

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



**Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada
con geoceldas y agregados reciclados de construcción**

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

AUTOR

Emanuel Fernando Calderon Cardozo

ASESOR

Angel Alberto Lorren Palomino

<https://orcid.org/0000-0002-6432-3453>

Chiclayo, 2026

**Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente
reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción**

PRESENTADA POR

Emanuel Fernando Calderon Cardozo

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Mario Antonio Martínez Fiestas

PRESIDENTE

Lucas Ludeña Gutierrez

SECRETARIO

Angel Alberto Lorren Palomino

VOCAL

Dedicatoria

Dedico mi proyecto a mis Padres Hugo y Jenny, cuyo amor y apoyo han sido la base y el fundamento para poder concluir mis estudios profesionales, enseñándome que todo sacrificio, esfuerzo y dedicación tiene su recompensa. De igual manera, agradecer a mi hermana por su motivación constante en esta etapa de mis estudios profesionales.

Agradecimientos

Quiero agradecer primero a nuestros Dios todo poderoso, por concederme la sabiduría, e iluminar mi camino cada día y darme la fortaleza para vencer cualquier obstáculo; así como a mis queridos Padres, por su apoyo incondicional y motivación constante, de igual forma a mis familiares, amigos, técnicos de laboratorio y a mi profesores como el docente de tesis el Ingeniero Atilio Rubén López Carranza y mi asesor el Ingeniero Ángel Alberto Lorren Palomino, quienes contribuyeron de una y otra forma para poder lograr la profesión que anhelaba.

Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de la construcción

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	14
Abstract	15
Introducción.....	16
Revisión de literatura.....	19
Materiales y métodos	50
Resultados y discusión	86
Conclusiones	119
Recomendaciones	124
Referencias.....	125
Anexos	128

Lista de Tablas

TABLA I TAMAÑO DE PARTÍCULAS PARA CLASIFICACION DEL SUELO.....	27
TABLA II CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN SU INDICE DE PLASTICIDAD	28
TABLA III CORRELACIÓN DE TIPOS DE SUELOS AASHTO – SUCS	28
TABLA IV RESIDUOS PELIGROSOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN.....	41
TABLA V RESIDUOS NO PELIGROSOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN.....	42
TABLA VI REQUISITOS DE CALIDAD PARA EL AFIRMADO.....	43
TABLA VII CATEGORIA DE SUBRASANTE.....	47
TABLA VIII REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA SUBBASE GRANULAR.....	48
TABLA IX VARIABLE INDEPENDIENTE	53
TABLA X VARIABLE DEPENDIENTE.....	54
TABLA XI VARIABLES INTERVINIENTES	54
TABLA XII ENSAYOS PARA CLASIFICACION, CAPACIDAD DE SOPORTE Y DEFLEXION	55
TABLA XIII METODOLOGIA PARA SELECCIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADO RECICLADO (AR)	68
TABLA XIV METODOS PARA ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	73
TABLA XV PESO RETENIDO EN PORCENTAJE DEL AGREGADO NATURAL.....	74
TABLA XVI PROPORCIONES DEL AGREGADO PARA EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	74
TABLA XVII CANTIDADES PARA LA COMBINACION 50% AR + 50% AF.....	74
TABLA XVIII CANTIDADES PARA LA COMBINACION 60% AR + 40% AF	75
TABLA XIX CANTIDADES PARA LA COMBINACION 70% AR + 30% AF	75
TABLA XX EJEMPLOS DE EALs DE DISEÑO	77
TABLA XXI CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL.....	86
TABLA XXII DISTRIBUCION GRANULOMÉTRICA DEL SUELO NATURAL	86
TABLA XXIII LIMITES DE ATTERBERG DEL SUELO NATURAL	87
TABLA XXIV CLASIFICACION DEL SUELO NATURAL.....	88
TABLA XXV RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO NATURAL....	88
TABLA XXVI VALOR DE CBR DEL SUELO NATURAL	89
TABLA XXVII CANTIDAD DE SALES SOLUBLES EN LOS AGREGADOS RECICLADOS	90
TABLA XXVIII CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF.	90
TABLA XXIX DISTRIBUCIÓN DE GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF	91

TABLA XXX LIMITES DE ATTERBERG DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF	92
TABLA XXXI CLASIFICACION AASHTO Y SUCS DE LA MUESTRAS DE AR Y AF.....	94
TABLA XXXII EQUIVALENTE DE ARENA EN LAS MUESTRAS DE AR Y AF.....	94
TABLA XXXIII RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA AFIMADO.....	96
TABLA XXXIV RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 50%AR + 50%AN ..	96
TABLA XXXV RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 60%AR + 40%AN....	96
TABLA XXXVI RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 70%AR + 30%AN ..	97
TABLA XXXVII RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA SUELO NATURAL .	98
TABLA XXXVIII RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA AFIRMADO.....	99
TABLA XXXIX RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 50%AR + 50%AF.....	100
TABLA XL RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 60%AR + 40%AF.....	101
TABLA XLI RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 70%AR + 30%AF.....	102
TABLA XLII CBR AL 0.1” DE TRAMOS REFORZADOS CON GEOCELDAS CON AR Y AF.....	103
TABLA XLIII LECTURAS DE CARRIL DERECHO – TRAMO CON AFIRMADO (AF) ..	105
TABLA XLIV LECTURAS DE CARRIL IZQUIERDO – TRAMO CON AFIRMADO (AF)	105
TABLA XLV LECTURAS DE CARRIL DERECHO – TRAMO CON 60%AR+40%AF.....	106
TABLA XLVI LECTURAS DE CARRIL IZQUIERDO – TRAMO CON 60%AR+40%AF ..	106
TABLA XLVII PROMEDIO Y REDUCCION DE DEFLEXIONES POR TRAMO CONSTRUIDO.	107
TABLA XLVIII ACU DE TRANSPORTE DE AGREGADO RECICLADO	108
TABLA XLIX ACU DE PRODUCCION DE AGREGADO RECICLADO TRITURADO.....	108
TABLA L TIPO DE VIAS SEGÚN SUS EJES EQUIVALENTES.....	109
TABLA LI ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.10 m.....	110
TABLA LII ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.20 m	111
TABLA LIII ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.30 m.....	111
TABLA LIV ACU - BASE GRANULAR E= 0.15 m.....	111
TABLA LV ACU - BASE GRANULAR E= 0.20 m	112
TABLA LVI ACU - BASE GRANULAR E= 0.25 m.....	112
TABLA LVII ACU - BASE GRANULAR E= 0.35 m.....	112
TABLA LVIII ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.08 m.....	113
TABLA LIX ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.10 m	113

TABLA LX ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.15 m.....	113
TABLA LXI ACU –REFORZAMIENTO CON GEOCELDAS E= 0.20 m.....	114

Lista de Figuras

Fig. 1. Clasificación AASTHO [2].....	25
Fig. 2. Clasificación SUCS [2].....	26
Fig. 3. Curva granulométrica del suelo [21].....	27
Fig. 4. Esquema de máquina de los Ángeles [22].	34
Fig. 5. Curva para el cálculo de índice de CBR [22].....	36
Fig. 6. Esquema del dispositivo DCP [23].	38
Fig. 7. Correcciones de curvas de esfuerzo de penetración [22].....	39
Fig. 8. Residuos de la construcción y demolición [24].	41
Fig. 9. Sistema de confinamiento celular (geoceldas) [29].	44
Fig. 10. Tamaño de la celda [30].....	45
Fig. 11. Funcionamiento del sistema de geoceldas [31].	46
Fig. 12. Estructura de pavimento flexible [32].....	47
Fig. 13. Ubicación de la subrasante de estudio.	50
Fig. 14. Mapa geotécnico de Chiclayo [34].	51
Fig. 15. Adquisición de rollos de geocelda.	56
Fig. 16. Recolección de conectores en T.....	56
Fig. 17. Transporte de geoceldas hacia nuestra localidad.	56
Fig. 18. Excavación de calicata en zona de estudio.	57
Fig. 19. Profundidad de la excavación	57
Fig. 20. Perfil estratigráfico de calicata C-1.....	58
Fig. 21. Cuarteo de la muestra.....	58
Fig. 22. Muestra húmeda para ensayo.....	58
Fig. 23. Secado al horno.....	58
Fig. 24. Lavado por la malla N°200.....	59
Fig. 25. Tamizado de la muestra natural.	59
Fig. 26. Colocación de la muestra en Copa de Casagrande.	59
Fig. 27. Muestras en húmedo según rango de golpes.....	59
Fig. 28. Amasado de la muestra.	60
Fig. 29. Rollitos de forma cilíndrica.	60
Fig. 30. Peso de molde 4” vacío.....	60
Fig. 31. Compactación de la muestra.	60
Fig. 32. Peso del molde 4” compactado.	60
Fig. 33. Preparación de la muestra CBR.	61

Fig. 34. Compactación del molde de CBR.....	61
Fig. 35. Medición de la expansión.	62
Fig. 36. Inmersión de los moldes CBR.	62
Fig. 37. Lectura de penetración en la prensa.	62
Fig. 38. Etapa final de penetración CBR.....	62
Fig. 39. Inspección del agregado natural.....	63
Fig. 40. Recolección de agregado natural para ensayos en laboratorio.	63
Fig. 41. Ubicación de la zona de RCD seleccionado.	63
Fig. 42. Residuos de construcción y demolición en la zona.....	64
Fig. 43. Recolección de agregado reciclado.....	64
Fig. 44. Transporte de agregado reciclado.	64
Fig. 45. Agregado reciclado en la chancadora.	64
Fig. 46. Inicio de la trituración del agregado reciclado.....	65
Fig. 47. Obtención de agregado reciclado por tamaños de 3/4, 1/2, mixto y arena.	65
Fig. 48. Transporte del agregado reciclado triturado hacia la zona de estudio.	66
Fig. 49. Depósito de agregado reciclado.	66
Fig. 50. Muestra retenida y pasante del Tamiz N° 10.	67
Fig. 51. Muestra en reposo 24 horas.	67
Fig. 52. Filtración de las sales.	67
Fig. 53. Beaker con la cantidad de sales.....	67
Fig. 54. Cuarteo de agregado natural.	69
Fig. 55. Cuarteo de agregado reciclado.....	69
Fig. 56. Muestra de agregados por separado para hallar el contenido de humedad.	69
Fig. 57. Combinaciones de AR y AF para encontrar el contenido de humedad.	69
Fig. 58. Combinación de AR y AF para ensayo de granulometría.	70
Fig. 59. Muestra separada por gruesos y finos.	70
Fig. 60. Tamizado del agregado.	70
Fig. 61. Pesos retenidos por cada tamiz.	70
Fig. 62. Muestras de AR y AF pasadas por el tamiz N°10.	71
Fig. 63. Combinaciones de AR y AF para aplicarlas en la Copa de Casagrande.....	71
Fig. 64. Muestras de L.L. secas de la combinación de agregados.....	71
Fig. 65. Muestras de L.P. secas de la combinación de agregados.....	71
Fig. 66. Muestras de agregados para equivalente de arena.	72
Fig. 67. Preparación de la solución.	72

Fig. 68. Colocación del material en cilindro graduado.	72
Fig. 69. Cilindros graduados con sus muestras para su posterior lectura.....	72
Fig. 70. Secado del agregado tamizado por 24 horas.	73
Fig. 71. Muestras y esferas para el ensayo de abrasión.....	73
Fig. 72. Maquina Los Ángeles.	73
Fig. 73. Pesaje de la muestra sometida al desgaste.	73
Fig. 74. Preparación de muestra de 5.6 Kg para Proctor Modificado.	75
Fig. 75. Combinación de AR + AF.	76
Fig. 76. Saturación de la mezcla de AR + AF.	76
Fig. 77. Compactación de la mezcla de AR+ AF.	76
Fig. 78. Peso del molde de AR + AF compactado.	76
Fig. 79. Espesores de capas para la excavación de tramos de prueba.	77
Fig. 80. Modelo de tramos experimentales para ensayo DCP.	78
Fig. 81. Excavación de tramo experimental.	78
Fig. 82. Instalación de geoceldas.....	78
Fig. 83. Pesaje de AR y AF.	79
Fig. 84. Preparación de la muestra de AR y AF.	79
Fig. 85. Vaciado del material en geoceldas.	79
Fig. 86. Distribución homogénea del material.	79
Fig. 87. Compactación del tramo experimental.	79
Fig. 88. Capa reforzada con geoceldas compactada para ensayo DPC.	79
Fig. 89. Montaje de equipo DCP.	80
Fig. 90. Posicionamiento del equipo DCP.	80
Fig. 91. Penetración del equipo DCP.	80
Fig. 92. Registro de golpes y profundidad.	80
Fig. 93. Modelo para la ejecución de tramo de prueba.	81
Fig. 94. Excavación de tramo con retroexcavadora	81
Fig. 95. Subrasante nivelada y compactada.	81
Fig. 96. Instalación de uniones en T para geoceldas.	82
Fig. 97. Tendido de geoceldas en el tramo.	82
Fig. 98. Mezclado de 5m ³ agregado reciclado y 4m ³ afirmado.	82
Fig. 99. Adición del porcentaje de agua para el afirmado.	82
Fig. 100. Adición del porcentaje de agua para la combinación 60% AR+40% AF.	83
Fig. 101. Batido de los materiales granulares humedecidos.	83

