueron los siguientes: límite líquido, plástico, índice de plasticidad, Proctor modificado y relación de soporte de california (CBR), desarrollándose esta relación de ensayos por cada calicata, aplicándose las seis combinaciones en cada una.

### LÍMITES DE CONSISTENCIA - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-01

En la tabla 29 se registran los resultados de límites de consistencia en muestras experimentales C-01, así mismo, en la gráfica 10, se evidencian los cambios producidos en estas propiedades.

Combinación	C-01		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Natural (100% S.)	49.00%	28.00%	21.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	42.00%	23.00%	19.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	42.00%	21.00%	21.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	38.00%	18.00%	20.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	40.00%	21.00%	19.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	37.00%	20.00%	17.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	33.00%	18.00%	15.00%

Tabla 29: Límites de consistencia en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia

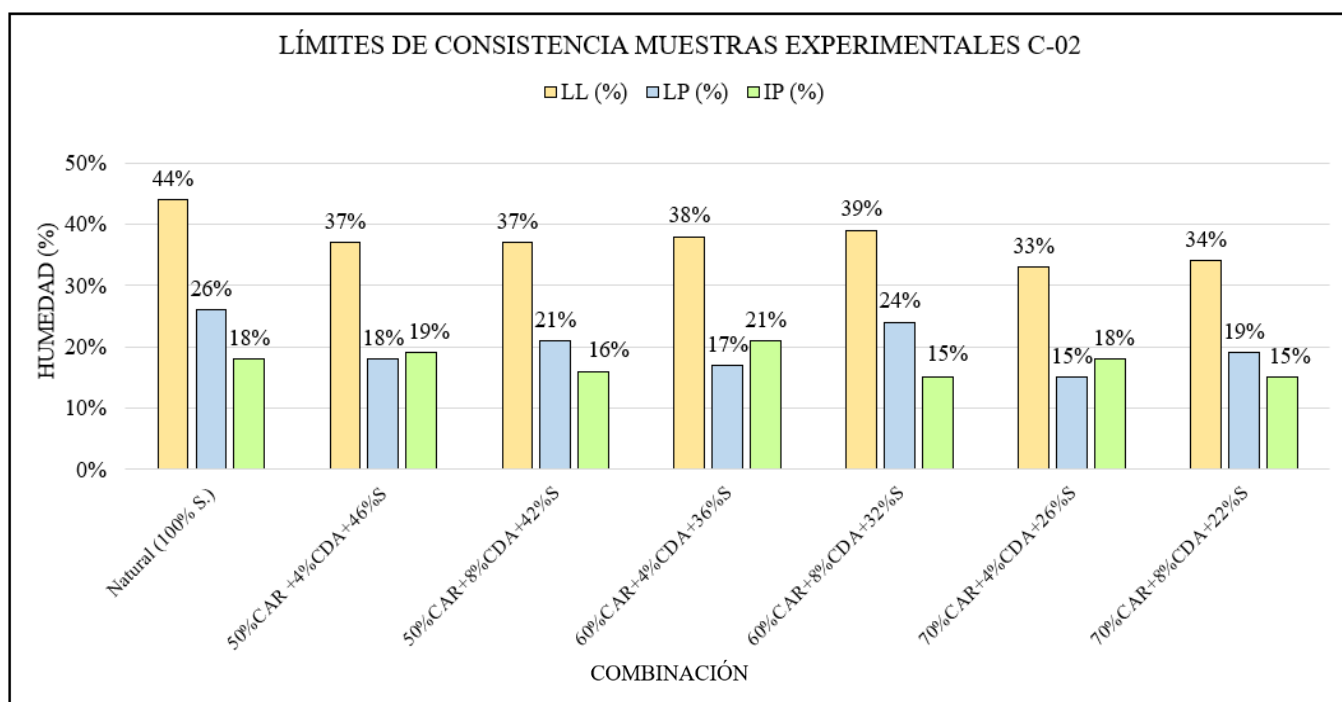


Gráfica 10: Límites de consistencia en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia

En la tabla 30 se registran los resultados de límites de consistencia en muestras experimentales C-02, así mismo, en la gráfica 11, se evidencian los cambios producidos en estas propiedades.

Combinación	C-02		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Natural (100% S.)	44.00%	26.00%	18.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	37.00%	18.00%	19.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	37.00%	21.00%	16.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	38.00%	17.00%	21.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	39.00%	24.00%	15.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	33.00%	15.00%	18.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	34.00%	19.00%	15.00%

Tabla 30: Límites de consistencia en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia



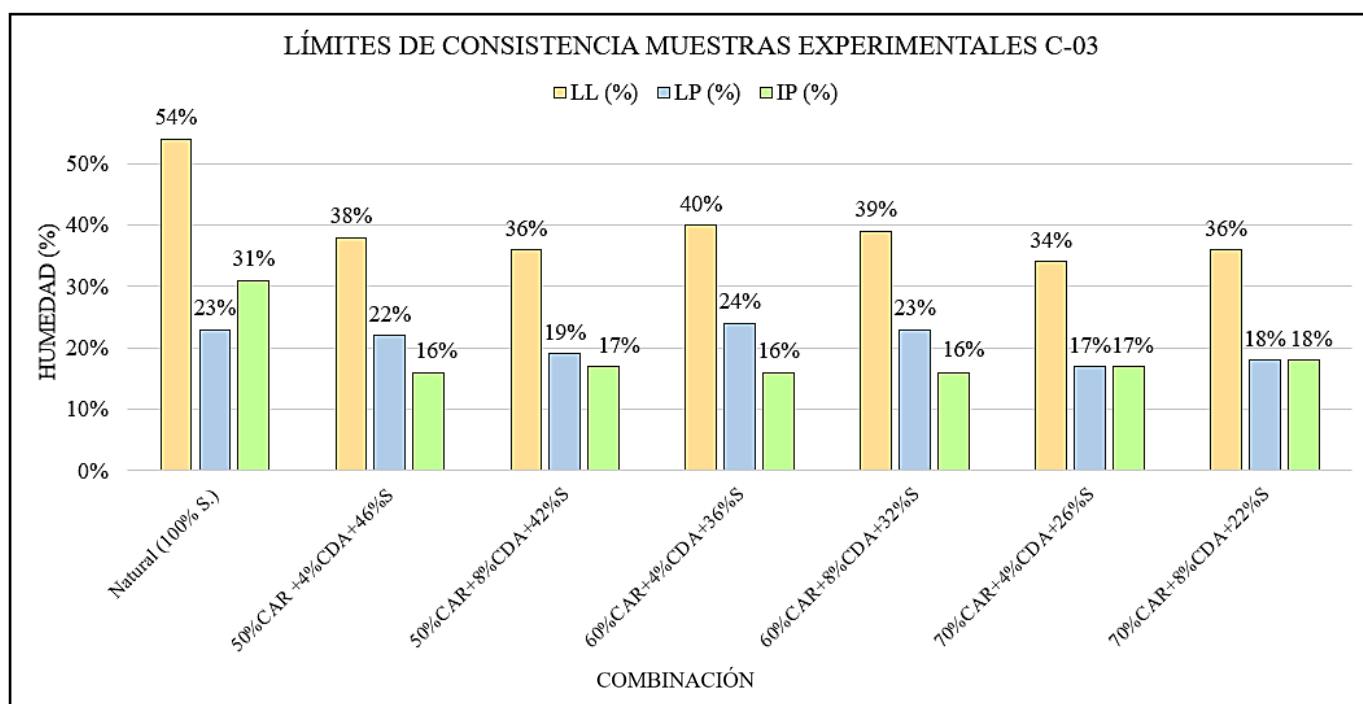
Gráfica 11: Límites de consistencia en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia

### LÍMITES DE CONSISTENCIA - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-03

En la tabla 31 se registran los resultados de límites de consistencia en muestras experimentales C-03, así mismo, en la gráfica 12, se evidencian los cambios producidos en estas propiedades.

Combinación	C-03		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Natural (100% S.)	54.00%	23.00%	31.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	38.00%	22.00%	16.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	36.00%	19.00%	17.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	40.00%	24.00%	16.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	39.00%	23.00%	16.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	34.00%	17.00%	17.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	36.00%	18.00%	18.00%

Tabla 31: Límites de consistencia en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia



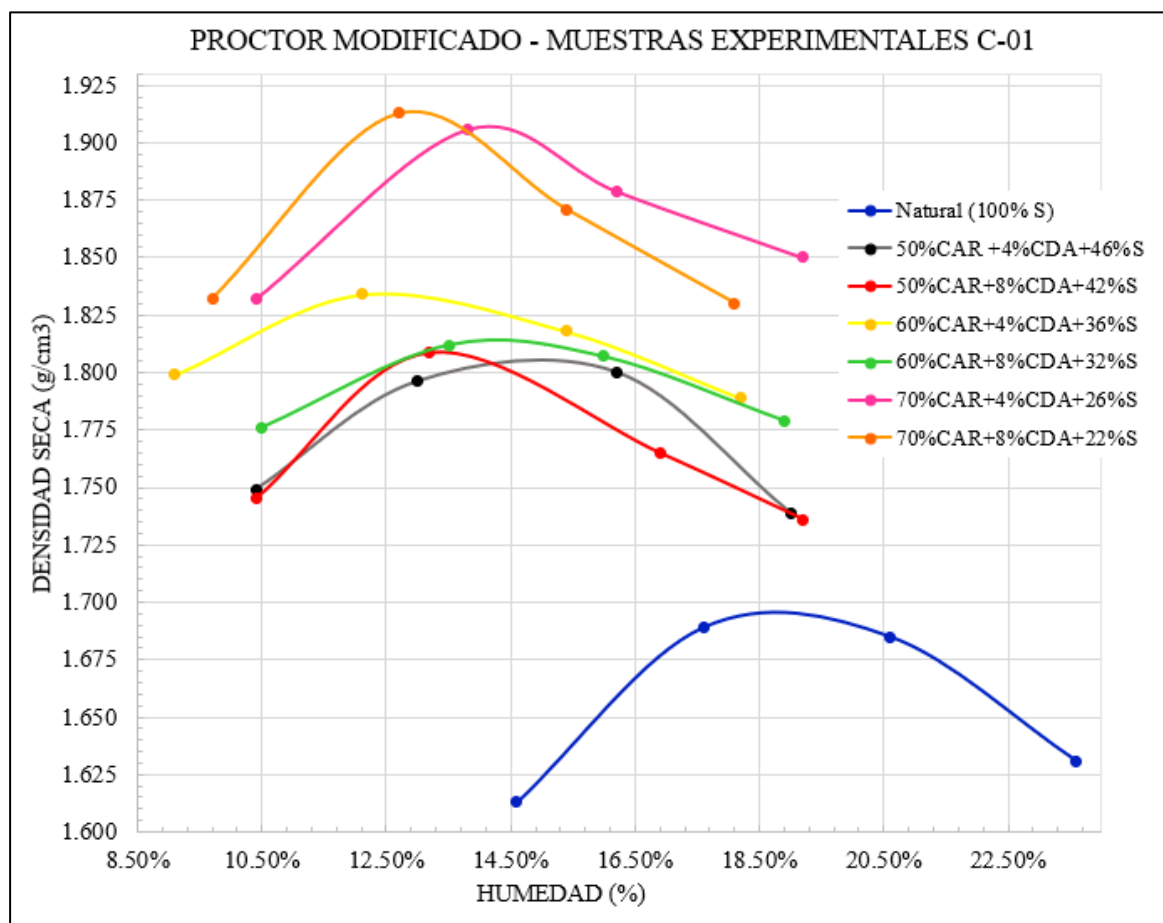
Gráfica 12: Límites de consistencia en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia

### PROCTOR MODIFICADO - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-01

En la tabla 32 se registran los resultados del ensayo Proctor en muestras experimentales C-01, así mismo, en la gráfica 13, se presentan las curvas de compactación, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-01	
	O.C.H. (%)	M.D.S. (g/cm <sup>3</sup> )
Natural (100% S)	18.92%	1.695
50%CAR +4%CDA+46%S	14.84%	1.806
50%CAR+8%CDA+42%S	13.34%	1.809
60%CAR+4%CDA+36%S	12.40%	1.835
60%CAR+8%CDA+32%S	14.27%	1.813
70%CAR+4%CDA+26%S	13.51%	1.907
70%CAR+8%CDA+22%S	12.48%	1.913

Tabla 32: Proctor modificado en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia



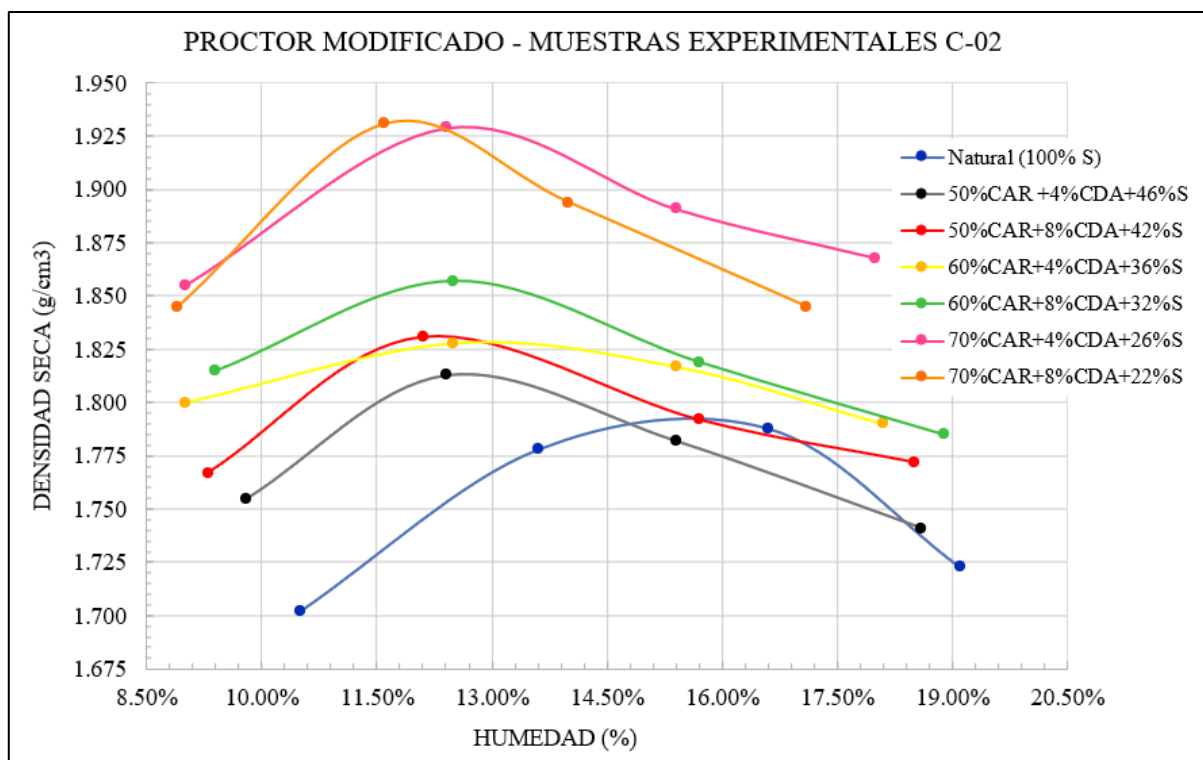
Gráfica 13: Curvas de compactación de muestras experimentales C-01. Fuente: Propia

### PROCTOR MODIFICADO - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-02

En la tabla 33 se registran los resultados del ensayo Proctor en muestras experimentales C-02, así mismo, en la gráfica 14, se presentan las curvas de compactación, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-02	
	O.C.H. (%)	M.D.S. (g/cm <sup>3</sup> )
Natural (100% S)	15.49%	1.793
50%CAR +4%CDA+46%S	12.64%	1.813
50%CAR+8%CDA+42%S	12.24%	1.831
60%CAR+4%CDA+36%S	12.71%	1.828
60%CAR+8%CDA+32%S	12.04%	1.858
70%CAR+4%CDA+26%S	12.11%	1.930
70%CAR+8%CDA+22%S	12.56%	1.931

Tabla 33: Proctor modificado en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia



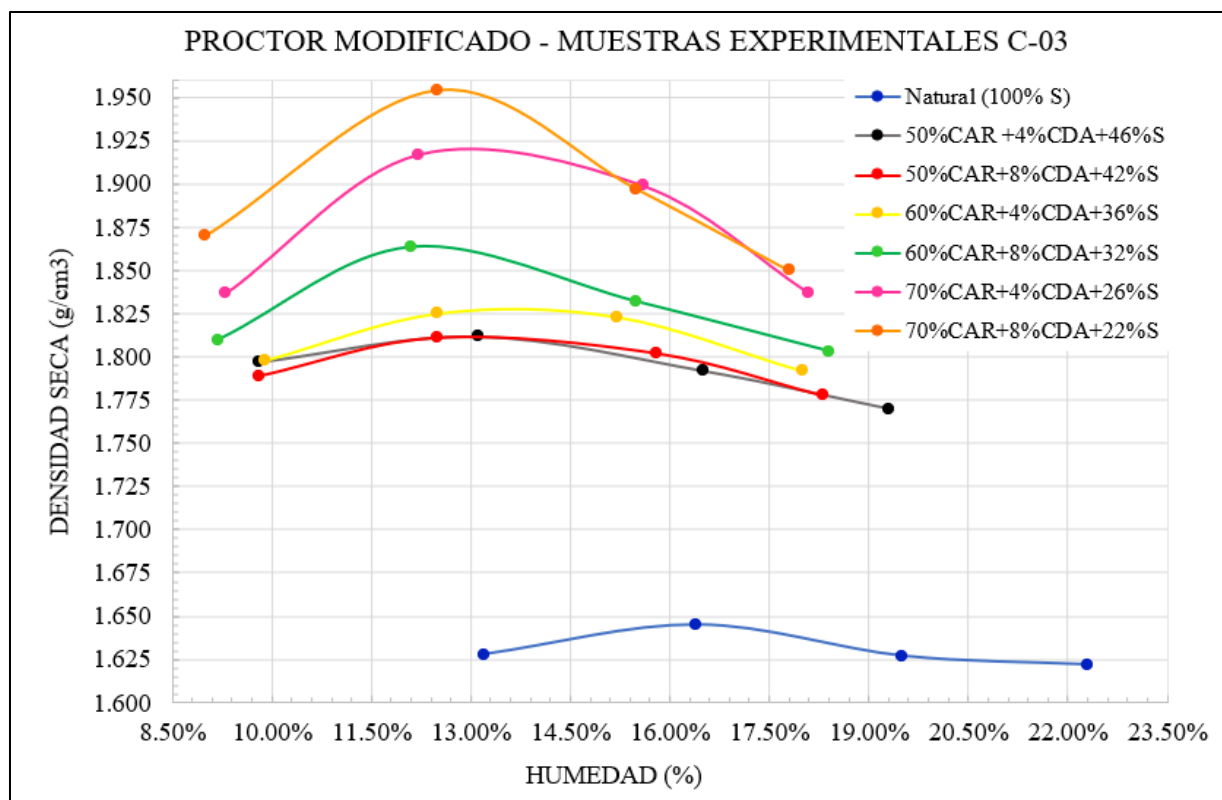
Gráfica 14: Curvas de compactación de muestras experimentales C-02. Fuente: Propia

### PROCTOR MODIFICADO - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-03

En la tabla 34 se registran los resultados del ensayo Proctor en muestras experimentales C-03, así mismo, en la gráfica 15, se presentan las curvas de compactación, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-03	
	O.C.H. (%)	M.D.S. (g/cm <sup>3</sup> )
Natural (100% S)	15.58%	1.646
50%CAR +4%CDA+46%S	12.48%	1.813
50%CAR+8%CDA+42%S	13.27%	1.812
60%CAR+4%CDA+36%S	13.72%	1.828
60%CAR+8%CDA+32%S	12.17%	1.864
70%CAR+4%CDA+26%S	13.27%	1.922
70%CAR+8%CDA+22%S	12.03%	1.956

Tabla 34: Proctor modificado en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia



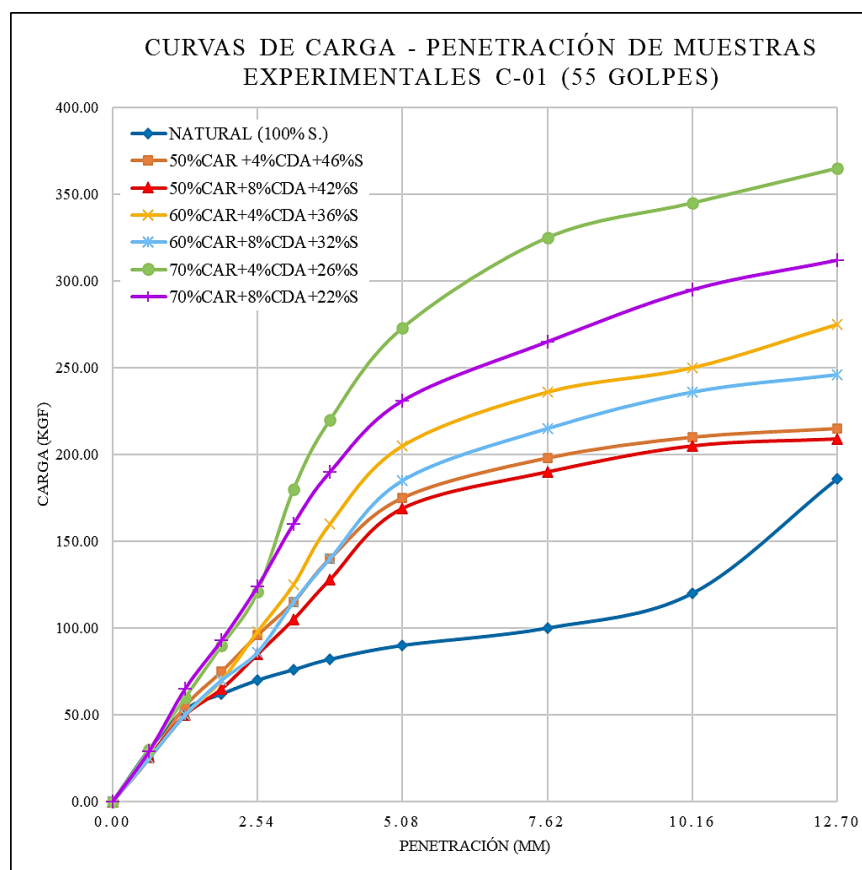
Gráfica 15: Curvas de compactación de muestras experimentales C-03. Fuente: Propia

### CAPACIDAD DE SOPORTE - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-01

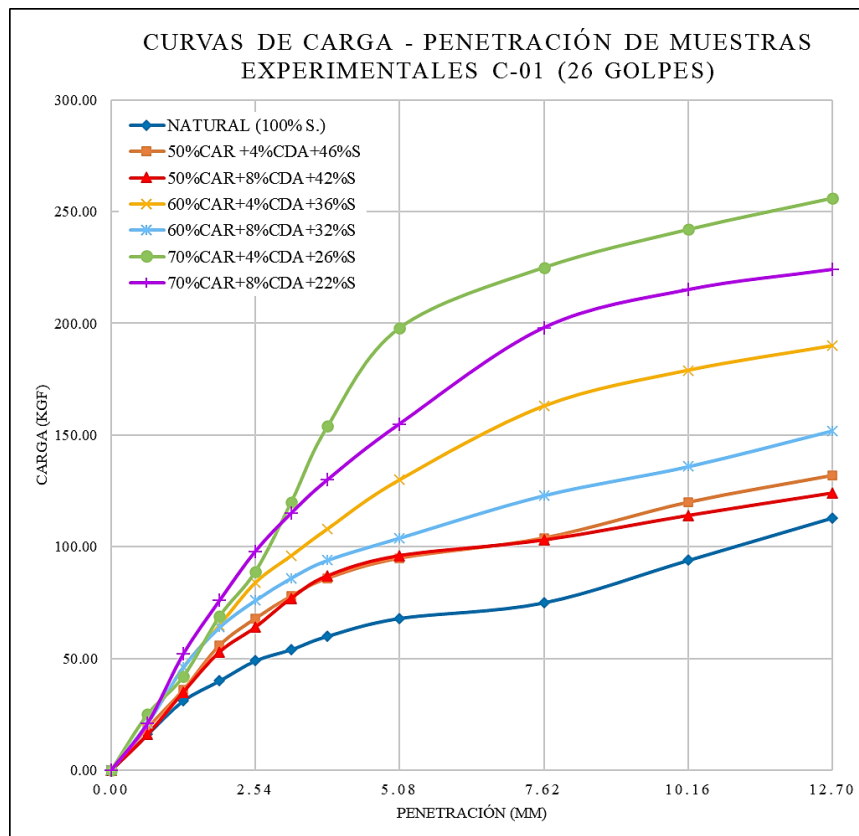
En la tabla 35, se registran los resultados del ensayo de capacidad de soporte en muestras experimentales C-01, para una compactación al 95% y 100% de la M.D.S., así mismo, en las gráficas 16, 17 y 18, se presentan las curvas de carga – penetración, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-01	
	CBR (%) al 95% M.D.S.	CBR (%) al 100% M.D.S.
Natural (100% S)	3.00%	4.90%
50%CAR +4%CDA+46%S	6.10%	7.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	6.10%	6.50%
60%CAR+4%CDA+36%S	7.80%	9.10%
60%CAR+8%CDA+32%S	6.70%	8.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	9.50%	12.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	12.90%	10.40%

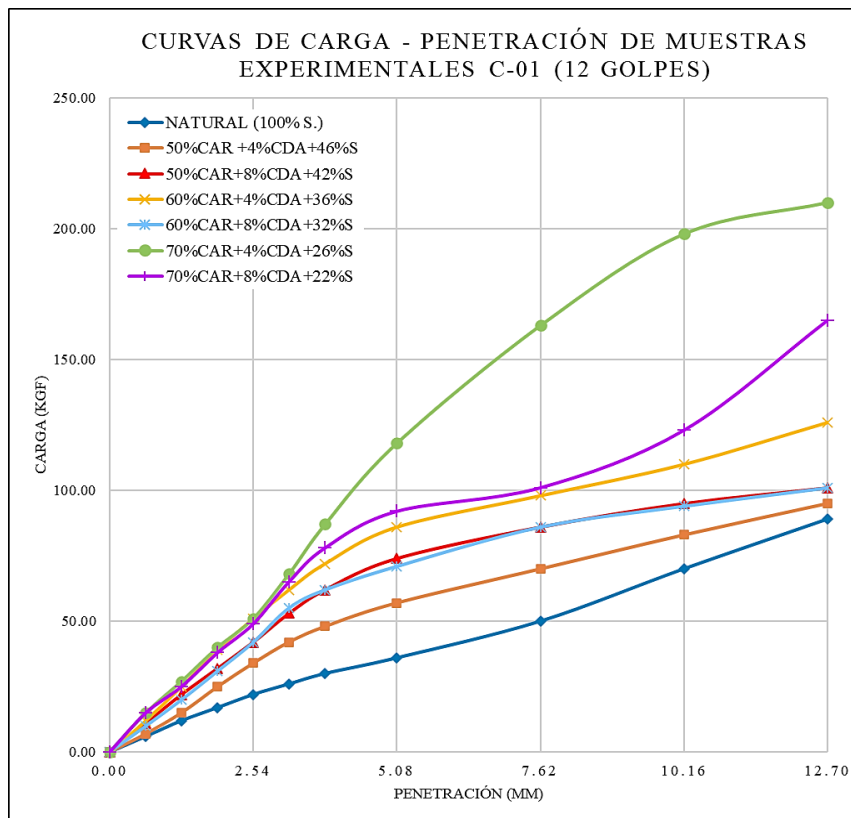
Tabla 35: CBR(%) en muestras experimentales C-01. Fuente: Propia



Gráfica 16: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 55 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 17: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 26 golpes. Fuente: Propia



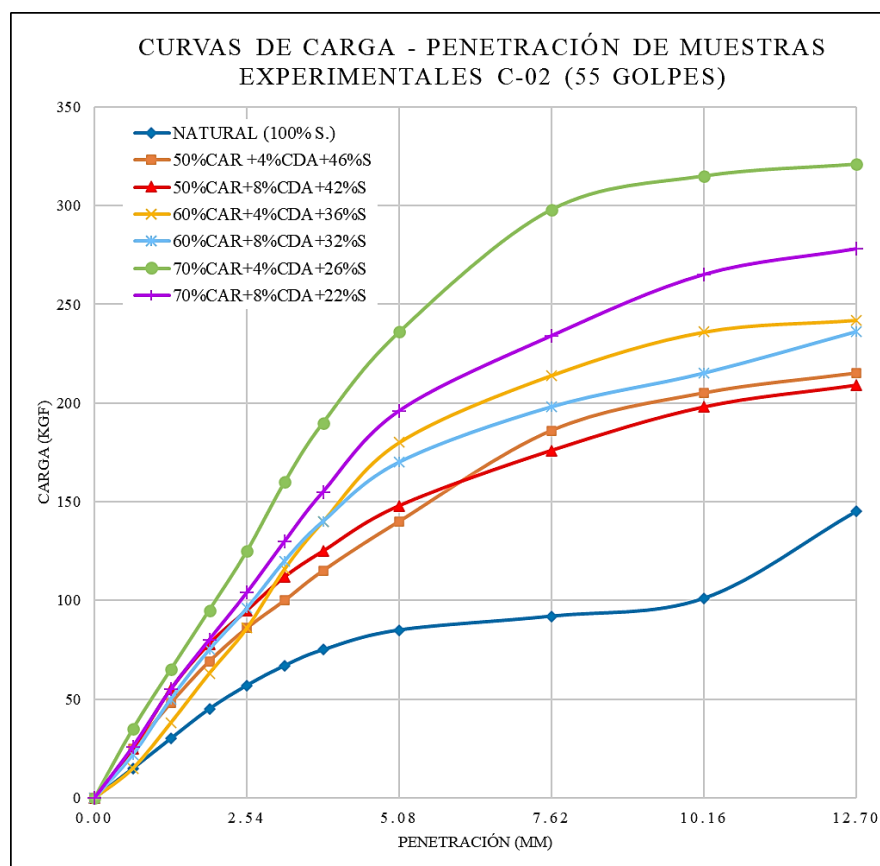
Gráfica 18: Curvas de carga- penetración de muestras C-01 a 12 golpes. Fuente: Propia

### CAPACIDAD DE SOPORTE - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-02

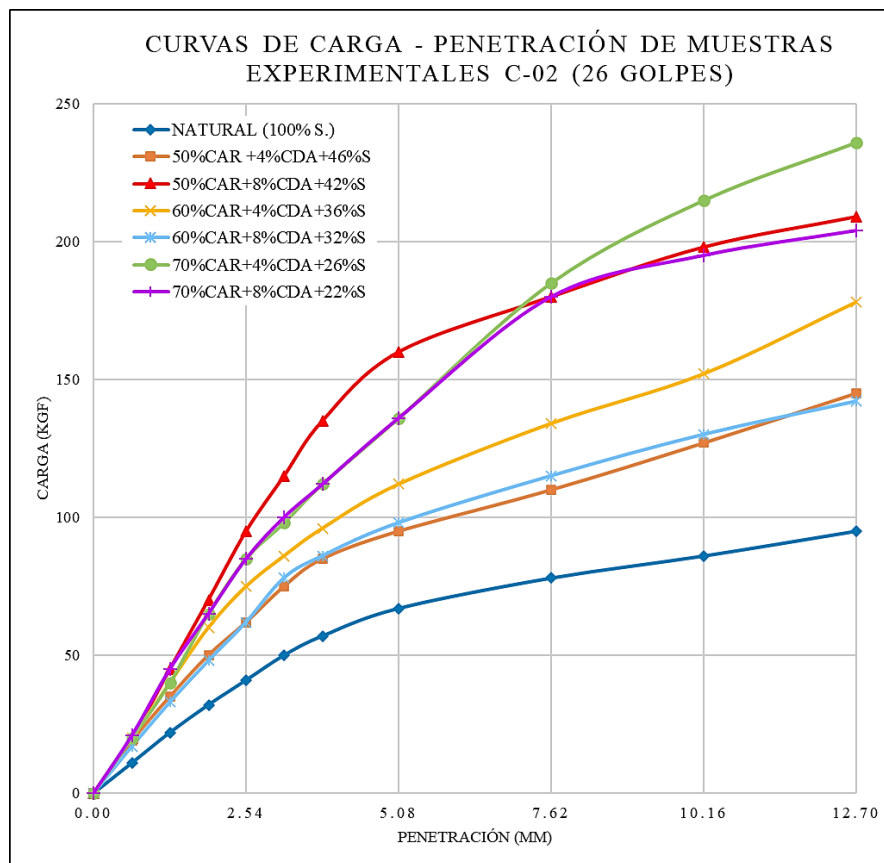
En la tabla 36, se registran los resultados del ensayo de capacidad de soporte en muestras experimentales C-02, para una compactación al 95% y 100% de la M.D.S., así mismo, en las gráficas 19, 20 y 21, se presentan las curvas de carga – penetración, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-02	
	CBR (%) al 95% M.D.S.	CBR (%) al 100% M.D.S.
Natural (100% S)	3.00%	4.20%
50%CAR +4%CDA+46%S	4.70%	5.90%
50%CAR+8%CDA+42%S	5.00%	6.80%
60%CAR+4%CDA+36%S	6.40%	7.40%
60%CAR+8%CDA+32%S	6.70%	6.80%
70%CAR+4%CDA+26%S	6.70%	10.30%
70%CAR+8%CDA+22%S	7.70%	8.60%

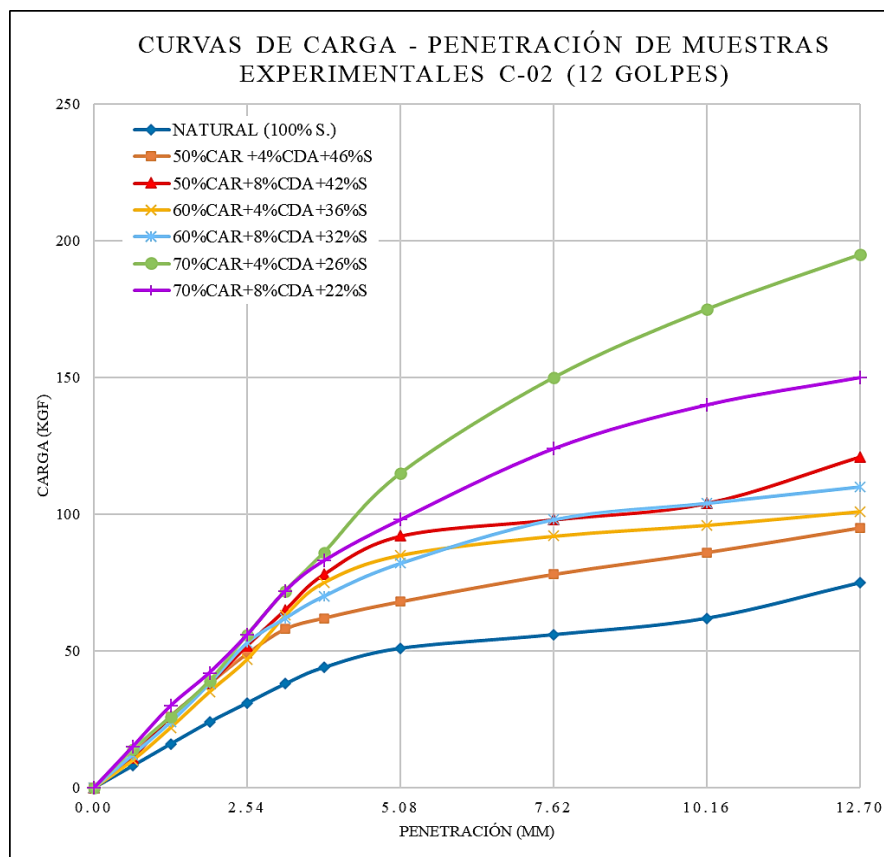
Tabla 36: CBR(%) en muestras experimentales C-02. Fuente: Propia