Fig. 102. Llenado de geoceldas con maquinaria.	83
Fig. 103. Nivelación del material granular.	83
Fig. 104. Compactación del tramo con rodillo vibratorio.	83
Fig. 105. Capa reforzada con geoceldas lista para ensayos de campo.	83
Fig. 106. Densidad en tramos reales.	84
Fig. 107. Instalación del equipo CBR in situ.	84
Fig. 108. Toma de lecturas de diales en tramo conformado por 60% AR+40% AF.	84
Fig. 109. CBR in situ en segmento conformado por afirmado.	84
Fig. 110. Armado de Viga Benkelman.	85
Fig. 111. Toma de lectura de diales.	85
Fig. 112. Deflexiones en tramo con (60% AR+40% AF).	85
Fig. 113. Deflexiones en tramo con afirmado (AF).	85
Fig. 114. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceldas para una vía local.	109
Fig. 115. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceldas para una vía colectora.	110
Fig. 116. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceldas para una vía expresa.	110
Fig. 117. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 750 000 EE.	114
Fig. 118. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geoceldas con 750 000 EE.	115
Fig. 119. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 3 000 000 EE.	115
Fig. 120. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geoceldas con 3 000 000 EE.	116
Fig. 121. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 25 000 000 EE.	116
Fig. 122. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geoceldas con 25 000 000 EE.	117

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Estrategia para demostrar hipótesis.....	52
Gráfico 2. Curva granulométrica del suelo natural.	87
Gráfico 3. Límites de Atterberg del suelo Natural.	87
Gráfico 4. Curva de compactación del suelo natural.....	88
Gráfico 5. Valor de CBR del suelo natural al 95% y 100% de M.D.S.	89
Gráfico 6. Curva granulométrica del afirmado (AF).....	91
Gráfico 7. Curva granulométrica de las combinaciones de AR y AF.	92
Gráfico 8. Límites de Atterberg del afirmado y mezclas de AR con AF.	93
Gráfico 9. Línea tendencia del I.P. de afirmado y combinaciones de AR con AF.	93
Gráfico 10. Porcentajes de equivalente de arena en el afirmado y mezclas de AR y AF	94
Gráfico 11. Porcentaje de abrasión del afirmado y combinaciones de AR y AF.....	95
Gráfico 12. Curva de compactación de afirmado y mezclas de AR con AF.....	97
Gráfico 13. Curva CBR para el suelo natural con el ensayo D.C.P.	98
Gráfico 14. Curva CBR para el afirmado con el ensayo D.C.P.	99
Gráfico 15. Curva CBR de la mezcla (50%AR + 50%AF) con el ensayo D.C.P.	100
Gráfico 16. Curva CBR de la mezcla (60%AR + 40%AF) con el ensayo D.C.P.	101
Gráfico 17. Curva CBR de la mezcla (70%AR + 30%AF) con el ensayo D.C.P.	102
Gráfico 18. Línea tendencia del valor de CBR de las combinaciones de AR y AF.....	103
Gráfico 19. Curvas de carga (kg/cm ²) vs penetración (mm) para los materiales granulares.	104
Gráfico 20. Línea de tendencia de CBR al 0.1” de afirmado y AR + AF.	104
Gráfico 21. Comparación de deflexiones en carril derecho	106
Gráfico 22. Comparación de deflexiones en carril izquierdo.....	107
Gráfico 23. Comparación de costos para secciones con diferentes tipos ejes equivalentes (EE)	118
Gráfico 24. Comparación de costos para una vía expresa sin reforzar y reforzada con geoceldas rellenas de afirmado.....	118

Resumen

Este estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad de soporte en una subrasante insuficiente al emplear geoceldas rellenas con agregados reciclados de la construcción. Para ello, se realizó una metodología experimental comparando mezclas en proporciones de afirmado (AF) y agregados reciclados (AR) como 100% AF, 50% AR - 50% AF, 60% AR - 40% AF y 70% AR - 30% AF. Posteriormente, en laboratorio se realizaron ensayos de clasificación y compactación, cuyos resultados sirvieron de base para aplicar el ensayo DCP y determinar el CBR en un prototipo experimental. La mezcla de 60 % AR y 40 % AF obtuvo el mayor valor de CBR (33.63 %), por lo que fue seleccionada para la construcción de un tramo real, donde el CBR in situ alcanzó un 21.10 % con geoceldas y afirmado, y un 24.90 % al emplear geoceldas con la mezcla óptima de AR y AF. Esta última mostró un comportamiento más rígido estructuralmente con menor deflexión 1.11 mm contra 1.76 mm del tramo reforzado con afirmado. Si bien el uso de agregados reciclados es técnicamente posible, no resulta favorable por el costo elevado de producción al ser implementado a gran escala. Al final se concluye que las geoceldas como sistema de confinamiento lateral, en combinación con una mezcla granular que contenga agregados reciclados, mejoran significativamente el valor de la capacidad de soporte en subrasantes de baja resistencia.

Palabras clave: Geoceldas, Agregados reciclados, Capacidad de soporte, CBR in situ.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the bearing capacity of an insufficient subgrade when using geocells filled with recycled construction aggregates. For this purpose, an experimental methodology was carried out by comparing mixtures in proportions of aggregate (AF) and recycled aggregates (AR) such as 100% AF, 50% AR - 50% AF, 60% AR - 40% AF and 70% AR - 30% AF. Subsequently, grading and compaction tests were carried out in the laboratory, the results of which served as the basis for applying the DCP test and determining the CBR in an experimental prototype. The mixture of 60 % RA and 40 % FA obtained the highest CBR value (33.63 %), which is why it was selected for the construction of a real section, where the in situ CBR reached 21.10 % with geocells and aggregate, and 24.90 % when using geocells with the optimum mixture of RA and FA. The latter showed a structurally stiffer behavior with a lower deflection of 1.11 mm compared to 1.76 mm for the section reinforced with aggregate. Although the use of recycled aggregates is technically possible, it is not favorable due to the high cost of production when implemented on a large scale. In the end, it is concluded that geocells as a lateral confinement system, in combination with a granular mix containing recycled aggregates, significantly improve the bearing capacity value in low strength subgrades.

Keywords: Geocells, Recycled aggregates, Bearing capacity, In-situ CBR.

Introducción

La infraestructura vial es un componente esencial para el desarrollo económico de una nación, este punto se cuantifica por la calidad y durabilidad de sus carreteras. Un factor importante es la capacidad de soporte de la subrasante, ya que es la encargada de recibir y distribuir la carga transmitida por los vehículos en el pavimento. Sin embargo, muchos suelos no cumplen el requerimiento mínimo para su uso en la construcción vial. Cuando nos referimos a suelos insuficientes para la construcción de carreteras, estamos hablando de aquellos con baja resistencia, como los que contienen arcillas. Estos tipos de suelo presentan grandes desafíos tanto en el aspecto estructural como geotécnico a nivel global, lo que provoca fallas en las obras viales terrestres. En Lambayeque, los suelos que predominan son los conformados por arena arcillosos con un CBR por debajo 6%, por lo cual debe emplearse técnicas de estabilización y mejoramiento para tener un suelo apto. En las últimas décadas, diversos investigadores han comprobado los beneficios del refuerzo de geoceldas para aumentar la capacidad de soporte de los lechos de suelo [1]. Las geoceldas son estructuras tridimensionales de confinamiento celular principalmente de láminas de polietileno de alta densidad o polímeros combinados con paredes perforadas, que tienen la capacidad de expandirse en el lugar de instalación para formar una configuración similar a la de un panel. La finalidad de instalar geoceldas es mejorar la capacidad portante del suelo actual, con el propósito de obtener ventajas durante la realización del proyecto, como una ejecución más rápida, reducción de costos menorando los espesores de capas, mejoras en la infraestructura vial y un impacto ambiental positivo al sustituir gran cantidad de material granular.

El manual de carreteras del Perú, tiene en cuenta dos métodos para mejorar el suelo, el estabilizar la subrasante cuando su capacidad de soporte es insuficiente y otra al mejorar el material de las capas para crear una subbase o base granular tratada [2]. En ambos escenarios, enumera los geosintéticos como una posible solución que puede ayudar a elevar el valor de soporte CBR y permitir acelerar el drenaje entre la subbase y la capa base. Aun así, los geosintéticos que se refiere el manual son geomallas y geotextiles, los cuales son sistemas bidimensionales, pero no enfatizan sobre el uso de estructuras tridimensionales como las geoceldas, por tanto, se necesita comprobar su aporte mediante ensayos previos. Un sistema geocell comúnmente para que funcionen estructuralmente debe ir relleno con material de préstamo, el más utilizado es el afirmado convencional. Sin embargo, en esta investigación planteamos el uso de agregados reciclado provenientes de residuos de la construcción y

demolición, los cuales se pueden utilizar nuevamente para estabilizar una subrasante logrando ser agradable con el ambiente [3]. Puesto que con el uso adecuado de este tipo de áridos se pueden eludir importantes movimientos de tierras y minorar la explotación en las canteras. Actualmente no existen estadísticas actualizadas sobre el volumen y la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en el Perú. Según Carbajal [4], nos indica que la industria de la construcción representa aproximadamente el 30% de los residuos sólidos generados, esto se traduce que al pasar los años el rubro de la construcción aumentará generando un mayor porcentaje de RCD. Según el INEI [5], la Municipalidad Provincial de Chiclayo, carece de datos recientes sobre la cantidad de desechos no municipales, ya que la informalidad en las obras dificulta su continuo registro. Asimismo, indico que los residuos sólidos son llevados a botaderos al aire libre sin una gestión previa para reciclar ciertos materiales, lo que resulta en la formación de puntos críticos en la región. Es por eso que debido a la problemática persistente en la provincia de Chiclayo y en búsqueda de una nueva alternativa de solución, la presente tesis busca evaluar la influencia de los agregados reciclado como material de relleno en geoceldas con el propósito de mejorar la capacidad de soporte en la subrasante. Por ello, surge la pregunta ¿Cómo influyen en la capacidad de soporte las geoceldas incorporando agregados reciclados como material de relleno en una subrasante insuficiente en el distrito de La Victoria?

Por tanto, se desarrolló como objetivo general: Evaluar la capacidad de soporte de la subrasante insuficiente empleando geoceldas rellenas con agregados reciclados. De los cuales surgieron los siguientes objetivos específicos: estimar el valor de capacidad de soporte (CBR) comparando geoceldas rellenas con afirmado y agregados reciclados, según la normativa ASTM D6951; estimar el CBR in situ de los tramos de prueba con afirmado y agregado reciclados como material de relleno en geoceldas, mediante ensayo para determinar CBR en terreno según MTC (2014) E 133; determinar las deflexiones con viga Benkelman en los tramos de prueba reforzado con geoceldas, para evaluar la efectividad entre los materiales de relleno a nivel de subrasante MTC (2014) E 1002; y por ultimo evaluar los costos de producción y transporte de los agregados reciclados para su utilización como material de relleno en geoceldas. De esta manera, se busca comprobar que la utilización de agregados reciclados como material de relleno en geoceldas mejora la capacidad de soporte (CBR) de una subrasante insuficiente, proponiendo así una hipótesis técnica y sostenible frente a los métodos convencionales.

En cuanto a su justificación, esta investigación se sustenta en los siguientes aspectos: según su aspecto técnico, tiene como propuesta mejorar la capacidad de soporte de subrasante

insuficientes, puesto que se ha convertido en un desafío clave en proyectos de infraestructura vial, especialmente en áreas donde los suelos naturales no cumplen con las propiedades mecánicas adecuadas para soportar cargas dinámicas; según su justificación social, pues al fortalecer las subrasantes mediante esta técnica, se mejora la durabilidad y capacidad de soporte de las vías, lo que facilita el acceso a la zona, incrementando la inclusión social y mejorando la calidad de vida de los habitantes; según su aspecto económico, al utilizar geoceldas para estabilizar subrasantes se presenta como una alternativa más rentable en comparación con los métodos convencionales, ya que disminuye los espesores del pavimento mejorando su capacidad de soporte, incluso hasta no necesitar una subbase. Asimismo, el uso de áridos reciclados logra disminuir los presupuestos para estabilizar subrasantes, ya que los principales costos involucrados serán los de trituración del material y transporte hasta el sitio; desde el punto de vista ambiental, las geoceldas cumplen con altos estándares que garantizan la protección del medio ambiente, esto los posicionan como una opción más agradable con el entorno a diferencia de otras técnicas de estabilización. Además, al utilizar agregados reciclados se busca reducir la acumulación de residuos de la construcción en diferentes puntos críticos a cielo abierto, los cuales generan una contaminación de tipo ambiental y visual, arruinando el panorama de la región.

Revisión de literatura

Antecedentes

Baadiga et al. [6] “ **Comportamiento de pavimentos no pavimentados estabilizados con geomallas y geoceldas sobre diferentes condiciones de subrasante bajo carga monótona**”

En su artículo de investigación, buscó determinar la conducta de una subrasante sin estabilizar y estabilizada mediante geosintéticos. Para este estudio se utilizó geomallas de PP y PET, asimismo geoceldas HDPE con alturas variables (75mm, 100mm, 150mm y 200mm). Entre sus resultados se obtuvo que la tensión a nivel de la subrasante para las geomallas se redujo hasta un 61% y para las geoceldas un 78%. Además, se comprobó que los ángulos de distribución de carga para subrasantes estabilizadas fueron mayores a las sin estabilizar, para las geomallas y geoceldas osciló entre 29 a 53% y 30 a 55% respectivamente. Se concluye que al utilizar una geomalla más rígida y una altura superior de geocelda se obtienen rendimientos superiores.

Khan et al. [7] “**Pavimento sostenible con una capa base de asfalto reciclado (RAP) reforzada con geoceldas**”

El objetivo de esta investigación es optimizar el desempeño del material de pavimento asfáltico recuperado (RAP) junto con geoceldas. El proyecto consistió en analizar cómo se comporta el pavimento en relación a la formación de surcos y grietas. Además de determinar el módulo de la capa base mediante el ensayo de pruebas del deflectómetro de caída de peso (FWD). Se construyeron tres tramos de prueba donde se empleó geoceldas (GRRB) de 0.15, 0.20, 0.30 m de espesor, las cuales reemplazaron la capa base de una carretera. Los resultados indicaron que el uso de geoceldas rellenas con RAP disminuyó la deformación permanente en un 36% en comparación con la sección sin refuerzo. Asimismo, proporcionó un soporte uniforme donde se mejoró el control de agrietamiento longitudinal ascendente en los tramos de prueba. Los datos obtenidos del ensayo FWD mostraron un aumento del 20% en la rigidez de la capa GRRB con la utilización de geoceldas. Asimismo, el costo de emplear la capa GRRB fue un 22,9% más económico que el de la capa base flexible convencional.

Duddu et al. [8] **“Evaluación de campo del módulo de deformación de suelos de subrasante estabilizados con geoceldas y geomallas”**

En su investigación, relaciona el módulo de deformación en diferentes subrasantes estabilizadas con geosintéticos como las geoceldas y geomallas. Estas pruebas se llevaron a cabo in situ con el dispositivo deflectómetro de peso descendente (FWD). Los resultados mostraron que las geoceldas alcanzaron el mayor valor para el módulo de deformación con 114.8 MPa, mientras que las geomallas biaxiales y triaxiales obtuvieron valores de 86.2 MPa y 89.5 MPa respectivamente. El estudio concluye que esta mejora se debe a la acción de confinamiento generada por los alveolos de las geoceldas y a la rigidez proporcionada por las geomallas, lo cual resulta evidente bajo cargas dinámicas. Esto resalta la importancia de los geosintéticos en el fortalecimiento del comportamiento y la capacidad de soporte de la subrasante.

Gottumukkala et al. [9] **“Evaluaciones de laboratorio y de campo de bases reforzadas con geoceldas para material disponible localmente en la región del Himalaya”**

El motivo de este estudio, fue implementar un pavimento en zonas de gran altitud reforzado con geoceldas, utilizando material cercano al lugar, para realizar comparativas entre los ensayos de laboratorio con los de campo. Las secciones para pruebas de laboratorio fueron sometidos a placas de carga cíclica, los cuales estuvieron compactados al 80%, 90% y 95%. Los resultados indicaron que la deformación permanente en la capa base se redujo del 10% a 30%. Además, se crearon tramos de prueba en espacios específicos con el fin de hallar el valor del CBR in situ en las capas del pavimento, donde se reveló que al utilizar solo el material granular se llegó a un CBR de 60 %, en cambio al efectuar el ensayo sobre la sección reforzada con geoceldas se obtuvo un valor de 112% de CBR. Al término de la investigación, concluyó que las pruebas de campo para la sección con geoceldas fueron más relevantes y presentaron valores más significativos que los ensayos de laboratorio, siendo estos adecuados para su uso como factor en el diseño de pavimentos.

Banerjee et al. [10] **“Investigación experimental de la geometría de la geocelda sobre el comportamiento del pavimento flexible bajo cargas repetidas”**

El estudio tuvo como objetivo analizar las diferentes configuraciones geométricas de las geoceldas en favor a su aplicación en pavimento, se realizaron pruebas con modelos instrumentados a escala real en secciones de pavimento reforzadas con geoceldas de diferentes configuraciones geométricas sometidas a cargas monótonas y repetidas. Las reacciones

examinadas incluyeron la distribución de tensiones sobre las distintas capas del pavimento, las deformaciones provocadas en las paredes de la geoceldas y las características del asentamiento. En comparación con el no reforzado, las secciones reforzadas mostraron una notable disminución en la profundidad del surco y una concentración de tensiones localizadas, las secciones reforzadas mostraron una notable disminución en la profundidad del surco y una concentración de tensiones localizadas. La altura de las geoceldas y la separación de las soldaduras tuvieron un efecto en la reducción de la profundidad del surco. Además, se descubrió que el refuerzo de geoceldas dispersa más eficientemente las tensiones en las capas de subrasante y subbase, lo que da como resultado menores concentraciones de tensiones. También se constató que las mediciones de deformación eran más elevadas en la parte inferior de las paredes de la geocelda, indicando un mayor grado de confinamiento en esta región. En aplicaciones de campo, las geoceldas más comúnmente utilizadas presentan una separación entre soldaduras de 356 mm y una altura de 150 mm. No obstante, este estudio sugiere que una geocelda con una separación de 330 mm entre soldaduras y una altura de 100 mm, que cuesta aproximadamente un 30% menos que la común, ya que tiene la misma eficacia para reducir la profundidad del surco y distribuir de manera efectiva las tensiones verticales concentradas.

Puentes et al. [11] “Evaluación del comportamiento mecánico de sistemas de geocelda y materiales reciclados (rap y calamina)”

En su investigación, buscaron examinar el desempeño de subrasantes mejoradas con geoceldas, RAP y calamina. El proyecto comprobó que un sistema de geoceldas relleno con agregados reciclados aumenta en el aporte estructural en un 19.8% con relación a un sistema de mejoramiento utilizando geoceldas llenos de agregados convencionales, además se ha observado un incremento significativo del 37.8% en comparación con un sistema de mejoramiento tradicionales. Se concluye que, para tener un mejor rendimiento en las unidades de confinamiento, se debe reemplazar el material granular convencional por la combinación 85% RAP y 15% calamina, ya que logra tener una respuesta ante las deformaciones verticales.

Guerra et al. [12] “Estudio del agregado reciclado de residuos de construcción y demolición en celdas de confinamiento con llantas desechadas para la construcción de obras viales en Colombia”

En su tesis de maestría, se enfocó en determinar si era factible usar agregados reciclados de residuos de la construcción RCD en celdas de confinamiento de neumáticos desechados, con el fin de mejorar la capacidad de soporte de la subrasante para la construcción de infraestructuras

viales. Para comprobar su hipótesis, realizo ensayos de evaluación mecánica in situ, como índices de penetración dinámica IPDC, módulos elásticos y deflexiones máximas, se pudo observar que las celdas llenas de agregado reciclado RCD obtenían una deflexión máxima (1.75mm), un IDPC promedio (27.6mm/golpe) y un módulo elástico (201Mpa), en cambio las celdas construidas con agregado natural convencional presentaban 2.64mm como deflexión máxima, un IPDC promedio de 46.6mm/golpe y un módulo elástico 57Mpa. Estos hallazgos evidencian una mayor capacidad mecánica de las celdas que emplean agregado reciclado en comparación con las secciones convencionales que utilizan agregado natural como material de relleno. Del mismo modo, se observó cómo la inclusión del aislamiento lateral al agregado reciclado tuvo un efecto físico-mecánico notable. En el que la celda de RCD, registró una deflexión máxima de 1.16 mm y un módulo elástico de 764 MPa. El estudio concluyó que las celdas RCD da como resultado un buen rendimiento técnico al aislar lateralmente las cargas, lo que conlleva a una mejora en las características del agregado reciclado. Esto hace posible que se formen capas de pavimento estructural con mejores cualidades que las de las vías pavimentadas tradicionalmente.

Carhuancho et al. [13] **“Aplicación de geoceldas de envases metálicos reciclables en la estabilización del suelo fino, carretera del distrito Chacapampa, Junín”**

En su estudio, evaluó la influencia al estabilizar un suelo fino con un sistema de geoceldas conformadas por envases reciclables en la carretera a Chacapampa. Para comprobar su estudio, realizó ensayos de CBR y mediciones de deflexión con viga Benkelman, utilizando un sistema de geoceldas de envases reciclados en forma lineal (GEML) y diagonal (GEMD), para así compararlo con el del material natural compactado. Los hallazgos mostraron que el suelo natural tenía 6.5% de CBR y al agregar la geoceldas en forma lineal llego a tener 13.7% y cuando se colocó de manera diagonal obtuvo 14.1%. En el tema de deflexiones con viga Benkelman el suelo natural obtuvo una deflexión promedio de 1.86 mm, en cambio al utilizar el sistema de geoceldas se registró un promedio de deflexiones de 1.25 mm. Se concluyo que las geoceldas fabricadas a partir de envases metálicos reciclables incrementa el CBR de manera significativa, colocando la subrasante por encima de valores mínimos puestos en la norma del MTC. Asimismo, resaltó que este sistema disminuye las deflexiones en un 33% respecto al suelo compactado con material natural.

Chávez et al. [14] **“Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, chota, 2021”**

La tesis tuvo como finalidad evaluar la capacidad de soporte en la capa base, empleando afirmado y geoceldas con secciones romboidales y circulares formadas a partir de llantas usadas. Estas geoceldas fabricadas se instalaron en un tramo de prueba de 2.10 x 12.50 m, dando como resultados que los valores promedio del CBR in situ con geoceldas circulares y romboidales son 100,13% y 99,53%, respectivamente. La investigación demostró que el uso de geoceldas circulares y romboidales le da al suelo más resistencia al compararlos solo con el agregado procedente de cantera de Cangana. Estas estructuras de confinamientos circulares y romboidales han aumentado el CBR del suelo del 68,3% al 100,13% y al 99,53%, respectivamente. Asimismo, se determinó que las geoceldas circulares ofrecen más ventajas técnicas y financieras, ya que su uso en una vía puede ahorrar costos en un 9,80% respecto al uso solo de material de pavimentación, ya que la base granular tendría un espesor de 20 cm con geoceldas en lugar de 40 cm sin ellas.

Santisteban et al. [15] **“Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas en Huaura – Huaura – Lima, 2019”**

Llevó a cabo un estudio sobre el comportamiento de un pavimento flexible reforzado con geoceldas, específicamente en el tramo Huaura - Playa Centinela en Lima. Su trabajo se enfocó en evaluar los beneficios que aporta la incorporación de geoceldas dentro de la estructura del pavimento. Para ello, se realizó ensayos de CBR sin reforzar y otro con geoceldas rellenos 50% con material propio y lo restante con material granular seleccionado. Al final, se concluyó que el porcentaje de CBR incremento con adición de geoceldas de un 19.8 % a 58.2 %. De manera similar, empleando una placa directa la estructura de pavimento flexible con refuerzo presentó un menor asentamiento vertical, disminuyendo de 1.73 mm a 1.28 mm, o una reducción del 28.09% respecto a la estructura sin reforzar.

Chasquero et al. [16], **“Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado”**

Se enfocaron en analizar la elaboración de afirmado haciendo uso de concreto recuperado y triturado de residuos de la construcción, donde se realizaron combinaciones de concreto reciclado con un agregado natural en tres diferentes porcentajes (50%C.R+50%A.N; 60%C.R+40%A.N; 70%C.R+30%A.N), con el objetivo de verificar si las mezclas podían ser utilizadas como afirmado, conforme a los criterios mínimos establecidos en el Manual de

Carreteras del MTC. Los resultados mostraron que las combinaciones 60%– 40% junto con la de 70% – 30%, sobrepasan dichos estándares. En particular, la mezcla con mayor contenido de concreto reciclado (70%), alcanzando un CBR de 58% compactado a su máxima densidad seca.