Gráfica 19: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 55 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 20: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 26 golpes. Fuente: Propia



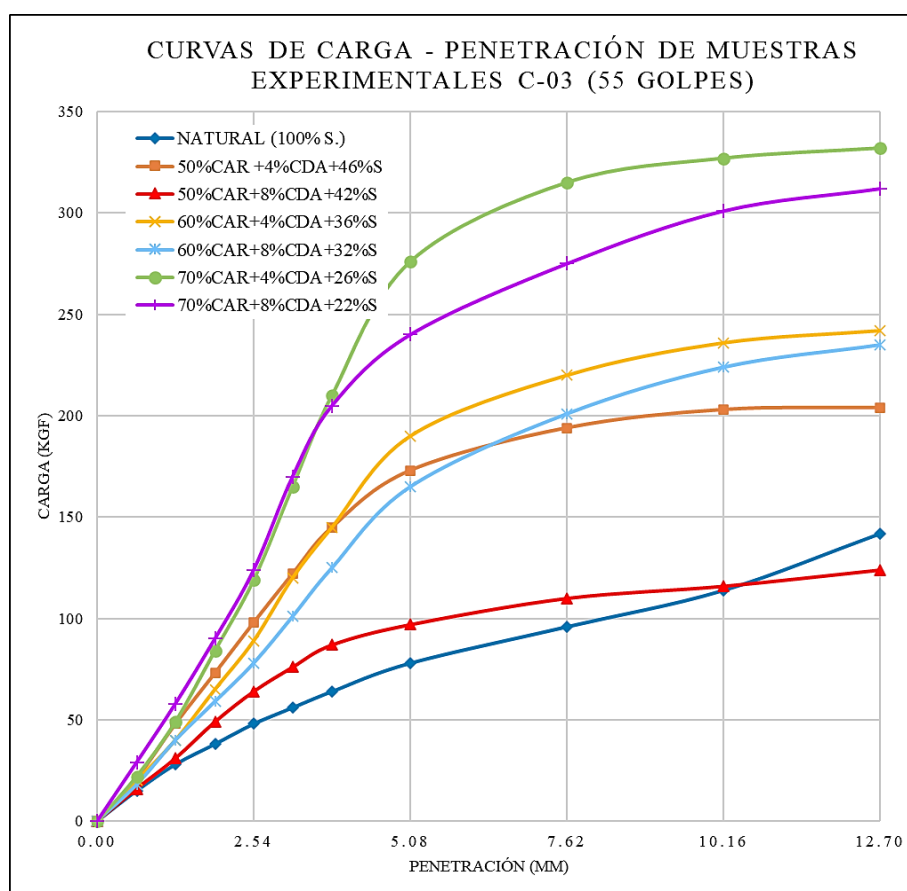
Gráfica 21: Curvas de carga- penetración de muestras C-02 a 12 golpes. Fuente: Propia

### CAPACIDAD DE SOPORTE - MUESTRAS EXPERIMENTALES C-03

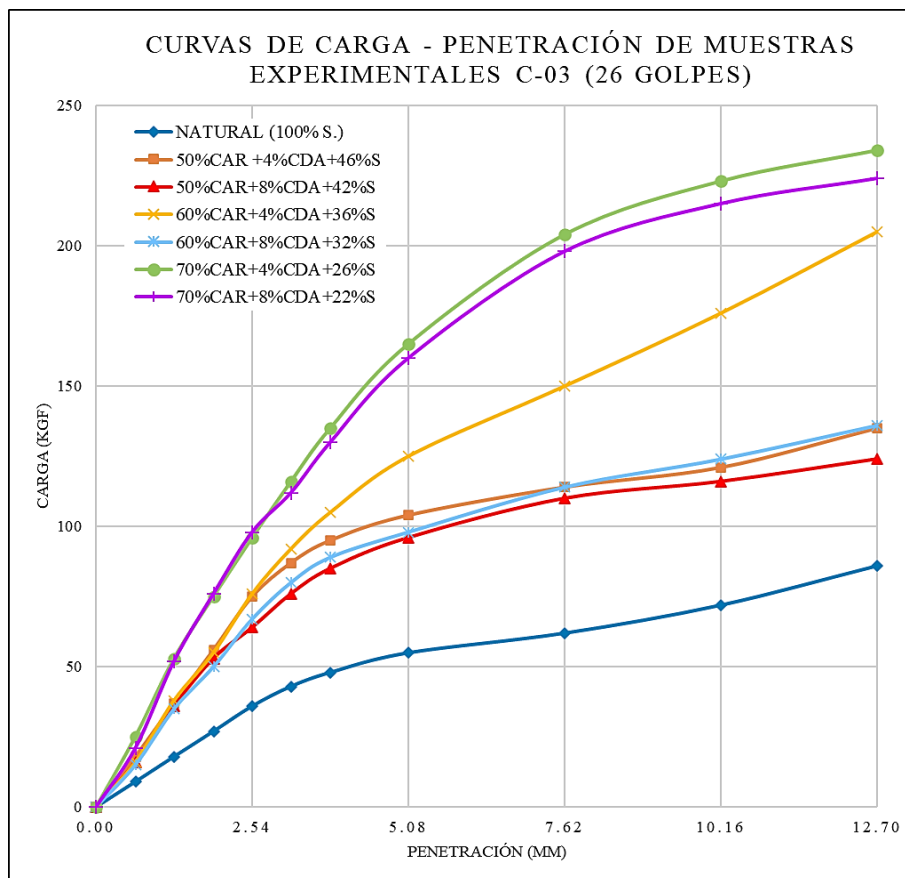
En la tabla 37, se registran los resultados del ensayo de capacidad de soporte en muestras experimentales C-03, para una compactación al 95% y 100% de la M.D.S., así mismo, en las gráficas 22, 23 y 24, se presentan las curvas de carga – penetración, en ellas, se evidencian los cambios producidos en esta propiedad.

Combinación	C-03	
	CBR (%) al 95% M.D.S.	CBR (%) al 100% M.D.S.
Natural (100% S)	2.90%	3.50%
50%CAR +4%CDA+46%S	5.70%	7.30%
50%CAR+8%CDA+42%S	5.60%	6.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	7.40%	8.60%
60%CAR+8%CDA+32%S	6.60%	6.30%
70%CAR+4%CDA+26%S	9.40%	11.10%
70%CAR+8%CDA+22%S	8.20%	10.50%

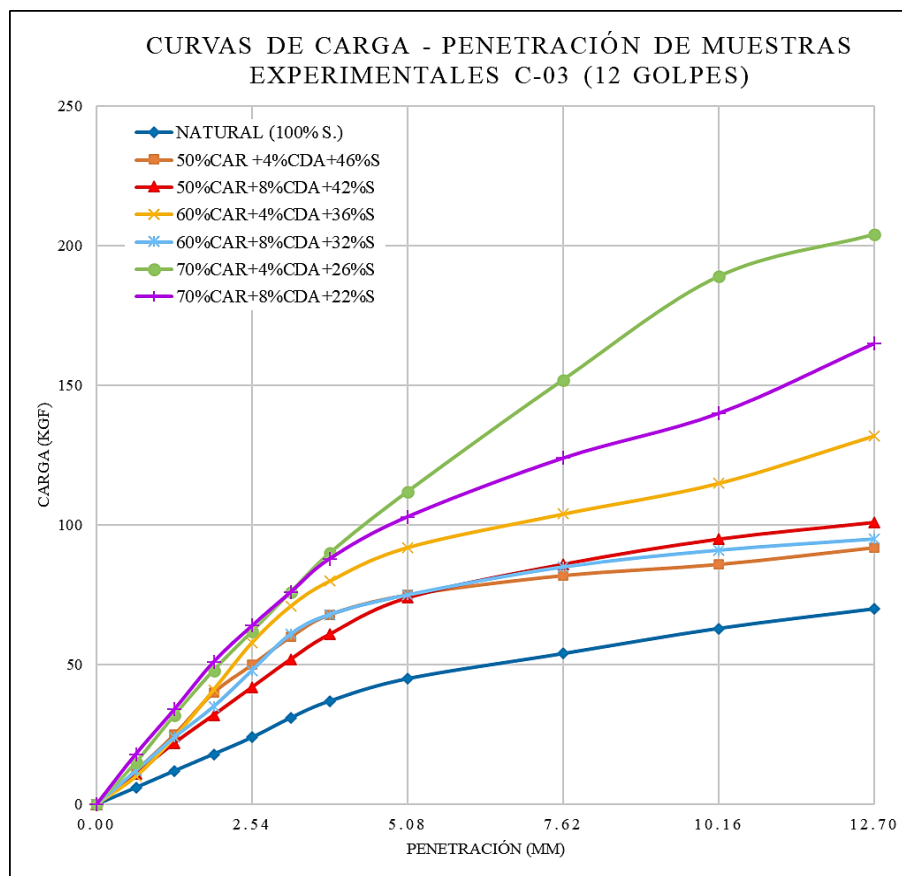
Tabla 37: CBR(%) en muestras experimentales C-03. Fuente: Propia



Gráfica 22: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 55 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 23: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 26 golpes. Fuente: Propia



Gráfica 24: Curvas de carga- penetración de muestras C-03 a 12 golpes. Fuente: Propia

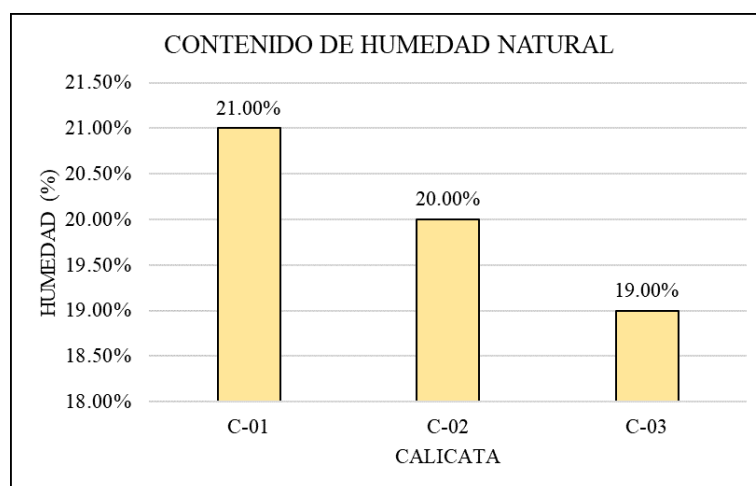
## DISCUSIÓN

### MUESTRAS NATURALES DE SUBRASANTES ARCILLOSAS

En el presente apartado, se analizarán e interpretarán los resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo natural (C-01, C-02 y C-03), siendo dichos ensayos los siguientes: contenido de humedad, granulometría por tamizado, granulometría por sedimentación, límites de consistencia, densidad específica, Proctor modificado y relación de soporte de california (CBR); de esta manera, se tendrá una mejor concepción de las propiedades físico-mecánicas del suelo extraído.

### CONTENIDO DE HUMEDAD - MUESTRAS NATURALES

Según [20], afirma que, tanto la humedad natural como la densidad del suelo, afectan directamente a su capacidad de resistencia del mismo, es por ello la importancia de conocer dichas propiedades, mostrándose a continuación, el contenido de humedad de las muestras naturales analizadas.

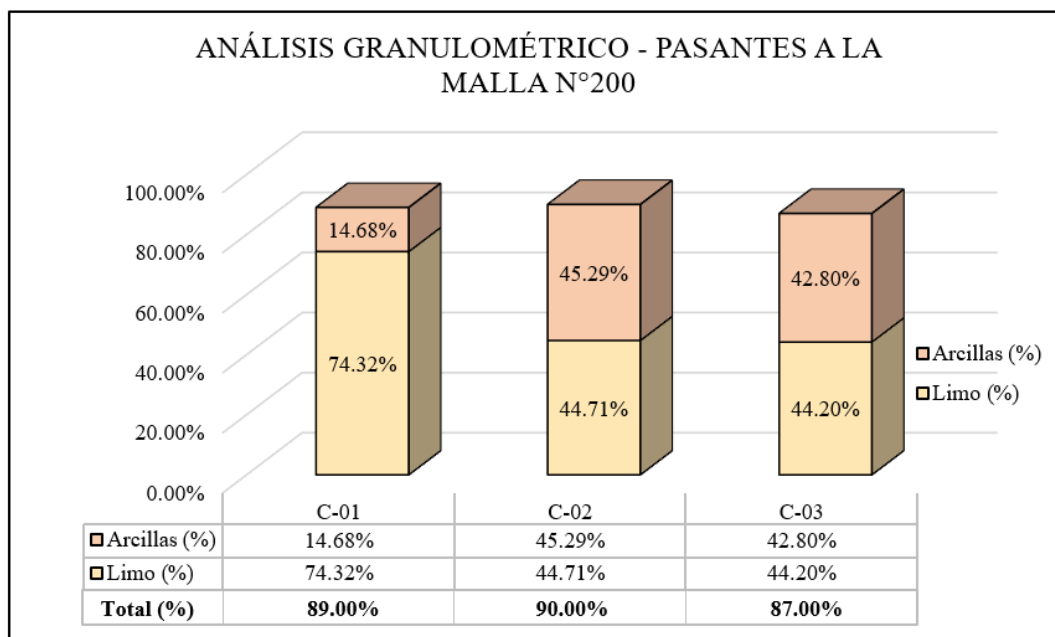


Gráfica 25: Contenido de humedad muestras naturales. Fuente: Propia

Como se observa en la gráfica 25, el suelo natural de la calicata C-01 presenta un mayor contenido de humedad, siendo este del 21%, mientras, la calicata C-03 presenta un menor porcentaje del contenido de la misma, siendo este del 19%. No obstante, según ensayo Proctor modificado, todas las calicatas presentan una humedad natural por encima de la óptima, siendo esto indicio que el suelo se encuentra saturado, por consecuente, como posibles soluciones ante este problema, [20] propone las siguientes: intensificar la energía de compactación, airear el suelo o sustituirlo, cabe recalcar que, la presente propuesta de investigación plantea sustituir parcialmente el suelo por agregados de CAR.

## DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - MUESTRAS NATURALES

En base a lo obtenido en los ensayos de granulometría por tamizado como sedimentación, se observa en todas las muestras que, el pasante a la malla N°200 es superior al 80%, lo cual implica, una granulometría muy fina, es decir, predominio de limos y/o arcillas.

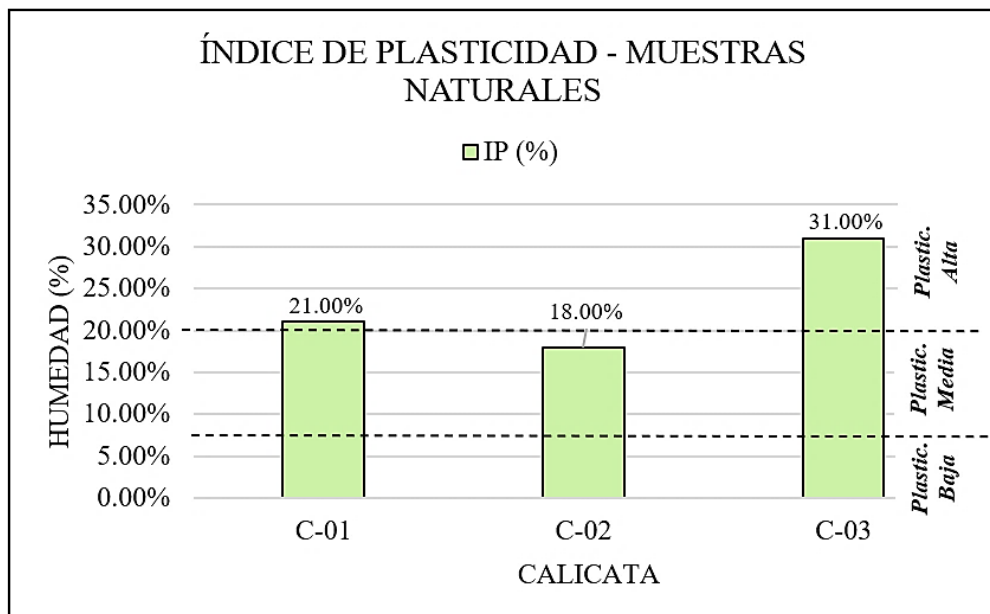


Gráfica 26: Análisis granulométrico – Pasantes a la malla N°200. Fuente: Propia

De los porcentajes observados en la gráfica 26, y, en base a la clasificación por tamaño de partículas establecida por [20], se afirma que, la muestra de suelo natural C-01, pertenece al grupo de limos, mientras, las muestras C-02 y C-03 se clasifican como arcillas

## LÍMITES DE CONSISTENCIA - MUESTRAS NATURALES

El comportamiento de las arcillas depende de la humedad de las mismas, esta propiedad al variarse genera un cambio en el estado del suelo; alterando su estabilidad, el registro de dichas humedades que ocasionan que el suelo cambie de estado, se les conoce como límites de consistencia [28]. En la presente investigación se muestran en la tabla 21 los resultados obtenidos para las muestras naturales, sin embargo, en la gráfica 27, se hace énfasis en sus índices de plasticidad.



Gráfica 27: Índice de plasticidad – muestras naturales. Fuente: Propia

Como se observa en la gráfica 27 y en base a la clasificación de suelo según su índice plástico (tabla 01) emitido por [20], se afirma que, la muestra natural de la calicata C-03, presentan una plasticidad alta, siendo esto característico de suelos muy arcillosos, mientras, las muestras naturales de las calicatas C-01 y C-02, presenta una plasticidad media, lo cual implica moderada presencia de arcilla.

### CLASIFICACIÓN DE SUELO - MUESTRAS NATURALES

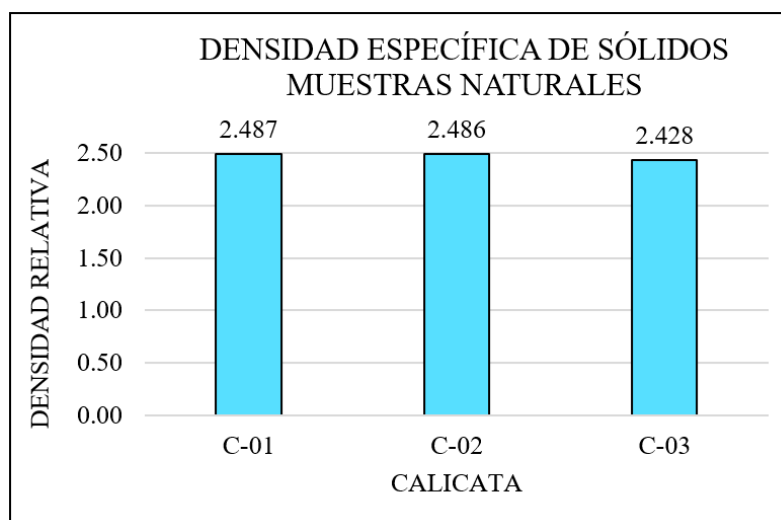
Para clasificar el suelo según la AASHTO y el sistema SUCS, para la presente investigación, se consideró lo siguiente, al poseer todas las muestras una granulometría fina (pasante a la malla N°200 mayor al 50%), fue necesario los ensayos de granulometría por tamizado y límite de consistencia.

Según la Tabla 22, se aprecia que, la muestra natural de las calicatas C-01 y C-02 son suelos de baja plasticidad, diferenciándose por ser el primero un limo (ML) y el segundo una arcilla (CL), mientras, el suelo de la calicata C-03, corresponde también al grupo de las arcillas, distinguiéndose por ser de alta plasticidad (CH).

La discusión en este apartado corresponde al índice de grupo de cada muestra (IG), según [20] afirman que, al poseer las tres muestras un índice de grupo superior a 9, es de esperarse un desempeño como subrasante inadecuada.

### DENSIDAD ESPECÍFICA - MUESTRAS NATURALES

Este parámetro mide el peso por unidad de volumen del suelo, así mismo, es aplicado para el cálculo de relación de vacíos, grado de saturación y porosidad de la muestra [23]. Los resultados obtenidos en la presente investigación se resumen en la siguiente gráfica.



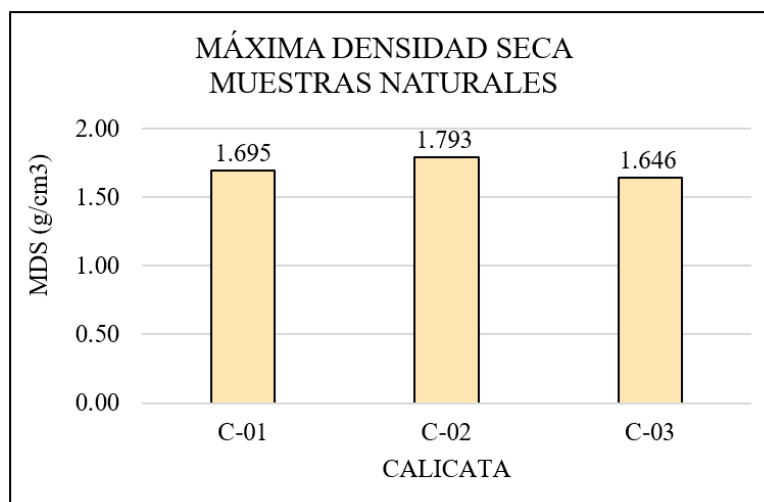
Gráfica 28: Gravedad específica de muestras naturales. Fuente: Propia

De lo mostrado, se observa para todas las calicatas una gravedad específica promedio de 2.4, y, en base a [49], el suelo natural al poseer un bajo valor en este parámetro, indica un menor grado de compactación, así mismo, presencia de partículas finas.

### PROCTOR MODIFICADO - MUESTRAS NATURALES

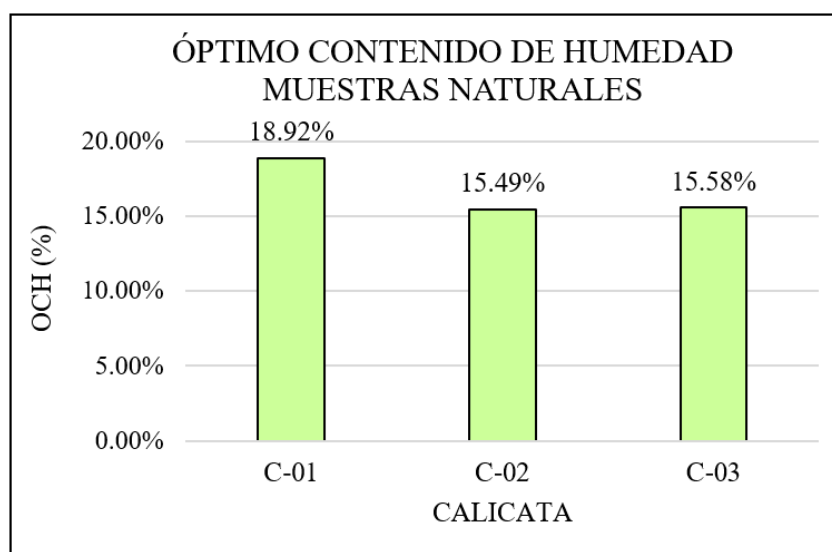
La compactación del suelo, es fundamental en la subrasante donde se asentará un pavimento, pues con este medio, se aumenta la resistencia y disminuye la comprensibilidad del terreno [28].

En la gráfica 29, se observa los valores correspondientes a la máxima densidad seca por cada muestra, obteniéndose el máximo valor de 1.793 g/cm<sup>3</sup> para la calicata C-02, mientras, el menor valor de 1.646 g/cm<sup>3</sup> para la C-03.



Gráfica 29: Gravedad específica de muestras naturales. Fuente: Propia

Así mismo, en la gráfica 30, se presenta el registro de humedades óptimas por cada calicata, observándose un máximo valor en este parámetro de 18.92% correspondiente a la muestra C-01, mientras, el menor valor es de 15.49% de la C-02.

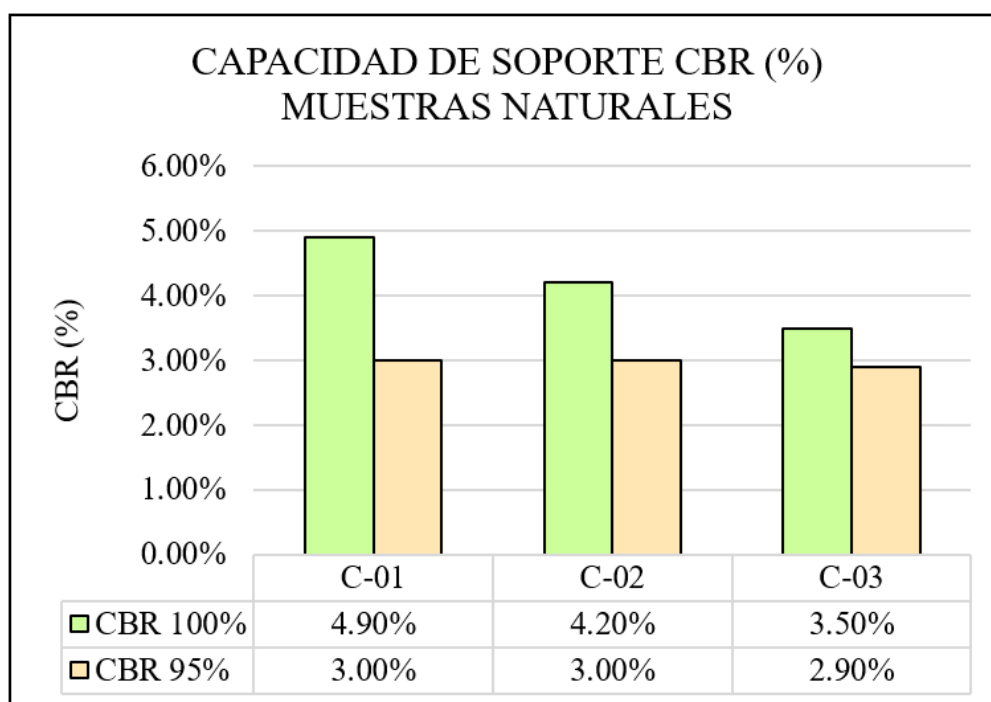


Gráfica 30: óptimo Contenido de humedad – muestras naturales. Fuente: Propia

Dichos resultados son acordes a lo esperado, pues se cumple la relación, a mayor contenido de humedad, menor densidad seca, del mismo modo, en viceversa; lo antes mencionado se sustenta de la siguiente manera, al incrementar el contenido de humedad, las partículas de agua aumentan, tratando estas de llenar el número de vacíos de aire atrapado, en consecuencia, el suelo presentará un incremento en su fase líquida, disminuyendo la sólida, por tanto, es de esperarse densidades secas inferiores [28].

### CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) - MUESTRAS NATURALES

La importancia de este ensayo radica en que se evalúa la resistencia de la subrasante para su uso en pavimentos, dicho valor estará referido para una penetración de 2.54mm (0.1”) según [20], en efecto, en la gráfica 31, se resumen los resultados obtenidos para las muestras naturales analizadas.



Gráfica 31: Capacidad de soporte – muestras naturales. Fuente: Propia

De la gráfica anterior, se observa para un 100% de la M.D.S. del suelo, la calicata C-01 alcanza un valor máximo de CBR del 4.90%, mientras, el menor valor lo alcanza la calicata C-03 con 3.50%; en cuanto al 95% de la M.D.S., se observa que las calicatas C-01 y C-02 alcanzan el valor máximo de 3.00%, mientras, en la calicata C-03 existe un descenso a 2.90%.

Además, de la gráfica 31 se observa que, para un 95% de la M.D.S., las tres muestras de subrasantes arcillosas poseen un  $CBR \leq 3\%$ , clasificándose como una subrasante inadecuada según [20], así mismo, se recomienda en caso se tenga un suelo de fundación con esta característica, se deberá plantear su mejoramiento; fundamentándose de este modo la propuesta de estabilización a evaluar.

### **AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS**

En base a los resultados obtenidos (Ver tabla 26), se observa que el presente agregado reciclado contiene una humedad natural del 2%, con una granulometría compuesta por 92% de grava fina y 5% de grava gruesa, clasificándose según el sistema SUCS como una grava pobremente graduada (GP), y según la AASHTO como A-1-a (0) Bueno, en efecto, según [20] afirman que, el material al poseer dicha clasificación cumplirá un desempeño como subrasante de excelente o bueno.

Así mismo, según [42], en su investigación utilizó agregados de pavimento asfáltico reciclado cuyo tamaño máximo de partícula era inferior a 28mm, similar al presente estudio, resultando en su clasificación un suelo del tipo A-1-a, lo cual coincide con los resultados obtenidos, además, en dicha investigación, se obtuvo una mejora continua en las propiedades mecánicas de las muestras experimentales limosas para los porcentajes de 50%, 60% y 70% de CAR. Así mismo, cabe recalcar que, según [32], indica que el contenido de betún presente en los agregados tratados, no aporta ninguna propiedad de adherencia a la mezcla, pues este actúa como material inerte rellenando vacíos en la misma.

### **CENIZAS DE ASERRÍN**

De lo mostrado en la tabla 27, se afirma que, las cenizas de aserrín empleadas en el presente estudio, alcanzaron una humedad natural de 0.45%, una densidad de 2.13g/ml, con un contenido predominante de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) al 64.25%, así mismo, esta clase de cenizas debido a su alto contenido en sílice poseen propiedades puzolánicas, clasificándose como una ceniza volante clase F según [27].

De la literatura revisada, encontramos que, [14], en su investigación utiliza cenizas de aserrín calcinadas al aire libre, con una granulometría inferior a las 600um, obteniendo una gravedad específica de 2.03 y como componente químico predominante el  $\text{SiO}_2$  al 86%, no obstante, el suelo ensayado es un arcilloso de baja plasticidad (CL), lo cual coincide con la presente investigación. Cabe recalcar que, según [37], en su investigación, menciona que, la calcinación del aserrín al aire libre genera una suma de componentes puzolánicos del 50.03%, siendo este valor inferior al determinado en esta investigación de 69.15%.

### MUESTRAS EXPERIMENTALES: SUELO MÁS CAR Y CDA

En el presente ítem, se analizarán los resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras experimentales, para ello, se cuantificará el cambio generado en las propiedades de cada una, esto mediante la relación existente entre los resultados de las combinaciones respecto a la muestra natural; para luego, con los cambios obtenidos, evaluar la influencia de cada estabilizante sobre el suelo, de esta forma, se tendrá un mejor criterio en la selección de los porcentajes óptimos, a continuación, se desarrollará lo antes mencionado en las propiedades de interés (LL, LP, IP, OCH, MDS y CBR).

### LÍMITE LÍQUIDO

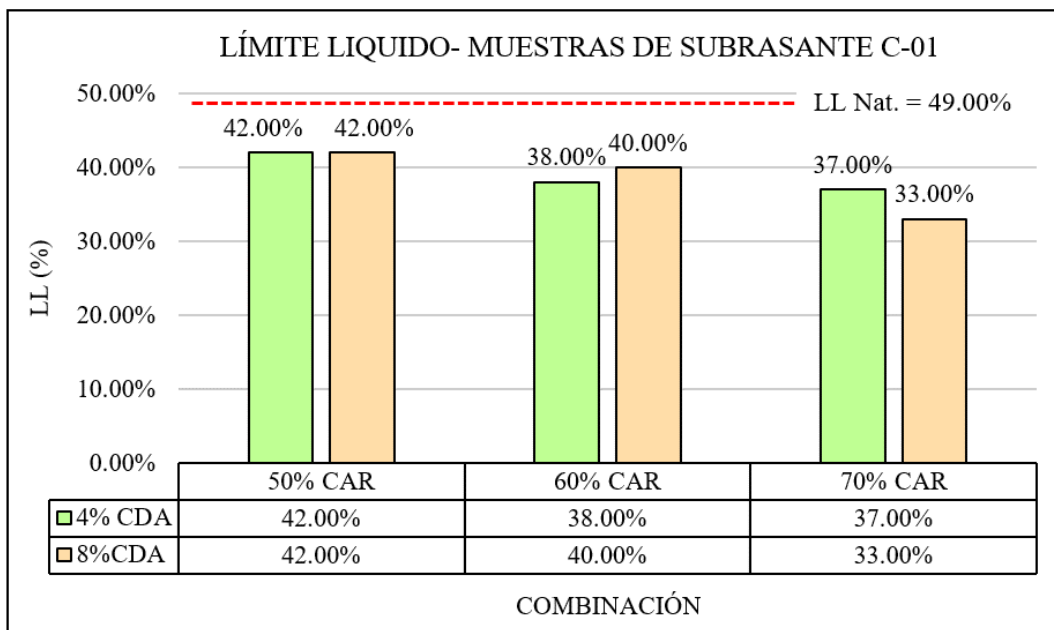
En la tabla 38 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y combinación empleada.

Combinación	Límite líquido (%)		
	C-01	C-02	C-03
Natural (100% S.)	49.00%	44.00%	54.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	42.00%	37.00%	38.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	42.00%	37.00%	36.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	38.00%	38.00%	40.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	40.00%	39.00%	39.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	37.00%	33.00%	34.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	33.00%	34.00%	36.00%

Tabla 38: Límite líquido (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia

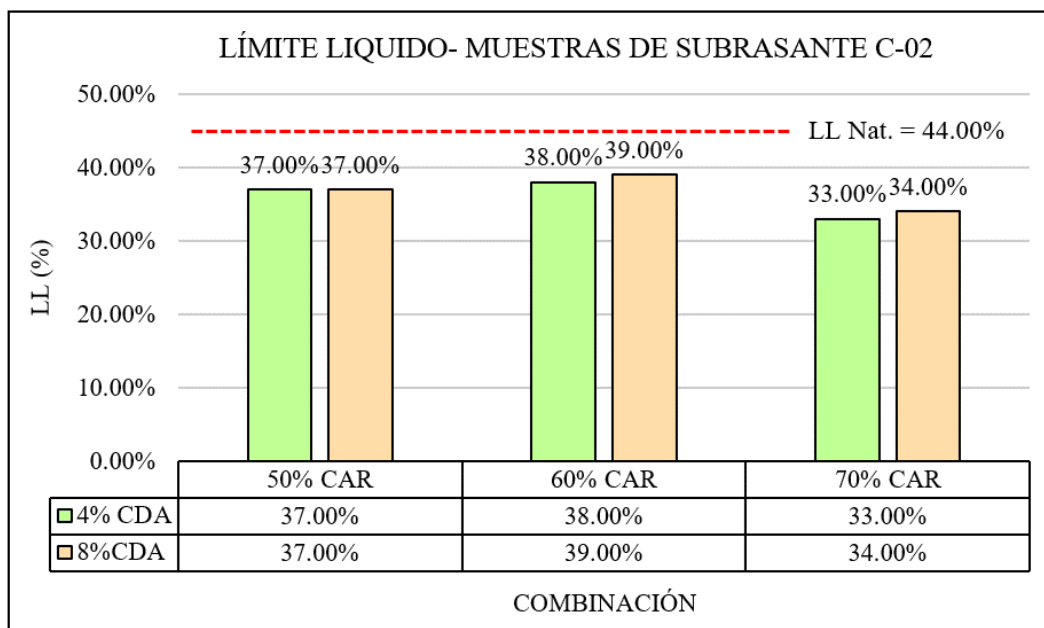
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 32, 33 y 34, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 32: Límite líquido en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



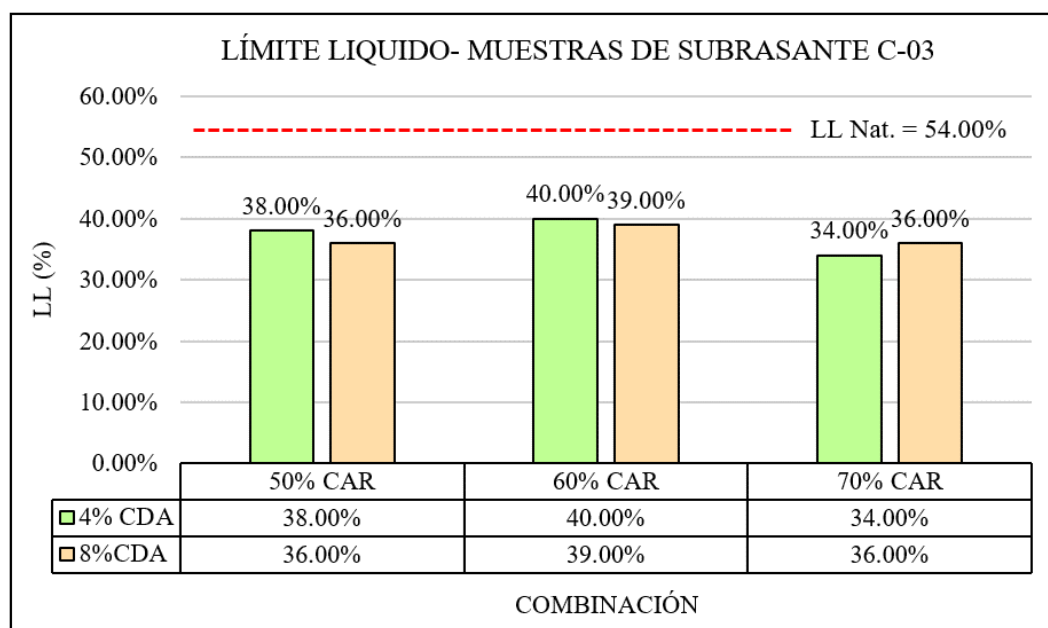
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR+ 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.86 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.86 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.82 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.76 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.67 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 33: Límite líquido en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.84 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.84 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.86 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.89 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.75 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.77 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 34: Límite líquido en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.70 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.67 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.74 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.72 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LL (%) se reduce a 0.63 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LL (%) se reduce a 0.67 veces respecto la muestra natural.

En base al MTC E- 110, para desarrollar el ensayo de límite líquido, deberá utilizarse el pasante a la malla No 40, es decir, esta propiedad física solo tendrá influencia de las cenizas de aserrín, por consecuente, se procederá a analizar los cambios que esta genera.

Como se aprecia en las gráficas 32, 33 y 34, para las muestras experimentales C-01, C-02 y C.03, se observa que al aumentar el contenido de CDA, es decir, al pasar de 4% a 8%, los resultados obtenidos son muy variados, lo cual implica que no existe una reducción constante del LL (%).

### LÍMITE PLÁSTICO

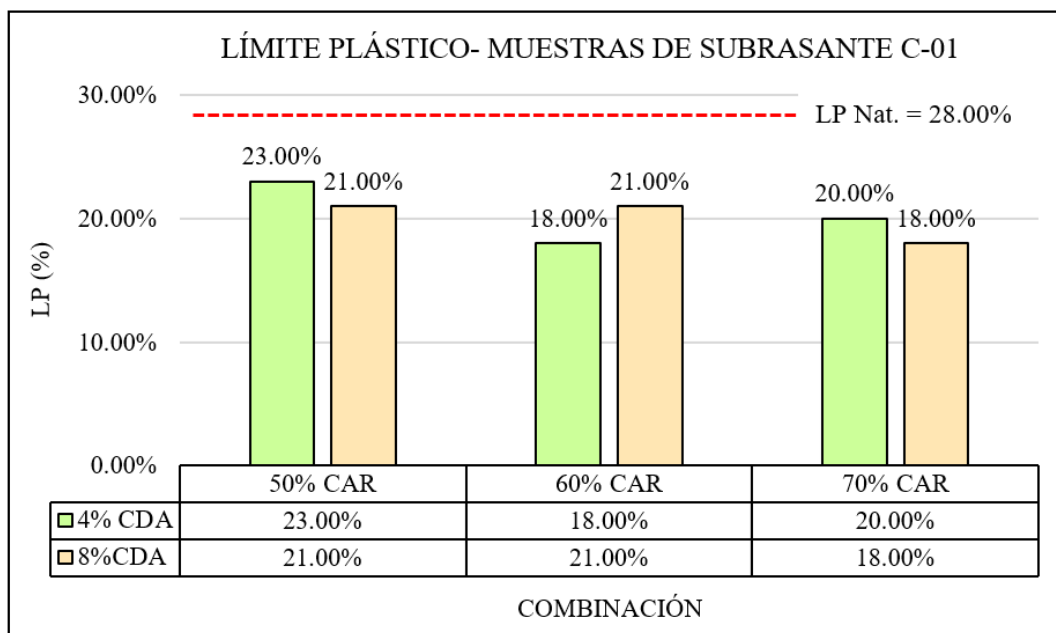
En la tabla 39 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

Combinación	Límite Plástico (%)		
	C-01	C-02	C-03
Natural (100% S.)	28.00%	26.00%	23.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	23.00%	18.00%	22.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	21.00%	21.00%	19.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	18.00%	17.00%	24.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	21.00%	24.00%	23.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	20.00%	15.00%	17.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	18.00%	19.00%	18.00%

Tabla 39: Límite plástico (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia

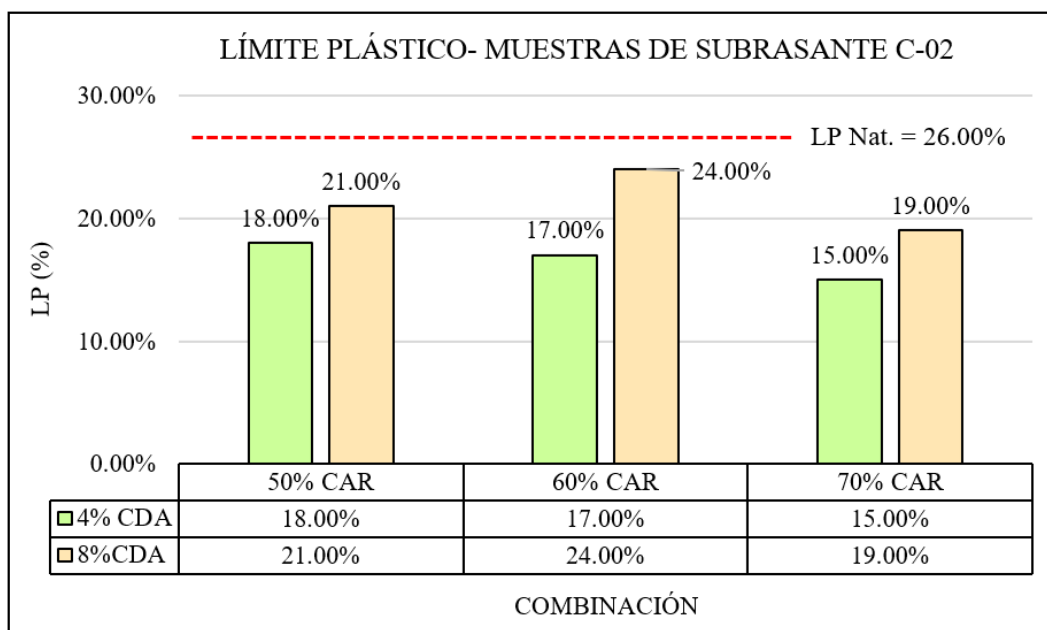
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 35, 36 y 37, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 35: Límite plástico en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



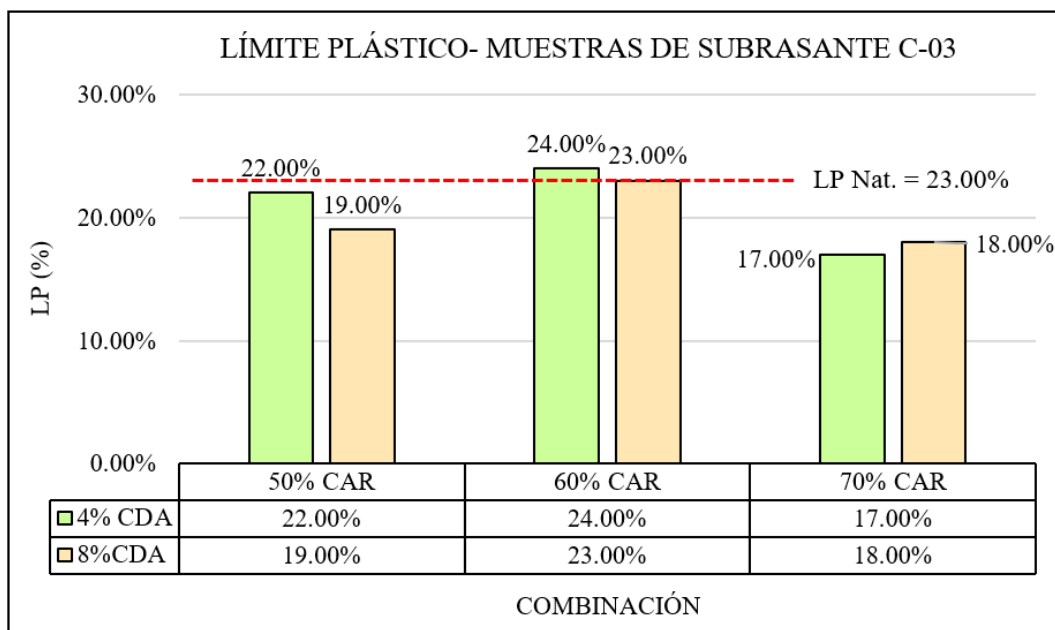
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.82 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.75 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.64 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.75 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.71 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.64 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 36: Límite plástico en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.69 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.81 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.65 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.92 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.58 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.73 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 37: Límite plástico en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.96 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.83 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el LP (%) aumentó en 1.04 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el LP (%) no cambia respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el LP (%) se reduce a 0.74 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el LP (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.

En base al MTC E- 111, para desarrollar el ensayo de límite plástico, deberá utilizarse el pasante a la malla No 40, es decir, esta propiedad física solo tendrá influencia de las cenizas de aserrín, por consiguiente, se procederá a analizar los cambios que esta genera.

Como se aprecia en las gráficas 35, 36 y 37, para las muestras experimentales C-01, C-02 y C.03, se observa que al aumentar el contenido de CDA, es decir, al pasar de 4% a 8%, los resultados obtenidos tienden a aumentar, lo cual implica que existe un ligero incremento constante del LP (%).

### ÍNDICE DE PLASTICIDAD

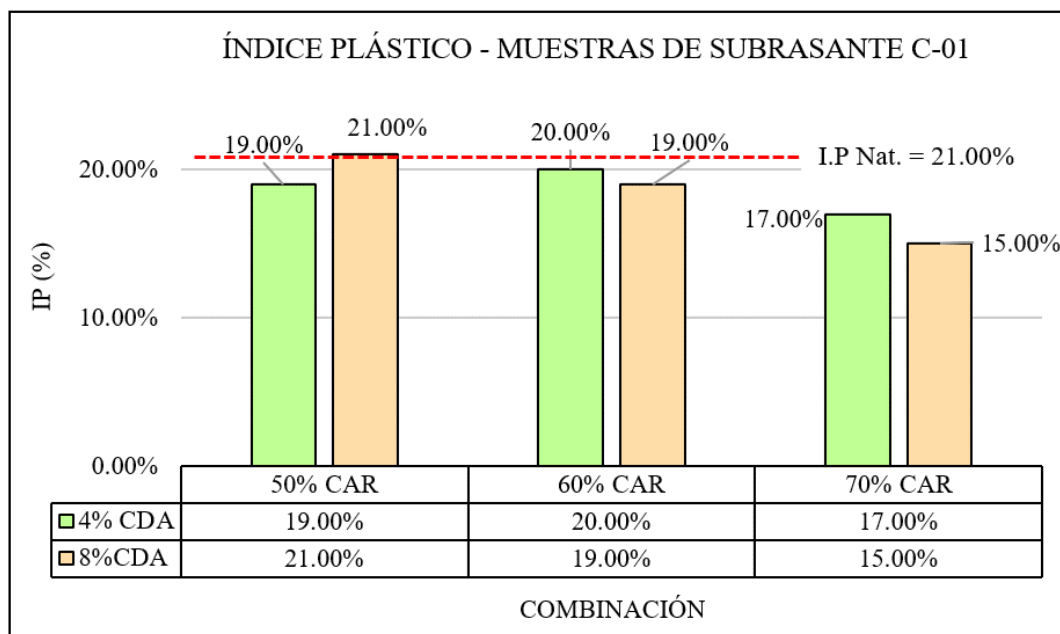
En la tabla 40 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

Combinación	Índice de plasticidad (%)		
	C-01	C-02	C-03
Natural (100% S.)	21.00%	18.00%	31.00%
50%CAR +4%CDA+46%S	19.00%	19.00%	16.00%
50%CAR+8%CDA+42%S	21.00%	16.00%	17.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	20.00%	21.00%	16.00%
60%CAR+8%CDA+32%S	19.00%	15.00%	16.00%
70%CAR+4%CDA+26%S	17.00%	18.00%	17.00%
70%CAR+8%CDA+22%S	15.00%	15.00%	18.00%

Tabla 40: Índice plástico(%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia

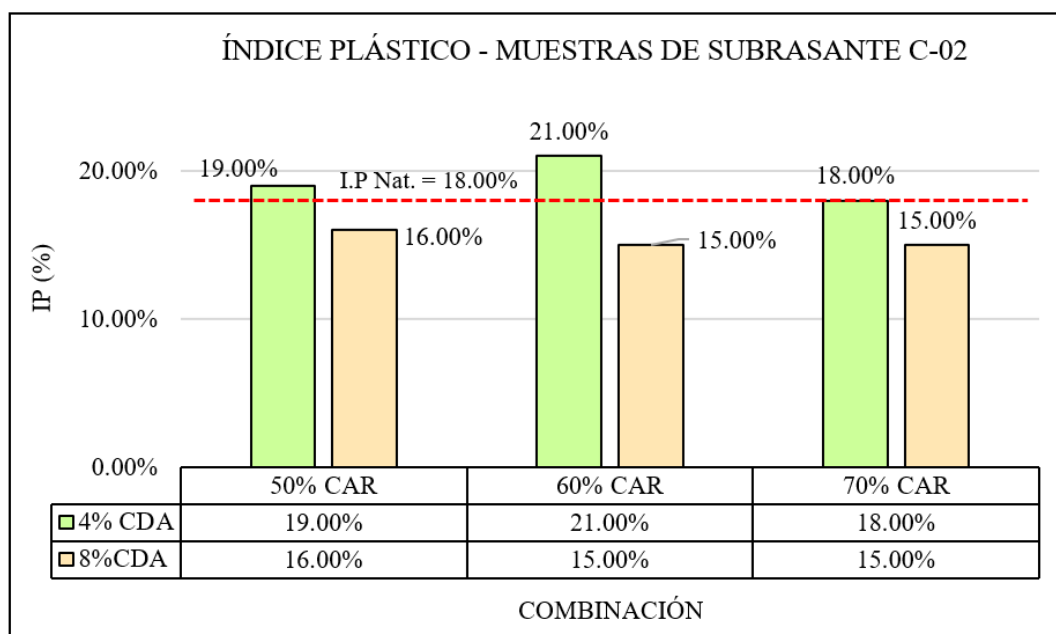
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 38, 39 y 40, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 38: Índice plástico en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



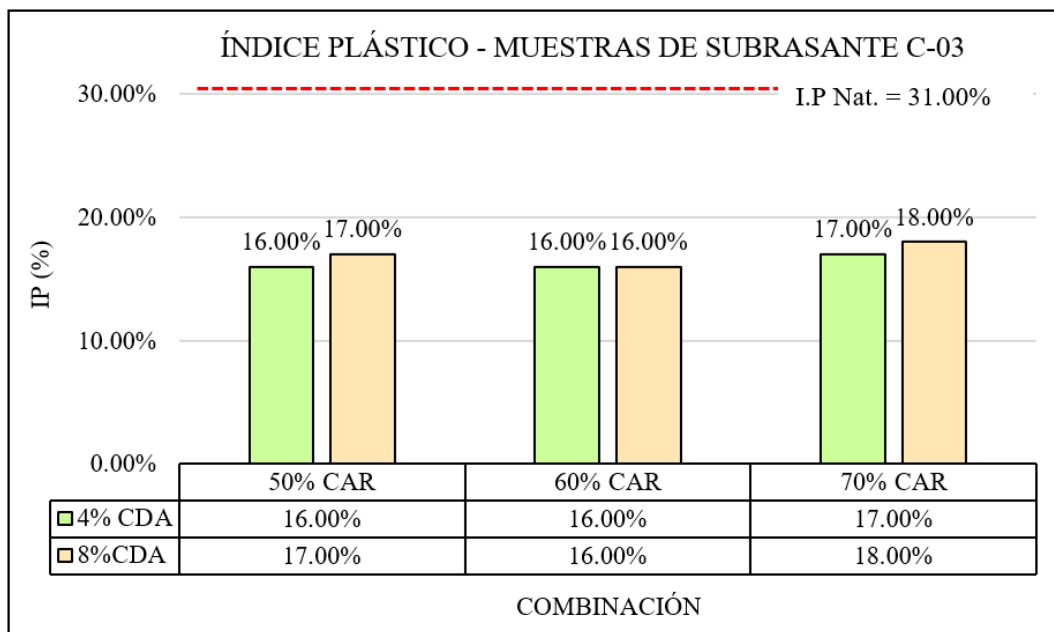
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.90 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) no cambia respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.95 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.90 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.81 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.71 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 39: Índice plástico en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) aumentó en 1.06 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.89 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) aumentó en 1.17 veces respecto la muestra natural
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.83 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) no cambia respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.83 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 40: Índice plástico en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.52 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.55 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.52 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.52 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.55 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el I.P. (%) se reduce a 0.58 veces respecto la muestra natural.

En base al MTC E- 111, el índice de plasticidad depende del límite líquido y plástico, ambos utilizan el pasante a la malla No 40, en consecuencia, esta propiedad física solo se verá afectada por presencia de cenizas de aserrín, procediéndose a analizar los cambios que esta genera

Como se aprecia en las gráficas 38, 39 y 40, para las muestras experimentales C-01 y C.02, se observa que al aumentar el contenido de CDA, es decir, al pasar de 4% a 8%, el cambio cuantificado disminuye, lo cual indica una reducción en el índice plástico de forma constante, sin embargo, para las muestras experimentales C-03, al aumentarse el contenido de CDA, resulta desfavorable, pues dicho índice incrementa.

### ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

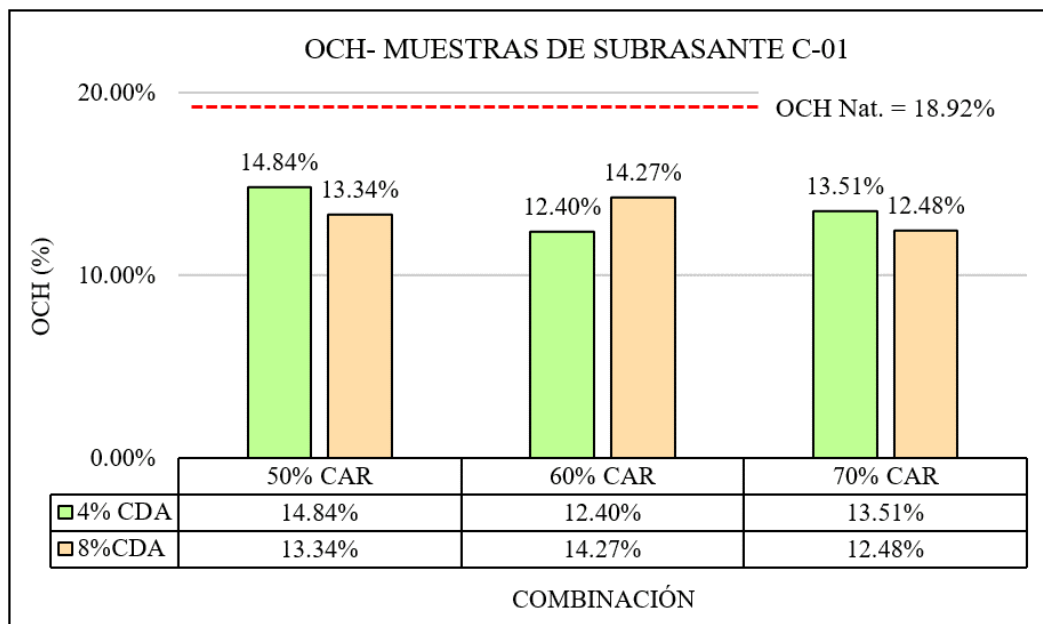
En la tabla 41 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

Combinación	Óptimo contenido de humedad (%)		
	C-01	C-02	C-03
Natural (100% S.)	18.92%	15.49%	15.58%
50%CAR +4%CDA+46%S	14.84%	12.64%	12.48%
50%CAR+8%CDA+42%S	13.34%	12.24%	13.27%
60%CAR+4%CDA+36%S	12.40%	12.71%	13.72%
60%CAR+8%CDA+32%S	14.27%	12.04%	12.17%
70%CAR+4%CDA+26%S	13.51%	12.11%	13.27%
70%CAR+8%CDA+22%S	12.48%	12.56%	12.03%

Tabla 41: OCH (%) en todas las muestras analizadas. Fuente: Propia

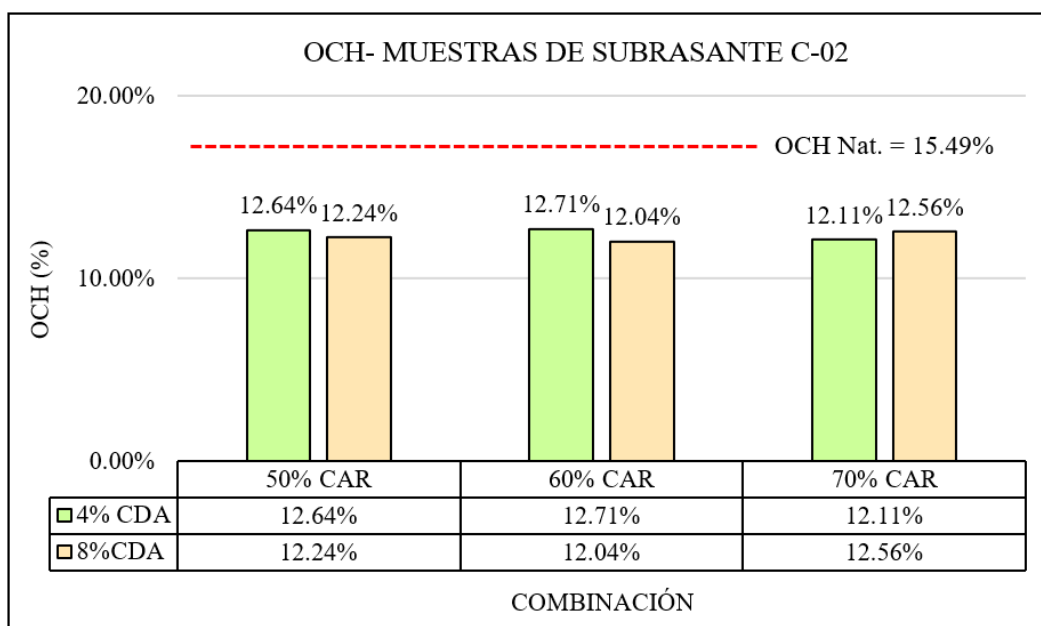
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 41, 42 y 43, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 41: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



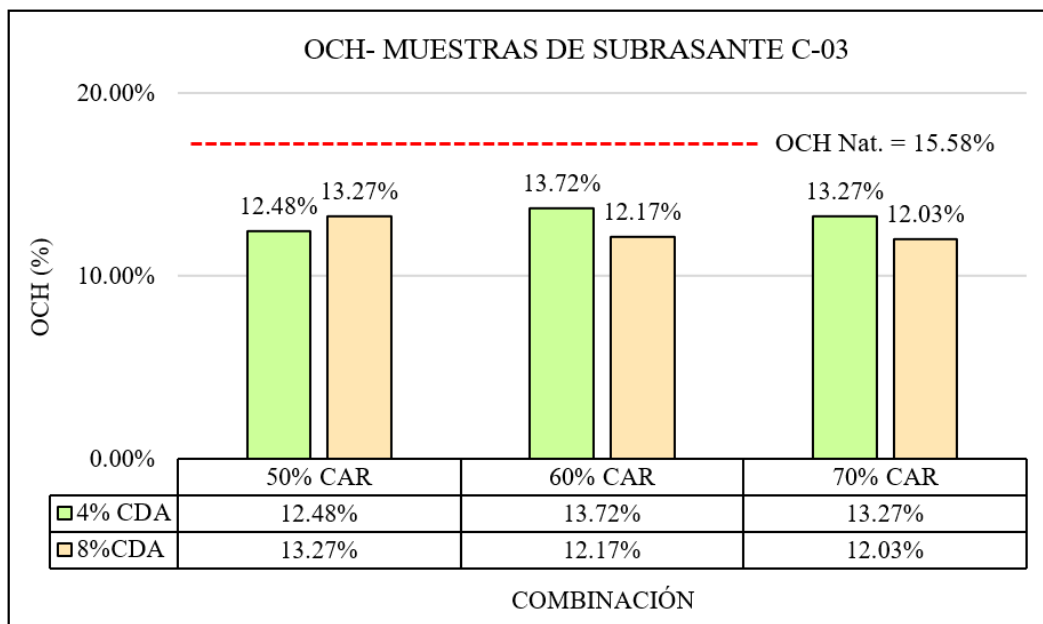
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.71 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.66 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.75 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.71 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.66 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 42: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.82 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.79 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.82 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.81 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 43: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.80 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.85 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.88 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.78 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 4% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.85 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70% CAR + 8% CDA: el OCH (%) se reduce a 0.77 veces respecto la muestra natural.

Esta propiedad física se verá afectada por la presencia de ambos estabilizantes, pues al desarrollarse la prueba Proctor (MTC E-115), participa la gradación completa de la muestra, es decir, se tendrá la presencia tanto de CDA como de CAR, procediéndose a analizar los cambios que estos generan.

Como se aprecia en las gráficas 41, 42 y 43 para todas las muestras experimentales C-01, C02 y C-03, se observa que al incrementarse la cantidad de CDA, los cambios generados en el OCH (%) tienden a ser variados. Sin embargo, existe una tendencia mucho más visible con el incremento de CAR, pues en base a lo cuantificado, se percibe una reducción constante en el porcentaje de humedad óptima.

### MÁXIMA DENSIDAD SECA

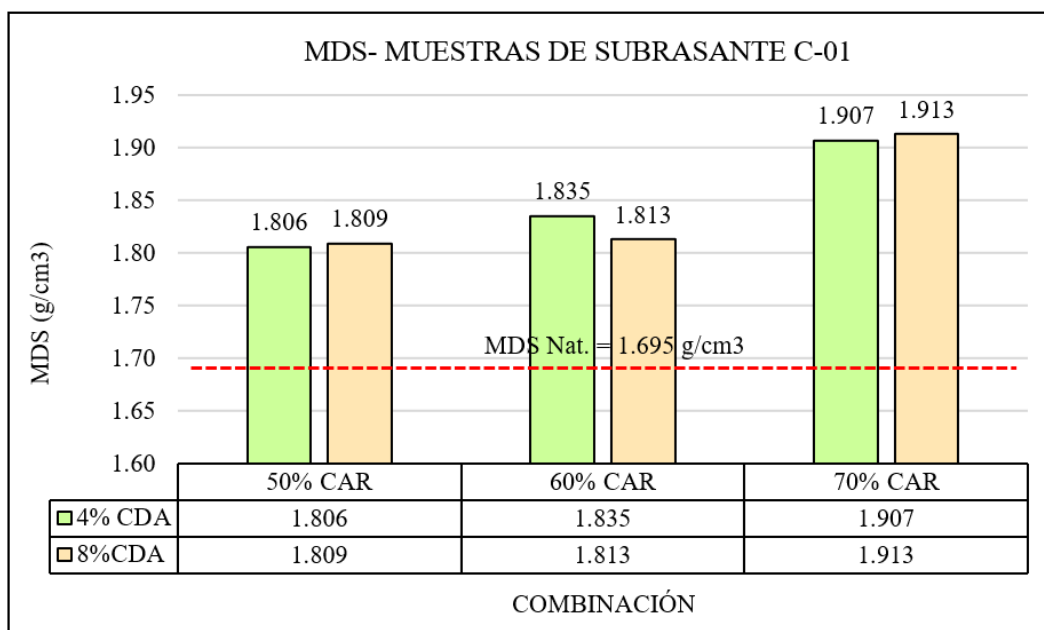
En la tabla 42 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

Combinación	Máxima densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )		
	C-01	C-02	C-03
Natural (100% S.)	1.695	1.793	1.646
50%CAR +4%CDA+46%S	1.806	1.813	1.813
50%CAR+8%CDA+42%S	1.809	1.831	1.812
60%CAR+4%CDA+36%S	1.835	1.828	1.828
60%CAR+8%CDA+32%S	1.813	1.858	1.864
70%CAR+4%CDA+26%S	1.907	1.93	1.922
70%CAR+8%CDA+22%S	1.913	1.931	1.956

Tabla 42: M.D.S. (g/cm<sup>3</sup>) de todas las muestras analizadas. Fuente: Propia

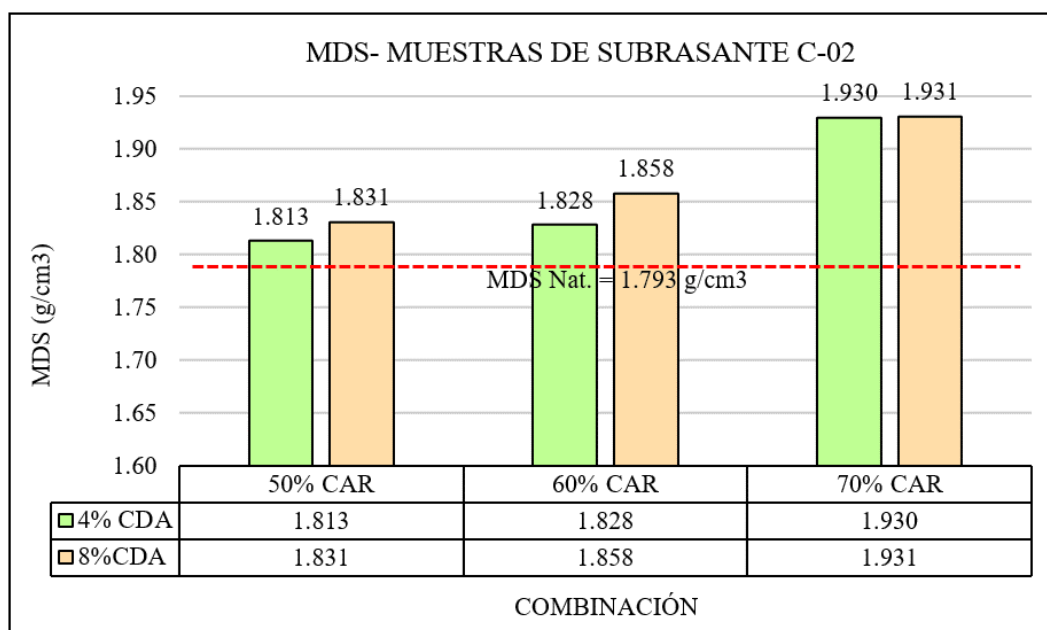
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 44, 45 y 46, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 44: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



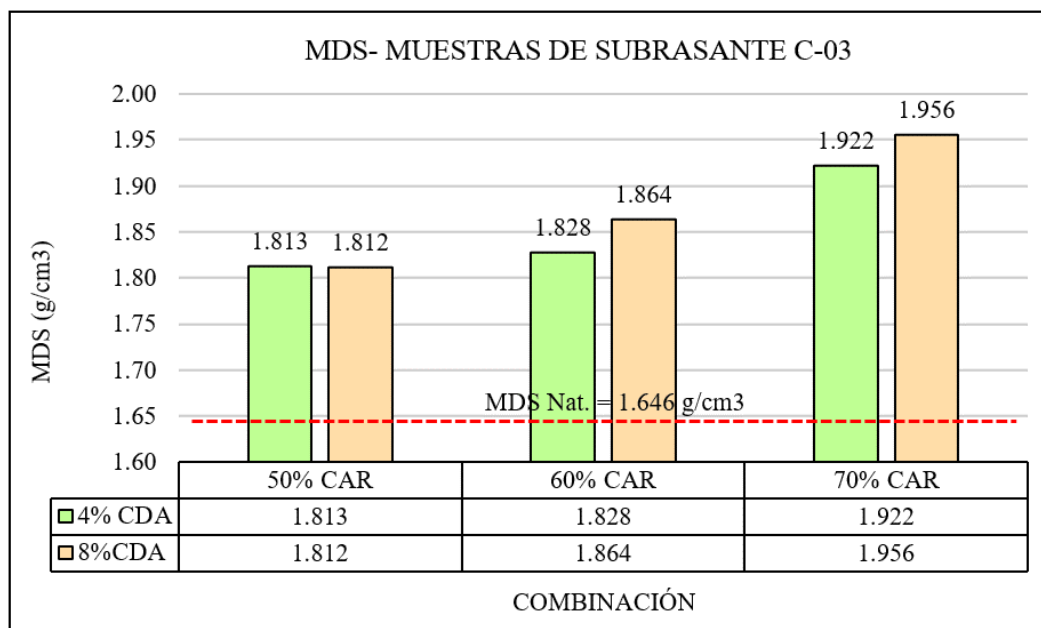
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.07 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.07 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.08 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.07 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.13 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.13 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 45: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.01 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.02 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.02 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.04 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.08 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.08 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 46: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.10 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.10 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.11 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.13 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: la MDS aumentó en 1.17 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: la MDS aumentó en 1.19 veces respecto la muestra natural.

Esta propiedad física se verá alterada por la presencia de ambos estabilizantes, pues al desarrollarse la prueba Proctor (MTC E-115), participa la gradación completa de la muestra, es decir, se tendrá la presencia tanto de CDA como de CAR, procediéndose a analizar los cambios que estos generan,

Como se aprecia en las gráficas 44, 45 y 46, para todas las muestras experimentales C-01, C02 y C-03, se observa que al incrementarse la cantidad de CDA, los cambios generados en la MDS (g/cm<sup>3</sup>) tienden a ser ligeramente ascendentes, lo cual implica el incremento de esta propiedad, no obstante, existen cambios más pronunciados al incrementar el contenido de CAR, percibiéndose un aumento constante en la máxima densidad seca.