Ibáñez et al. [17] “Propuesta de uso de RCD y NFU en la sub-base de afirmado para pavimentos rígidos en la zona costera del Perú para reducir los efectos de contaminación ambiental”

En su investigación, enfocó sus objetivos en elaborar combinaciones de material RCD y agregado natural, con el fin de ver cual mezcla era la más optima y así unirlo con NFU para su elaboración de una subbase. Los porcentajes de RCD y agregados naturales que se examinaron fueron (50-50), (60-40) y (70-30), respectivamente. Después de diversos ensayos del laboratorio, los resultados indicaron que la combinación (70-30) % obtuvo el máximo valor para CBR de un 137%, seguido de la (50-50) % con un CBR de 100% y por último la conformada por (60-40) % con un 89% de CBR.

Contreras et al. [18] “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Santa-Ancash”

En su tesis buscaron enriquecer el agregado recuperado de escombros de la construcción para su uso en capas granulares de pavimentos. En su metodología planteo usar combinaciones conformadas por agregado reciclado (AR) y agregado natural (AN), las cuales fueron de (50AR-50AN), (60AR-40AN), (75AR-25AN). La investigación logró demostrar que todas las mezclas de AR Y AN cumplen con los requerimientos para uso en la construcción de capas granulares de un pavimento. No obstante, al compararlo con 100% de agregado natural, las combinaciones conformadas 50% AR - 50% AN y 60% AR - 40% AN, fueron las que alcanzaron mejores resultados, obteniendo un CBR de 115.62% de y 113.91% respectivamente.

Base Teóricas-Científicas

Suelo

Las rocas se descomponen mecánica o químicamente para producir una colección de partículas minerales que forman el suelo. Estas partículas pueden ser orgánicas o inorgánicas [19]. Parte de la capa superior de la corteza terrestre son sedimentos, tanto sólidos como no sólidos, que son consecuencia de la actividad de los organismos sedimentadores y de la modificación física y química de las rocas[20].

Clasificación de los suelos

El MTC nos indica que se utilizarán los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS para caracterizar y categorizar los suelos encontrados de acuerdo con la técnica de construcción de carretera.

El AASTHO divide al suelo en siete clases: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7. Los suelos de alta calidad destinados a ser utilizados en pavimentos o capas granulares para carreteras, suelen encontrarse a menudo en los grupos A-1, A-2 y A-3. Los suelos restantes deberán mejorarse antes de su utilización en infraestructuras viarias [21].

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	
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL: Límite de Líquido				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 ^(a)	mín. 11 ^(b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente 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.

Fig. 1. Clasificación AASTHO [2].

El Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Clasifica al suelo en gravas, arenas, limos, arcillas, suelo orgánico (G, S, M, C, O), en base a su gradación y plasticidad) [21].




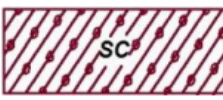




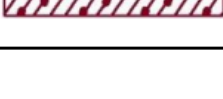
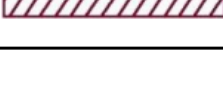

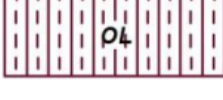


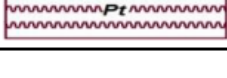
	Grava bien graduada, mezcla de grava con poco o nada de materia fina, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla 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 diatomeacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánica de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

Fig. 2. Clasificación SUCS [2].

Propiedades físicas para la clasificación del suelo

Contenido de humedad

El contenido de humedad representa la cantidad de agua contenida en una muestra de suelo, calculada como relación porcentual entre el peso del agua y el peso total del material.

Granulometría

Simboliza la distribución de un suelo en proporciones de diferentes tamaños mediante el proceso de tamizado. Con lo que se pueden estimar, las demás propiedades que se necesitan para clasificar un suelo. Según el tamaño de las partículas del suelo, la clasificación correspondiente es la siguiente:

TABLA I
TAMAÑO DE PARTÍCULAS PARA CLASIFICACION DEL SUELO

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

Una vez finalizado el proceso de tamizado, se representan los porcentajes de material que atraviesan las mallas en una gráfica semilogarítmica, tal como se ilustra a continuación:

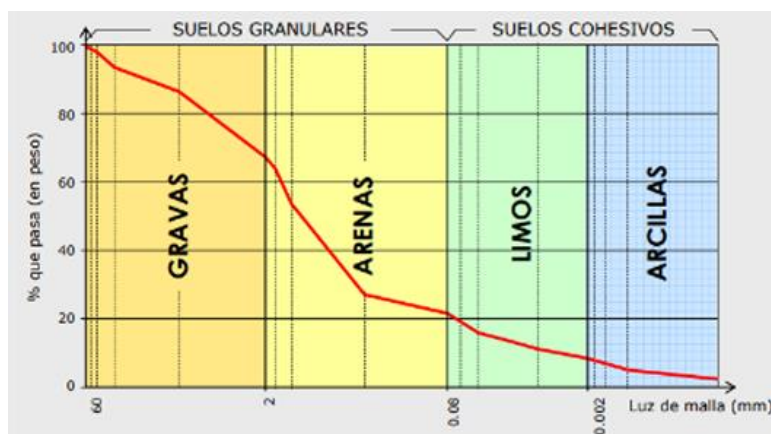


Fig. 3. Curva granulométrica del suelo [21].

Plasticidad

Es la capacidad de los suelos, que permite permanecer estable hasta un límite de humedad específico sin descomponerse; determinada exclusivamente por la fracción fina del material.

Límite líquido (LL)

Porcentaje de humedad donde el material transita del estado fluido al plástico [22].

Límite plástico (LP)

Humedad crítica en la que el suelo pasa de presentar comportamiento plástico a frágil [22] .

Índice de plasticidad (IP)

Es el intervalo de humedad donde en el suelo conserva un estado plástico [22] .

TABLA II
CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN SU INDICE DE PLASTICIDAD

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 plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Con el conocimiento de las características como la granulometría y plasticidad, en particular, será factible aproximar el comportamiento de los suelos con mayor precisión. A continuación, se muestra la correlación entre los tipos los suelos (SUCS Y ASSTHO).

TABLA III
CORRELACIÓN DE TIPOS DE SUELOS AASHTO – SUCS

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

Ensayos de laboratorio

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

[22]:

Consiste en lograr un peso constante, al secar un segmento de la muestra en un horno a una temperatura estable. Para así cuantificar la presencia de agua en una muestra de suelo natural o granular.

Equipos:

- Horno a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C
- Balanza (+0.01g)

Materiales:

- Recipientes con resistencia al calor

Cálculos:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W= Contenido de humedad%
- Ww= Peso del agua en la muestra (gr.)
- Ws= Peso seco de la muestra (gr.)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E 107) [22]:

El objetivo de análisis granulométrico es precisar en porcentajes los distintos elementos componentes de un suelo, categorizados por su tamaño.

Equipo:

- Horno a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C
- Balanza (+0.01g)

Materiales

- Tamices según tamaños requeridos
- Recipientes y cepillos para las muestras retenidas

Cálculos:

El porcentaje que atraviesa la malla 200:

$$\% \text{ Pasa } N^{\circ} 200 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso conservado en el Tamiz } N^{\circ} 200}{\text{Peso Total}} \times 100$$

El número de partículas retenidas expresadas en porcentaje, de acuerdo con cada tamiz:

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

El porcentaje de partículas que atraviesan, dependiendo de cada abertura.:

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

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110) [22]:

Se refiere al procedimiento utilizado para identificar el contenido de humedad en un suelo en el cual, este pasa de un estado plástico a un estado líquido. Este límite se determina mediante un ensayo en el que se mezcla el suelo con agua y se trabaja la muestra hasta que se logra que se fluya en una determinada condición.

Equipos:

- Copa de Casagrande
- Acanalador
- Recipientes y taras
- Horno a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C
- Balanza (+0.01g)

Materiales:

- Espátula

Cálculos:

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

- $N = N^\circ$ de golpes
- $W^n =$ Humedad del suelo
- $k =$ Factor según números de golpes

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) MTC E 111 [22]:

La cantidad mínima de agua que puede contener un material sin perder su estado se conoce como límite plástico.

Por lo tanto, el índice de plasticidad viene dado por $LL - LP$.

Equipos:

- Vidrio esmerilado grueso
- Tamiz N°40
- Vidrio esmerilado grueso
- Recipientes para Almacenar muestras
- Horno a una temperatura de aproximadamente $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Balanza (+0.01g)

Materiales:

- Espátula, según como lo estipula la norma

Cálculos:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

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

Donde:

- L.L. = Limite Líquido
- L.P. = Límite Plástico

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO - MTC E 114 [22]:

Es una prueba de caracterización que permite estimar la proporción relativa de material fino no plástico (como limos y arcillas) frente a las partículas arenosas presentes en una muestra de suelo.

Equipos:

- Cilindro graduado acrílico
- Pesa para equivalente de arena
- Tubo de irrigación
- Tapón de goma
- Embudo
- Tamiz N°40
- Recipiente de almacenamiento
- Horno a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C
- Balanza (+0.01g)

Materiales:

- Solución Stock
- Agua destilada

Cálculos:

$$EA = \frac{L_{AR}}{L_{AC}} \times 100$$

Para obtener el valor de EA de la muestra, se realiza un promedio de las tres muestras ensayadas.

Donde:

- EA = Equivalente de arena
- L_{AR} = Lectura de arena
- L_{AC} = Lectura de arcilla

ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 ½”) - MTC E 207 [22]:

Este ensayo consiste en evaluar exclusivamente agregados gruesos, utilizando la Máquina de Los Ángeles, con el fin de determinar su resistencia frente a la degradación.

Equipos:

- Máquina de Los Ángeles
- Tamiz N°10
- Balanza
- Esferas según su gradación (A, B, C, D)

Cálculos:

$$\%A = \left(\frac{P_0 - P_{500}}{P_0} \right) \times 100$$

Donde:

- %A = Desgaste por abrasión
- P₀ = Peso inicial del espécimen
- P₅₀₀ = Peso luego de las 500 revoluciones (tamizado)

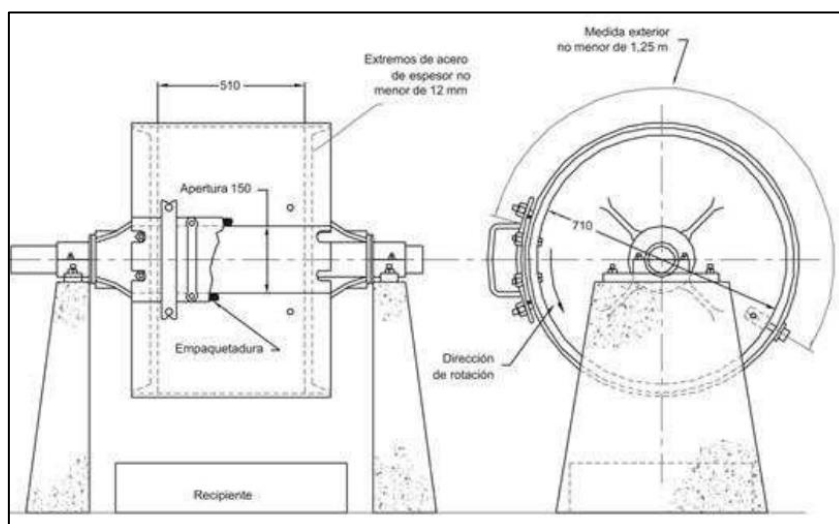


Fig. 4. Esquema de máquina de los Ángeles [22].

COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) MTC E 115 [22]:

Este procedimiento de compactación con energía incrementada tiene como objetivo encontrar la máxima densidad seca de un material, al emplear su contenido óptimo de humedad.

Equipos:

- Molde: Se usará el molde respecto al método A, B o C, según lo que indica la norma.
- Pisón Manual
- Collar de molde
- Placa base

Materiales:

- Tamiz N°04

Cálculos:

$$P_m = 1000 * \frac{(M_t - M_m)}{V}$$

$$P_d = 1000 * \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda (Mg/m³)
- M_t = Masa del molde y muestra húmeda (kg)
- M_m = Masa del molde (kg)
- V = Volumen del molde (m³)
- ρ_d = Densidad seca (Mg/m³)
- W = Contenido de agua (%)

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO, MTC E 132 [22]:

El ensayo CBR determina la capacidad de un suelo para soportar cargas aplicadas, al confirmar que las fallas máximas en la interacción entre la carga y la presión no resulten en un gran asentamiento.

Equipos:

- Molde cilíndrico
- Disco espaciador
- Pesas
- Pistón de penetración
- Prensa para CBR en laboratorio

Materiales:

- Tamiz N°04, se utilizará para suelos finos

Cálculos:

La curva que compara presiones y penetraciones se muestra en la figura 5, se toman en cuenta los valores de penetración para 2.54 mm y 5.08 mm, pero si muestra un punto de cambio en la curva, se debe corregir de acuerdo a la norma vigente.

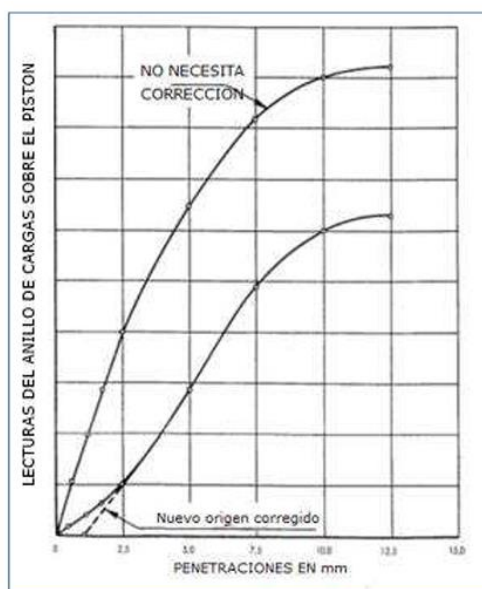


Fig. 5. Curva para el cálculo de índice de CBR [22].

Ensayos químicos

SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS MTC E 219 – N.T.P. 339.152 [22]:

Este ensayo se basa en el proceso de cristalización analítica para determinar la cantidad de cloruros sulfatos y sales solubles en agua en agregados pétreos utilizados en mezclas asfálticas y bases estabilizadas. Según el MTC, el límite para su uso en subbases es de 1.00% y 0.5% en bases granulares.

Equipos:

- Horno a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C
- Balanza (+0.01g)
- Pesas de sobrecarga

Materiales:

- Papel filtro
- Vasos de precipitado
- Embudo
- Pipetas
- Probetas aforadas
- Agua destilada

Cálculos:

$$SS = \frac{m_2 - m_1}{E} \times 10^6$$

- SS: Sales solubles presentes, en unidades de ppm.
- m2-m1: Sustracción de masas de residuos, en gr.
- D: Relación suelo: agua.
- E: Volumen de extracto evaporado, en ml.

Ensayos de Campo

USO DEL PENETRÓMETRO DE CONO DINÁMICO EN APLICACIONES DE PAVIMENTO POCO PROFUNDO - ASTM D 6951 [23]:

El penetrómetro de cono dinámico se utiliza para determinar la velocidad a la que penetra un suelo natural o uno con materiales compactados. Este ensayo permite relacionar la resistencia del suelo como el CBR mediante la tasa de penetración por golpes.

Equipos:

- Punta cónica con un ángulo de 60°
- Varilla de penetración
- Peso de caída (martillo 8 kg)
- Guía de caída
- Regla o escala graduada integrada a la varilla

Cálculos:

$$CBR = \frac{292}{((PDC)^{1.12})}$$

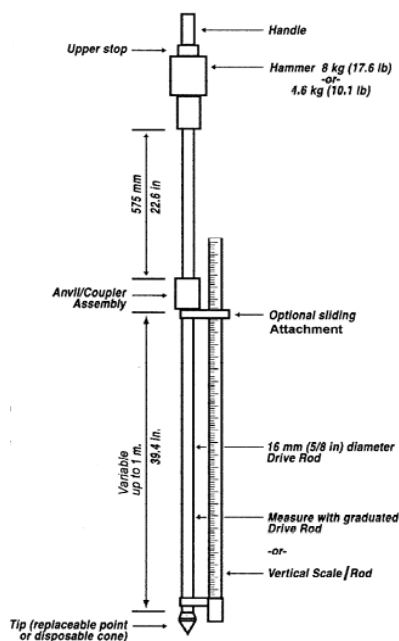


Fig. 6. Esquema del dispositivo DCP [23].

CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 [22]:

La finalidad de este ensayo es evaluar la capacidad de soporte del suelo directamente en el área destinada al diseño de las distintas capas que conforman un pavimento, así como en caminos no pavimentados, utilizando el CBR como el parámetro representativo de resistencia.

Equipos:

- Gata mecánica
- Anillos de carga
- Pistón de penetración
- Diales
- Pesas
- Soporte de diales
- Volquete

Cálculos:

Divida la fuerza aplicada por el área del pistón para determinar la fuerza de penetración. Para cada incremento de inserción, trace la curva de esfuerzo vs. penetración. A veces, los defectos de la superficie u otros factores hacen que la curva sea cóncava hacia arriba en su primera parte. En estas situaciones, el punto cero debe cambiarse como se indica en la figura.

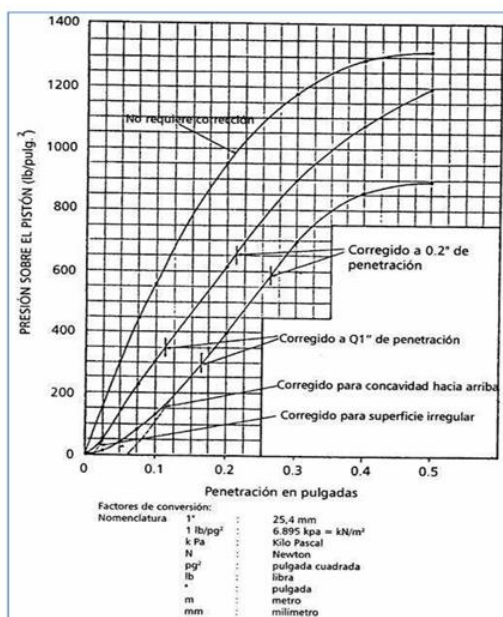


Fig. 7. Correcciones de curvas de esfuerzo de penetración [22].

DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN MTC E 1002 [22]:

Consiste en usar una viga Benkelman para medir deflexiones de un pavimento flexible sometido a carga estática. Para esto se emplea un camión de carga, donde el espaciamiento entre ejes, las dimensiones y presión de las ruedas duales estén normalizadas. Este proceso se realiza siguiendo la guía del MTC E 1002.

Equipos:

- Viga Benkelman
- Vehículo de carga (Volquete)
- Reloj y termómetro convencional
- Manómetro
- Cinta métrica
- Martillos y clavos
- Cuña
- Tizas y pinturas

Cálculos:

- **Deflexión**

$$D = (LF - LR) \times RB$$

- D: Deflexión en unidades de 10^{-2} mm.
- LR: Lectura a una distancia establecida.
- LF: Lectura máxima
- RB: Relación de brazos (normalmente es 1:2 o 1:4)

Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los desechos de demolición son aquellos que se generan en áreas urbanas pero que no entran en la categoría de "desechos urbanos sólidos", que generalmente incluye desechos residenciales y comerciales. En cantidad y calidad, la composición de estos residuos difiere.

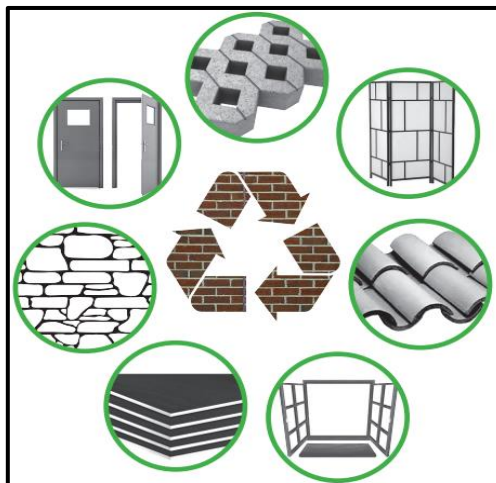


Fig. 8. Residuos de la construcción y demolición [24].

Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición

El MINVIV clasifica estos desechos en categorías de peligrosos y no peligrosos. Durante las fases de construcción, renovación, y demolición de proyectos de ingeniería se producen diversos residuos [24].

Residuos Peligrosos

Estos residuos muestran peligros potenciales debido a sus características cuando se manipulan y transportan.

TABLA IV

RESIDUOS PELIGROSOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN

RESIDUOS PELIGROSOS DE LOS RCD
Se encuentran aquí:
Desechos de madera tratada
Residuos de baterías
Envases de desengrasantes
Fragmentos de PVC
Restos de material compuesto de asbestos
Envases de removedores de pintura y aerosoles

Residuos No Peligrosos

Estos son desechos que, debido a sus características, no suponen riesgos ni alteraciones durante su manejo y transporte. Además, son susceptibles de ser reciclados y reutilizados

TABLA V
RESIDUOS NO PELIGROSOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN

RESIDUOS NO PELIGROSOS DE LOS RCD
Se encuentran aquí:
Desechos de concreto
Material granular proveniente de excavaciones
Residuos de gravas y arenas.
Vidrios y cartón
Cerámicas
Ladrillos con y sin mortero
Madera, acero y aluminio

Agregados reciclados

Los sólidos granulares que se recuperan y extraen de los escombros de construcción y demolición para ser utilizados como materia prima en nuevas construcciones se conocen como áridos reciclados. O'Mahony sugirió que eran una opción factible al emplearlo en la construcción de obras civiles, debido al gran potencial de estos agregados, tanto en términos de sus cualidades como materiales vírgenes y después de su utilización [25].

Como señala Pérez [26], los áridos derivados de concretos reciclados se han empleado de manera creciente en la construcción de capas de pavimento, ya que presentan propiedades mecánicas que, al ser adecuadamente procesadas, pueden cumplir con los requisitos estructurales necesarios. Estos materiales reciclados, al integrarse en las capas de pavimentos, no solo ayudan a disminuir la extracción de áridos naturales, sino que además promueven la economía circular en el sector de la construcción, disminuyendo el impacto ambiental asociado a la disposición final de los RCD.

Geocelda

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. creó el primer sistema de confinamiento celular a finales de los años 1970 como una forma de mejorar y maximizar la capacidad de carga del suelo. Este innovador material, que forma parte de la familia de los geosintéticos, consiste en un sistema tridimensional de confinamiento celular. Debido a su excepcional resistencia, estas estructuras, que se asemejan a panales, se utilizan para confinar cargas. También pueden incluir diversos rellenos, como arena, grava u hormigón [28].

Para Santisteban [15], la geocelda es una estructura de confinamiento celular polimérica alveolar geosintética que puede incluir cualquier tipo de material granular en sus celdas, reduciendo el espesor de los diseños de pavimento típicos.



Fig. 9. Sistema de confinamiento celular (geoceldas) [29].

Componentes del sistema de geoceldas

Según el portal web TDM Perú [30], los elementos que conforman el sistema de geoceldas son:

Celda:

Este elemento de confinamiento puede presentar diferentes secciones y alturas, ajustándose a las necesidades específicas del cliente.



The figure shows a 3D perspective of a black geocell with a grid of small white circular openings. A vertical dimension line on the left indicates the height 'H'. To the right is a table with two columns: 'ALTURA' and 'H (mm)'. The table lists five rows of data.

ALTURA	H (mm)
2	50
3	75
4	100
6	150
8	200

Fig. 10. Tamaño de la celda [30].

Conectores para unir secciones:

- Grapas galvanizadas
- Tornillos y tuercas galvanizadas T

Material de relleno:

Se pueden emplear diferentes materiales granulares para proporcionar propiedades únicas al sistema; en esta investigación se utilizará material granular reciclado.

Tipos de geoceldas

En cuanto a su funcionalidad dentro en la construcción vial, los distintos tipos de geoceldas se explican en el portal PRS Geo-Technologies [29]:

De corto plazo:

Las geoceldas para uso a corto plazo están compuestas de polietileno de alta densidad (HDPE) y exhiben una gran flexibilidad. Son ideales para aplicaciones que implican cargas ligeras y de menores exigencias, incluido el control de la erosión en taludes.

De largo plazo:

Este hecho de Neoloy, una aleación nano polimérica (NPA). Un material que le confiere resistencia y rigidez ante la deformación, lo que lo hace excelente para infraestructuras viales, ferroviarias, puertos y pistas de aterrizajes en aeropuertos, con una garantía de vida útil de 75 años.

Funcionamiento de geoceldas.

El uso de geoceldas en pavimentos refuerza significativamente su capacidad estructural al mejorar la distribución de cargas y reducir los asentamientos. En pavimentos no reforzados, las cargas aplicadas se concentran directamente debajo de la rueda, generando puntos de alta presión que pueden provocar fallas localizadas y una rápida ruptura del material. En cambio, cuando se utilizan geoceldas, la carga se distribuye en un área entre 1,5 y 2 veces mayor que en pavimentos convencionales, incrementando la capacidad de soporte de la subrasante [31].

Dentro de las geoceldas, el material granular confinado adquiere mayor rigidez y un módulo de elasticidad superior, gracias al efecto de confinamiento. Este efecto actúa como una viga que redistribuye los esfuerzos aplicados, reduciendo los asentamientos verticales en comparación con estructuras no reforzadas. De esta manera, las geoceldas optimizan la resistencia y durabilidad del pavimento al minimizar las deformaciones y prevenir fallas estructurales.