#### **CAPACIDAD DE SOPORTE AL 95% DE LA M.D.S.**

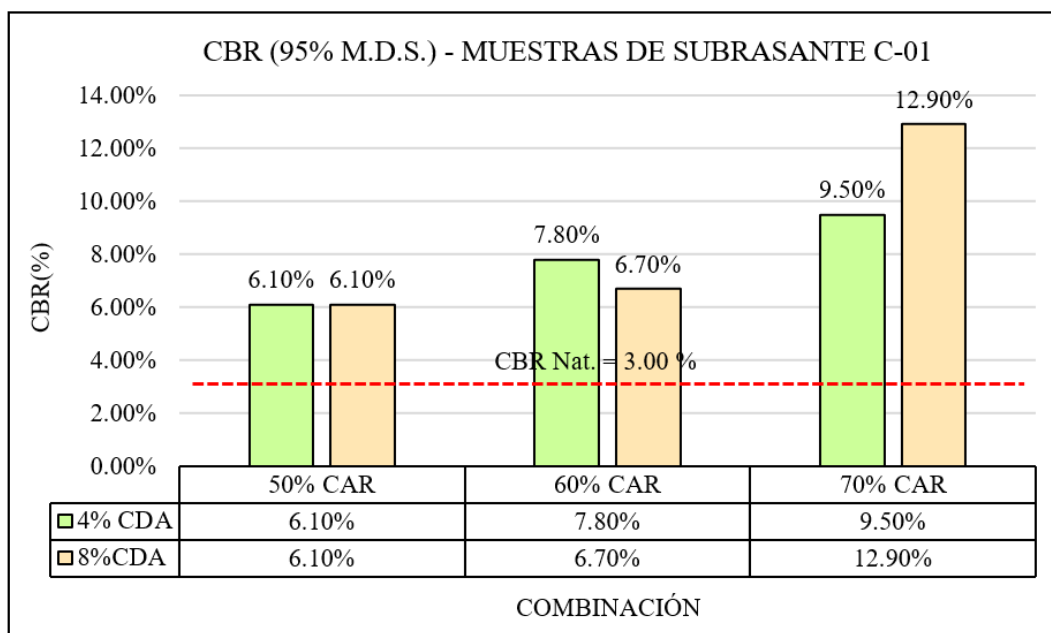
En la tabla 43 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

<b>Combinación</b>	<b>CBR (%) al 95% de la M.D.S.</b>		
	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
Natural (100% S.)	3.00%	3.00%	2.90%
50%CAR +4%CDA+46%S	6.10%	4.70%	5.70%
50%CAR+8%CDA+42%S	6.10%	5.00%	5.60%
60%CAR+4%CDA+36%S	7.80%	6.40%	7.40%
60%CAR+8%CDA+32%S	6.70%	6.70%	6.60%
70%CAR+4%CDA+26%S	9.50%	6.70%	9.40%
70%CAR+8%CDA+22%S	12.90%	7.70%	8.20%

*Tabla 43: CBR (%) en todas las muestras analizadas al 95% de su M.D.S. Fuente: Propia*

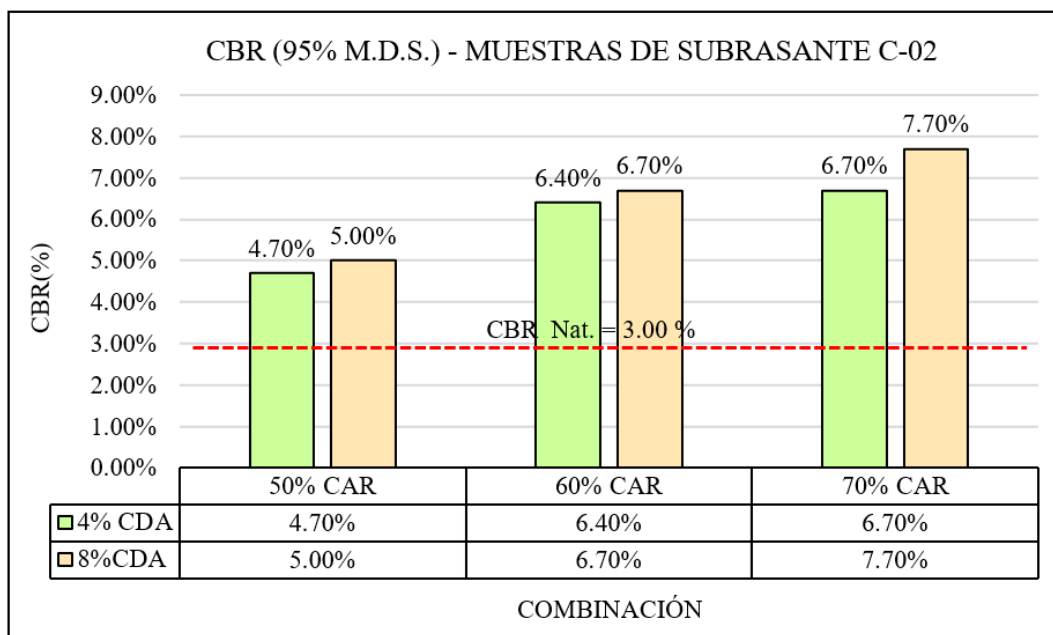
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 47, 48 y 49, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 47: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



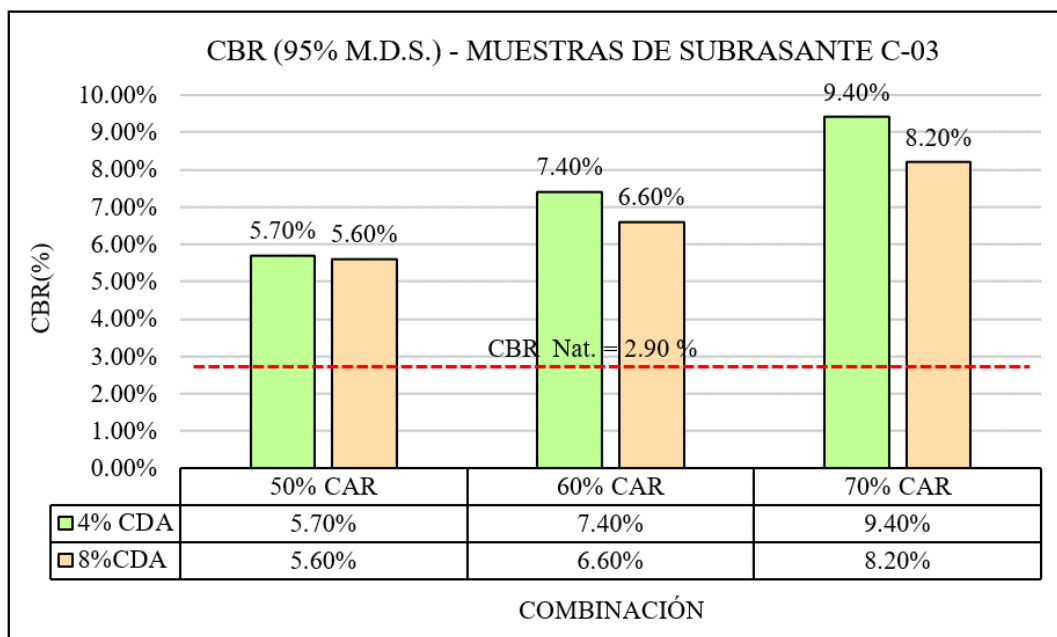
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.03 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.03 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.60 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.23 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 3.17 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 4.30 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 48: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 1.57 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 1.67 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.13 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.23 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.23 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.57 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 49: CBR (95% de la MDS) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 1.97 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 1.93 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.55 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.28 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 3.24 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (95% MDS) aumentó en 2.83 veces respecto la muestra natural.

Esta propiedad física se verá alterada por la presencia de ambos estabilizantes, pues al desarrollarse la prueba de CBR (MTC E-132), participa la gradación completa de la muestra, es decir, se tendrá la presencia tanto de CDA como de CAR, procediéndose a analizar los cambios que estos generan,

Como se aprecia en las gráficas 47, 48 y 49, al aumentar el contenido de CDA para las muestras experimentales C-01 y C-02, se perciben cambios favorables, pues la capacidad de soporte del suelo tiende a incrementarse, sin embargo, para las muestras correspondientes a C-03, el incremento de cenizas resulta perjudicial, en tanto, al aumentar el contenido de CAR, se registraron cambios pronunciados en el CBR, pues en todas las muestras analizadas, este tiende a incrementarse.

### **CAPACIDAD DE SOPORTE AL 100% DE LA M.D.S.**

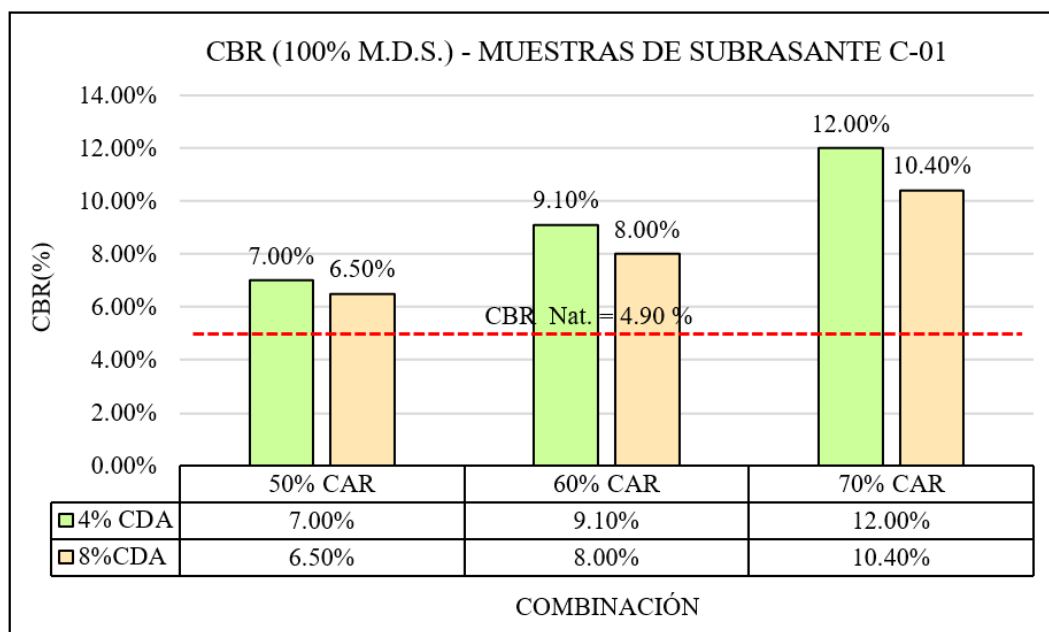
En la tabla 44 se muestran los resultados correspondientes a esta propiedad, registrándolos según sea la calicata y dosificación empleada.

<b>Combinación</b>	<b>CBR (%) al 100% de la M.D.S.</b>		
	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
Natural (100% S.)	4.90%	4.20%	3.50%
50%CAR +4%CDA+46%S	7.00%	5.90%	7.30%
50%CAR+8%CDA+42%S	6.50%	6.80%	6.00%
60%CAR+4%CDA+36%S	9.10%	7.40%	8.60%
60%CAR+8%CDA+32%S	8.00%	6.80%	6.30%
70%CAR+4%CDA+26%S	12.00%	10.30%	11.10%
70%CAR+8%CDA+22%S	10.40%	8.60%	10.50%

*Tabla 44: CBR en todas las muestras analizadas al 100% de su M.D.S. Fuente: Propia*

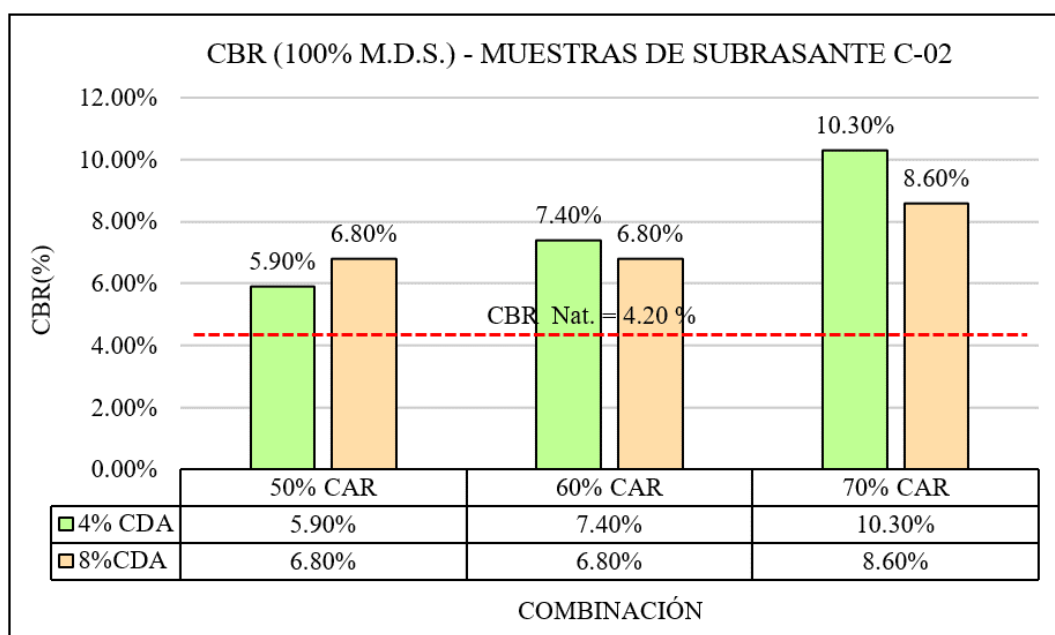
Con los datos presentados, se procedió a realizar las gráficas 50, 51 y 52, en base a ellas, se cuantificarán los cambios generados en las muestras ensayadas, así mismo, se comparará y evaluará los resultados obtenidos.

Gráfica 50: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia



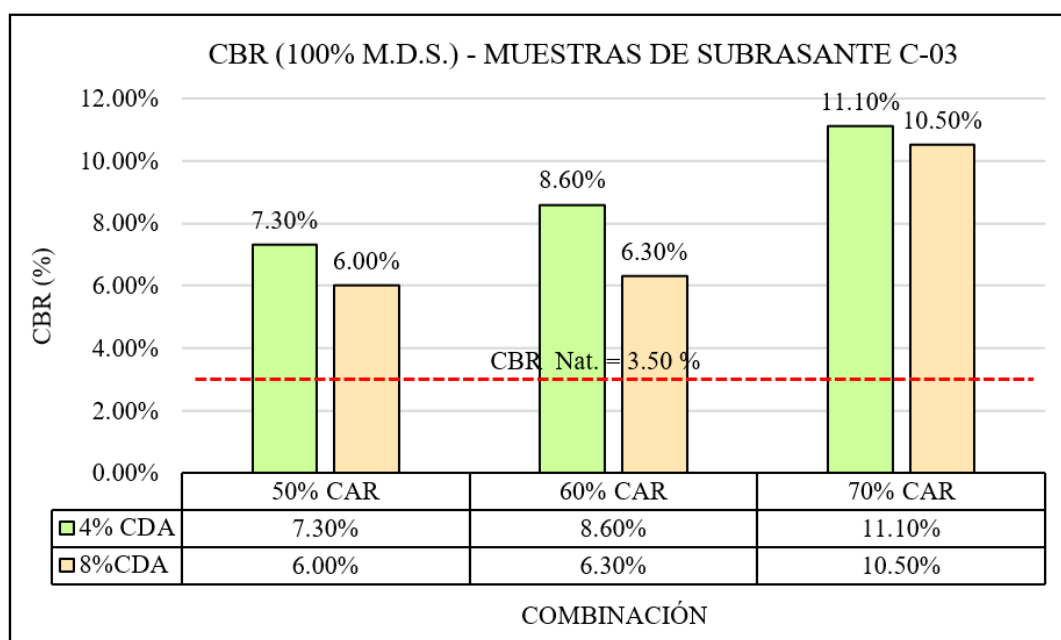
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.43 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.33 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.86 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.63 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.45 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.12 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 51: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.40 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.62 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.76 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.62 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.45 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.05 veces respecto la muestra natural.

Gráfica 52: CBR (100% de la MDS) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia



- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.09 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 50%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.71 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 2.46 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 60%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 1.80 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 4%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 3.17 veces respecto la muestra natural.
- ✓ Cambio cuantificado de la combinación 70%CAR + 8%CDA: el CBR (100% MDS) aumentó en 3.00 veces respecto la muestra natural.

Esta propiedad física se verá alterada por la presencia de ambos estabilizantes, pues al desarrollarse la prueba de CBR (MTC E-132), participa la gradación completa de la muestra, es decir, se tendrá la presencia tanto de CDA como de CAR, procediéndose a analizar los cambios que estos generan,

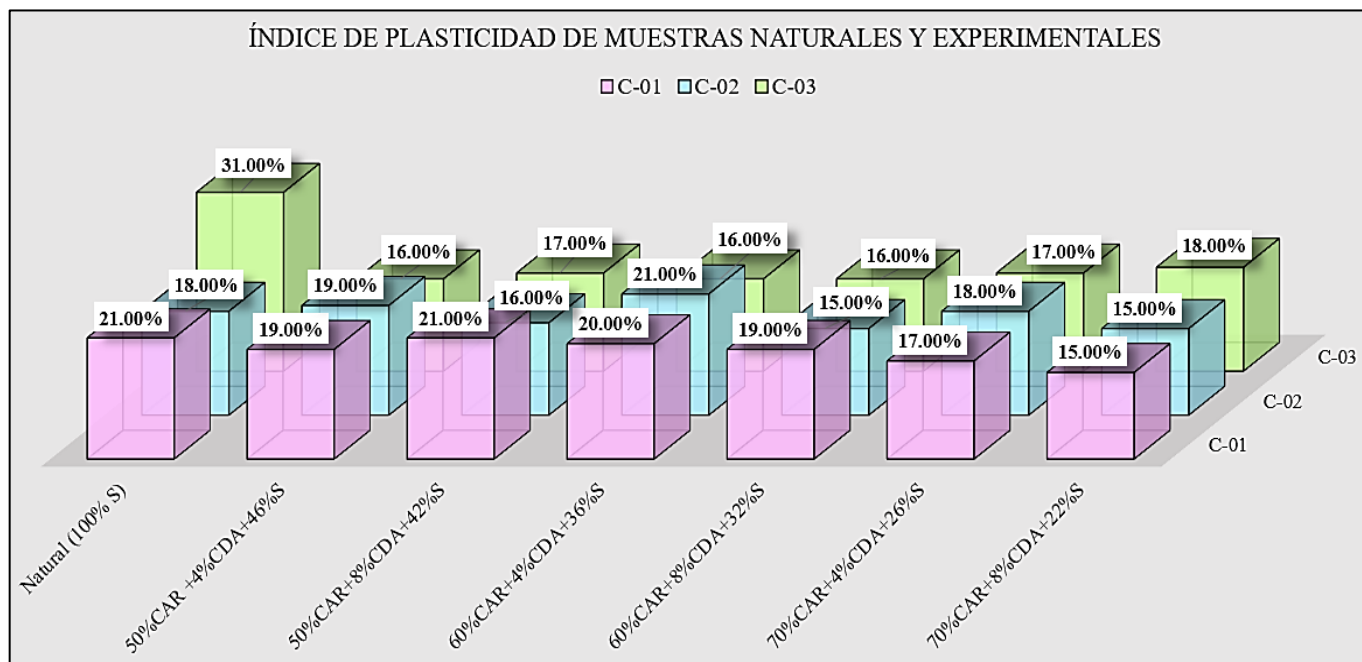
Como se aprecia en las gráficas 50, 51 y 52, para todas las muestras experimentales C-01, C-02 y C-03, se observa que, al aumentar la cantidad de CDA, existe cambios desfavorables sobre el CBR, pues este tiende a disminuir; no obstante, al aumentar el contenido de CAR, se percibe un incremento en la capacidad de soporte del suelo.

### **SELECCIÓN DE LA COMBINACIÓN ÓPTIMA**

En base a la cuantificación de cambios desarrollados se observó que, las CDA influyen en las propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo analizadas, sin embargo, los cambios que estas generan son muy variados, no obstante, los agregados de CAR tienden a generar cambios favorables mucho más notorios a medida que se incrementa su contenido, pero estos por su granulometría influyen únicamente en las propiedades mecánicas ensayadas.

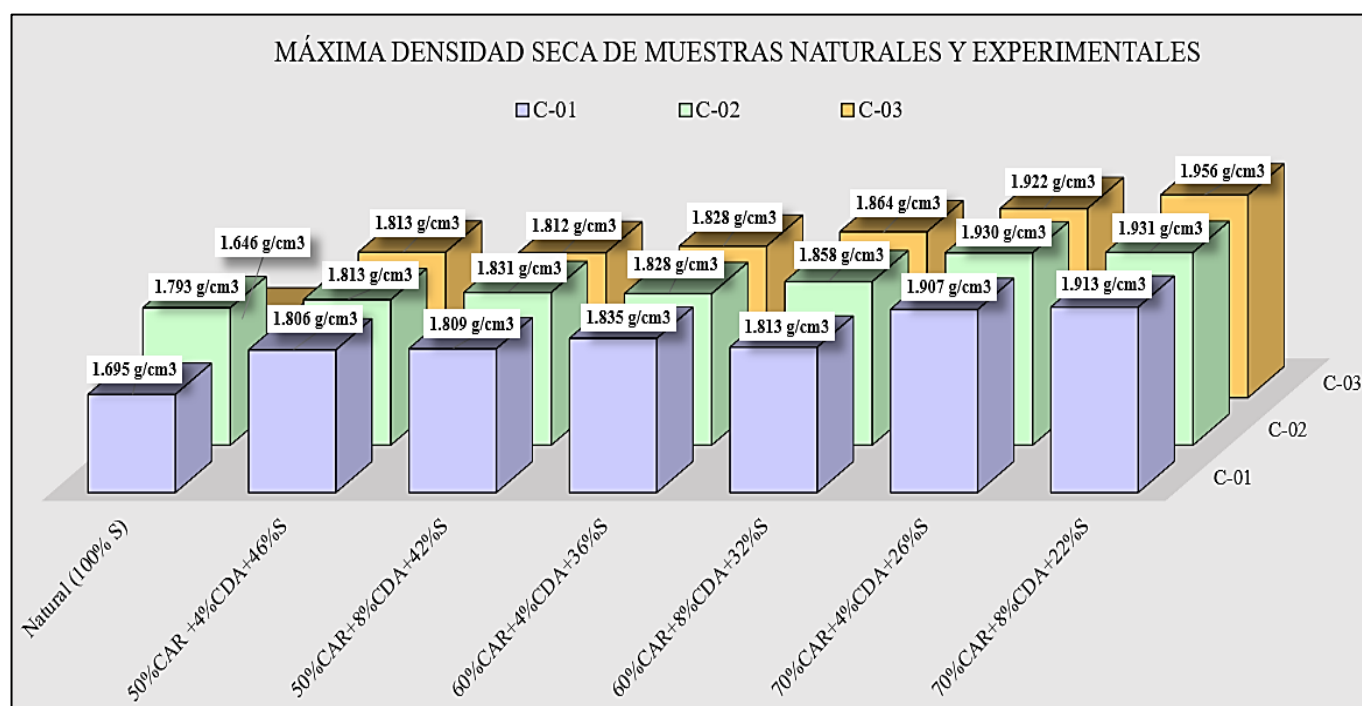
Bajo este enfoque, se seleccionará la combinación óptima que contenga el mayor porcentaje de CAR, siendo este del 70%, analizándose para su selección, las siguientes propiedades de muestras arcillosas: plasticidad, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y valor de soporte californiano.

Respecto a la plasticidad del suelo (IP), como se explicó anteriormente, en esta propiedad solo influye las CDA, así mismo, según [20], lo que se busca es disminuir el valor de este parámetro, pues así, se reducirá la sensibilidad ante el agua que tendrá el suelo al desempeñarse como subrasante, volviéndolo de esta manera, mucho más estable, es por ello que, en base a la gráfica 53, afirmamos lo siguiente, el porcentaje óptimo de CDA para las muestras C-01 y C-02 es del 8%, pues existe una tendencia en las combinaciones que contienen este porcentaje a disminuir el IP, en tanto, para C-03 se obtienen resultados favorables para combinaciones con 4% CDA.

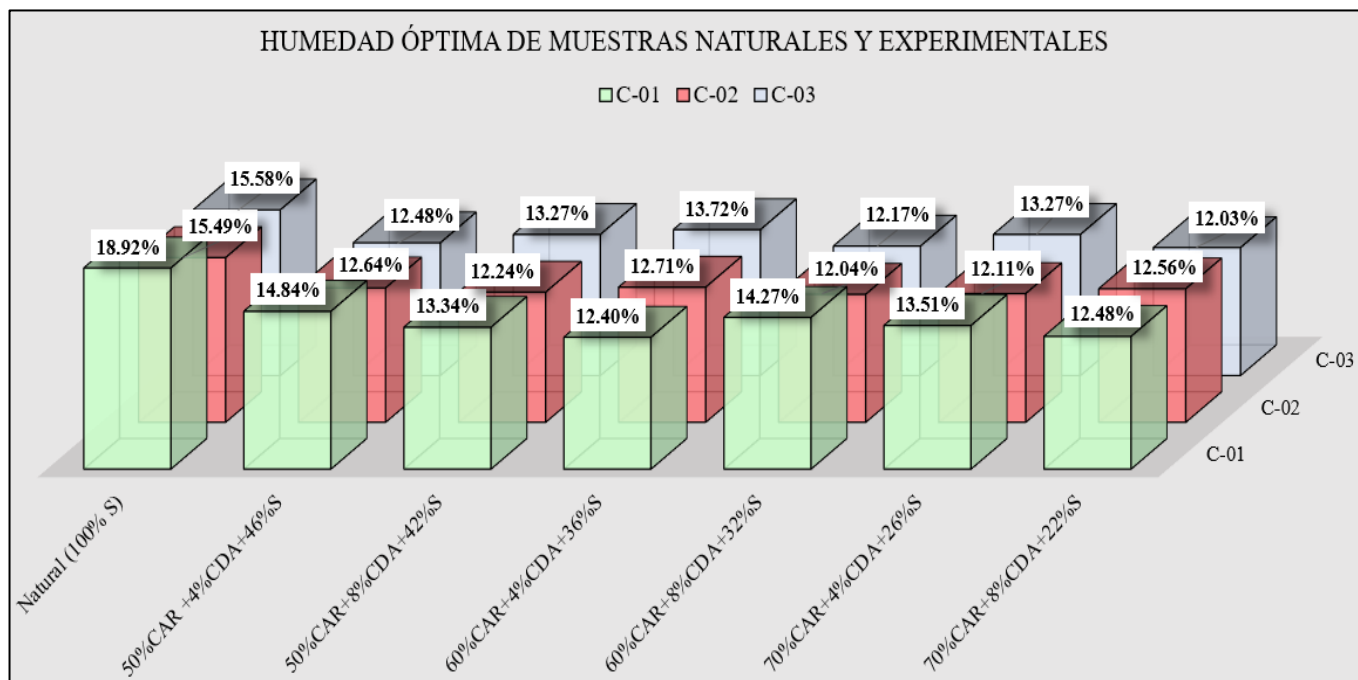


Gráfica 53: índice de plasticidad en muestras de subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia

En cuanto a la máxima densidad seca, el estabilizante con mayor jerarquía en esta propiedad es el agregado de CAR, reafirmandose en base a las gráficas 54 y 55, que su contenido ideal es del 70%, ocasionando un incremento en esta propiedad, así mismo, conforme asciende este parámetro, desciende el óptimo contenido de humedad, en tanto, el porcentaje ideal de CDA, presentó una tendencia por el 8%, generando cambios ligeramente beneficios en la MDS, sin embargo, estos no son tan relevantes.

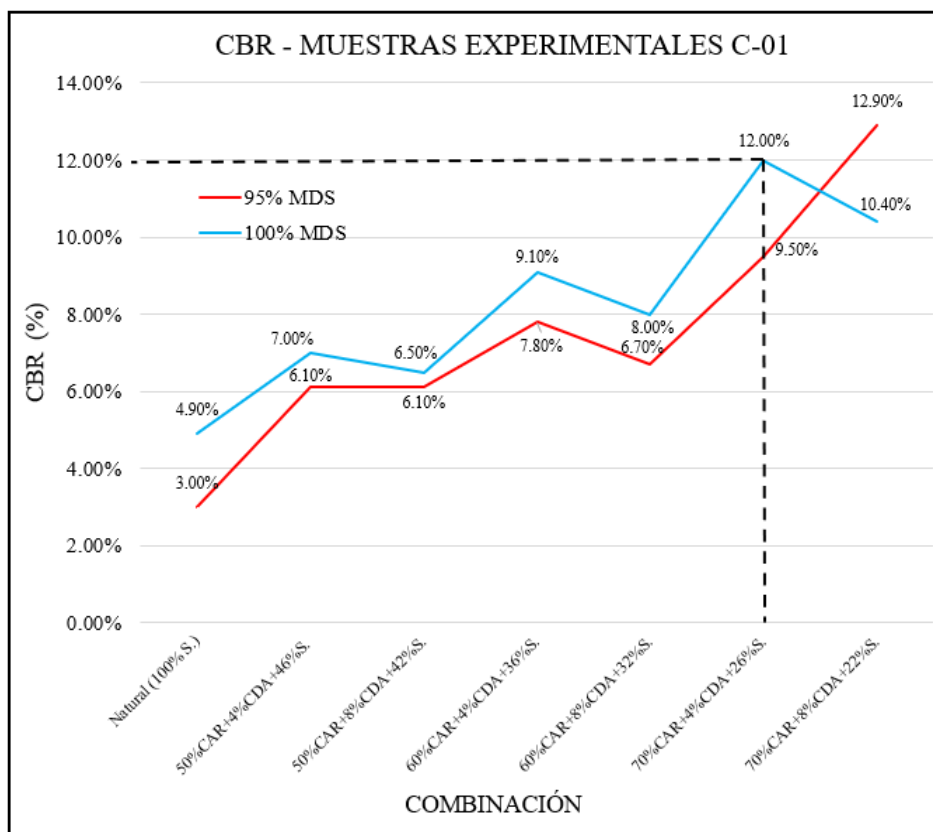


Gráfica 54: Máxima densidad seca en muestras de subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia

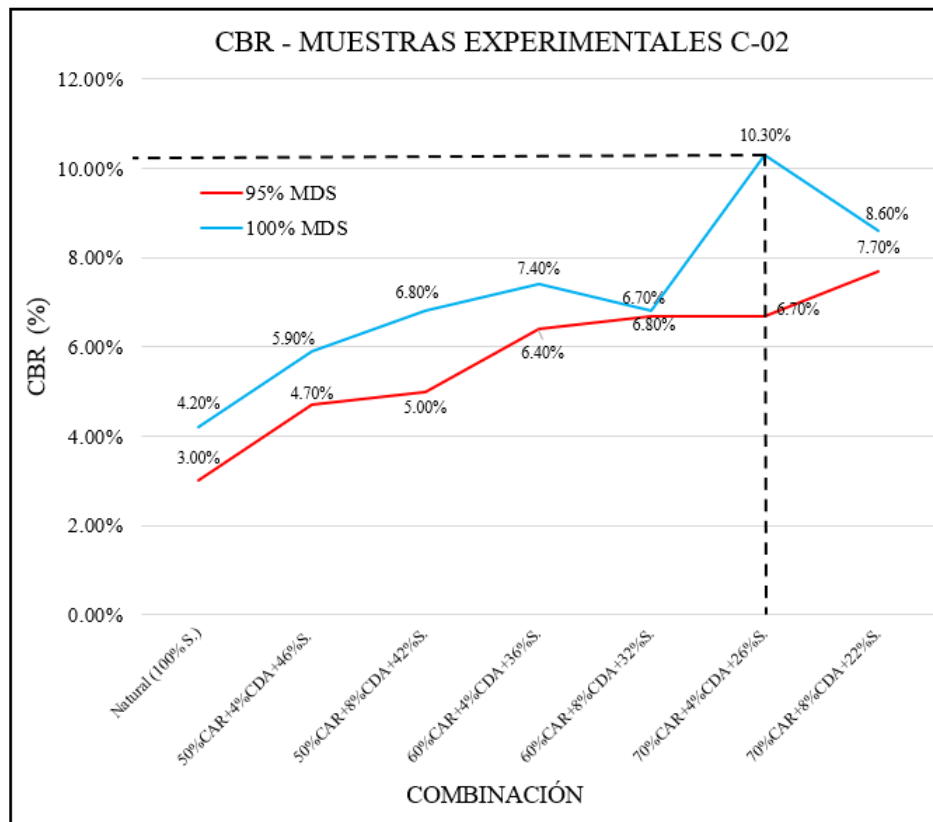


Gráfica 55: Óptimo contenido de humedad en muestras de subrasante C-01, C-02 y C-03. Fuente: Propia

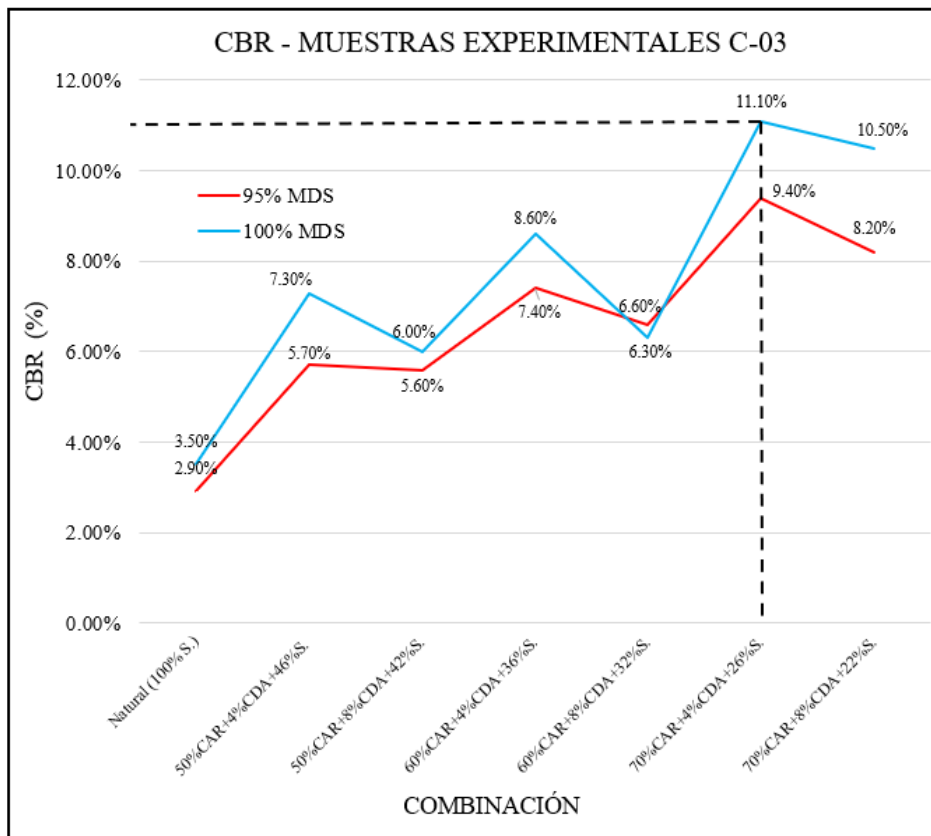
En tanto, para analizar el valor de soporte californiano según [20], indica que este parámetro es el más importante en subrasantes, pues su incremento conlleva en el diseño de pavimento a una reducción en el espesor de capa, mostrándose los resultados de CBR por cada combinación en las gráficas 56, 57 y 58; apreciándose que, para las combinaciones con 70%CAR notamos un incremento ascendente en el CBR al 95%, por consiguiente, no es posible elegir con certeza una combinación óptima, es por ello la utilización del CBR al 100%, en él, se aprecia que, los mejores resultados se obtienen para las combinaciones con 70%CAR más 4% de CDA, alcanzando un incremento del CBR (100%) superior a 2.40 veces su valor natural en todas las muestras(C-01, C-02 y C-03), quedando determinados de esta forma los porcentajes óptimos de los estabilizantes.