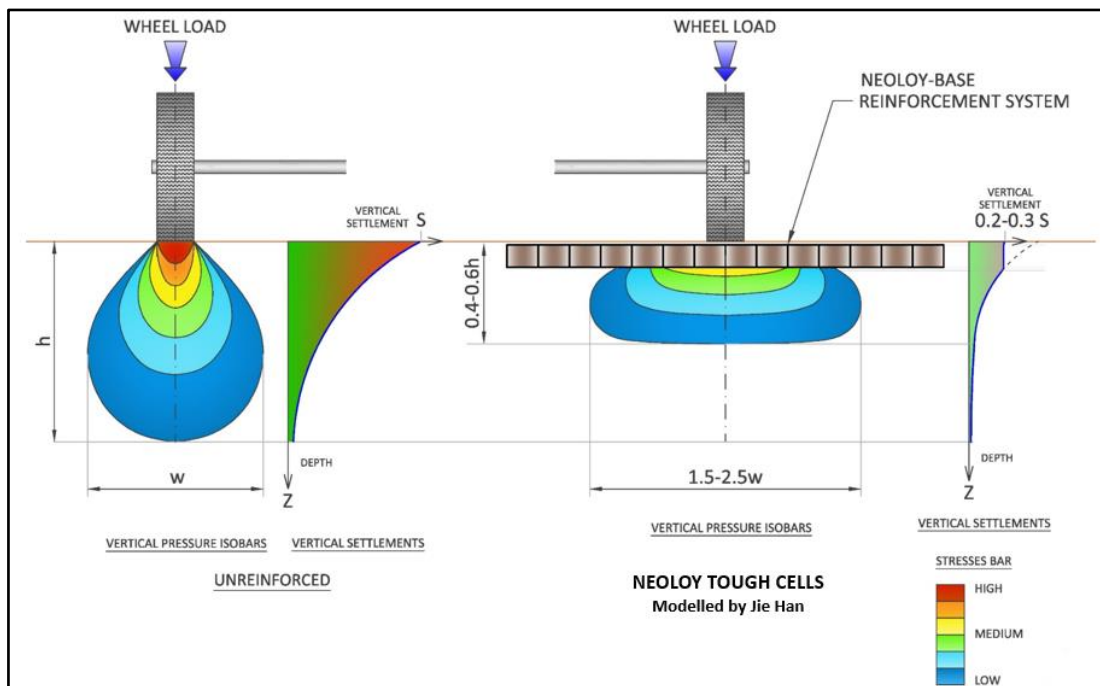


Fig. 11. Funcionamiento del sistema de geoceldas [31].

Pavimento Flexible

Es un sistema multicapa compuesto por capas granulares, como la subbase y la base, que sirven de soporte para una superficie superior de rodadura. Esta capa final se construye con mezclas asfálticas, las cuales combinan ligantes bituminosos, áridos y, en ocasiones, componentes adicionales para mejorar sus propiedades [32].

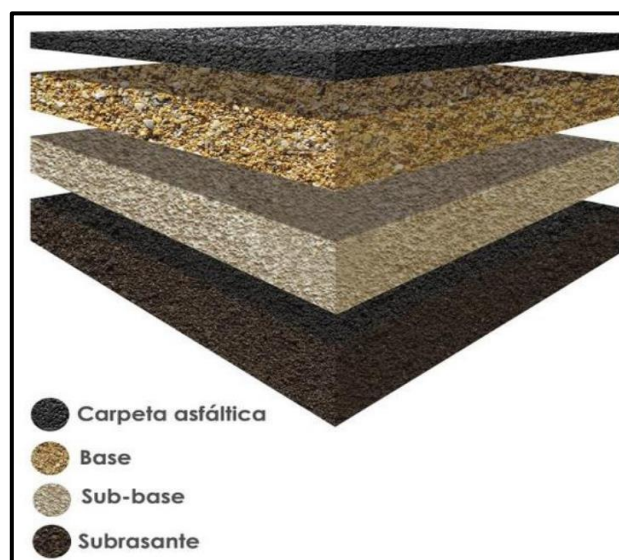


Fig. 12. Estructura de pavimento flexible [32].

Sub-rasante

En el manual de Suelos y Pavimentos [2], señala que la subrasante se refiere a la capa de suelo nivelada y compactada, la cual debe alcanzar al menos un 95% de su máxima densidad seca. Asimismo, se especifica que, si el valor de capacidad soporte (CBR) resulta menor al 6%, será necesario implementar algún tratamiento previo para mejorar sus propiedades.

TABLA VII
CATEGORIA DE SUBRASANTE

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Subbase Granular

La capa de subbase granular está conformada por agregados provenientes de canteras, específicamente material seleccionado con una o varias estratificaciones. Su instalación se realiza sobre la subrasante previamente compactada al 95% de su máxima densidad seca. Además, este material debe satisfacer las exigencias establecidas por el MTC en las pruebas de laboratorio [27].

TABLA VIII
REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA SUBBASE GRANULAR

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				<3000msnm	≥3000msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T89	25 % máx.	25 % máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6 % máx.	6 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales solubles	MTC E 219	-	-	1 % máx.	1 % máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-	D 4791	-	20% máx.	20% máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.

Normativass

Manual de Carreteras EG-2013

En el Perú, los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados empleados en las capas granulares de los pavimentos están definidos en la sección de Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras. Específicamente, en su Capítulo IV, especifica los parámetros técnicos y criterios que deben cumplir los materiales utilizados en dichas capas [27].

Manual de Ensayo de Materiales 2016 MTC.

Este documento tiene como finalidad estandarizar los métodos de ensayo, tanto en laboratorio como en campo, aplicables a los materiales destinados a la construcción de infraestructura vial. Su objetivo principal es garantizar que estos materiales alcancen los estándares de calidad requeridos, en concordancia con normas internacionales como las de AASHTO y ASTM [22].

El Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del 2014 - MTC.

El Manual sirve como una guía para los ingenieros donde proporciona características y propiedades que debe tener un suelo para proyectos viales. Asimismo, menciona sobre el uso de estabilizadores como los geosintéticos y cómo influye la capacidad de soporte (CBR) en la subrasante y las capas a la hora de construir un pavimento [2].

NTP CE.010 Pavimentos Urbanos

Esta guía establece los requisitos mínimos necesarios para lograr un diseño adecuado de pavimentos urbanos. En su tercer capítulo, detalla los métodos para realizar un correcto estudio de suelos, los ensayos en laboratorio y las pruebas de control que debe cumplir los materiales empleados. Además, proporciona información sobre la determinación de los ejes equivalentes y la clasificación del tipo de tráfico según la categoría de las vías consideradas en el diseño.

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Esta investigación se considera de tipo aplicada, porque se aplicarán tecnologías existentes de la estructura de los pavimentos para mejorar su capacidad estructural de la subrasante. El enfoque de estudio será cuantitativo, puesto que se recolectará información de diferentes procedimientos para determinar el rendimiento en la capacidad de soporte de la subrasante empleando geoceldas rellenas con agregados reciclado. El nivel de investigación es experimental, ya que busca medir la relación entre la variable independiente y la variable dependiente.

Diseño de investigación

Esta tesis presenta un diseño de tipo experimental que se fundamenta en la alteración deliberada variable independiente (agregados reciclados rellenos en geoceldas) para examinar su impacto en la variable dependiente (capacidad de soporte de la subrasante insuficiente).

Población y muestra

En esta tesis la población de estudio está conformada por la subrasante ubicado en el Predio Urbano Santa Martha en el Distrito de La Victoria.



Fig. 13. Ubicación de la subrasante de estudio.

En la muestra de estudio se ha considerado la elaboración de tres prototipos experimentales, con el fin de comprobar que combinación de afirmado (AF) y agregado reciclado (AR) registra el valor más alto en la capacidad de soporte. De modo que al seleccionar la más óptima, se procede a la construcción de dos tramos reales de 3 metros de ancho por 10 metros de largo en Predio Urbano Santa Martha en el Distrito de La Victoria. Esto con el propósito de comparar la influencia en la capacidad de soporte de la subrasante entre las geoceldas rellenas con agregado convencional y las que contienen agregado reciclado y convencional.

La selección de la muestra fue no probabilística, dado que no se encuentra directamente relacionada con la probabilidad, sino con el propósito y naturaleza del estudio. Por esta razón, no se utilizó ninguna fórmula estadística para el cálculo y determinación de la muestra, ya que esto se desarrolla en función de las condiciones específicas.

Criterios de Selección

En cuanto a los criterios de selección se tomó como referencia el mapa geotécnico de Chiclayo en la página del SIGRID [34], observando que el lugar donde se construirá los tramos de prueba se ubica en la Urbanización – La Victoria, el mismo que cuenta con una capacidad portante baja respecto a otras zonas de Chiclayo.

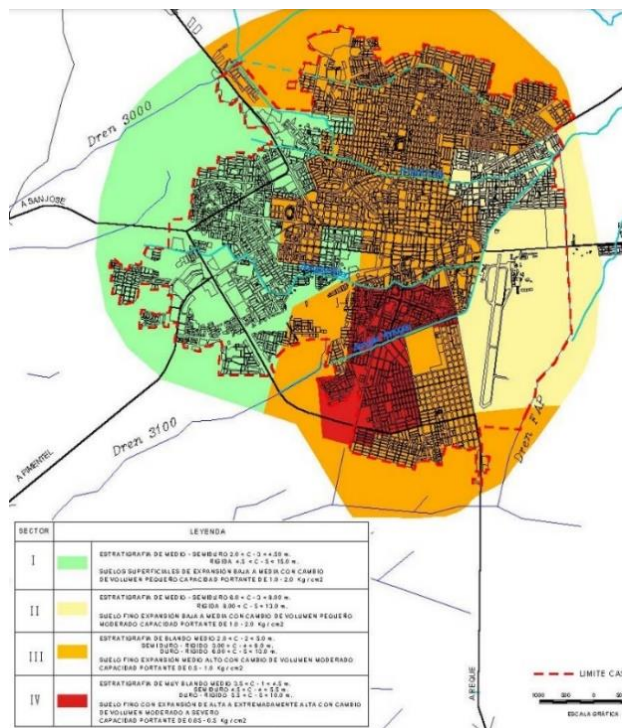


Fig. 14. Mapa geotécnico de Chiclayo [34].

Procedimiento

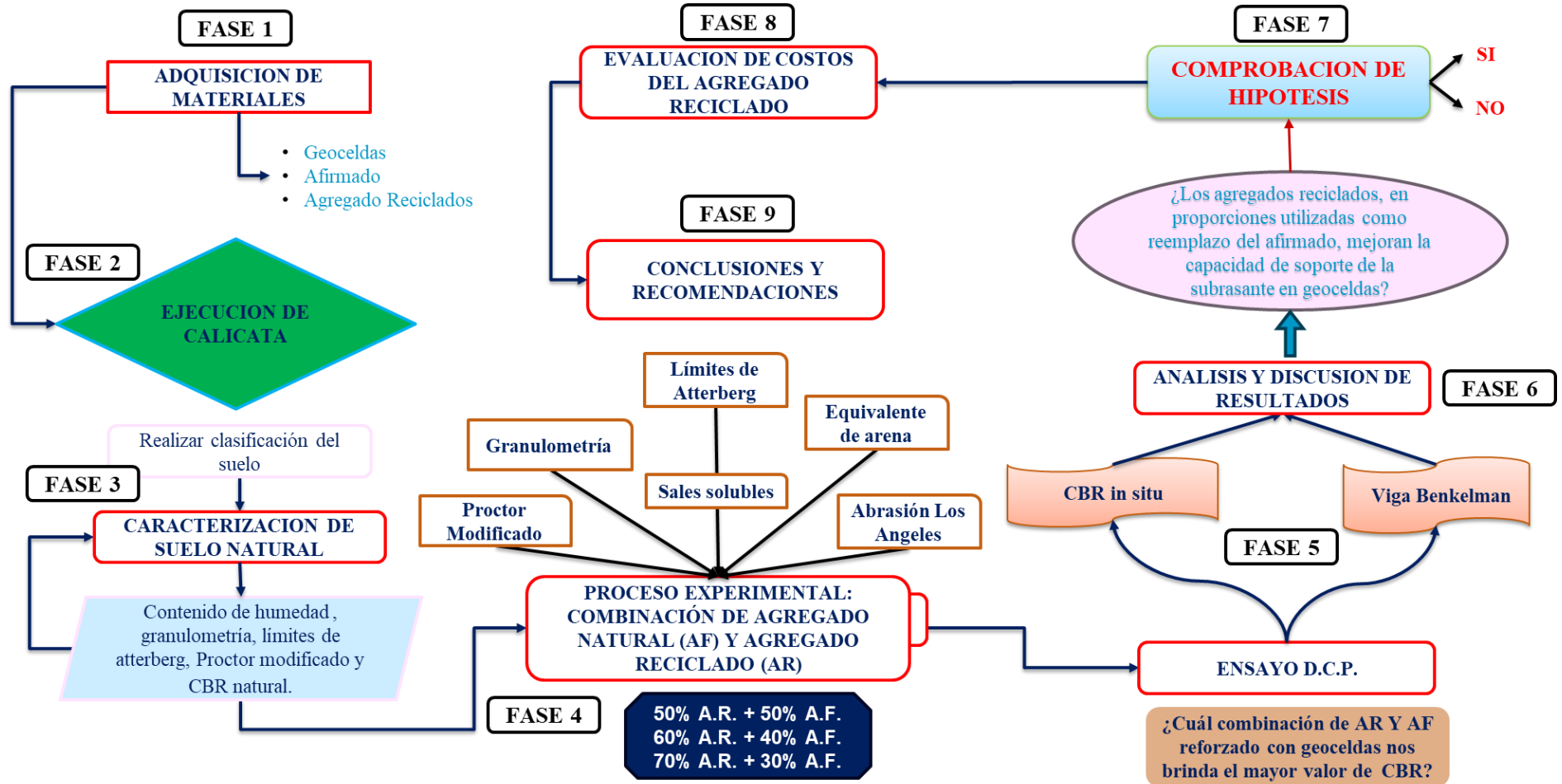


Gráfico 1. Estrategia para demostrar hipótesis.