Gráfica 56: CBR (%) en muestras de subrasante C-01. Fuente: Propia

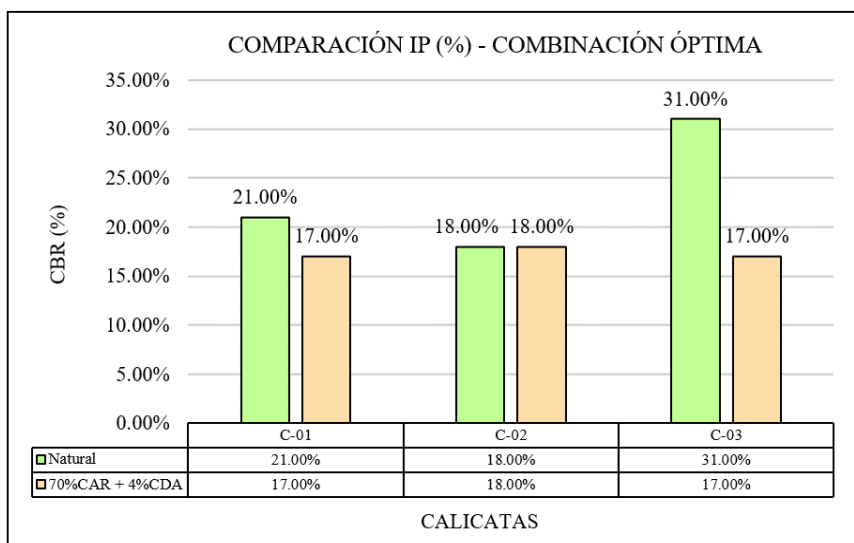


Gráfica 57: CBR (%) en muestras de subrasante C-02. Fuente: Propia



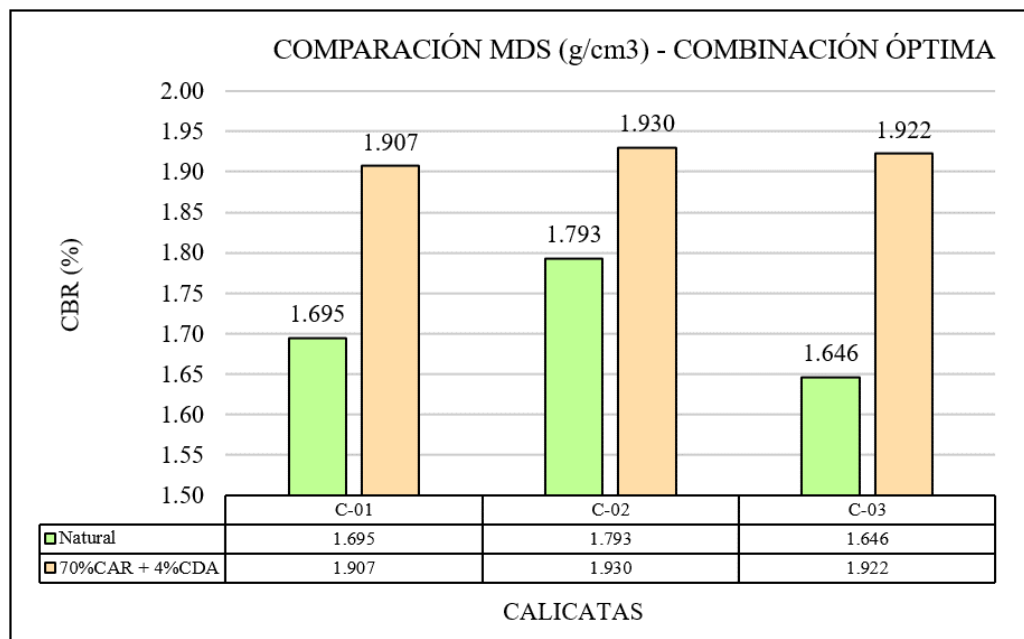
Gráfica 58: CBR (%) en muestras de subrasante C-03. Fuente: Propia

Del análisis presentado, se obtuvo como porcentajes óptimos de los estabilizantes, el 70%CAR+4%CDA, pues estos mejoraron las propiedades físico-mecánicas del suelo analizado, tal como se observa en la gráfica 59, se redujo el IP (%), reclasificando todas las muestras a un grado de plasticidad media ( $7.00 < IP \leq 20$ ), proporcionando una mejor estabilidad en la subrasante [20].



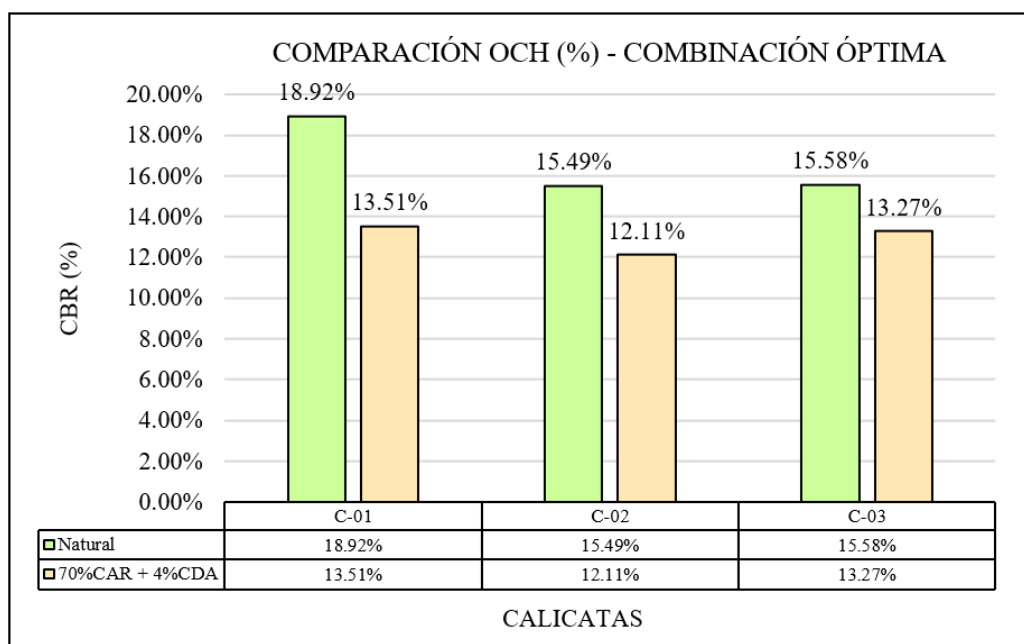
Gráfica 59: Comparación de IP (%) entre muestra natural y combinación óptima. Fuente: Propia

En tanto, al incorporar a las muestras arcillosas la combinación óptima, según la gráfica 60, se observa un incremento en la MDS ( $\text{g/cm}^3$ ), aumentando en más de 1.07 veces su valor natural en todas las muestras, ocasionando que las subrasantes sean mucho más resistentes, compactas y densas, a su vez, el OCH (%) tendió a reducirse (Ver gráfica 60), tal como se esperaba según [28].



Gráfica 60: Comparación de MDS ( $\text{g/cm}^3$ ) entre muestra natural y combinación óptima.

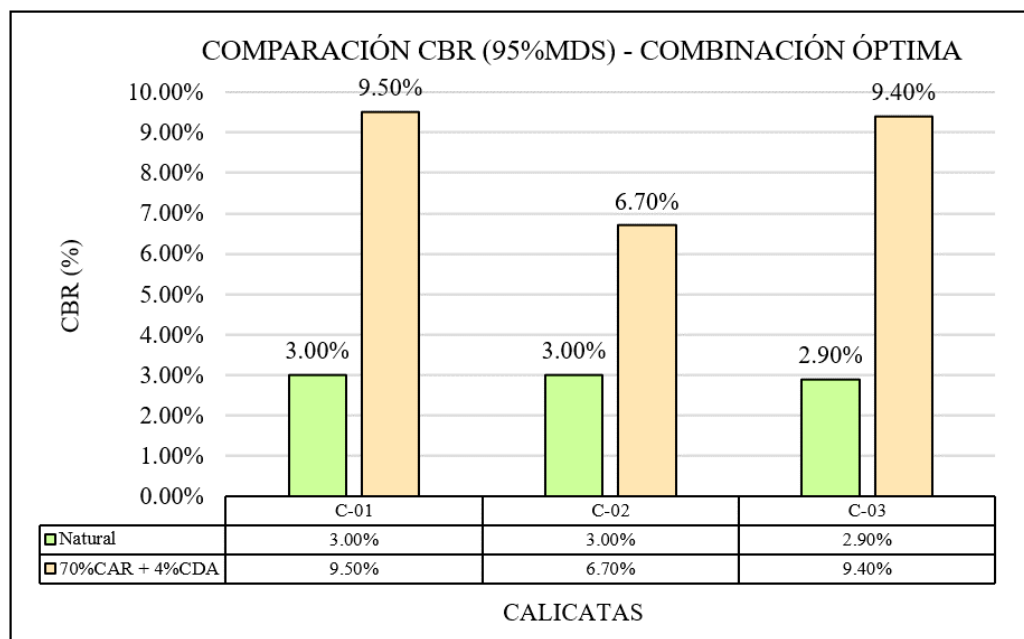
Fuente: Propia



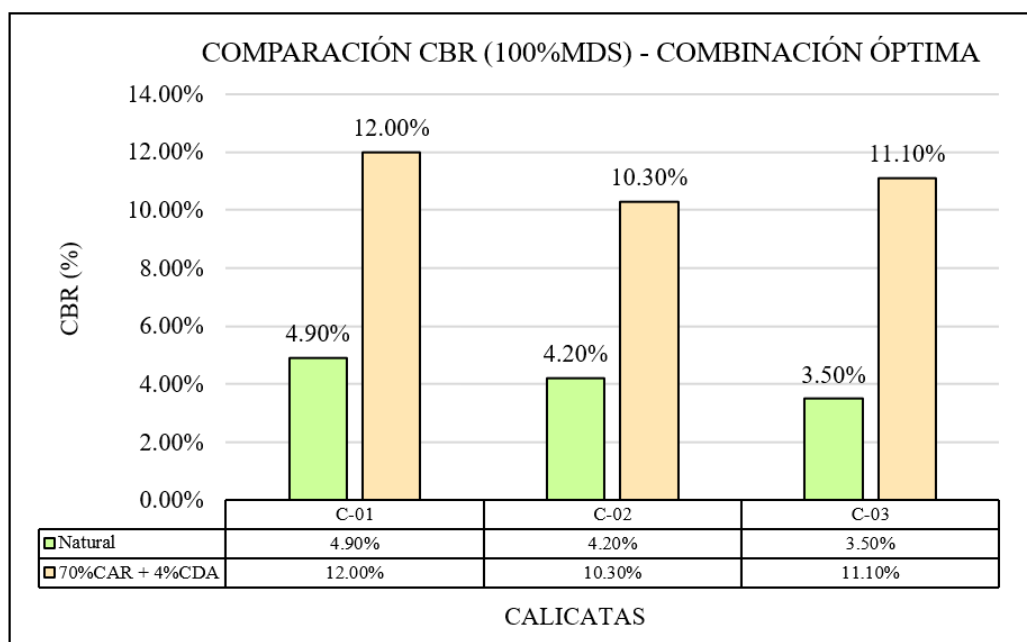
Gráfica 61: Comparación del OCH (%) entre muestra natural y combinación óptima.

Fuente: Propia

Así mismo, de las gráficas 62 y 63, se aprecia que, las tres muestras de subrasantes arcillosas inicialmente poseían un bajo valor de soporte,  $CBR_{95\%MDS} < 3\%$  y  $CBR_{100\%MDS} < 4.9\%$ , categorizándolas como subrasantes inadecuadas, sin embargo, al aplicarles la combinación óptima, dicho parámetro llegó a incrementarse,  $CBR_{95\%MDS} > 6\%$  y  $CBR_{100\%MDS} > 10\%$ , recategorizándose como subrasantes regulares ( $6\% \leq CBR(95\%) < 10\%$ ) según [20].



Gráfica 62: Comparación de CBR (95%) entre muestra natural y combinación óptima. Fuente: Propia



Gráfica 63: Comparación de CBR (100%) entre muestra natural y combinación óptima. Fuente: Propia

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ANTECEDENTES

En la investigación de [13], se mejoró un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH) incorporándole CAR en porcentajes comprendidos de 0%, 10%, 20%,..., 80%, 90% y 100%, en cuanto a la MDS para el contenido de 70% CAR, se obtuvo un resultado de 2.0 gr/cm<sup>3</sup>, así mismo, su OCH alcanzó un 8.80%, en cuanto al CBR (%), se incrementó este parámetro en 2.5 veces su valor natural; mientras, en la presente investigación, para las muestras C-03 (CH), al utilizar un 70% CAR, se obtuvo una MDS entre 1.922 y 1.956 g/cm<sup>3</sup>, acompañado, de un OCH entre 12.03% y 13.27%, en tanto, el CBR(%) se incrementó en 2.83 y 3.24 veces su valor inicial, siendo similares los resultados en ambas investigaciones. Así mismo, cabe recalcar que, la discrepancia entre los OCH, se explica de la siguiente manera, según [13], en ocasiones, al incrementar el contenido de CAR se incrementa el OCH, esto se debe a la mala gradación de la mezcla, pues genera poros adicionales que son ocupados por el agua.

En la tesis de [16], se mezcló agregados de CAR con un suelo limo arcilloso (ML), en porcentajes tales como: 10%, 15% y 20%, obteniéndose para un 20% de CAR una MDS de 1.89 g/cm<sup>3</sup>, un OCH de 9.90% y un CBR (95%) de 11.10%, incrementándose en 2.07 veces su valor natural, no obstante, en el presente estudio para las muestras C-01 (ML), los resultados obtenidos para el menor porcentaje de CAR utilizado (50%) son: una MDS de 1.806 g/cm<sup>3</sup>, un OCH de 13.34% y un CBR (95%) de 6.10%, incrementándose en 2.03 su valor inicial. Cabe resaltar lo siguiente, el autor menciona que, el valor de soporte asciende a medida que se incrementa el contenido de CAR, coincidiendo dicha apreciación con la investigación desarrollada.

Según [14], en su investigación, mejora un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), incorporándole CDA en porcentajes de 4%, 8% y 12%, obteniendo como resultados para un contenido de 4% de CDA un IP de 9.02%, reduciéndose a 0.96 veces su valor inicial, una MDS de 1.55g/cm<sup>3</sup>, acompañada de un OCH de 13.2% y un CBR(95%) de 13.71%, aumentando en 2.03 veces, mientras, en la presente investigación, se obtuvo para las muestras C-02 (CL) al 4% de CDA + 70%CAR (porcentajes óptimos), un IP de 18%, no variando frente a su valor natural, así como, una MDS de 1.93g/cm<sup>3</sup>, con un OCH de 12.11% y un CBR(95%) de 6.7%, incrementándose en 2.23 veces, como se

observa, los rangos de incremento y reducción respecto las propiedades iniciales del suelo para ambas investigaciones resultan similares; a su vez, cabe señalar que, el autor indica que al incrementar el contenido de CDA, los límites de consistencia también incrementan, así mismo, disminuye la MDS, aumentando el OCH y reduciendo el CBR (%), concordando dicha afirmación con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Respecto a la explicación de resultados obtenidos, para cumplir con este acápite, se analizará la influencia de los estabilizantes de forma independientemente sobre el suelo, en efecto esto es:

En cuanto a los agregados de CAR, estos se definen como material de alta calidad cubiertos con betún [31], los cuales aumentan la resistencia de suelos arcillosos a medida que se incrementa el contenido de los mismos [13], tal como resultó para las muestras experimentales C-01, C-02 y C-03, pues a medida que se incrementaba el porcentaje de CAR aumentaban los valores de MDS y CBR(%), esto se debe a la alta gravedad específica de los agregados que contribuyen con la densidad de la combinación, así como también, por la mejor trabazón que se genera entre las partículas del suelo [13], a su vez, otros de los beneficios que genera esta propuesta de reutilización es la reducción del impacto ambiental, esto debido a la disminución del consumo de energía y reducción de gases de efecto invernadero [41].

En tanto, las cenizas de aserrín, estas son un material puzolánico, cuyo contenido principal es la sílice y en presencia de agua, reacciona químicamente formando compuestos cementosos [14, 15], así mismo, al ser mezcladas con arcillas alteran sus propiedades físico-mecánicas, pues al incrementar su contenido, disminuye el IP (%), tal como sucedió con algunas combinaciones de las muestras C-01 y C-02, esto debido a la afinidad que poseen las cenizas por el agua [46], reduciendo la fase líquida en el suelo y por consiguiente su plasticidad, sin embargo, [15, 46], indican que, al aumentar el contenido de CDA existe una caída en la resistencia del suelo, tal como se obtuvo en las tres muestras arcillosas para su CBR (100%), esto a causa de una disminución del peso específico de la combinación, ya que la densidad de las cenizas, es inferior al del suelo, así como también, por el porcentaje de compuestos químicos presentes en la arcilla, los cuales son insuficientes para activar en su totalidad la cantidad de material

puzolánico incorporado, a su vez, por el incremento del OCH, generado por la reducción en la MDS, afectando la estabilidad del suelo.

### **ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA**

En este apartado, se analizará la rentabilidad económica de la propuesta de estabilización investigada, la cual consiste en incorporar al suelo agregados de CAR más cenizas de aserrín.

Para realizar el análisis mencionado, se tendrá que definir otra técnica que de igual forma solucione la problemática del suelo, esto con el fin de realizar una comparativa entre ambas, por consiguiente, para seleccionarla, se evaluará las propiedades de las muestras naturales.

En base a los ensayos de laboratorio desarrollados, se observa que, todas las muestras naturales de subrasantes arcillosas poseen un  $CBR(95\%) \leq 3.00\%$  (subrasante inadecuada), así mismo, presentan una plasticidad entre media y alta, con un IP elevado ( $\geq 18\%$ ), además, se encuentran con una humedad natural por encima de la óptima (según ensayo Proctor), de lo antes mencionado, según [20], propone como posible solución ante dichas condiciones, sustituir completamente el suelo, siendo el Over el material sustituto comúnmente utilizado.

En razón a lo descrito, se realizará una comparativa entre los costos que conllevará el mejoramiento a nivel de subrasante por el método tradicional (estabilización con Over), versus, la estabilización con la combinación óptima determinada, la cual contiene 70%CAR+4%CDA, para ello, se desarrollarán dos análisis:

- ✓ El primer análisis, consiste en cuantificar para ambas propuestas el costo por m<sup>2</sup> a nivel de subrasante, es decir, no se considerarán las demás capas del pavimento, pues el propósito es verificar la viabilidad económica de la propuesta de interés en primera instancia, para ello, se cuantificará en que tanto afecta la producción de los estabilizantes hasta esta partida, sin tener en cuenta, el beneficio que se conseguirá con ello (reducción de capas superiores en el pavimento).

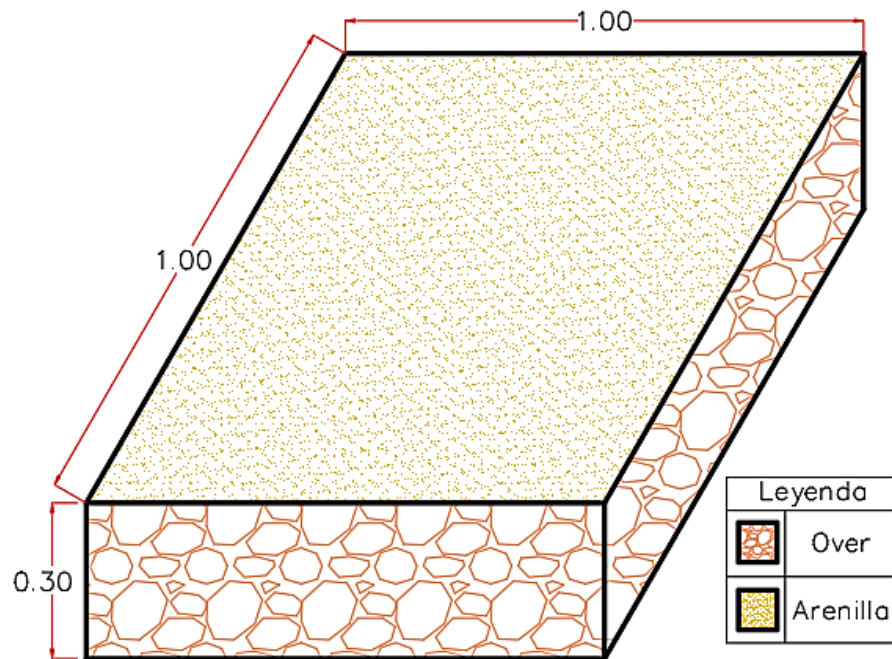
- ✓ El segundo análisis, es más completo y se realizará si en el primero, la propuesta de interés resultase inviable, pues acá se analizará el costo total del proyecto, considerando todas las capas del pavimento, pues se busca verificar si los gastos generados se compensan con el beneficio obtenido (gastos de producción de estabilizantes vs reducción de capas estructurales), realizándose el diseño de pavimento flexible con la metodología AASHTO 93.

### **PRIMER ANÁLISIS: RENTABILIDAD A NIVEL DE SUBRASANTE POR METRO CUADRADO**

En este apartado se analizará el costo generado para estabilizar una subrasante arcillosa, mediante dos propuestas, la primera, utilizando material de remplazo (Over), en tanto la segunda, incorporando al suelo 70%CAR+4%CDA, para ello, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La sección de subrasante utilizada (ver figura 62) fue de 1.00 m<sup>2</sup> con espesor de 0.30m, siendo este valor obtenido del cálculo correspondiente para material de remplazo establecido por el MTC (ver anexo 05) que a su vez, supera los 15.00 cm mínimos exigidos [20]; así mismo, los valores de las propiedades utilizadas corresponden a la muestra C-03, dado que ella presentó el menor valor de CBR (95%) natural, siendo este de 2.90%.
- ✓ Los estabilizantes seleccionados se estimaron a una misma distancia respecto el área de ejecución.
- ✓ El costo de las capas por encima de la subrasante, no se consideraron, pues el propósito en este apartado es determinar cuánto incrementa o reduce los costos a nivel de subrasante.

### ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL (OVER)



$$\checkmark \text{ Vol.} = 1.00 * 1.00 * 0.30 = 0.30\text{m}^3$$

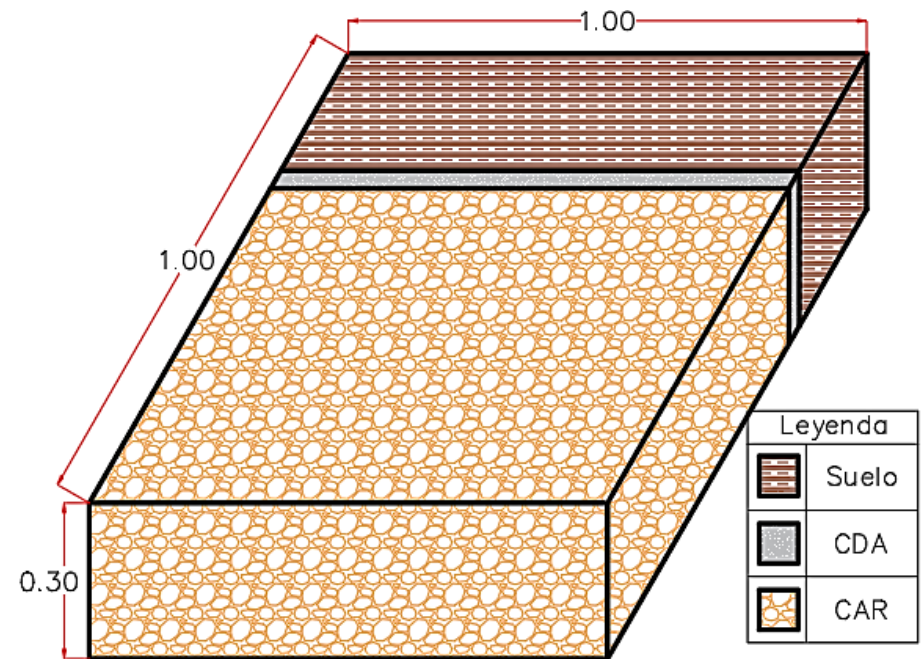
$$\checkmark \text{ Over} = \text{Vol. Factor compactación}$$

$$\text{Over} = 0.30 * 1.15 = 0.35\text{m}^3$$

$$\checkmark \text{ Arenilla} = \left(\frac{\text{Vol.}}{3}\right) * (\text{Factor compactación})$$

$$\text{Arenilla} = \left(\frac{0.30}{3}\right) * 1.25 = 0.125\text{m}^3$$

### ESTABILIZACIÓN CON 70%CAR + 4%CDA



$$\checkmark \text{ Vol.} = 1.00 * 1.00 * 0.30 = 0.30\text{m}^3$$

$$\checkmark Sg = \frac{\gamma_{\text{sólido}}}{\gamma_{\text{agua}}} \rightarrow \gamma_{\text{sólido}} = Sg * \gamma_{\text{agua}}$$

$$\gamma_{\text{sólido}} = 2.428 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 2428.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\checkmark P. \text{Sólido}_{\text{Suelo}} = 2428.00 * 0.30 = 628.4 \text{ kg}$$

$$\checkmark 70\% \text{ CAR} = 0.7 * P. \text{Sólido}_{\text{Suelo}} = 439.880 \text{ kg}$$

$$\checkmark 4\% \text{ CDA} = 0.04 * P. \text{Sólido}_{\text{Suelo}} = 25.136 \text{ kg}$$

Figura 62: Consideraciones utilizadas para la comparativa económica entre ambas propuestas. Fuente: Propia

A continuación, se presenta la relación de ACUS desarrollados para el presente análisis. Caber recalcar que, los rendimientos considerados fueron referenciados del libro del Ing. Ibáñez [50], así como también, de los antecedentes revisados, en tanto, los precios se obtuvieron de la revista Costos, actualizados al 2022 [51].

### ACUS A NIVEL DE SUBRASANTE: AMBAS PROPUESTAS

Tabla 45 ACU: Trazo, replanteo y control topográfico

PARTIDA:	TRAZO, REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO					
Costo por:	m2			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	1000	m2/día	TOTAL=	S/ 2.18		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 0.66</b>
Operario	hh	1	0.0080	24.23	0.19	
Topógrafo	hh	1	0.0080	25.17	0.20	
Ayudante de Topografía	hh	2	0.0160	16.76	0.27	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 1.29</b>
Bolsa de yeso de 18kg	bol		0.0410	14.32	0.59	
Acero corrugado fy=4200kg/cm2	kg		0.0100	4.50	0.05	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.0300	21.48	0.64	
Pintura esmalte color rojo sintético	gal		0.0005	30.42	0.02	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.22</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	0.66	0.02	
Nivel Topográfico (Equipo Completo)	hm	1	0.0080	9.24	0.07	
Estación Total	hm	1	0.0080	12.50	0.10	
Wincha de 30m + cordel	hm	1	0.0080	3.50	0.03	

Fuente: Propia

Tabla 46 ACU: Corte a nivel de subrasante en material suelto

PARTIDA:	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO					
Costo por:	m3			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	840	m3/día	TOTAL=	S/ 8.94		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 5.53</b>
Capataz	hh	2	0.0190	29.08	0.55	
Operador Cargador	hh	1	0.0095	114.56	1.09	
Operador volquete	hh	1	0.0095	245.82	2.34	
Operario	hh	1	0.0095	24.23	0.23	
Peón	hh	8	0.0762	17.29	1.32	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 3.40</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	5.53	0.17	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	1	0.0095	180.00	1.71	
Volquete de 12m3	hm	1	0.0095	160.00	1.52	

Fuente: Propia

Tabla 47 ACU: Eliminación externa de material excedente

PARTIDA:	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE					
Costo por:	m3			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	728	m3/día	TOTAL=	S/ 9.28		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 5.38</b>
Capataz	hh	1	0.0110	29.08	0.32	
Operador Cargador	hh	1	0.0110	114.56	1.26	
Operador volquete	hh	1	0.0110	245.82	2.70	
Operario	hh	2	0.0220	24.23	0.53	
Peón	hh	3	0.0330	17.29	0.57	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 3.90</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	5.38	0.16	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	1	0.0110	180.00	1.98	
Volquete de 12m3	hm	1	0.0110	160.00	1.76	

Fuente: Propia

Tabla 48 ACU: Perfilado, nivelación y compactación de la subrasante

PARTIDA:	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE e=0.30m					
Costo por:	m2			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	3000	m2/día	TOTAL=	S/ 3.38		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.42</b>
Capataz	hh	1	0.0027	29.08	0.08	
Operador Cisterna	hh	0.8	0.0021	129.90	0.28	
Operador rodillo liso	hh	0.5	0.0013	111.89	0.15	
Operador motoniveladora	hh	0.8	0.0021	150.15	0.32	
Operador Cargador	hh	1	0.0027	114.56	0.31	
Operario	hh	1	0.0027	24.23	0.06	
Peón	hh	5	0.0133	17.29	0.23	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 0.18</b>
Agua	m3		0.0300	6.00	0.18	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.78</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.42	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	1	0.0027	130.00	0.35	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	1	0.0027	180.00	0.48	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	1	0.0027	160.00	0.43	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0027	180.00	0.48	

Fuente: Propia

**ACUS A NIVEL DE SUBRASANTE: MEJORAMIENTO TRDICIAL**

*Tabla 49 ACU: Estabilización con over (8" – 15"), h=0.30m.*

<b>PARTIDA:</b>	<b>ESTABILIZACIÓN CON OVER (8"-15"), h=0.30m</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>m2</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>3000</b>	<b>m2/día</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 23.46</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.26</b>
Capataz	hh	0.1	0.0003	29.08	0.01	
Operador Cisterna	hh	0.8	0.0021	129.90	0.28	
Operador rodillo liso	hh	0.5	0.0013	111.89	0.15	
Operador motoniveladora	hh	0.8	0.0021	150.15	0.32	
Operador Cargador	hh	1	0.0027	114.56	0.31	
Operario	hh	1	0.0027	24.23	0.06	
Peón	hh	3	0.0080	17.29	0.14	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 20.43</b>
Over	m3		0.3500	48.00	16.80	
Arenilla	m3		0.1250	29.00	3.63	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.77</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	1	0.0027	130.00	0.35	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	1	0.0027	180.00	0.48	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	1	0.0027	160.00	0.43	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0027	180.00	0.48	

*Fuente: Propia*

ACUS NIVEL DE SUBRASANTE: MEJORAMIENTO CON CAR + CDA

Para la obtención de agregados de CAR (ver tabla 50), se consideró un volquete de 12m<sup>3</sup>, cuya función será recolectar y trasladar las carpetas asfálticas del botadero más cercano hacia el lugar de producción, considerándose un tiempo de viaje promedio de 90 min, cabe recalcar que, en caso tener suficiente carpeta asfáltica disponible in situ, se podrá obviar esta maquinaria, sin embargo, se consideró en este análisis el caso más desfavorable.

Tabla 50 ACU: Obtención de agregados de CAR-Artesanal

<b>PARTIDA:</b>	<b>OBTENCIÓN DE AGREGADOS DE CAR - ARTESANAL</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>kg</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>1000</b>	<b>kg/día</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 1.94</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.47</b>
Capataz	hh	0.1	0.0008	29.08	0.02	
Operador volquete	hh	0.3125	0.0025	245.82	0.61	
Peón	hh	6	0.0480	17.29	0.83	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 0.01</b>
Agua	m <sup>3</sup>		0.0020	6.00	0.01	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.46</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.47	0.04	
Volquete de 12m <sup>3</sup>	hm	0.3125	0.0025	160.00	0.40	
Tamices de 4.75mm y 25mm	hm	2	0.0160	0.75	0.012	

Fuente: Propia

De la tabla 50, se aprecia que el costo por kg de agregados de CAR de manera artesanal resulta elevado, es por ello que, se realizó la tabla 51, en ella se observa la optimización de este proceso volviéndolo industrial; recalcando lo siguiente, se consideró un rendimiento promedio para la chancadora de 50 000 kg/día, estando este referenciado en la revista Costos, actualizada al 2022 [51].

Tabla 51 ACU: Obtención de agregados de CAR-Industrial

PARTIDA:	OBTENICIÓN DE AGREGADOS DE CAR - INDUSTRIAL					
Costo por:	kg			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	50000	kg/día	TOTAL=	S/ 0.10		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 0.05</b>
Oficial	hh	0.25	0.0000	19.13	0.00	
Operador volquete	hh	1	0.0002	245.82	0.04	
Operador de la chancadora		1	0.0002	41.28	0.01	
Peón	hh	2	0.0003	17.29	0.01	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 0.01</b>
Agua	m3		0.0020	6.00	0.01	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.04</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	0.05	0.00	
Volquete de 12m3	hm	1	0.0002	160.00	0.03	
Chancadora Primaria de 30HP	hm	1	0.0002	36.42	0.01	
Cribas de 4.75mm y 25mm	hm	2	0.0003	20.00	0.006	

Fuente: Propia

Tabla 52 ACU: Obtención de CDA – Artesanal

PARTIDA:	OBTENICIÓN DE CDA - ARTESANAL					
Costo por:	kg			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	7.00	kg/día	TOTAL=	S/ 11.05		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 3.07</b>
Peón	hh	0.1875	0.2143	14.32	3.07	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 1.43</b>
Sacos de aserrín	Und		0.2857	5.00	1.43	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 6.55</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	3.07	0.09	
Tamices de 4.75mm y 25mm	hm	2	2.2857	0.95	2.17	
Horno Artesanal	hm	1	1.1429	3.75	4.29	

Fuente: Propia

Para desarrollar el ACU de la obtención de CDA de forma no artesanal (Tabla 53), se consideró la capacidad y rendimiento de un horno industrial de la marca HINRA PERÚ, cuya empresa se encuentra ubicada en Carabylo, Lima.

Este horno se caracteriza por ser capaz de albergar una capacidad de 500kg de material, poseer unas dimensiones de 100x100x150cm, alcanzar una temperatura constante de 1200 °C y ser apto para la calcinación de algún material [51].

Tabla 53 ACU: Obtención de CDA - Industrializado

PARTIDA:		OBTENICIÓN DE CDA - INDUSTRIALIZADO				
Costo por:	kg				Fecha:	Oct. 2022
Rendimiento:	70.00	kg/día	TOTAL=		S/ 2.21	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						
Peón	hh	0.3125	0.0357	17.29	0.62	S/ 0.62
<b>Materiales</b>						
Sacos de aserrín	Und		0.1000	5.00	0.50	S/ 0.50
<b>Equipos y Herramientas</b>						
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	0.62	0.02	S/ 1.09
Tamices de 4.75mm y 25mm	hm	2	0.2286	0.95	0.22	
Horno industrial	hm	1	0.1143	7.50	0.86	

Fuente: Propia

Tabla 54 ACU: Batido de material natural con estabilizantes para subrasantes en vías e=0.30m (Mejoramiento con. CAR + SDA)

PARTIDA:		BATIDO DE MATERIAL NATURAL CON 70%CAR + 4%CDA PARA SUBRASANTE EN VÍAS e=0.30m				
Costo por:	m2				Fecha:	Oct. 2022
Rendimiento:	3480	m2/día	TOTAL=		S/ 102.08	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						
Capataz	hh	0.45	0.0010	29.08	0.03	S/ 0.50
Operario Motoniveladora	hh	1	0.0023	150.15	0.35	
Peón	hh	4	0.0092	17.29	0.16	
<b>Materiales</b>						
Agregados de CAR- Método Industrial	Kg		439.8800	0.10	45.58	S/ 101.14
Cenizas de aserrín - Método Industrial	Kg		25.1360	2.21	55.56	
<b>Equipos y Herramientas</b>						
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	0.50	0.02	S/ 0.43
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0023	180.00	0.41	

Fuente: Propia

PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE: ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL (OVER)

*Tabla 55: Presupuesto de estabilización a nivel de subrasante con Over*

<b>PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE- ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL (OVER)</b>					
TESISTA: GONZALES ZUÑE, LUIS JHOSUT		LUGAR: Av. Venezuela, JLO			
ESPECIALIDAD: PAVIMENTOS		FECHA: Octubre, 2022			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL S/.
01.00.00	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
01.01.00	TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS	m2	1.00	S/ 2.18	S/ 2.18
02.00.00	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
02.01.00	<b>CORTE DE MATERIAL</b>				
02.01.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO	m3	0.30	S/ 8.94	S/ 2.68
02.01.02	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	0.39	S/ 9.28	S/ 3.62
02.01.03	PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0.30m	m2	1.00	S/ 3.38	S/ 3.38
03.00.00	<b>PAVIMENTO</b>				
03.01.00	ESTABILIZACIÓN CON OVER (8"-15"), h=0.30m	m2	1.00	S/ 23.46	S/ 23.46
				SUBTOTAL	S/ 35.32
				IGV 18%	S/ 6.36
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/ 41.67</b>

*Fuente: Propia*

De la tabla 55, se observa que, para estabilizar un metro cuadrado de subrasante arcillosa con espesor de 0.30m, costará S/41.67 soles si se realiza de la forma tradicional (Over).

PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE: ESTABILIZACIÓN CON  
70% CAR + 4% CDA

*Tabla 56: Presupuesto de estabilización a nivel de subrasante con 70% CAR + 4% CDA*

<b>PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE - ESTABILIZACIÓN CON 70%CAR+4%CDA</b>					
TESISTA: GONZALES ZUÑE, LUIS JHOSUT		LUGAR: Av. Venezuela, JLO			
ESPECIALIDAD: PAVIMENTOS		FECHA: Octubre, 2022			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL S/.
<b>01.00.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
01.01.00	TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS	m2	1.00	S/ 2.18	S/ 2.18
<b>02.00.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
<b>02.01.00</b>	<b>CORTE DE MATERIAL</b>				
02.01.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO	m3	0.30	S/ 8.94	S/ 2.68
02.01.02	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	0.29	S/ 9.28	S/ 2.68
02.01.03	BATIDO DE MATERIAL NATURAL CON 70%CAR + 4%CDA PARA SUBRASANTE EN VÍAS e=0.30m	m2	1.00	S/ 102.08	S/ 102.08
02.01.04	PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0.30m	m2	1.00	S/ 3.38	S/ 3.38
				SUBTOTAL	S/ 112.99
				IGV 18%	S/ 20.34
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/ 133.33</b>

*Fuente: Propia*

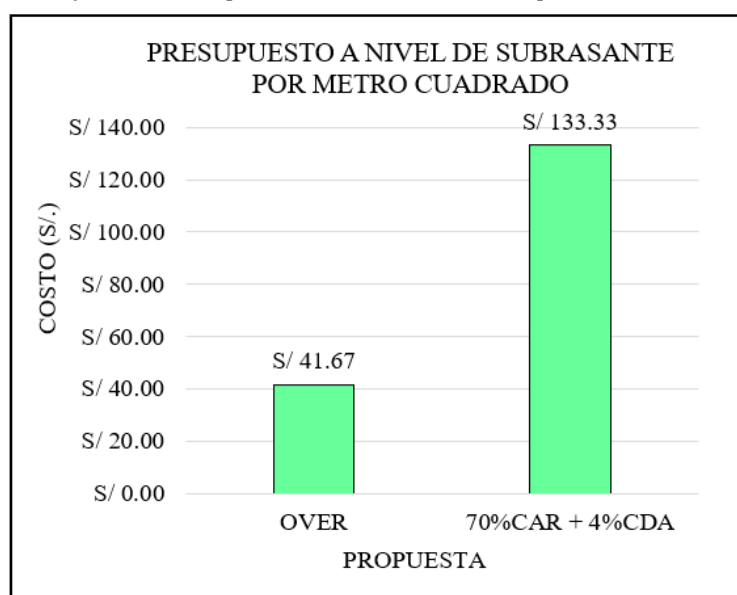
De la tabla 56, se observa que, para estabilizar un metro cuadrado de subrasante arcillosa con espesor de 0.30m, costará S/133.33 soles si se utiliza agregados reciclados de CAR más CDA.

### COMPARACIÓN DE PROPUESTAS A NIVEL DE SUBRASANTE

En el presente apartado, se comparará los resultados obtenidos del análisis de costos desarrollados a nivel de subrasante, presentándose dos propuestas, la primera, estabilizar el suelo de subrasante con Over de 8" a 15", en tanto la segunda, estabilizarlo con la combinación óptima determinada, la cual contiene 70% CAR más 4% CDA.

Considerándose para el presupuesto de ambas alternativas (gráfica 64), un metro cuadrado de subrasante arcillosa con espesor de 0.30m, apreciándose que, el uso de CAR (%) más CDA (%) en primera instancia, resultó ser más costoso en S/91.66 soles a comparación de la estabilización con Over, aumentando en 3.20 veces el costo total que conllevará remplazar el suelo con piedra grande, esto se debe a la producción de los estabilizantes, dado que la obtención de ellos genera un gasto de S/ 101.14 soles por m<sup>2</sup> de subrasante a estabilizar, no obstante, en cuanto a la parte técnica, ambas propuestas mejoran las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, no obstante, vale recalcar que, la incorporación de cenizas de aserrín genera una reducción entre 0.52 a 0.95 veces la plasticidad inicial del suelo (según IP), en tanto, los agregados de carpetas asfálticas recicladas, incrementan la capacidad de soporte entre 1.57 y 4.30 veces su valor inicial (según CBR 95%), analizándose en el siguiente apartado, la influencia de estos beneficios en el costo total del proyecto.

Gráfica 64: Presupuesto a nivel de subrasante por metro cuadrado



Fuente: Propia

## **SEGUNDO ANÁLISIS: RENTABILIDAD A NIVEL DE PROYECTO CADA 500m**

En base a los resultados de la anterior evaluación, en primera instancia, la propuesta de interés resultó inviable, razón por la cual, se desarrollará este segundo análisis, en este, se evaluará el costo total que conllevará ejecutar pavimento flexible considerando un terreno de fundación arcilloso de 0.30m, siendo dicho suelo de baja capacidad de soporte  $CBR(95\%) = 2.90\%$ , para ello, se presentan dos opciones, la primera, estabilizar el suelo de subrasante con Over de 8" a 15", en tanto la segunda, estabilizarlo con la combinación óptima determinada, la cual contiene 70% CAR más 4% CDA, de esta forma, se verificará si los gastos generados en la producción de los estabilizantes para mejorar la subrasante, se compensan con el beneficio que estos generan, es decir, la reducción del espesor de las capas estructurales. Por consiguiente, se definirá las características de la vía de interés:

- ✓ Tramo: Av. Venezuela desde próceres hasta España
- ✓ Tipo de vía: Colectora (según [39])
- ✓ Área Calculada: 5200 m<sup>2</sup> (Ver figura 11)
- ✓ Longitud: 500m
- ✓ Derecho de vía promedio: 10.20m
- ✓ Ancho de calzada: 7.20m
- ✓ Ancho de veredas: 1.50m c/lado

En este apartado, se realizará el diseño del pavimento flexible con la metodología AASHTO 93, para luego, presupuestarse y compararse ambas alternativas de solución a nivel de proyecto.

### DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN AASHTO 93

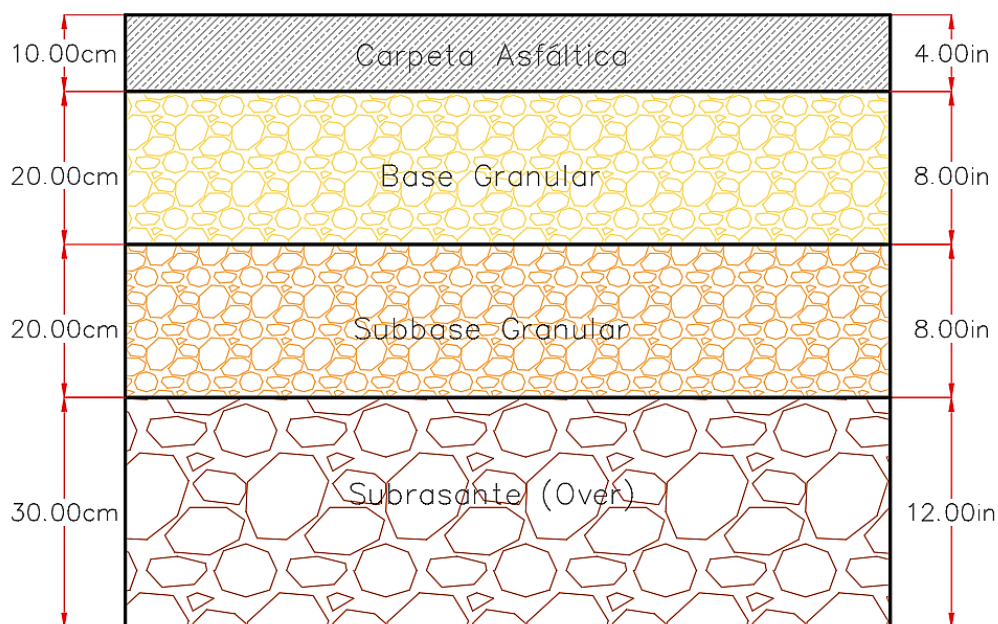
Con el fin de cuantificar los cambios generados en ambas propuestas, se conservó las mismas condiciones en ambos diseños, variando únicamente el CBR (95%), perteneciendo este a la calicata C-03 como ya se mencionó anteriormente.

Los parámetros de diseño considerados, fueron los siguientes:

- ✓ *ESAL*:  $2.07 * 10^6$  (Según estudio de tráfico de [53])
- ✓ Nivel de confiabilidad: 90% (Vía Colectora según [39])
- ✓ Desviación estándar normal ( $Z_r$ ): -1.282
- ✓ Variabilidad ( $S_o$ ): 0.49 (Tráfico estimado)
- ✓ Variación de servicio ( $\Delta PSI$ ): 2.00
- ✓ CBR (%) base granular: 80%
- ✓ CBR (%) subbase granular: 40%
- ✓ Coeficiente de drenaje en bases: 1.00

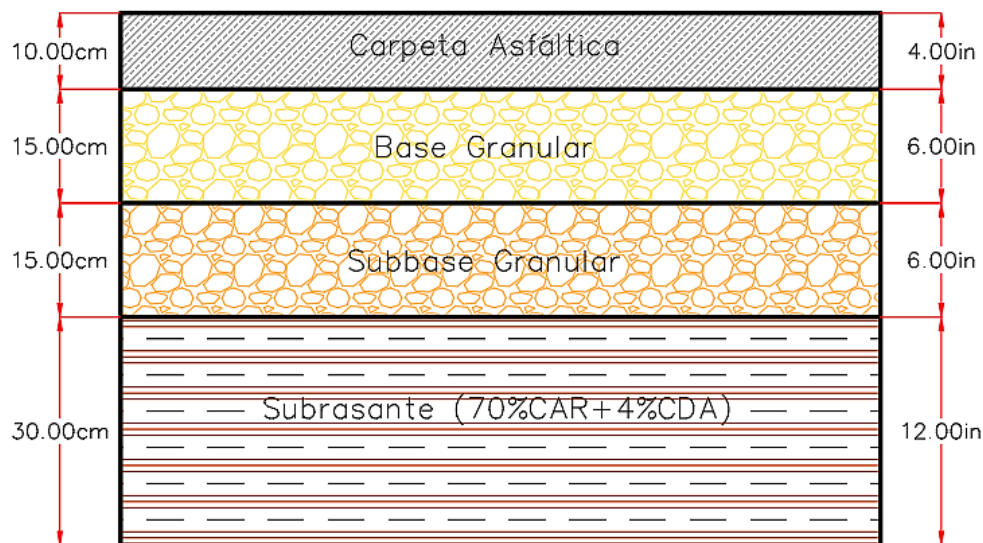
Los resultados obtenidos en el diseño de pavimento para ambas propuestas (ver anexo 05), son los siguientes:

*Figura 63: Estructura del pavimento para la subrasante estabilizada con over*



*Fuente: Propia*

Figura 64: Estructura del pavimento para la subrasante estabilizada con 70%CAR + 4%CDA



Fuente: Propia

En base a las figuras 63 y 64, observamos que, al aplicar a la subrasante 70% CAR más 4% CDA, existe una reducción en el espesor de las capas granulares del pavimento (base y subbase), disminuyendo 2 pulgadas (5.00cm) cada una, esto debido al incremento del CBR generado, verificándose a continuación, si este ahorro de material se equilibra con el incremento de costos que genera la obtención de los estabilizantes.

A continuación, se presenta la relación de ACUS desarrollados para las capas granulares y la superficie de rodadura, dado que, las partidas concernientes al suelo estabilizado ya fueron desarrolladas en el apartado anterior (rentabilidad a nivel de subrasante), a su vez, cabe recalcar que, los rendimientos considerados fueron referenciados del libro del Ing. Ibáñez [50], así como también, de los antecedentes revisados, en tanto, los precios se obtuvieron de la revista Costos, actualizados al 2022 [51].

ACUS A NIVEL DE PROYECTO: AMBAS PROPUESTAS

Tabla 57 ACU: Imprimación asfáltica

<b>PARTIDA:</b>	<b>IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>m2</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>5700</b>	<b>m2/día</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 4.75</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 0.43</b>
Capataz	hh	1	0.0014	29.08	0.04	
Operador Camión Imprimador	hh	0.71	0.0010	188.47	0.19	
Operador Barredora mecánica	hh	0.71	0.0010	58.26	0.06	
Operador Tractor de tiro	hh	0.71	0.0010	92.96	0.09	
Peón	hh	2	0.0028	17.29	0.05	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 4.23</b>
Asfalto líquido	Gal		0.2550	15.27	3.89	
Kerosene industrial	Gal		0.0450	7.50	0.34	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.09</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión imprimador 1800glns	hm	0.7125	0.0010	31.82	0.03	
Barredora mecánica 10-20hp	hm	0.7125	0.0010	8.97	0.01	
Tractor de tiro 80HP	hm	0.7125	0.0010	14.95	0.01	

Fuente: Propia

Tabla 58 ACU: Carpeta asfáltica en caliente e=10cm (4in)

<b>PARTIDA:</b>	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=10cm (4pulg)</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>m2</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>1275</b>	<b>m2/día</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 63.11</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 2.81</b>
Capataz	hh	1	0.0063	29.08	0.18	
Oficial	hh	1	0.0063	19.13	0.12	
Operario de tandem estatico	hh	1	0.0063	111.89	0.70	
Operario de rodillo neumático 60-80HP	hh	1	0.0063	83.81	0.53	
Operadpr equipo pavimentadora	hh	1	0.0063	135.11	0.85	
Peón	hh	4	0.0251	17.29	0.43	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 59.37</b>
Mezcla asfáltica caliente (Incl. Transporte)	m3		0.1198	495.76	59.37	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.93</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Rodillo tandem estaticp 70-100HP	hm	1	0.0063	24.60	0.15	
Rodillo tandem de neumático 60-80HP	hm	1	0.0063	46.49	0.29	
Pavimentadora sobre orugas 105	hm	1	0.0063	70.94	0.45	

Fuente: Propia

ACUS A NIVEL DE PROYECTO: MEJORAMIENTO TRADICIONAL

Tabla 59 ACU: Subbase granular e=20.00cm (8.0 pulg)

<b>PARTIDA:</b>	<b>SUBBASE GRANULAR e=20.00cm (8.0 pulg)</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>m2</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>2600</b>	<b>m2/dia</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 12.77</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.90</b>
Capataz	hh	1	0.0031	29.08	0.09	
Operador Cisterna	hh	1	0.0031	129.90	0.40	
Operador rodillo liso	hh	1	0.0031	111.89	0.34	
Operador motoniveladora	hh	1	0.0031	150.15	0.46	
Operador Cargador	hh	1	0.0031	114.56	0.35	
Operario	hh	2	0.0062	24.23	0.15	
Peón	hh	2	0.0062	17.29	0.11	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 9.73</b>
Material de subbase	m3		0.2400	38.14	9.15	
Agua	m3		0.0200	29.00	0.58	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.14</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	0.3	0.0009	130.00	0.12	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	0.5	0.0015	180.00	0.28	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	0.3	0.0009	160.00	0.15	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0031	180.00	0.55	

Fuente: Propia

Tabla 60 ACU: Base granular e=20.00cm (8.0 pulg)

<b>PARTIDA:</b>	<b>BASE GRANULAR e=20.00cm (8.0 pulg)</b>					
<b>Costo por:</b>	<b>m2</b>			<b>Fecha:</b>	Oct. 2022	
<b>Rendimiento:</b>	<b>2340</b>	<b>m2/dia</b>	<b>TOTAL=</b>	<b>S/ 17.29</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>		
				<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 2.11</b>
Capataz	hh	1	0.0034	29.08	0.10	
Operador Cisterna	hh	1	0.0034	129.90	0.44	
Operador rodillo liso	hh	1	0.0034	111.89	0.38	
Operador motoniveladora	hh	1	0.0034	150.15	0.51	
Operador Cargador	hh	1	0.0034	114.56	0.39	
Operario	hh	2	0.0068	24.23	0.17	
Peón	hh	2	0.0068	17.29	0.12	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 13.92</b>
Material de base	m3		0.2400	55.57	13.34	
Agua	m3		0.0200	29.00	0.58	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.26</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	0.3	0.0010	130.00	0.13	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	0.5	0.0017	180.00	0.31	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	0.3	0.0010	160.00	0.16	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0034	180.00	0.62	

Fuente: Propia

ACUS A NIVEL DE PROYECTO: MEJORAMIENTO CON CAR + CDA

Tabla 61 ACU: Subbase granular e=15cm (6pulg)

PARTIDA:	SUBBASE GRANULAR e=15cm (6pulg)					
Costo por:	m2			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	2850	m2/día	TOTAL=	S/ 9.61		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.74</b>
Capataz	hh	1	0.0028	29.08	0.08	
Operador Cisterna	hh	1	0.0028	129.90	0.36	
Operador rodillo liso	hh	1	0.0028	111.89	0.31	
Operador motoniveladora	hh	1	0.0028	150.15	0.42	
Operador Cargador	hh	1	0.0028	114.56	0.32	
Operario	hh	2	0.0056	24.23	0.14	
Peón	hh	2	0.0056	17.29	0.10	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 6.83</b>
Material de subbase	m3		0.1650	38.14	6.29	
Agua	m3		0.0186	29.00	0.54	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.04</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	0.3	0.0008	130.00	0.11	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	0.5	0.0014	180.00	0.25	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	0.3	0.0008	160.00	0.13	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0028	180.00	0.51	

Fuente: Propia

Tabla 62 ACU: Base granular e=15cm (6pulg)

PARTIDA:	BASE GRANULAR e=15cm (6pulg)					
Costo por:	m2			Fecha:	Oct. 2022	
Rendimiento:	2500	m2/día	TOTAL=	S/ 12.87		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.98</b>
Capataz	hh	1	0.0032	29.08	0.09	
Operador Cisterna	hh	1	0.0032	129.90	0.42	
Operador rodillo liso	hh	1	0.0032	111.89	0.36	
Operador motoniveladora	hh	1	0.0032	150.15	0.48	
Operador Cargador	hh	1	0.0032	114.56	0.37	
Operario	hh	2	0.0064	24.23	0.16	
Peón	hh	2	0.0064	17.29	0.11	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 9.71</b>
Material de base	m3		0.1650	55.57	9.17	
Agua	m3		0.0186	29.00	0.54	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.18</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.00%	1.26	0.04	
Camión cisterna (2500 Glns.)	hm	0.3	0.0010	130.00	0.12	
Cargador sobre llantas 100-125HP	hm	0.5	0.0016	180.00	0.29	
Rodillo Liso Vibratorio Autop. 7-9 Ton	hm	0.3	0.0010	160.00	0.15	
Motoniveladora 130-135 HP	hm	1	0.0032	180.00	0.58	

Fuente: Propia

PRESUPUESTO A NIVEL DE PROYECTO: ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL (OVER)

*Tabla 63: Presupuesto de estabilización a nivel de proyecto con Over*

<b>PRESUPUESTO A NIVEL DE PROYECTO- ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL (OVER)</b>					
TESISTA: GONZALES ZUÑE, LUIS JHOSUT		LUGAR: Av. Venezuela, JLO			
ESPECIALIDAD: PAVIMENTOS		FECHA: Octubre, 2022			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL S/.
<b>01.00.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
01.01.00	TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS	m2	3600.00	S/ 2.18	S/ 7,836.88
<b>02.00.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
<b>02.01.00</b>	<b>CORTE DE MATERIAL</b>				
02.01.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO	m3	3420.00	S/ 8.94	S/ 30,569.03
02.01.02	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	4446.00	S/ 9.28	S/ 41,259.06
02.01.03	PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0.30m	m2	3600.00	S/ 3.38	S/ 12,171.21
<b>03.00.00</b>	<b>PAVIMENTO</b>				
03.01.00	ESTABILIZACIÓN CON OVER (8"-15"), h=0.30m	m2	3600.00	S/ 23.46	S/ 84,452.49
03.02.00	SUBBASE GRANULAR e=20cm (8.0pulg)	m2	3600.00	S/ 12.77	S/ 45,984.21
03.03.00	BASE GRANULAR e=20cm (8.00 pulg)	m2	3600.00	S/ 17.29	S/ 62,244.49
03.04.00	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	3600.00	S/ 4.75	S/ 17,110.15
03.05.00	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=10cm (4 pulg)	m2	3600.00	S/ 63.11	S/ 227,208.17
				SUBTOTAL	S/ 528,835.69
				IGV 18%	S/ 95,190.42
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/ 624,026.11</b>

*Fuente: Propia*

De la tabla 63, se observa que, para ejecutar pavimento flexible en medio kilómetro de vía cuyo ancho de calzada sea de 7.20m, considerando una subrasante arcillosa de 0.30m, costará S/624 026.11 soles, si se plantea estabilizar el suelo con Over.

**PRESUPUESTO A NIVEL DE PROYECTO: ESTABILIZACIÓN CON 70%  
CAR MÁS 4% CDA**

*Tabla 64: Presupuesto a nivel de proyecto con 70% CAR + 4% CDA*

<b>PRESUPUESTO A NIVEL DE PROYECTO - ESTABILIZACIÓN CON 70%CAR+4%CDA</b>					
TESISTA:	GONZALES ZUÑE, LUIS JHOSUT		LUGAR:	Av. Venezuela, JLO	
ESPECIALIDAD:	PAVIMENTOS		FECHA:	Octubre, 2022	
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. S/.	PARCIAL S/.
<b>01.00.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
01.01.00	TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS	m2	3600.00	S/ 2.18	S/ 7,836.88
<b>02.00.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
<b>02.01.00</b>	<b>CORTE DE MATERIAL</b>				
02.01.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO	m3	1980.00	S/ 8.94	S/ 17,697.86
02.01.02	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	2910.96	S/ 9.28	S/ 27,013.83
02.01.03	BATIDO DE MATERIAL NATURAL CON 70%CAR + 4%CDA PARA SUBRASANTE EN VÍAS e=0.30m	m2	3600.00	S/ 102.08	S/ 367,471.55
02.01.04	PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0.30m	m2	3600.00	S/ 3.38	S/ 12,171.21
<b>03.00.00</b>	<b>PAVIMENTO</b>				
03.01.00	SUBBASE GRANULAR e=15cm (6pulg)	m2	3600.00	S/ 9.61	S/ 34,592.28
03.02.00	BASE GRANULAR e=15cm (6pulg)	m2	3600.00	S/ 12.87	S/ 46,325.95
03.03.00	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	3600.00	S/ 4.75	S/ 17,110.15
03.04.00	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=10cm (4 pulg)	m2	3600.00	S/ 63.11	S/ 227,208.17
				SUBTOTAL	S/ 757,427.87
				IGV 18%	S/ 136,337.02
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/ 893,764.88</b>

*Fuente: Propia*

De la tabla 64, se observa que, para ejecutar pavimento flexible en medio kilómetro de vía cuyo ancho de calzada sea de 7.20m, considerando una subrasante arcillosa de 0.30m, costará S/893 764.88 soles, si se plantea estabilizar el suelo con 70%CAR + 4%CDA.

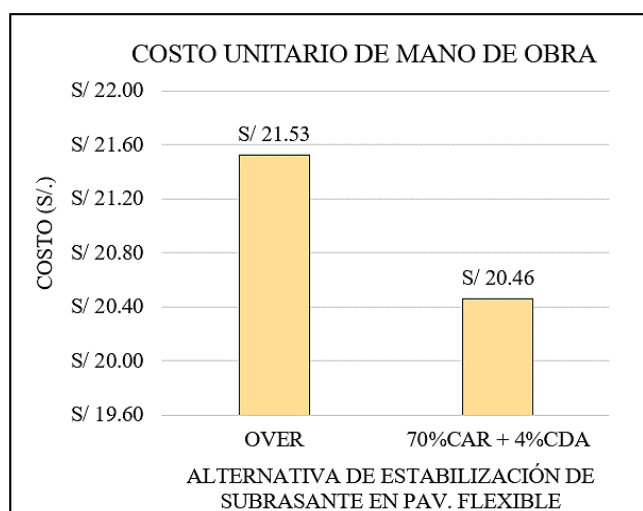
### COMPARACIÓN DE PROPUESTAS A NIVEL DE PROYECTO

En el presente apartado, se comparará los resultados obtenidos del análisis de costos desarrollados a nivel de proyecto, el cual consisten en ejecutar pavimento flexible en 500m de vía, con ancho de calzada de 7.20m, y cuyo suelo de fundación es de baja capacidad de soporte  $< 3.00\%$ , presentándose dos propuestas, la primera, ejecutar el pavimento mejorando el suelo con Over de 8” a 15”, en tanto la segunda, ejecutar el pavimento, pero, estabilizando la subrasante con 70% CAR más 4% CDA.

De los resultados obtenidos, se observa en las gráficas 65 y 67 que, los costos unitarios de mano de obra como de equipos y herramientas para todo el proyecto, resultan más bajos para la estabilización con CAR% más CDA%, a diferencia de la estabilización con Over, esto se debe a razón de, en esta última propuesta, se necesitará mayor maquinaria para reemplazar totalmente el suelo, así como también, para ejecutar mayores espesores de capas granulares, en consecuencia, no solo incrementará los equipos, sino también, la mano de obra.

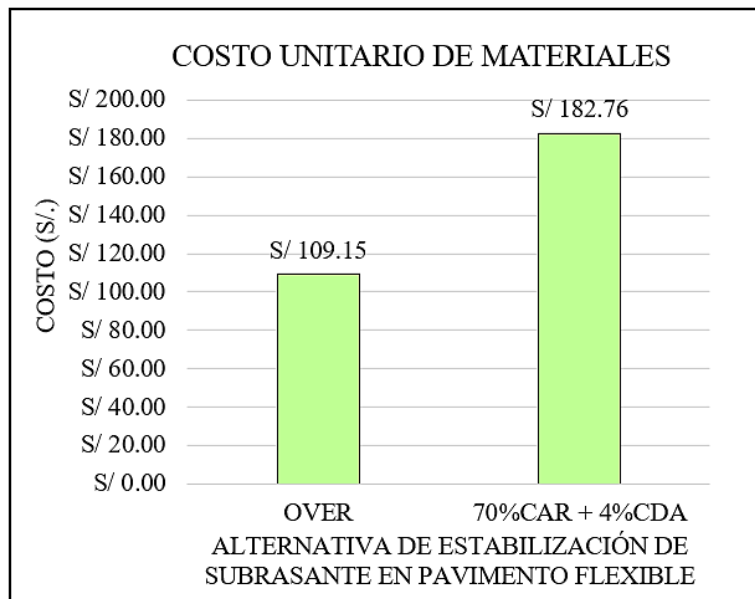
De la gráfica 66, se observa que, el costo unitario de los materiales incrementa significativamente cuando se estabiliza con CAR (%) más CDA (%), esto es a causa de la producción de los estabilizantes, pues considerando que ambos se producirán de forma industrial, se observa que, el precio de los agregados de CAR si bien es bajo, pero el porcentaje a utilizar es alto, lo cual alza la cantidad de dinero a gastar, en tanto, las cenizas de aserrín, a pesar que se obtengan con algún proceso industrializado su costo por kg sigue siendo elevado

*Gráfica 65: Costo unitario de mano de obra – propuestas a nivel de proyecto*



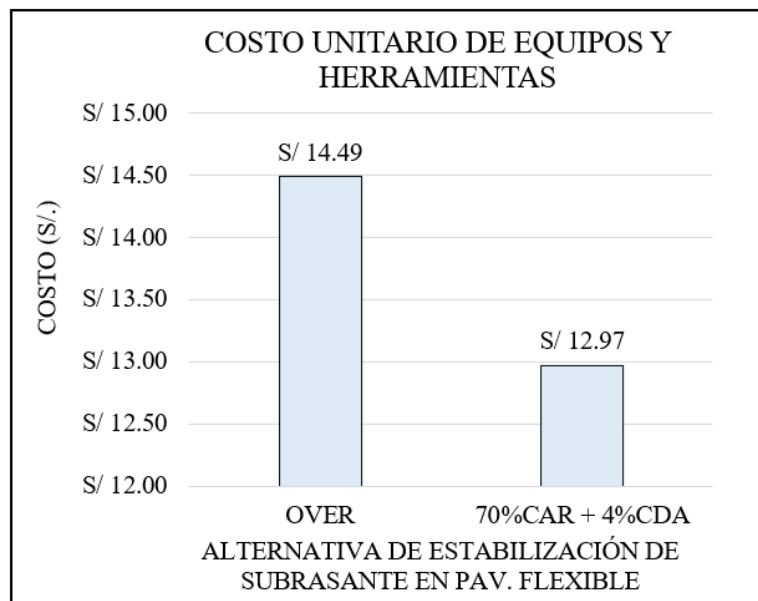
*Fuente: Propia*

Gráfica 66: Costo unitario de materiales – propuestas a nivel de proyecto



Fuente: Propia

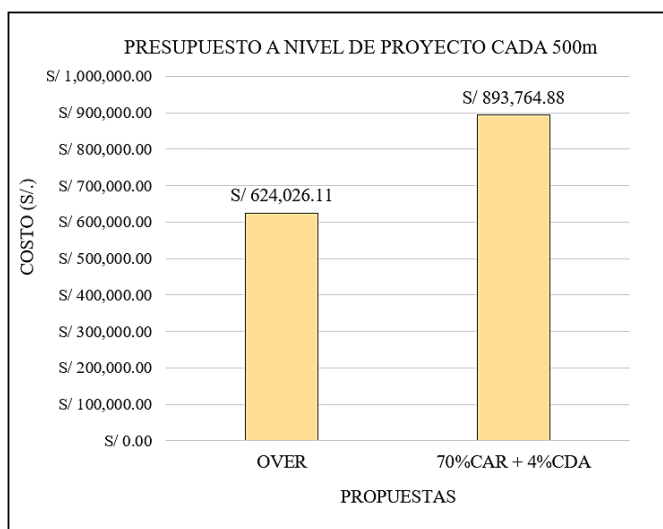
Gráfica 67: Costo unitario de equipos y herramientas- propuestas a nivel de proyecto.



Fuente: Propia

Finalmente, para ambas alternativas, se consideró, una vía colectora de 500m, con un ancho de calzada de 7.20m, ambas propuestas mejoran la situación problemática del suelo arcilloso con baja capacidad de soporte, no obstante, al estabilizarlo con CAR(%) más CDA(%) obtendremos una estructura de pavimento de 70cm de altura, a diferencia de mejorar la subrasante con Over, pues se obtiene un pavimento de 80cm, sin embargo, el uso de CAR (%) más CDA (%) si bien disminuye los espesores en las capas estructurales del pavimento, no obstante, este ahorro no se compensa con el gasto que genera producir los estabilizantes, pues según la gráfica 68, esta alternativa es más costosa en S/ 269 738. 77 soles a comparación de la estabilización con Over

Gráfica 68: Presupuesto a nivel de proyecto por medio kilómetro



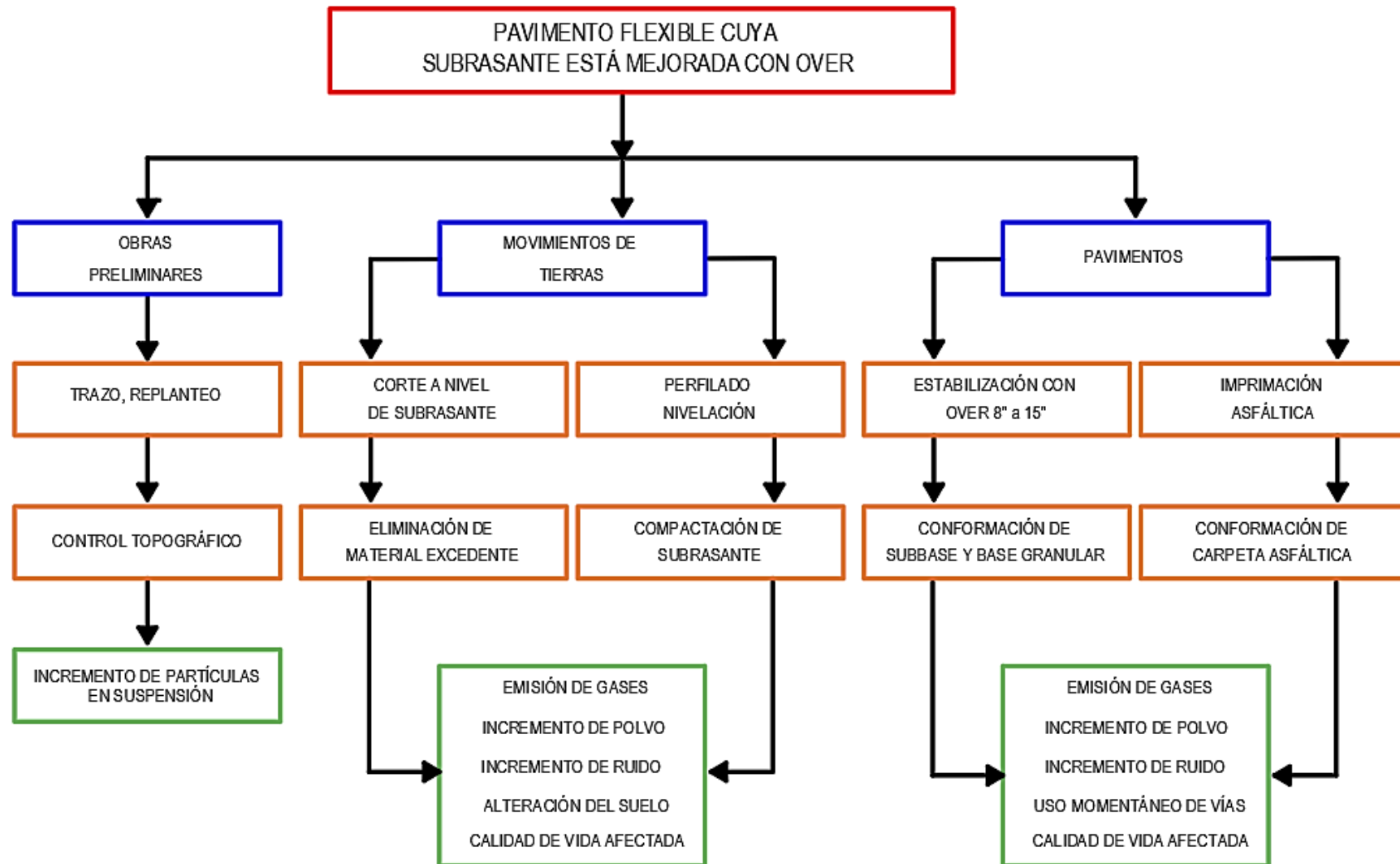
Fuente: Propia

## EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

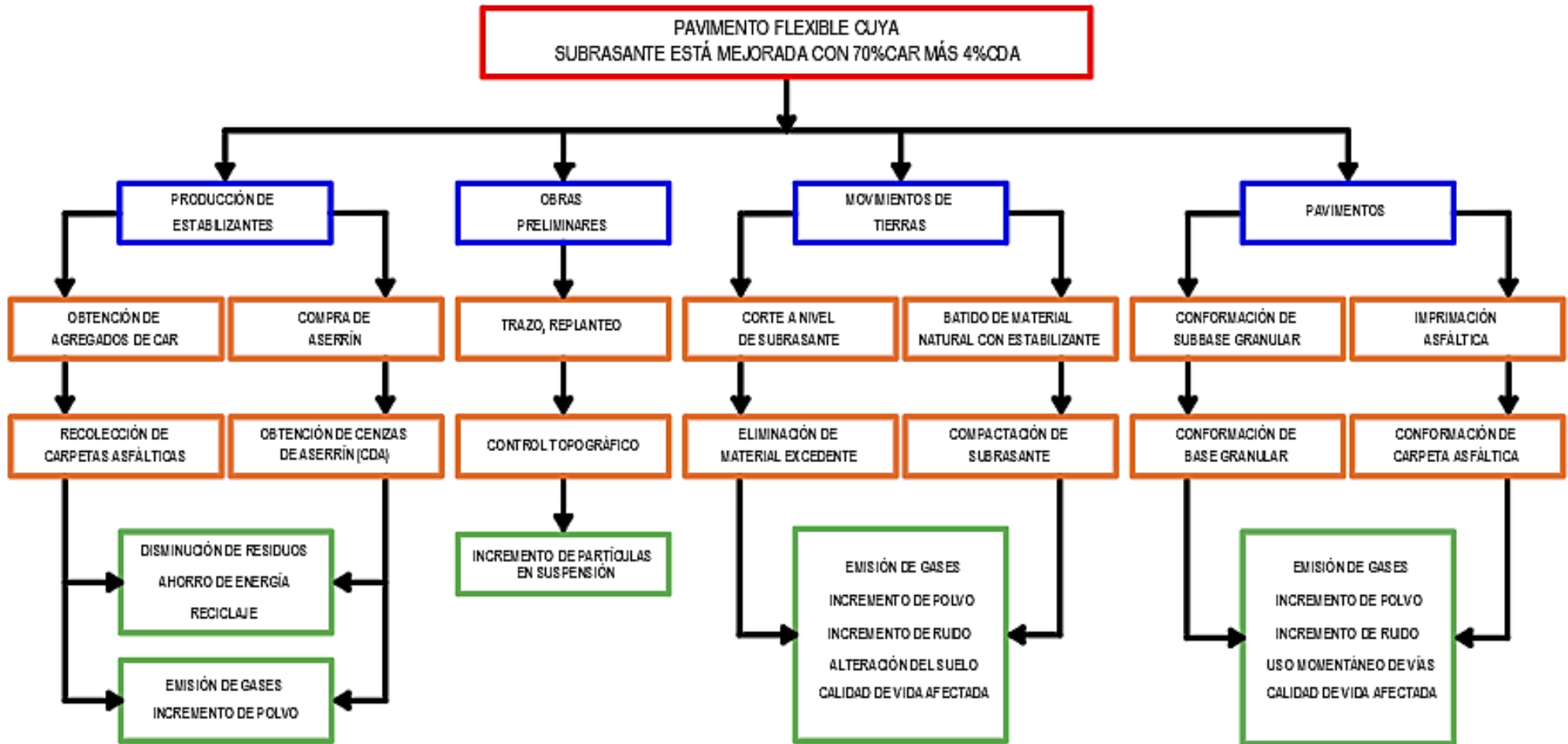
En el presente apartado, se desarrollará la evaluación de los impactos ambientales de ambas propuestas a nivel de proyecto en su fase de construcción, para ello, primero se identificarán los impactos y factores ambientales, luego, se evaluarán las propuestas mediante la matriz de Leopold y, por último, se emitirán acciones de prevención y mitigación con el fin de reducir los daños al ambiente.

### IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Para realizar este apartado, primero, se reconoce las acciones a ejecutar en cada propuesta, para luego, identificarse por cada una los impactos más relevantes que estas generarán, presentándose lo obtenido en las siguientes gráficas.



Gráfica 69: Identificación de impactos, propuesta: pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con Over. Fuente Propia.



Gráfica 70: Identificación de impactos, propuesta: pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con 70%CAR + 4%CDA. Fuente Propia.

## IDENTIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales seleccionados, son aquellos que están propensos a alterarse a causa de las acciones presentadas en ambas propuestas, mostrándose a continuación dichos factores.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL
FÍSICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aire</li> <li>• Agua</li> <li>• Suelo</li> </ul>
BIOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flora</li> <li>• Fauna</li> </ul>
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad visual</li> <li>• Factor económico</li> <li>• Factor humano</li> <li>• Contribución ambiental</li> </ul>

Tabla 65: Factores ambientales identificados. Fuente: Propia

## EVALUACIÓN DE IMPACTOS

La evaluación de impactos generados, se desarrolló mediante el método cualitativo de causa efecto denominado, matriz de Leopold, este método se realiza mediante una tabla de doble entrada, donde, las filas son rellenas con los factores ambientales identificados, en tanto las columnas, se completan con las acciones que afectarán al ambiente. A su vez, cabe recalcar que, este método expone de forma descriptiva cada uno de los impactos, así como también, los resultados globales obtenidos [54].

En el anexo 06 se presenta la matriz de Leopold desarrollada por cada propuesta, mostrándose a continuación los resultados obtenidos.

Nº	PROPUESTA	PUNTAJE	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN
01	Pavimento flexible cuya subrasante está mejorada de la forma tradicional (Over)	-596.00	42.11%
02	Pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con 70%CAR + 4%CDA	-251.00	
	Diferencia	-345.00	

Tabla 66: Resultados obtenidos del análisis por Matriz de Leopold. Fuente: Propia

En base al anexo 06, se afirma que, ambas propuestas presentan como acción más agresiva las excavaciones, en tanto, el factor ambiental más frágil, resultó ser el aire y el suelo, esto debido a la emisión de gases generados durante la etapa de construcción, así como también, al exceso de movimiento de tierras que se necesitará.

De la tabla 66, se observa que, la propuesta 02, es decir, la ejecución de pavimento flexible cuya subrasante estará mejorada con 70%CAR más 4%CDA, reduce al 42.11% los impactos que genera la ejecución de pavimento con suelo estabilizado de forma tradicional (Over), esto se debe a la reutilización de residuos que se aplica en la segunda propuesta, lo cual genera una contribución con el reciclaje, ahorro de energía y generación de modelos de construcción amigables con el medio ambiente.

### **ACCIONES DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

Ante los impactos generados en la ejecución de pavimento flexible con 70%CAR + 4%CDA, se propone las siguientes medidas de prevención y mitigación con el fin de reducirlos.

*Tabla 67: Acciones de prevención y mitigación ante la emisión de gases.*

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: AIRE, EMISIÓN DE GASES</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
La emisión de gases serán producidos por la maquinaria a emplear en las distintas partidas de ejecución del proyecto.	Utilizar maquinaria en buen estado, proporcionándole constante mantenimiento, esto con el fin de minimizar la emisión de gases.

*Fuente: Propia*

Tabla 68: Acciones de prevención y mitigación ante partículas en suspensión.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: AIRE, PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
El incremento de polvo se generará debido al movimiento de tierras, así como también, por la conformación de las capas estructurales del pavimento.	Se deberá proponer horarios de riego con el fin de disminuir la suspensión de este material particulado.

Fuente: Propia

Tabla 69: Acciones de prevención y mitigación ante ruido.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: AIRE, RUIDO</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
El ruido será generado por la maquinaria en la conformación de capas estructurales del pavimento, así como también, en la obtención de estabilizantes, al disgregar las CAR	El personal involucrado en las tareas tendrá que utilizar los implementos de seguridad para que los protejan, tales como las orejeras y los demás implementos.

Fuente: Propia

Tabla 70: Acciones de prevención y mitigación ante alteración en la morfología del suelo.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: SUELO, MORFOLOGÍA</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
La morfología del terreno se verá afectada, debido al movimiento de tierras que se generará para la conformación de la estructura del pavimento.	Los trabajos se ejecutarán de manera eficaz y según lo establecido en los planos, esto con el fin de no generar volúmenes de material excedente no contemplados.

Fuente: Propia

Tabla 71: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de la flora.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: FLORA</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
Al alterarse la morfología del terreno, algunas especies de flora pueden ser removidas con el fin de cumplir lo establecido en el proyecto	Evitar que el diseño involucre el remover una gran cantidad de flora del lugar, de no existir otra alternativa, reponer el daño, naturaleza por naturaleza

Fuente: Propia

Tabla 72: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de la fauna.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: FAUNA</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
Debido al ruido generado por la maquinaria ahuyentará a las especies de animales colindantes a la zona	Procurar que los horarios de trabajo estén bien fijados y no se extiendan durante largos periodos de tiempo.

Fuente: Propia

Tabla 73: Acciones de prevención y mitigación ante la alteración de calidad de vida.

<b>FACTOR AMBIENTAL AFECTADO: FACTOR HUMANO, CALIDAD DE VIDA</b>	
<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>ALTERNATIVA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>
Las emisiones de gases como el ruido generado por las maquinarias producirán incomodidad en la población cercana al área de trabajo.	Informar a la población sobre el proyecto, los horarios de trabajo y las interrupciones consernientes, de esta forma, se evitará futuros inconvenientes.

Fuente: Propia

## **CONCLUSIONES**

- Se demostró la validez de la hipótesis planteada, pues la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín mejoraron las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas provenientes de Av. Venezuela, JLO.
- Se caracterizó las muestras naturales de subrasantes arcillosas provenientes de Av. Venezuela, desde Próceres hasta España, observándose que, todas las muestras naturales presentaron un pasante a la malla N°200 por encima del 80.00%, con una plasticidad entre media (C-01, C-02) y alta (C-03), clasificándolas según la metodología AASHTO y SUCS de la siguiente forma, la muestra C-01, resultó ser un limo de baja plasticidad (A-7-6(14) / ML), en tanto, las muestras C-02 y C-03, resultaron ser arcillas de plasticidad baja (A-7-6(12)) / CL) y alta (A-7-6(19) / CH) correspondientemente; a su vez, las tres muestras naturales se categorizaron como una subrasante inadecuada ( $CBR (95\%) \leq 3.00\%$ ).
- De la clasificación de los estabilizantes, se observó que, los agregados de carpetas asfálticas recicladas (CAR), presentaron una humedad natural del 2.00%, con una granulometría comprendida entre el 95.00% de grava fina y el 5.00% de grava gruesa, perteneciendo al grupo de las gravas pobremente gradadas (A-1-a(0)) o GP), siendo este material característico de una subrasante buena, en tanto, las cenizas de aserrín (CDA), presentaron una humedad natural del 0.45%, con una densidad específica de 2.13 g/ml y un contenido de óxidos puzolánicos ( $\sum SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ) del 69.15%, destacando entre ellos el óxido de sílice al 64.25%, resultando el material pertenecer a la clasificación de ceniza volante clase F.
- En base a los cambios cuantificados para las combinaciones, se concluye que, las CDA afectan tanto las propiedades físicas como mecánicas ensayadas, sin embargo, los cambios que estas generan son muy variados, no obstante, el contenido de CAR solo influye en las propiedades mecánicas experimentadas, esto debido a su granulometría, obteniéndose mejores beneficios a medida que se incrementaba su cantidad, resultando el CBR(100%) decisivo para la elección de la combinación óptima, pues en este era mucho más evidente la influencia de cada estabilizante sobre las muestras,

seleccionándose para todas ellas el 70%CAR+4%CDA+26%S.

- De acuerdo a los cambios cuantificados en las muestras C-01, C-02 y C-03 al aplicar los porcentajes óptimos de los estabilizantes, es decir, 70%CAR+4%CDA, se obtuvo lo siguiente, el IP se alteró en 0.81, 1.00 y 0.55 veces su valor natural, a su vez, la MDS, incrementó en 1.13, 1.08 y 1.17 veces su valor preliminar, en tanto, el CBR (95%), aumentó su valor en 3.17, 2.23 y 3.24 veces respecto la muestra natural, así mismo, el CBR (100%) incrementó en 2.45, 2.45 y 3.17 veces su porcentaje original.
- En base a la comparación de las propiedades físico-mecánicas entre las muestras naturales (C-01, C-02 y C-03) y las muestras con 70%CAR+4%CDA, se observó lo siguiente, el IP se redujo de 21.00%, 18.00% y 31.00% a 17.00%, 18.00% y 17.00% según cada muestra, en tanto, la MDS incrementó de 1.695, 1.793 y 1.646 g/cm<sup>3</sup> a 1.907, 1.930 y 1.922 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, así mismo, en base al CBR (95%) las muestras originales pasaron de ser subrasantes inadecuadas (3.00%, 3.00% y 2.90%) a recategorizarse como subrasantes regulares ( 9.50%, 6.70% y 9.40%).
- Según los análisis de rentabilidad económica se concluye lo siguiente, a nivel de subrasante, la propuesta de incorporar al suelo 70%CAR+4%CDA genera un costo de S/ 133.33 soles por cada 1.00m<sup>2</sup>, incrementando el precio en 3.20 veces lo que demandaría la estabilización con Over, así mismo, a nivel de proyecto de pavimento flexible, cuando se mejora el suelo con CAR+CDA se obtiene un ahorro de 4.00 pulgadas en la estructura del pavimento, sin embargo, este beneficio no se compensa con el sobre costo que genera la producción de los estabilizantes, pues esta alternativa resulta costando S/ 893 764. 88 soles por cada 500.00 m, aumentando en 1.43 veces el costo de la estabilización con piedra grande.
- En base al impacto ambiental evaluado para las dos propuestas de ejecución de pavimento flexible, se concluye que, aquel pavimento cuya subrasante esté mejorada con 70%CAR+4%CDA, reducirá al 42.11% los impactos que generará la ejecución de pavimento cuya subrasante esté remplazada con Over, esto se debido a la reutilización de residuos que se aplican en la propuesta de interés, lo cual contribuye con el reciclaje, ahorro de energía y generación de modelos de construcción amigables con el medio ambiente.

## **RECOMENDACIONES**

- En cuanto a los agregados de carpetas asfálticas recicladas, se recomienda evaluar su comportamiento para tamaños de partículas mucho mayores, distintos porcentajes y/o extraerles el contenido de asfalto que presentan.
- Se recomienda, con el fin de mejorar los resultados en cuanto las cenizas de aserrín, realizar su quema de forma industrial a temperaturas constantes entre los 600 a 800 °C, esto con el propósito de mejorar sus propiedades puzolánicas.
- Continuar investigando la aplicación de estos aditivos en otros tipos de suelos, para diferentes sectores del distrito de JLO, utilizando porcentajes diferentes a los de esta investigación.
- Desarrollar nuevos ensayos con el fin de evaluar otras propiedades físico-mecánicas.
- Realizar ensayos químicos en las muestras naturales con el objetivo de cuantificar la cantidad de minerales presentes en el suelo que reaccionarán con los óxidos de las cenizas.
- Para futuras investigaciones, evaluar la combinación de cenizas de aserrín con algún material cementante, como el cemento o la cal.

## **REFERENCIAS**

- [1] A. Sha, Material and Structure of Eco-friendly Pavements, International Journal of Pavement Research and Technology, Vol 5, N° 6, noviembre 2012 [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/8Bs3xEF>
- [2] Manual de Estabilización de Suelo con Cemento o Cal, Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España, Asociación Nacional Técnica de Estabilizantes de Suelos y Reciclado de Firmes, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2008. Disponible en: <https://cutt.ly/ZBs3Eni>
- [3]. D. Luna Durán, “Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Chiclayo”, Universidad Nacional De Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil, Perú, Informe Técnico, 1992. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/8Bs3FSb>
- [4] Instituto Nacional de Defensa Civil, “Plan De prevención Ante Desastres: Usos Del Suelo Y Medidas De Mitigación”, Sistema Nacional de Defensa Civil, Perú, Informe, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/XBdwtlh>
- [5] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*, 2th ed. Colombia: 2002. Disponible en: <https://cutt.ly/ABs8e5S>
- [6] “Pistas en JLO generan caos y enfermedades en el distrito”. La Industria De Chiclayo. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/uBs8sUx>
- [7] Departamento De Administración Y Evaluación De Pavimentos, *Pavimentos y Técnicas de Reparación*, República Dominicana, Departamento De Administración Y Evaluación De Pavimentos, 1990. Disponible en: <https://cutt.ly/9Bs8cpC>
- [8] A. E. Abu El-Maaty y A.I. Elmohr, “Characterization of Recycled Asphalt Pavement (RAP) for Use in Flexible Pavement”, jun. 2016. [Online]. Available in: <https://cutt.ly/oBs8T5q>

- [9] Ministerio del Ambiente, “Informe De La Situación Actual De La Gestión De Residuos Sólidos No Municipales”. Ministerio del Ambiente, Perú, Informe Técnico, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/5Bs8AkI>
- [10] Gobierno Regional de Lambayeque, “Prospectiva Territorial de Lambayeque al 2030”, Gobierno Regional de Lambayeque, Perú, Informe técnico, 1st ed., 2017. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/0Bs8CzX>
- [11] R. Vines Guillen, J. Poggi Davila, “Aprovechamiento Sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada”, *Revista de ingeniería de la USIL*, Vol. 1, N° 2, pp 88-123, 2014. Disponible en: <https://cutt.ly/1Bs82wo>
- [12] Ministerio del Ambiente, Consulta de Datos Sigersol Municipal para el distrito de JLO, Informe Técnico, 2008-2018. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/mBs86OR>
- [13] M. M. Alhaji y M. Alhassan, “Effect Of Reclaimed Asphalt Pavement Stabilization On The Microstructure And Strength Of Black Cotton Soil”, *International Journal of Technology*, n°4: pp727-736, June 2018. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/gBs4yu4>
- [14] W. A. Butt, K. Gupta, JN. Jha, “Comportamiento de resistencia de suelos arcillosos estabilizados con ceniza de aserrín”, *Revista internacional de geoingeniería*, n.º18, octubre 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/aBs4deA>
- [15] J. James, “Beneficio de resistencia de la enmienda de aserrín/ceniza de madera en la estabilización con cemento de un suelo expansivo”, *Revista Facultad de Ingeniería*, vol.28, N°.50, pp. 44-61, diciembre de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/uBs413a>
- [16] J. L. Campos Rodríguez y A. E. Vega Arroyo, “Estabilización De Suelos Con Concreto Asfáltico Reciclado En El PJ. Dos De Mayo-Chimbote”, Tesis de Pregrado, Nuevo Chimbote, Universidad Nacional del Santa, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/NBs4n5V>

- [17] J. L. Flores Diaz, “Análisis Del Comportamiento Mecánico De Suelos Cohesivos Con Adición De Cenizas De Eucalipto En El Sector Palián – Huancayo – 2018”, Tesis de Pregrado, Huancayo, Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Perú, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/1Bs4SfB>
- [18] K. Cubas Benavides, J. C. Falen Chávez, “Evaluación De Las Cenizas De Carbón Para La Estabilización De Suelos Mediante Activación Alcalina Y Aplicación En Carreteras No Pavimentadas”, Tesis de Pregrado, Pimentel, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Lambayeque, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/CBs4H7b>
- [19] R. S. Requejo Carrillo, “Estabilización de suelos arenosos utilizando Oryza Sativa (arroz)”, Tesis de Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Lambayeque, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/1Bs4CXD>
- [20] Ministerio de transportes y Comunicaciones, *Manual de carreteras: suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos: sección suelos y pavimentos* (2014) [En línea]. Disponible: <https://cutt.ly/8Bdq3Mc>
- [21] Ministerio de transportes y Comunicaciones, *Manual De Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción*, EG-2013. Disponible en: <https://cutt.ly/PBdqDo0>
- [22] *Pavimentos Urbanos*, Instituto de la Construcción y Gerencias. CE 010-AÑO 2010. Disponible en: <https://cutt.ly/CBs49T8>
- [23] Ministerio de transportes y Comunicaciones, *Manual de ensayos de materiales*, 2016. Disponible en: <https://cutt.ly/eBdqzhp>
- [24] Instituto de normas técnicas de costa rica, “Geotecnia. Especificación estándar para clasificación de suelos y mezclas de suelo-agregado para propósitos de construcción de carreteras”. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/dBs7zaI>
- [25] Instituto Nacional de Calidad, “Catalogo Normas técnicas peruanas”. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/LBs7mE8>

- [26] *Ley General del Ambiente*, Congreso de la Republica Ley N° 28611- 2017  
Disponible en: <https://cutt.ly/3Bs7Yrb>
- [27] *Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón*, ASTM C618 – 19. [Online]. Disponible en: <https://cutt.ly/4Bs7OHk>
- [28] C. Crespo Villalaz, *Mecánica De Suelos Y Cimentaciones*, 5th ed. México: Limusa,2004. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/0Bs7Ghx>
- [29] C. H. Higuera Sandoval, J. C. Gómez Cristancho y O. E. Pardo Naranjo, “Caracterización De Un Suelo Arcilloso Tratado Con Hidróxido De Calcio”, *Revista Facultad De Ingeniería (UPTC)*, Vol. 21, N°32, pp.21-40, Enero-Junio de 2012. Disponible en: <https://cutt.ly/HBs7Xxl>
- [30] A. F. Castro Cuadra, “Estabilización De Suelos Arcilloso Con Ceniza De Cascara De Arroz Para El Mejoramiento De Subrasante”, Tesis de Pregrado, Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/FBs70b3>
- [31] R. K. Pandit, Dr. S.S. Goliya y Dr. R. Mehar, “A Study On Reclaimed Asphalt Pavement (Rap)Material Using Sub-Grade Layer Of Flexibal Pavement In Vidisha City”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol 6, n° 12, pp 1476- 1479, December 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/ABs5wyy>
- [32] A. M. Mustapha, R. Jibrin, N. M. Etsuwo, M. Alhassan, “Stabilization of A-6 Lateritic Soil using Cold Reclaimed Asphalt Pavement”, *International journal of engineering y technology*, vol. 4, n° 1, January 2014. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/4Bs5iP0>
- [33] E.J. Hoppe, D.S. Lane, G.M. Fitch, & S. Shetty, Feasibility of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Use As Road Base and Subbase Material. 2015. [Online]. Available in: <https://cutt.ly/tBs5aI6>

- [34] H. Huahuasoncco y E. Washintong, “Manejo de los residuos de la Construcción y Demoliciones para su reciclado y empleo en Construcciones de vías de la Ciudad de Juliaca”, Tesis de pregrado, Puno, Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez, Puno, Perú, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/XBs5f46>
- [35] C.C Ikeagwuani, I. Obeta, J. Agunwamba, Stabilization of black cotton soil subgrade using sawdust ash and lime. *ScienceDirect*, 162-175, 2019. [Online]. Available in: <https://cutt.ly/vBs5xNO>
- [36] B. K. Honest., G. Rowland Otoko . Braide, Stabilization of Nigerian Deltaic Laterites with Saw Dust Ash. *International Journal of scientific research and management (IJSRM)*, vol .2, n.º 8, 1287-1292, 2014. [Online]. Available in: <https://cutt.ly/pBs5nOa>
- [37] L. O. Ettu, C. S. Ezenkwa, C. T. G. Awodiji, F. C. Njoku and H. E. Opara, “Tensile Strengths of Concrete Containing Sawdust Ash from Different Calcination Methods”, *Engineering and Technology*, vol 2, nº4, pp349-355, Agosto 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/LBs5EQX>
- [38] M. Borja S. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/HBs5UpH>
- [39] *Modernización De La Gestión Del Desarrollo Urbano De La Provincia De Chiclayo*, Reglamento Para El Sistema Vial, 2011-2016. Disponible en: <https://cutt.ly/2Bs5JjF>
- [40] Fluorescencia de Rayos X (FRX), Universidad de Burgos, España, 2020. [Online]. Disponible en: <https://cutt.ly/WBs5NxJ>
- [41] A. A. Ruknuddin, Nischitha C S, Chethan L, Manoj P, “Stabilization of Subgrade Soil using Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol 8, nº 5, pp. 2249-8958, June 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/0Bs6wKU>


- [42] K. J. Osinubi, J. E. Edeh and W. O. Onoja, “Sawdust Ash Stabilization of Reclaimed Asphalt Pavement”, *Journal of ASTM International*, vol 9, n° 8, November 2011. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/eBdqS7>
- [43] J. Suebsuk<sup>1</sup> , A. Suksan<sup>2</sup> and S. Horpibulsuk, “Strength Assessment Of Cement Treated Soilreclaimed Asphalt Pavement (Rap) Mixture”, *Int. J. of GEOMATE*, vol 6, n° 2, pp. 878-884, June 2014. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/BBdqy3f>
- [44] B. Mishra, “A Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements”, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol 4, n° 12, December 2015. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/GBs6phP>
- [45] R. Locander, “Analysis Of Using Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) As A Base Course Material”, CDOT, Resp. Tec. N° 5, 2009, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/rBs6gqU>
- [46] O. M. Ogundipe, J. S. Adekanmi, O. O. Akinkurolere and P. O. Ale, “Effect Of Compactive Efforts On Strength Of Laterites Stabilized With Sawdust Ash”, *Civil Engineering Journal*, Vol 5, N° 11, November 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/LBs6zdj>
- [47] S. S. Kolo, Y.A. Jimoh, I. T. Yusuf, O. O. Adeleke, F. Balarebe, and M. Shehu, Sawdust Ash Stabilization Of Weak Lateritic Soil, *International Engineering Conference (IEC 2019)*. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/oBs6Eex>
- [48] Z. Z. Shawl, Er. V. Parkash and Er. Vi. Kumar, “Use of Lime and Saw Dust Ash in Soil Stablization”, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol 6, N° 2, February 2017. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/4Bs6PPV>
- [49] Organización de las naciones unidad para alimentación y la arquitectura, “Portal de suelos de la FAO”, Propiedades físicas del suelo. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/8Bs6S3K>

- [50] Costos, “Suplemento técnico junio 2022”, Lima: Perú, informe técnico, 2022.
- [51] W. Ivañez, *Costos y tiempos en carreteras*, 2da ed. Surquillo, 2010, [En línea].  
Disponible en: <https://cutt.ly/LBs6LgN>
- [52] Hornos Hinra Perú SAC, “Horno de cerámica a gas”, Perú, 2022. [En línea].  
Disponible en: <https://cutt.ly/mBs6MGt>
- [53] B.L. Estela Ynga, Análisis comparativo técnico-económico de los pavimentos rígido y articulado en la Av. Venezuela distrito José Leonardo Ortiz – Chiclayo, Tesis pregrado, Lambayeque, Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2019. [En línea].  
Disponible en: <https://cutt.ly/8Bs69XL>
- [54] V. Conesa Fdez., *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*, 4th ed. México: Ediciones Mundo Prensa, 2010


# ANEXOS

ANEXOS

**ANEXO 01:  
DOCUMENTACIÓN**



**USAT**  
Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo



Chiclayo, 25 de octubre de 2021

**CARTA N° 193-2021-USAT-EICA**

Señor  
Wilder Guevara Díaz  
Alcalde  
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JOSE LEONARDO ORTIZ  
Presente. -

**Atención:** Ing. Gino Enrique Baca Manrique  
Sub Gerencia de Obras Públicas

De mi especial consideración:


Es grato dirigirme a usted para expresarle mis saludos cordiales a nombre de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y desearle éxitos en su gestión al frente de su representada.

Asimismo, por este medio presentarle al estudiante **LUIS JHOSUT GONZALES ZUÑE** identificado con DNI N° 75489333 y código universitario 181EP77778 de la **ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**, quien se encuentra desarrollando su proyecto de tesis denominado: **"MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORÁNDOLES AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE ASERRÍN, EN AVENIDA VENEZUELA, DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ 2021"**.

Por este motivo, solicitamos a usted pueda otorgarle las facilidades, permisos y apoyo pertinentes en acceder a la información necesaria, para la continuidad de su trabajo de investigación; tomando en cuenta las medidas de seguridad y aislamiento social decretado por el gobierno, frente a la propagación del COVID 19.

Agradeciendo de antemano su atención a la presente, me despido expresando mi especial consideración y estima.

Atentamente,



**Dr. Ing. Maximiliano Arroyo Ulloa**  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
USAT

Av. San Josemaría Estriva 855 Chiclayo - Peru T. (074) 606200 www.usat.edu.pe www.facebook.com/usat

Ilustración N°1.1: Carta de presentación emitida por la universidad. Fuente: Propia



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JOSE LEONARDO ORTIZ  
SUB GERENCIA DE OBRAS PUBLICAS

José Leonardo Ortiz, 08.de noviembre del 2021

CARTA N° 004 - 2021—MDJLO/JATP

GONZALES ZUÑE LUIS JHOSUT  
Estudiante de Ingeniería Civil Ambiental  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo - Chiclayo

Presente.-

ASUNTO           AUTORIZACION PARA EJECUCION DE TESIS  
"MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE ARCILLOSAS INCORPORANDOLES AGREGADOS DE  
CARPETA ASFALTICA REICLADA Y CENIZAS DE ASERRIN EN AV. VENEZUELA – DISTRITO  
DE JOSE LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO"

REFERENCIA: INFORME N° 054-2021-MDJLO/SGOP/JAVM

(08.11.2021)

Es grato dirigirme a Ud. para saludarlo y a la vez mediante documento de referencia; así mismo se AUTORIZA ejecutar dicho Proyecto en Av. Venezuela en el Tramo desde Próceres hasta España del Distrito de José Leonardo Ortiz. Proyecto denominado: "MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE ARCILLOSAS INCORPORANDOLES AGREGADOS DE CARPETA ASFALTICA REICLADA Y CENIZAS DE ASERRIN EN AV. VENEZUELA – DISTRITO DE JOSE LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO"

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente;


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JOSÉ L. ORTIZ  
  
Ing. José Alonso Tejada Pérez  
SUB GERENTE DE OBRAS PUBLICAS

Ilustración N°1.2: Carta de autorización emitida por la Municipalidad. Fuente: Propia

# **ANEXO 02: ENCUESTA APLICADA**



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

***MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORÁNDOLES  
 AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE  
 ASERRÍN, EN AVENIDA VENEZUELA, DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ***

Señores responsables de los aserraderos del distrito de José Leonardo Ortiz, reciban ustedes un cordial saludo, así mismo, escuchen atentamente las preguntas y respondan con total sinceridad la presente encuesta. De antemano, gracias por su colaboración.

**OBJETIVO:** Obtener mayor información de la materia prima a emplear como estabilizante.

**NOMBRE DE LA EMPRESA:** \_\_\_\_\_

**UBICACIÓN:** \_\_\_\_\_

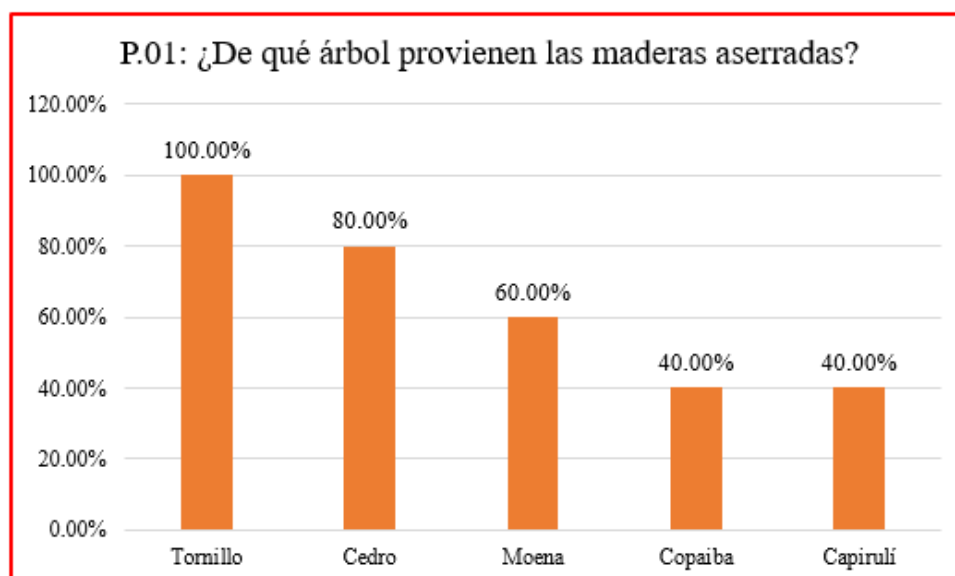
1. ¿De qué árbol provienen las maderas que son aserradas?  
 \_\_\_\_\_
2. ¿Qué problemas ocasiona la acumulación del aserrín?
  - Problemas respiratorios
  - Aumento de roedores
  - Incremento de insectos (cucarachas, mosquitos, zancudos, etc.)
  - Otro: \_\_\_\_\_
3. ¿Ha presentado problemas de salud por exposición al aserrín?
  - a. No
  - b. Sí, cuales: \_\_\_\_\_
4. ¿Cuál es el precio comercial del saco de aserrín? (Peso del saco=70kg): \_\_\_\_\_
5. ¿En qué actividades se utiliza el aserrín?  
 \_\_\_\_\_

Tabla N°2.1: Aserraderos donde se aplicó la encuesta

N°	NOMBRE DE LA EMPRESA	UBICACIÓN
1	Corporación Maderera FERPESI SAC	Tahuantinsuyo # 1400
2	Aserradero SAN SEBASTIÁN.SAC	Tahuantinsuyo # 2298
3	Maderera R&R Chiclayo	San Lucas # 401
4	Aserradero PREVCA SRL	Av. Venezuela # 2584
5	Aserradero Leo SRL	Av. Nicaragua # 801

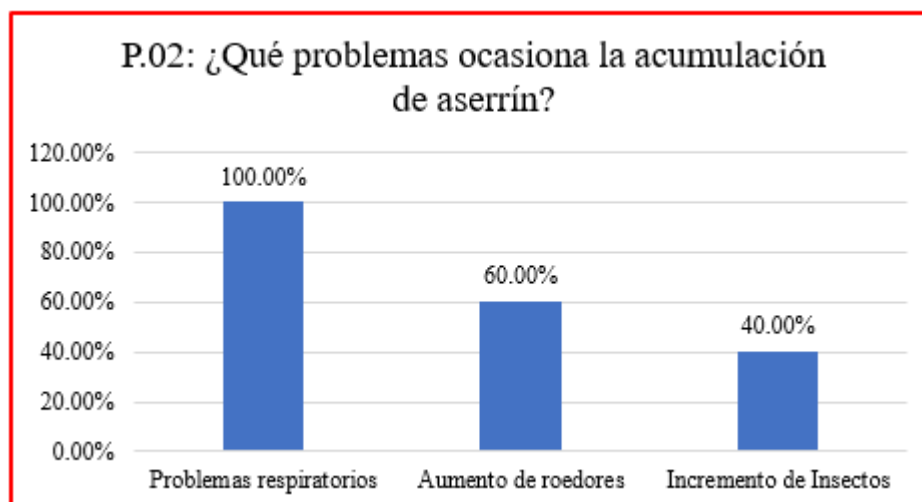
Fuente: Propia

GRÁFICA N°2.1: Respuesta pregunta N°01



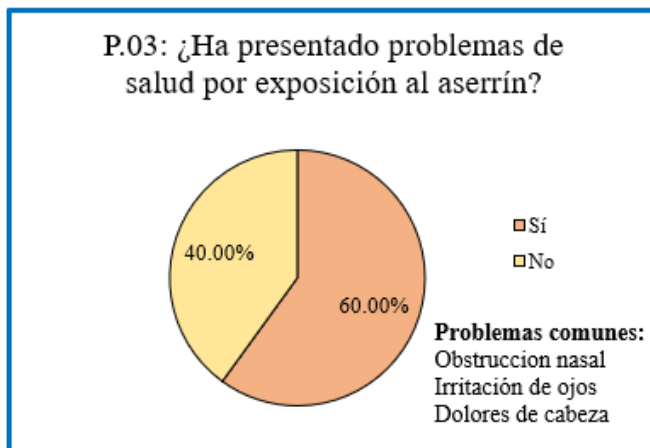
Fuente: Datos de Encuesta

GRÁFICA N°2.2: Respuesta pregunta N°02



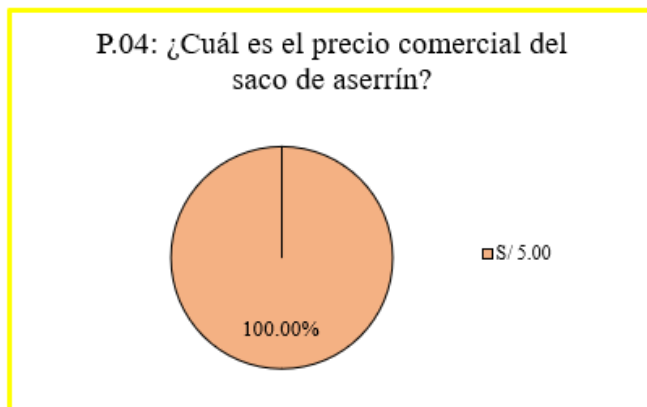
Fuente: Datos de Encuesta

GRÁFICA N°2.3: Respuesta pregunta N°03



Fuente: Datos de Encuesta

GRÁFICA N°2.4: Respuesta pregunta N°04



Fuente: Datos de Encuesta

GRÁFICA N°2.5: Respuesta pregunta N°05



Fuente: Datos de Encuesta

# **ANEXO 03: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES ARCILLOSAS INCORPORANDO AGREGADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y CENIZAS DE ASERRÍN EN AVENIDA VENEZUELA, JOSÉ LEONARDO ORTIZ									
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	TIPO DE DISEÑO	MUESTREO	VARIABLES	INDICADOR			
¿Cómo influye la incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en las propiedades físico-mecánicas de subrasantes arcillosos provenientes de la Avenida Venezuela, Distrito de José Leonardo Ortiz?	<b>OBJETIVO GENERAL:</b> Demostrar la hipótesis planteada que afirma el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de las subrasantes arcillosas incorporando agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en Avenida Venezuela distrito de José Leonardo Ortiz.	La incorporación de agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín mejorarán las propiedades físico – mecánicas de las subrasantes arcillosas provenientes de Avenida Venezuela, distrito de José Leonardo Ortiz.	La presente investigación se clasifica como "Experimento puro con estudio únicamente de postprueba", dado que existirá la manipulación de variables, así mismo, se contará con dos grupos de estudio, donde, a uno se le aplicará el estímulo (estabilizantes) y a otro no, sirviendo este último como grupo patron o de control.	Se determinaron tres puntos de muestreo, ubicándose de la siguiente manera:  C-01: Intersección Av. Venezuela y España  C-02: Intersección Av. Venezuela y Húsares de Junín.  C-03: Intersección Av. Venezuela y Próceres.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b>  Caracterizar las muestras naturales de subrasantes arcillosos provenientes de Avenida Venezuela desde Próceres hasta España.				Clasificar los agregados de carpetas asfálticas recicladas y las cenizas de aserrín que se emplearán en la presente investigación.	Cenizas de aserrín	Agregados de carpetas asfálticas recicladas	Cantidad de agregados reciclados (50, 60 y 70%)  Diámetro de los agregados reciclados (4.75 a 25mm)	
							Cenizas de aserrín	Cantidad de las cenizas de aserrín (4% y 8%)  Diámetro de las cenizas (< 600um)	
	Cuantificar los cambios producidos en las propiedades de cada subrasante arcillosa al adicionar de manera conjunta agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín en distintos porcentajes, mediante los ensayos de Límites de Consistencia, Proctor Modificado y CBR.				<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		Propiedades físicas	Límite Líquido (%) Límite plástico (%) Índice de Plasticidad (%)	
	Comparar las propiedades físico-mecánica entre la muestra natural y las muestras con agregados de carpetas asfálticas recicladas y cenizas de aserrín por cada subrasante arcillosa, determinándose los porcentajes óptimos para cada una.				Propiedades Mecánicas	Óptimo contenido de humedad (%) Máxima densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )			
	Analizar la rentabilidad económica del mejoramiento del suelo con los estabilizadores propuestos.					Índice de capacidad de soporte CBR (%)			
	Evaluar el impacto ambiental de la presente alternativa de solución.								