Variables y Operacionalización

Variable Independiente

- Utilización de agregados como material de relleno en geoceldas

Variable Dependiente

- Capacidad de soporte (CBR) de la subrasante insuficiente

Variable Interviniente

- Diámetro máximo del agregado reciclado
- Contenido de humedad / Densidad del agregado
- Proporción relativa de partículas finas
- Desgaste a la abrasión
- Contenido de sales de agregados reciclados
- Características geométricas de la geoceldas
- Longitud del tramo

TABLA IX
VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE INDEPENDIENTE					
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	RANGO DE APLICACIÓN	UND. DE MEDIDA	METODO DE MEDICION
Utilización de agregados como material de relleno en geoceldas	Cantidad de agregado convencional	Afirmado (AF)	100% AF	m3 x m2	Medición del volumen
	Cantidad de agregados reciclados y convencional	Concreto Reciclado y Afirmado (AR+AF)	50% AR+50% AF	m3 x m2	Medición del volumen
			60% AR+40% AF	m3 x m2	
			70% AR+30% AF	m3 x m2	

TABLA X
VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE DEPENDIENTE			
VARIABLE	INDICADOR	UND. DE MEDIDA	METODO DE MEDICION
Capacidad de soporte (CBR) de la subrasante insuficiente	DCP	Porcentaje (%)	Ensayo para determinar CBR según ASTM D6951
	CBR in situ	Porcentaje (%)	Ensayo para determinar CBR en terreno según MTC E 133
	Deflexiones in situ	mm	Ensayo Viga Benkelman para medir deflexiones MTC E 1002

TABLA XI
VARIABLES INTERVINIENTES

VARIABLES INTERVINIENTES			
VARIABLE INTERVINIENTE	UND. DE MEDIDA	VALOR	METODO DE MEDICION
Diámetro máximo del agregado reciclado	pulg	1''	Ensayo granulométrico por tamizado - MTC E 107
Contenido de humedad / Densidad del suelo	% - g/cm ³	Optimo	Ensayo para determinar compactación (Proctor modificado) - MTC E 115
Proporción relativa de partículas finas	%	25% Mín.	Ensayo para el valor equivalente de arena - MTC E 114
Desgaste a la abrasión	%	50% Max	Ensayo para determinar el desgaste por Abrasión - MTC E 207
Contenido de sales de agregados reciclados	%	1% Max	Ensayo de Sales solubles para agregados - MTC E 219
Características geométricas de la geocelda	mm	320 x 278 mm	Regla de Medición (mm)
Longitud de tramo	m	3 x 20 m	Cinta Métrica Larga (m)

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas recolección de datos

Este estudio abarca distintas etapas, como la recolección de información, experimentación, evaluación y la comparación de estas:

- Recolección de datos: Se realizará mediante la revisión de artículos científicos y tesis que estén vinculados al tema de investigación.
- Experimentación. Consiste en identificar una subrasante inadecuada, para así reforzarlo con la aplicación de geoceldas rellenas con áridos convencionales y reciclados en los tramos de prueba, para determinar el CBR in situ y las deflexiones.
- Evaluación: A partir de la recopilación de resultados en los ensayos realizados.
- Comparación: Se compara los resultados y costos en los diferentes prototipos construidos.

Los ensayos para determinar la clasificación, capacidad soporte y deflexión en la subrasante, aplicando geoceldas con la adición de agregados reciclados son realizados en base al Manual de Ensayos de Materiales del MTC [22].

TABLA XII

ENSAYOS PARA CLASIFICACION, CAPACIDAD DE SOPORTE Y DEFLEXION

ENSAYOS	NORMATIVA
Contenido de Humedad	MTC E 108
Granulometría	MTC E 107
Limites Atterberg	MTC E 110 MTC E 111
Equivalente de Arena	MTC E 114
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207
Proctor Modificado	MTC E 115
CBR en laboratorio	MTC E 132
Ensayo sales solubles	MTC E 219
Ensayo DCP	ASTM D 6951
CBR in situ	MTC E 133
Ensayo Viga Benkelman	MTC E 1002

Instrumentos de recolección de datos

Como instrumentos para el desarrollo de la investigación tenemos

- Cuaderno de apuntes
- Manuales y guías.
- Formatos de ensayos de laboratorio.
- Formato de ensayos in situ.
- Dispositivos in situ y equipos del laboratorio.

Procedimientos

Adquisición de geoceldas

Mediante una búsqueda estructurada se logró contactar con un proveedor en el Departamento de Piura, luego teniendo localizado la dirección exacta, se procedió a viajar para ver la calidad de las geoceldas. Posteriormente se negoció los términos de compra, fletes, dimensiones necesarias y tiempos de entrega.



Fig. 15. Adquisición de rollos de geocelda.



Fig. 16. Recolección de conectores en T.



Fig. 17. Transporte de geoceldas hacia nuestra localidad.

Excavación de calicata en subrasante insuficiente

En principio, para identificar la subrasante insuficiente, se hizo una búsqueda de suelos con baja capacidad de soporte mediante el mapa del SIGRID y antecedentes sobre investigaciones de suelos arcillosos, luego se realizó una visita de campo para comprobar si el terreno donde se haría la calicata satisfacía las medidas para la construcción de los tramos de prueba. Después de la evaluación del lugar, se ejecutó la excavación de la calicata a cielo abierto detallando la ubicación a continuación:

o C-01: Predio Urbano Santa Martha

- E: 628121
- N: 9247226

La profundidad de la calicata se determinó siguiendo los lineamientos de la norma de pavimento Urbanos CE. 010 [33], la cual nos indica que la profundidad mínima de excavación con fines de pavimentación es de 1.50m. Además, el perfil estratigráfico de la calicata estaba conformado desde la superficie hasta 0.25m de materia orgánica y por un suelo arcilloso desde 0.25m hasta el fondo de la calicata donde no se encontró nivel freático. Por último, las muestras recolectadas a dicha profundidad se trasladaron al laboratorio en sacos de polietileno para posteriormente ser ensayadas y clasificadas.



Fig. 18. Excavación de calicata en zona de estudio.



Fig. 19. Profundidad de la excavación

Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

Para este ensayo nos guiamos según la normativa del MTC E – 107. En primer lugar, se pesó 500g de muestra seca, la cual fue lavada por la malla N°200 para eliminar la presencia los finos y así no alterar los resultados. Posteriormente al lavado, se llevó al horno por 24 horas hasta alcanzar su peso en seco. Finalmente, vaciamos y agitamos la muestra por los tamices, obteniendo los pesos de retención de cada tamiz empleando.



Fig. 24. Lavado por la malla N°200.



Fig. 25. Tamizado de la muestra natural.

Ensayo De Límite Líquido

Previamente, se tamizó la muestra seca utilizando la malla N°40, de la cual utilizamos 200 gr para mezclarlo con agua destilada y a su vez removerlo con una espátula, hasta alcanzar una mezcla homogénea y aplicarlo en una Copa de Casagrande. Una vez que la muestra ha sido colocada en el equipo, se procede a cortar con un acanalador por el centro y dividir la muestra humedecida en dos. Asimismo, se realizaron los rangos de golpes necesarios hasta que el vacío generado por el acanalador se cierre por completo en su superficie. Después, con cuidado se retiró una porción de la zona central de la muestra para ser pesada en húmedo y más tarde en seco. El proceso se repitió con tres especímenes más para proporcionar cuatro puntos distintos de contenido de humedad.

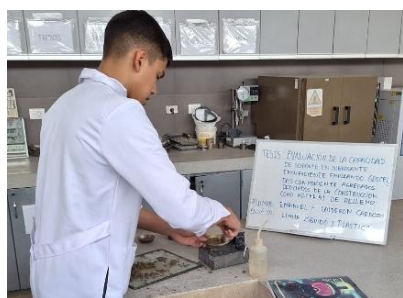


Fig. 26. Colocación de la muestra en Copa de Casagrande.



Fig. 27. Muestras en húmedo según rango de golpes.

Ensayo De Límite Plástico e Índice De Plasticidad

De la muestra restante del ensayo de límite líquido, se utilizó porciones con tendencia a ser más consistentes, para formar rollitos uniformes sobre una placa acrílica. Una vez obtenido de 4 a 5 rollitos, se pesaron en estado húmedo y se dejaron en el horno por 24 horas. Finalmente, se retira las taritas con las muestras del horno y se pesa en seco para calcular su humedad.



Fig. 28. Amasado de la muestra.



Fig. 29. Rollitos de forma cilíndrica.

Ensayo de Proctor Modificado

Para este ensayo se utilizó el Método “A”, el cual efectúa 25 golpes por capa, en un molde 4”. Hay que mencionar, que se empleó 2.5kg de muestra completamente seca y pasada por el tamiz N°04. Luego, se procedió a pesar el molde sin collarín, así como calcular su volumen, para después compactar en 5 capas la muestra saturada. Posteriormente, para hallar su peso compactado, se desmoldo y se enraso la parte superior del molde, uniformizando la muestra en su totalidad. Por último, para calcular su contenido de humedad se sacó una muestra húmeda de cada porcentaje asumido para ser llevada al horno y se repitió el mismo procedimiento 3 veces más, hasta tener 4 puntos para la curva del ensayo de Proctor modificado.



Fig. 30. Peso de molde 4” vacío.



Fig. 31. Compactación de la muestra.



Fig. 32. Peso del molde 4” compactado.

Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

Fase de compactación

Una vez calculada nuestra MDS y la humedad óptima, se saturó una muestra de 5kg pasante por el tamiz N°04. Además, se midió la humedad natural de la muestra por cada molde CBR con el fin de determinar la cantidad de agua requerida para la muestra. Una vez preparado adecuadamente el molde, se inicia el proceso de compactación de la muestra utilizando la cantidad precisa de agua y energía requerida para lograr la densidad y humedad deseada en el suelo. Utilizando el equipo, se realizaron 56, 25 y 12 golpes por capa en esta prueba.



Fig. 33. Preparación de la muestra CBR.



Fig. 34. Compactación del molde de CBR.

Fase de inmersión

En primer lugar, para el proceso de inmersión, se tomó una lectura inicial para determinar la expansión en las 0 horas. Después se procedió a sumergir por completo en agua, donde cada 24 horas se tomó lecturas, siendo un total de 96 horas el tiempo que permaneció en el agua. Al finalizar la inmersión, se retiró con cuidado el molde de la poza y se dejó drenar el agua excedente de la parte superior. En último término, se procedió a retirar las pesas y el collar, para hallar su peso saturado del molde.



Fig. 35. Medición de la expansión.



Fig. 36. Inmersión de los moldes CBR.

Fase de penetración

Para esta fase, se utilizó un equipo de penetración (prensa), encargada de ejercer una fuerza constante sobre el pistón a una velocidad controlada. Una vez que empieza a introducirse la aguja del pistón en la muestra, registramos las lecturas por cada intervalo de tiempo. Al procesar los datos, le damos preferencia los valores de CBR para una penetración de 0.1" y 0.2", los cuales tienen una máxima densidad seca de 95% y 100% respectivamente.

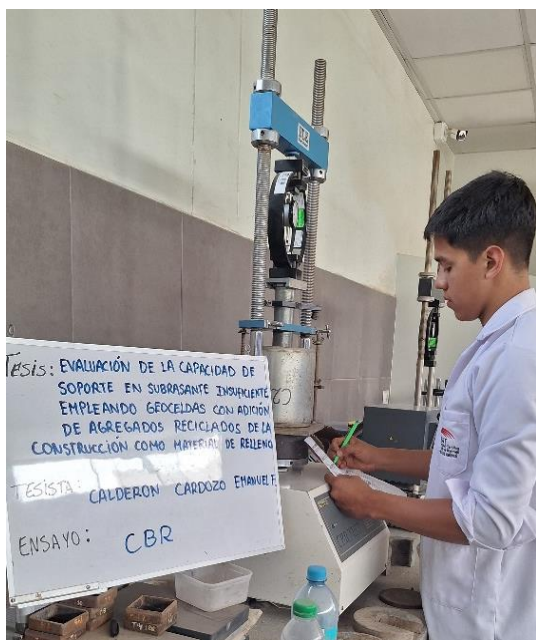


Fig. 37. Lectura de penetración en la prensa.