Tabla N°3.1: Matriz de consistencia. Fuente: Propia

# **ANEXO 04: PANEL FOTOGRAFICO**



Ilustración N°4.1: Depósito de carpeta asfáltica en carretera Panamericana Norte – Salida Reque. Fuente: Propia



Ilustración N°4.2: Acumulación de carpeta asfáltica en carretera San José – Salida Ciudad de Dios. Fuente: Propia



Ilustración N°4.3: Evidencia de encuesta aplicada. Fuente: Propia



Ilustración N°4.4: Visita a campo realizada, fecha: 26/09/21. Fuente: Propia



Ilustración N°4.5: Ejecución de Calicata 01. Fuente: Propia



Ilustración N°4.6: Ejecución de Calicata 02. Fuente: Propia



Ilustración N°4.7: Ejecución de Calicata 03. Fuente: Propia



Ilustración N°4.8: Recolección de carpetas asfálticas. Fuente: Propia

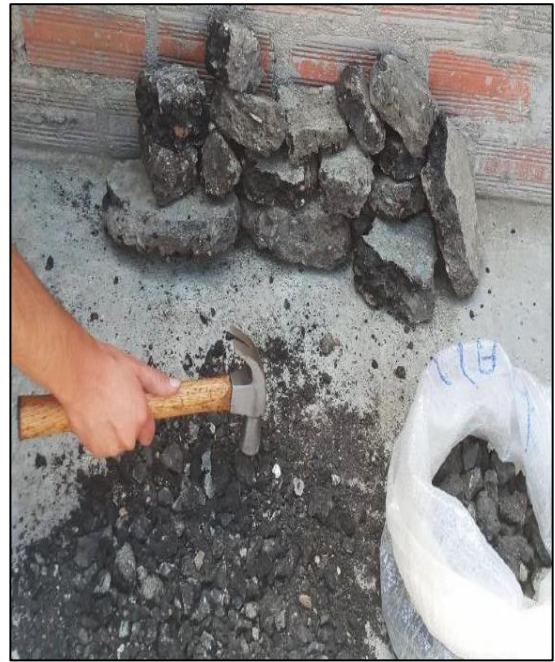


Ilustración N°4.9: Disgregado de carpetas asfálticas. Fuente: Propia



Ilustración N°4.10: Tamizado de agregados reciclados por el tamiz de 1". Fuente: Propia



Ilustración N°4.11: Tamizado de agregados reciclados por el tamiz No 04. Fuente: Propia



Ilustración N°4.12: Lavado de agregados reciclados. Fuente: Propia



Ilustración N°4.13: Secado de muestra 01 de agregados de carpetas asfálticas tratados.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.14: Secado de muestra 02 de agregados de carpetas asfálticas tratados.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.15: Secado de muestra 03 de agregados de carpetas asfálticas tratados.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.16: Secado de muestra 04 y 05 de agregados de carpetas asfálticas tratados.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.17: Traslado de material a laboratorio. Fuente: Propia



Ilustración N°4.18: Compra de sacos de aserrín. Fuente: Propia



Ilustración N°4.19: Extracción de viruta de madera. Fuente: Propia



Ilustración N°4.20: Calcinación del aserrín. Fuente: Propia



Ilustración N°4.21: Tamizado de cenizas. Fuente: Propia



Ilustración N°4.22: Cenizas de aserrín tratadas. Fuente: Propia



Ilustración N°4.23: Disgregado de grumos en muestras naturales de subrasantes.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.24: Almacenamiento de muestras naturales de subrasantes. Fuente: Propia



Ilustración N°4.25: Registro de peso inicial muestra natural C-01 - ensayo de humedad natural.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.26: Colocación de muestra C-01 al horno - ensayo de humedad natural.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.27: Registro de peso final muestra C-01 - ensayo de humedad natural.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.28: Cribado de muestra natural C- 01 – ensayo granulometría por tamizado.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.29: Registro de finos en muestra C-01 - ensayo granulometría por tamizado.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.30: Preparación de muestra natural C-01 – ensayo granulometría por sedimentación.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.31: Registro de temperatura en muestra C-01 - ensayo granulometría por sedimentación.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.32: Preparación de muestras natural C-01 – ensayo densidad específica.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.33: Eliminación de aire en muestra C-01 – ensayo densidad específica.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.34: Colocación de muestra natural C-01 en cuchara de Casagrande – ensayo limite líquido. Fuente: Propia



Ilustración N°4.35: Registro del peso para obtención de humedad – ensayo limite líquido. Fuente: Propia

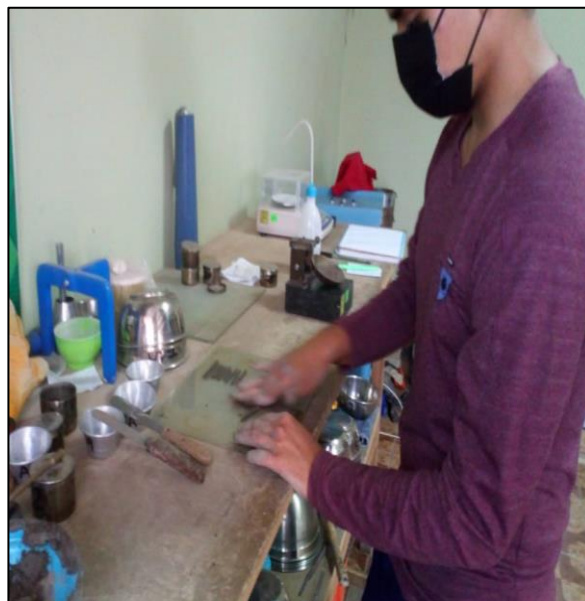


Ilustración N°4.36: Realización de cilindros con muestra natural C-01 – ensayo limite plástico.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.37: Cilindros de 3.00mm obtenidos de muestra natural C-01 – ensayo limite plástico.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.38: Llenado de molde de compactación con muestra natural C-01 – ensayo Proctor  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.39: Compactación de muestra natural C-01 – ensayo Proctor  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.40: Colocación de muestra experimental C-01 (1) en cuchara de Casagrande – ensayo límite líquido. Fuente: Propia



Ilustración N°4.41: Preparación de muestra experimental C-01 (1) – ensayo Proctor. Fuente: Propia



Ilustración N°4.42: Llenado de molde de compactación con muestra C-01 (1) – ensayo Proctor.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.43: Compactación de muestra experimental C-01 (1) – ensayo Proctor.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.44: Registro del peso de muestra compactada C-01 (1) – ensayo Proctor.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.45: Preparación de moldes para muestras experimentales C-01 – ensayo de CBR.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.46: Registro de expansión en muestra experimental C-01 (1) – ensayo de CBR.  
Fuente: Propia



Ilustración N°4.47: Penetración de muestra experimental C-01 (1) – ensayo de CBR.  
Fuente: Propia

**ANEXO 05: DISEÑO DE  
PAVIMENTO  
FLEXIBLE BAJO  
METODOLOGÍA  
AASHTO 93**

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CUYA SUBRASANTE ESTÁ MEJORADA CON OVER, BAJO METODOLOGÍA AASHTO 93**

**1. Determinación de ESAL de diseño:**

Tipo de vehículos	N° Veh 2 sentidos	N° Veh 1 sentido	N° Veh/año	FC	ESAL para 1 carril	Factor de crecimiento	ESAL de diseño
AP	323.00	161.5	58947.50	0.000581	34.25	11.70	400.86
AC	383.00	191.5	69897.50	0.02508763	1753.56	11.70	20524.26
B2	4.00	2	730.00	3.695969	2698.06	11.70	31578.93
B3-1	1.00	0.5	182.50	1.811709	330.64	11.70	3869.88
B4-1	1.00	0.5	182.50	2.011158	367.04	11.70	4295.91
C2	85.00	42.5	15512.50	3.695969	57333.72	11.70	671052.24
C3	63.00	31.5	11497.50	2.560401	29438.21	11.70	344554.26
C4	31.00	15.5	5657.50	1.831249	10360.29	11.70	121260.17
T2S1	18.00	9	3285.00	6.851269	22506.42	11.70	263422.34
T2S2	19.00	9.5	3467.50	5.715701	19819.19	11.70	231970.20
T2S3	7.00	3.5	1277.50	5.490919	7014.65	11.70	82101.70
T3S1	7.00	3.5	1277.50	5.715701	7301.81	11.70	85462.70
T3S2	2.00	1	365.00	4.580133	1671.75	11.70	19566.68
T3S3	12.00	6	2190.00	4.355351	9538.22	11.70	111638.37
C2R2	1.00	0.5	182.50	10.006569	1826.20	11.70	21374.42
C2R3	1.00	0.5	182.50	8.871001	1618.96	11.70	18948.80
C3R2	1.00	0.5	182.50	8.871001	1618.96	11.70	18948.80
C3R3	1.00	0.5	182.50	7.735433	1411.72	11.70	16523.18
<b>TOTAL</b>	<b>960</b>	<b>480</b>	<b>175200</b>		<b>176643.63</b>		<b>2067493.71</b>

**ESAL                      2.07 x 10<sup>6</sup>**

**2. Crecimiento del tránsito**

$$FC = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Tasa de crecimiento anual (%), r	3.45%	<b>Fc= 11.70</b>
Periodos de diseños en años, n	10	

**3. Carril de diseño**

N° carriles en una dirección	% ESAL en carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**% ESAL                      100%**

**4. Factor de confiabilidad ( R )**

Clasificación funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99.9	80-99.9
Arteriales Principales	80-99	75-95
<b>Colectores</b>	<b>80-95</b>	<b>75-95</b>
Local	50-80	50-80

**Confiabilidad ( R ):                      90.00%                      (Urbano)**

**5. Desviación Estandar Normal (Zr) y Error Estándar (So)**

Confiabilidad (R%)	Desv. Estand. Norm. (Zr)
85.00%	-1.037
<b>90.00%</b>	<b>-1.282</b>
91.00%	-1.34

Variabilidad (So) En Pav. Flexible
Tráfico Medido: 0.44
<b>Tráfico Estimado: 0.49</b>

**Desv. Est. Norm. (Zr):                      -1.282**

**Varianilidad (So): 0.49**

## 6. Pérdida de servicialidad:

Índice de servicialidad Inicial (Po)	4
Índice de servicialidad final (Pt)	2

Variación de Servicialidad ( $\Delta$ PSI):	2
---	---

## 7. Espesor de material de remplazo (Over):

SN Subrasante regular (CBR > 6.00%)	4.62
SN Subrasante inadecuada (CBR:2.90%)	3.61
Coefficiente estructural granular (CBR > 10.00%)	0.038

Espesor adoptado (m)	0.30
----------------------	------

## 7. Módulo resiliente efectivo del suelo:

CBR Prom. Subrasante (95% MDS)	6.45 %
--------------------------------	--------

Mr Subrasante (Psi)	9675.00
---------------------	---------

## 8. CBR (%) de las capas:

CBR de la base granular:	80.00%
CBR de la subbase granular:	40.00%

## 9. Coeficiente de drenaje:

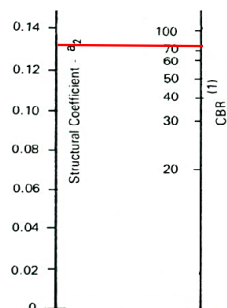
Coeficiente de Drenaje (m2)	1.00
Coeficiente de Drenaje (m3)	1.00

## 10. Coeficiente estructural para Carpeta de Rodadura de asfalto en caliente (a1):

Calidad en el control	a1
Alta	0.44
Media	0.42
Baja	0.4

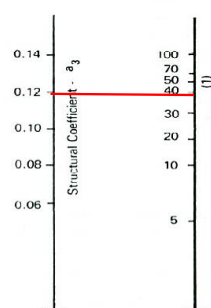
a1	0.44
----	------

## 11. Coeficiente estructural para base no tratada (a2):



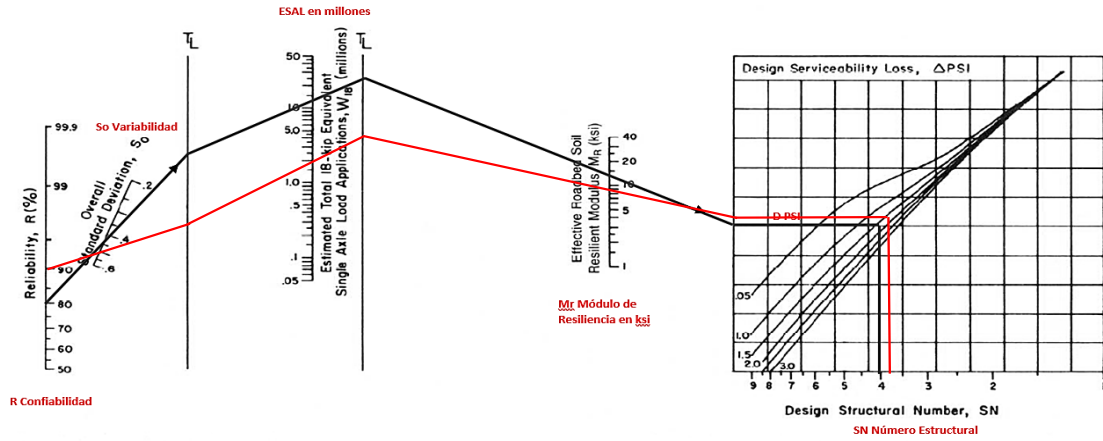
a2=	0.135
-----	-------

## 12. Coeficiente estructural para subbase no tratada (a3):



a3=	0.120
-----	-------

13. Número estructural (SN):



SN	3.80
----	------

14. Espesores de capas:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3$$

SN	3.800
----	-------

a1	0.440
D1	4.000

in

a2	0.135
m2	1.000
D2	8.000

in

a3	0.120
m3	1.000
D3 Calculado	8.000

in

D3 Seleccionado	8.000
-----------------	-------

in

Verificando:

SN	3.80
----	------

Ok

15. Sección transversal del pavimento:

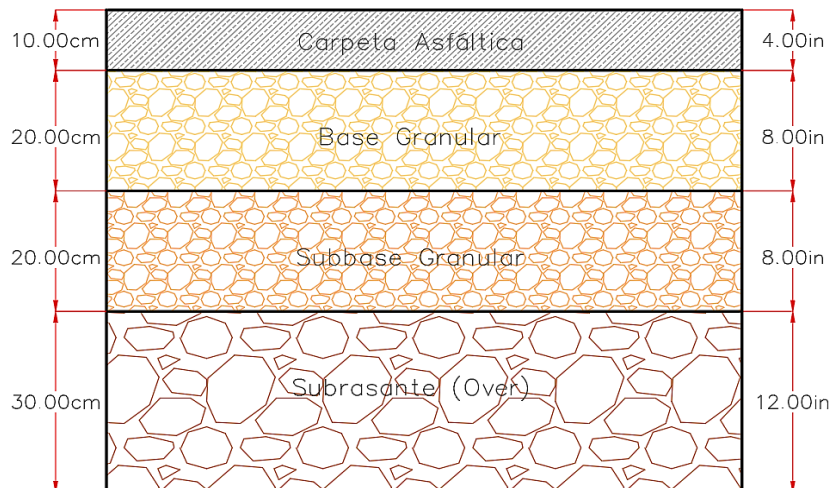


Tabla N°5.1: Diseño de pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con Over. Fuente: Propia

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CUYA SUBRASANTE ESTÁ MEJORADA CON  
70% CAR + 4% CDA, BAJO METODOLOGÍA AASHTO 93**

**1. Determinación de ESAL de diseño:**

Tipo de vehículos	N° Veh 2 sentidos	N° Veh 1 sentido	N° Veh/año	FC	ESAL para 1 carril	Factor de crecimiento	ESAL de diseño
AP	323.00	161.5	58947.50	0.000581	34.25	11.70	400.86
AC	383.00	191.5	69897.50	0.02508763	1753.56	11.70	20524.26
B2	4.00	2	730.00	3.695969	2698.06	11.70	31578.93
B3-1	1.00	0.5	182.50	1.811709	330.64	11.70	3869.88
B4-1	1.00	0.5	182.50	2.011158	367.04	11.70	4295.91
C2	85.00	42.5	15512.50	3.695969	57333.72	11.70	671052.24
C3	63.00	31.5	11497.50	2.560401	29438.21	11.70	344554.26
C4	31.00	15.5	5657.50	1.831249	10360.29	11.70	121260.17
T2S1	18.00	9	3285.00	6.851269	22506.42	11.70	263422.34
T2S2	19.00	9.5	3467.50	5.715701	19819.19	11.70	231970.20
T2S3	7.00	3.5	1277.50	5.490919	7014.65	11.70	82101.70
T3S1	7.00	3.5	1277.50	5.715701	7301.81	11.70	85462.70
T3S2	2.00	1	365.00	4.580133	1671.75	11.70	19566.68
T3S3	12.00	6	2190.00	4.355351	9538.22	11.70	111638.37
C2R2	1.00	0.5	182.50	10.006569	1826.20	11.70	21374.42
C2R3	1.00	0.5	182.50	8.871001	1618.96	11.70	18948.80
C3R2	1.00	0.5	182.50	8.871001	1618.96	11.70	18948.80
C3R3	1.00	0.5	182.50	7.735433	1411.72	11.70	16523.18
<b>TOTAL</b>	<b>960</b>	<b>480</b>	<b>175200</b>		<b>176643.63</b>		<b>2067493.71</b>

**ESAL                      2.07 x 10^6**

**2. Crecimiento del tránsito**

$$FC = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Tasa de crecimiento anual (%), r	3.45%	<b>Fc= 11.70</b>
Periodos de diseños en años, n	10	

**3. Carril de diseño**

N° carriles en una dirección	% ESAL en carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**% ESAL                      100%**

**4. Factor de confiabilidad ( R )**

Clasificación funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99.9	80-99.9
Arteriales Principales	80-99	75-95
<b>Colectores</b>	<b>80-95</b>	<b>75-95</b>
Local	50-80	50-80

**Confiabilidad ( R ):                      90.00%                      (Urbano)**

**5. Desviación Estandar Normal (Zr) y Error Estándar (So)**

Confiabilidad (R%)	Desv. Estand. Norm. (Zr)
85.00%	-1.037
<b>90.00%</b>	<b>-1.282</b>
91.00%	-1.34

Variabilidad (So) En Pav. Flexible
Tráfico Medido: 0.44
<b>Tráfico Estimado: 0.49</b>

**Desv. Est. Norm. (Zr):                      -1.282**

**Varianidad (So): 0.49**

## 6. Pérdida de servicialidad:

Índice de serviciabilidad Inicial ( $P_o$ )	4
Índice de serviciabilidad final ( $P_t$ )	2

Variación de Servicialidad ( $\Delta PSI$ ):	2
--	---

## 7. Módulo resiliente efectivo del suelo:

CBR Subrasante (95% MDS)	9.40 %
Mr Subrasante (Psi)	14100.00

Mr Subrasante (ksi)	14.10
---------------------	-------

## 8. CBR (%) de las capas:

CBR de la base granular:	80.00%
CBR de la subbase granular:	40.00%

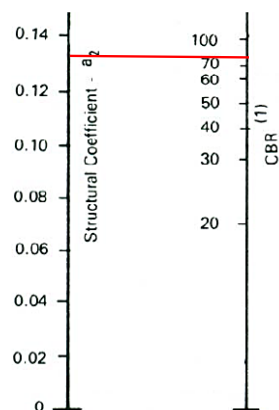
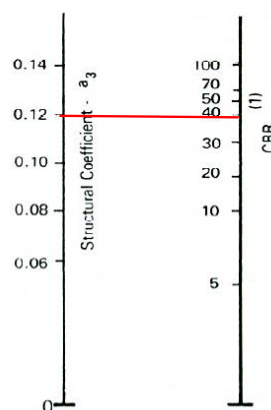
## 9. Coeficiente de drenaje:

Coeficiente de Drenaje ( $m_2$ )	1.00
Coeficiente de Drenaje ( $m_3$ )	1.00

10. Coeficiente estructural para Carpeta de Rodadura de asfalto en caliente ( $a_1$ ):

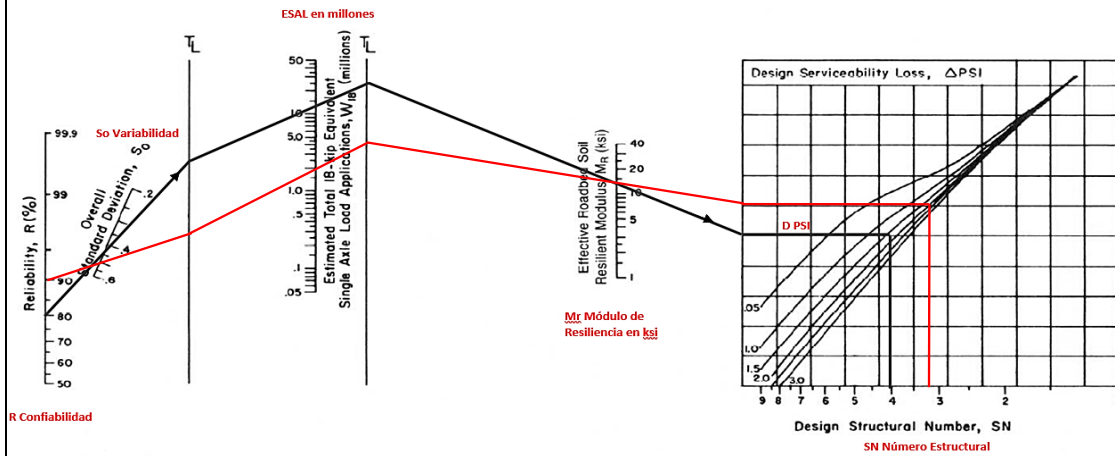
Calidad en el control	$a_1$
Alta	0.44
Media	0.42
Baja	0.4

$a_1$	0.44
-------	------

11. Coeficiente estructural para base no tratada ( $a_2$ ):12. Coeficiente estructural para subbase no tratada ( $a_3$ ):

$a_2 =$	0.135	$a_3 =$	0.120
---------	-------	---------	-------

13. Número estructural (SN):



SN	3.30
----	------

14. Espesores de capas:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

SN	3.300
----	-------

a1	0.440
D1	4.000

in

a2	0.135
m2	1.000
D2	6.000

in

a3	0.120
m3	1.000
D3 Calculado	6.083

in

D3 Seleccionado	6.000
-----------------	-------

in

Verificando:

SN	3.29	Ok
----	------	----

15. Sección transversal del pavimento:

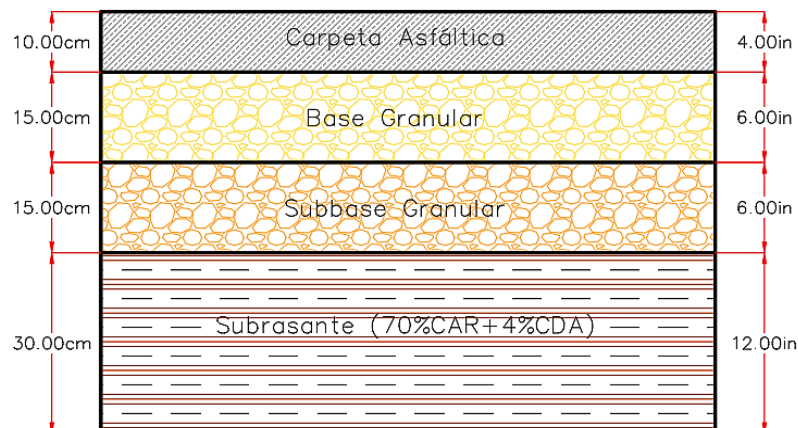


Tabla N°5.2: Diseño de pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con 70%CAR + 4%CDA. Fuente: Propia

# **ANEXO 06: MATRIZ DE LEOPOLD**

MAGNITUD Expresa el grado de alteración potencial de la calidad ambiental del factor considerado, hace referencia a la dimensión, trascendencia y medida del efecto en sí mismo	PAVIMENTO FLEXIBLE - SUBRASANTE MEJORADA CON OVER																		SUMA					
	FASE CONSTRUCCIÓN																							
	OBRA PRELIMINAR		MOVIMIENTO DE TIERRAS						PAVIMENTOS										MAGNITUD	IMPORTANCIA	PONDERADO			
	TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO	ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE		PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0,30m		ESTABILIZACIÓN CON OVER (8 15"), h=0,30m		CONFORMACIÓN DE SUBBASE GRANULAR e=20,00cm		CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR e=20,00cm		IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA		CONFORMACIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=10cm									
M			I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	P		
FACTORES AMBIENTALES	AIRE																							
	EMISIÓN DE GASES	0.00	0.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-3.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-31.00	32.00	-124.00		
	PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN	-1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-17.00	10.00	-19.00		
	EFLUVIOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.00	4.00	-8.00		
	NIVEL DE RUIDO	0.00	0.00	-3.00	3.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-4.00	2.00	-4.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-26.00	17.00	-55.00		
	AGUA																							
	AGUA SUBTERRÁNEA	0.00	0.00	-2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-4.00		
	CALIDAD DE AGUA	0.00	0.00	-2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-4.00		
	SUELO																							
	MORFOLOGÍA	0.00	0.00	-6.00	6.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-16.00	16.00	-58.00		
	CALIDAD DE SUELO	0.00	0.00	-2.00	2.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-8.00	8.00	-10.00		
	FLORA																							
	ARBUSTOS	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00		
	FAUNA																							
	INSECTOS	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00		
	ANIMALES DOMÉSTICOS/ CALLEJEROS	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00		
	CALIDAD VISUAL																							
	PAISAJE URBANO	0.00	0.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-6.00	8.00	-6.00		
	FACTOR ECONÓMICO																							
	EMPLEO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	11.00	10.00	14.00		
	TRANSPORTE	0.00	0.00	-2.00	2.00	1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-13.00	15.00	-27.00		
	COMERCIO	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-8.00	8.00	-8.00		
	UTILIZACIÓN MOMENTÁNEA DE VÍAS	0.00	0.00	-2.00	2.00	-1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-15.00	15.00	-29.00		
	FACTOR HUMANO																							
	CALIDAD DE VIDA	0.00	0.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-18.00	16.00	-36.00		
	SALUD Y SEGURIDAD	0.00	0.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-18.00	16.00	-36.00		
	CONTRIBUCIÓN AMBIENTAL																							
	DISMINUCIÓN DE RESIDUOS	-1.00	1.00	-3.00	3.00	2.00	2.00	-2.00	2.00	-1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-15.00	17.00	-31.00		
	AHORRO DE ENERGÍA	0.00	0.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-6.00	5.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-27.00	26.00	-93.00		
	RECICLAJE	0.00	0.00	-2.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-6.00	4.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-17.00	12.00	-41.00		
MAGNITUD	-1.00		-41.00		-13.00		-29.00		-33.00		-32.00		-32.00		-36.00		-36.00							
IMPORTANCIA	3.00		42.00		21.00		29.00		34.00		31.00		31.00		32.00		32.00							
PONDERADO	-1.00		-117.00		-36.00		-60.00		-92.00		-70.00		-70.00		-75.00		-75.00				-596.00			

Tabla N°6.1: Matriz de Leopold en pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con Over. Fuente: Propia

<b>MAGNITUD</b> Expresa el grado de alteración potencial de la calidad ambiental del factor considerado, hace referencia a la dimensión, trascendencia y medida del efecto en sí mismo  <b>IMPORTANCIA</b> Valor ponderal que proporciona el peso relativo del efecto potencial y refleja la significación y relevancia del mismo, así como la extensión o parte del entorno afectado		PAVIMENTO FLEXIBLE - SUBRASANTE MEJORADA CON 70%CAR MÁS 4%CDA																								SUMA					
		FASE CONSTRUCCIÓN																													
		PRODUCCIÓN DE ESTABILIZANTES								OBRA PRELIMINAR		MOVIMIENTO DE TIERRAS								PAVIMENTOS											
		RECOLECCIÓN DE CAR		OBTENCIÓN DE AGREGADOS DE CAR		COMPRA DEL ASERRÍN		OBTENCIÓN DE CENZAS DE ASERRÍN (CDA)		TRAZO REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS		CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN MATERIAL SUELTO		ELIMINACIÓN EXTERNA DE MATERIAL EXCEDENTE		BATIDO DE MATERIAL NATURAL CON 70%CAR + 4%CDA		PERFILADO NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE e=0.30m		CONFORMACIÓN DE SUBBASE GRANULAR e=15cm		CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR e=15cm		IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA		CONFORMACIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=10cm		MAGNITUD	IMPORTANCIA	PONDERADO	
M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	P			
<b>AIRE</b>																															
EMISIÓN DE GASES		-1.00	1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	0.00	0.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-4.00	4.00	-36.00	36.00	-134.00	
PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN		-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-2.00	2.00	-1.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-2.00	1.00	-22.00	14.00	-24.00	
EFLUVIOS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-4.00	4.00	-8.00		
NIVEL DE RUIDO		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-24.00	16.00	-48.00	
<b>AGUA</b>																															
AGUA SUBTERRÁNEA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	
CALIDAD DE AGUA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	
<b>SUELO</b>																															
MORFOLOGÍA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.00	5.00	0.00	0.00	-3.00	3.00	-1.00	1.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-18.00	17.00	-60.00	
CALIDAD DE SUELO		3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-6.00	11.00	-7.00	
<b>FLORA</b>																															
ARBUSTOS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00	
<b>FAUNA</b>																															
INSECTOS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00	
ANIMALES DOMÉSTICOS/ CALLEJEROS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	7.00	-7.00	
<b>CALIDAD VISUAL</b>																															
PAISAJE URBANO		3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-3.00	12.00	6.00	
<b>FACTOR ECONÓMICO</b>																															
EMPLEO		3.00	2.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	17.00	15.00	23.00	
TRANSPORTE		2.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-10.00	18.00	-22.00	
COMERCIO		0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-7.00	9.00	-7.00	
UTILIZACIÓN MOMENTÁNEA DE VÍAS		1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-1.00	1.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-14.00	16.00	-28.00	
<b>FACTOR HUMANO</b>																															
CALIDAD DE VIDA		3.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-14.00	20.00	-30.00	
SALUD Y SEGURIDAD		1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	-19.00	18.00	-38.00	
<b>CONTRIBUCIÓN AMBIENTAL</b>																															
DISMINUCIÓN DE RESIDUOS		7.00	6.00	6.00	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	-1.00	1.00	-4.00	3.00	2.00	2.00	4.00	4.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	10.00	39.00	89.00	
AHORRO DE ENERGÍA		3.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-4.00	3.00	-4.00	3.00	3.00	4.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-3.00	3.00	-13.00	32.00	-38.00	
RECICLAJE		7.00	6.00	6.00	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	0.00	0.00	-3.00	3.00	0.00	0.00	4.00	4.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-3.00	2.00	-3.00	2.00	13.00	33.00	98.00	
<b>MAGNITUD</b>		31.00		16.00		13.00		4.00		-1.00		-42.00		-14.00		-17.00		-29.00		-31.00		-31.00		-36.00		-36.00					
<b>IMPORTANCIA</b>		31.00		17.00		15.00		14.00		3.00		39.00		21.00		38.00		29.00		31.00		31.00		32.00		32.00					
<b>PONDERADO</b>		127.00		73.00		53.00		12.00		-1.00		-113.00		-39.00		-17.00		-60.00		-68.00		-68.00		-75.00		-75.00				-251.00	

Tabla N°6.2: Matriz de Leopold en pavimento flexible cuya subrasante está mejorada con 70%CAR + 4%CDA. Fuente: Propia

**ANEXO 07:  
SUSTENTACIÓN DE  
RESULTADOS DE  
LABORATORIO**

**ANEXO 08: PLANO DE  
UBICACIÓN DE  
CALICATAS**