Fig. 38. Etapa final de penetración CBR.

Proceso de recolección y preparación de agregados

Para la obtención de afirmado, se realizó una búsqueda de fuentes de los sectores que comercializan este tipo de material, además que su procedencia sea de la Cantera La Victoria de Pátapo, una vez determinado el sitio de donde proviene el material granular, se procede a la extracción directa de la zona seleccionada, utilizando técnicas para garantizar que el material se encuentre en buen estado.



Fig. 39. Inspección del agregado natural.



Fig. 40. Recolección de agregado natural para ensayos en laboratorio.

En el tema de la obtención del agregado reciclado, se llevó a cabo una búsqueda de zonas donde se depositan RCD, con el fin de encontrar áridos en buen estado, el punto que fue seleccionado se ubica en Panamericana Norte Tramo Chiclayo – Lambayeque.

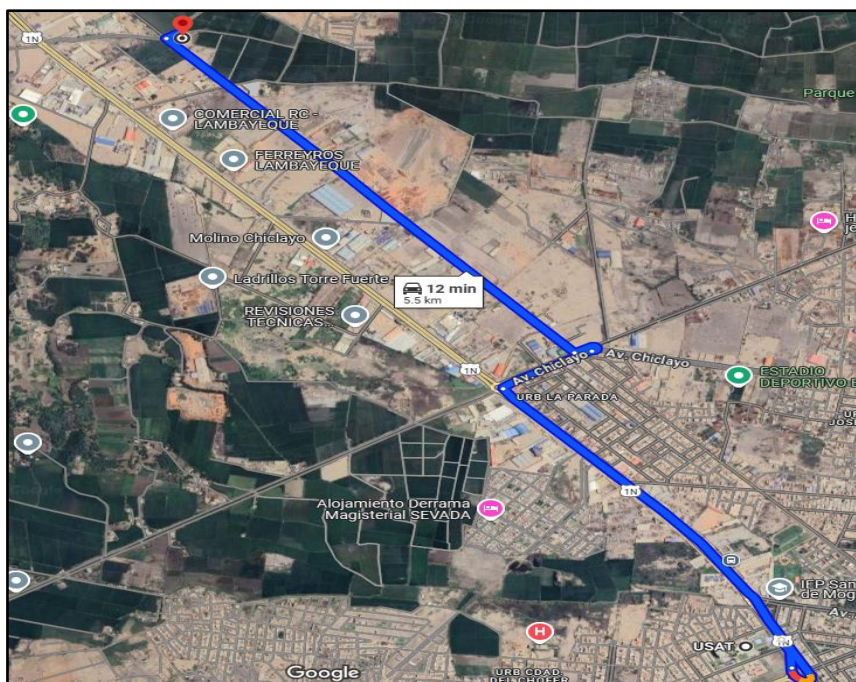


Fig. 41. Ubicación de la zona de RCD seleccionado.



Fig. 42. Residuos de construcción y demolición en la zona.

Una vez en el lugar se procedió a cargar el volquete de manera manual, donde se logró recolectar 2 volquetadas de material reciclado. Asimismo, dentro del proceso de identificación de los agregados reciclados se seleccionó los que estaban conformados por concretos reciclados provenientes de veredas y losas, por el motivo que están libres de acero en su interior, lo que facilita el proceso de chancado del material.



Fig. 43. Recolección de agregado reciclado.



Fig. 44. Transporte de agregado reciclado.



Fig. 45. Agregado reciclado en la chancadora.

Trituración y acopio de agregados reciclados

Se transportó el material hacia la chancadora las Palmas SAC, ubicado en carretera a Ferreñafe pasando el Distrito de Picsi. Para la trituración del material se efectuaron en los tamaños tradicionales que chancan la piedra para la construcción, los cuales son de ($\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, mixto y arena). Asimismo, se colocó saquillas para cuidar que el material reciclado no se mezcle con la piedra chancada.

Una vez obtenido el material triturado y separado por tamaños, con ayuda de un cargador frontal se juntó todo el material en un volquete para saber la cantidad total de agregado reciclado, logrando obtener cerca de 8m³ de concreto reciclado triturado. Posteriormente, se transportó las partículas a la zona donde se harán los tramos de prueba, ubicado en la Urb. en el distrito de la Victoria.



Fig. 46. Inicio de la trituración del agregado reciclado.



Fig. 47. Obtención de agregado reciclado por tamaños de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, mixto y arena.



Fig. 48. Transporte del agregado reciclado triturado hacia la zona de estudio.



Fig. 49. Depósito de agregado reciclado.

Una vez conseguido todos los agregados naturales y reciclados para nuestra investigación se transportó hacia las instalaciones del laboratorio de suelos, concreto y ensayo de materiales de nuestra universidad, para llevar a cabo los ensayos correspondientes para su clasificación, contenido de sales y energía de compactación de las mezclas de agregado.

Sales solubles del agregado reciclado

La normativa NTP 339.152 nos indica que la muestra debe estar completamente seca, de ahí con ayuda del tamiz N°10, separamos el agregado grueso y fino para nuestro ensayo. A continuación, usamos la proporción 1:5 para saber la cantidad en gramos de agregado y los mililitros de agua destilada a emplear en los especímenes. Luego en un frasco de vidrio, colocamos 50 gr de agregado y, al mismo tiempo, vertimos 250 ml de agua destilada. Cerramos el frasco y empezamos a agitar durante 30 minutos, permitiendo que el agua absorba todas las sustancias del agregado.

Tras dejar reposar la muestra durante 24 horas, se procede a filtrarla con ayuda de un embudo y papel filtro. El agua libre de partículas del agregado se vierte en una probeta hasta asegurarse de que esté completamente limpia. A continuación, se vacían 100 ml de esta agua en un vaso de precipitación para pesarlo. Luego de permanecer un día en el horno, se retira el vaso y se toma su peso en seco, lo cual permite calcular el contenido de sales presente en el agregado reciclado.



Fig. 50. Muestra retenida y pasante del Tamiz N° 10.

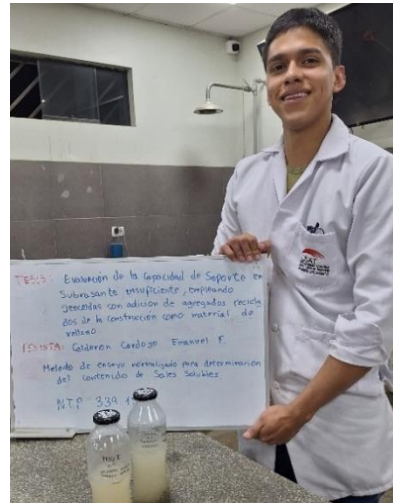


Fig. 51. Muestra en reposo 24 horas.



Fig. 52. Filtración de las sales.



Fig. 53. Beaker con la cantidad de sales.

Selección de metodología para adición de agregado reciclado (AR)

TABLA XIII
METODOLOGIA PARA SELECCIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADO RECICLADO (AR)

ANTECEDENTES							ESTUDIO PROPIO	
REF.	AUTOR(ES)	TÍTULO	ADITIVO	% DE ADICION	METODOLOGIA	RESULTADOS	PORCENTAJES SELECCIONADOS	METODOLOGIA SELECCIONADA
[16]	Chasquero Martinez Jenny Hurtado Collantes Henry	Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado	Concreto reciclado	50% ,60%,70%	Se usó tres diferentes porcentajes (50%C.R+50%A.N; 60%C.R+40%A.N; 70%C.R+30%A.N), esto con el objetivo de conseguir una combinación que satisfaga los requisitos para ser considerado un afirmado .	Los resultados mostraron que las combinaciones 60% – 40% y 70% – 30%, alcanzan los límites mínimos fijados por el M.T.C. , siendo la mezcla de 70% - 30% la que registró el valor más elevado de CBR con un 58%.	De acuerdo a las antecedentes revisados, se propuso utilizar los porcentajes de agregado reciclado del 50% , 60%, 70%.	Las combinaciones de agregado reciclado (AR) y afirmado (AF), estaran conformadas por (50%AR-50%AF); (60%AR-40%AF); (70%AR-30%AF), de las cuales se comprobara cual tiene el mejor valor en la capacidad de soporte de la subrasante empleando geoceldas.
[17]	Santisteban Ibañez, Scott Fabianny	Propuesta de uso de RCD y NFU en la sub-base de afirmado para pavimentos rígidos en la zona costera del Perú para reducir los efectos de contaminación ambiental	Concreto reciclado	50% ,60%,70%	Con el fin de ver cual mezcla era la más optima y así unirlo con NFU para su elaboración en subbase. Los porcentajes de RCD y agregados naturales que se examinaron fueron (50-50)%, (60-40)% y (70-30)%.	Los resultados indicaron que la combinación (70-30) % obtuvo el máximo valor para CBR de un 137%, seguido de la (50-50) % con un CBR de 100% y por último la conformada por (60-40) % con un 89% de CBR.		
[18]	Contreras Quezada Beatriz - Herrera Lázaro Víctor	Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Santa-Ancash	Concreto reciclado	50% ,60%,75%	En su metodología propuso potenciar el agregado obtenido de los residuos de la construcción para su aplicación en las capas de pavimentos. Para ello usó mezclas conformadas por agregado reciclado (AR) y agregado natural (AN), las cuales fueron de (50AR-50AN),(60AR-40AN), (75AR-25AN).	La investigación logro demostrar que todas las mezclas de AR Y AN cumplen con los requerimientos para la construcción de bases y subbases de un pavimento. No obstante, al compararlo con 100% de agregado natural, las combinaciones conformadas 50%AR - 50% AN y 60%AR - 40%AN, fueron las que alcanzaron mejores resultados, obteniendo un CBR de 115.62% de y 113.91% respectivamente.		

Ensayos para las mezclas de agregado reciclados y naturales

Contenido de humedad de los agregados.

Se escogió una porción representativa de todo nuestro material granular, de donde se eligió la cantidad dependiendo el tamaño máximo retenido del agregado natural y reciclado, asimismo se replicó el proceso para las combinaciones de AR y AF. Luego, con ayuda de una tara la introducimos en un horno por un lapso de 24 horas. Una vez terminado el secado, se procedió a pesarla en una balanza para hallar el peso seco de la muestra y, con ello, determinar su contenido de humedad.



Fig. 54. Cuarteo de agregado natural.



Fig. 55. Cuarteo de agregado reciclado.



Fig. 56. Muestra de agregados por separado para hallar el contenido de humedad.



Fig. 57. Combinaciones de AR y AF para encontrar el contenido de humedad.

Análisis Granulométrico de los agregados

Para este ensayo nos guiamos según la normativa del MTC E – 204. En primer lugar, utilizamos el tamiz N°04 para separar gruesos y finos, para el agregado grueso se utilizó todo lo que retuvo el tamiz y para el agregado fino se empleó solo 500 gr de la pasante. Asimismo, el agregado grueso se lavó para eliminar las partículas finas que estaban impregnadas en el material. Posteriormente, se llevó al horno por 24 horas y se obtuvo la muestra en seco para poder ensayar. Finalmente, vertimos el material y agitamos los tamices, obteniendo los pesos de retención de cada tamiz usado.



Fig. 58. Combinación de AR y AF para ensayo de granulometría.



Fig. 59. Muestra separada por gruesos y finos.



Fig. 60. Tamizado del agregado.



Fig. 61. Pesos retenidos por cada tamiz.

Ensayo De Límite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad

Previamente se pasó el agregado convencional y reciclado por la malla N°40, basándonos en nuestros porcentajes de mezcla, repartimos las cantidades hasta obtener 200 gr de muestra, para después aplicarle agua destilada y a su vez removerlo con una espátula. Luego, de haber colocado la muestra en la Copa de Casagrande, se procede a cortar con un acanalador por el centro y dividir la muestra humedecida en dos. Asimismo, se realizaron los rangos de golpes necesarios hasta que el vacío generado por el acanalador se cierre por completo en su superficie. Después, con cuidado se retiró una porción de muestra de la zona central, la cual se pesó en húmedo y más tarde en seco.

De la muestra restante del ensayo de límite líquido, se utilizó porciones con tendencia a ser más consistentes, para formar rollitos uniformes sobre una placa acrílica. Estos especímenes amasados resultaban en una forma cilíndrica con un diámetro de 3mm aproximadamente.

Finalmente, se retira las taritas con las muestras del horno y se pesa en seco para calcular su humedad.



Fig. 62. Muestras de AR y AF pasadas por el tamiz N°10.



Fig. 63. Combinaciones de AR y AF para aplicarlas en la Copa de Casagrande.



Fig. 64. Muestras de L.L. secas de la combinación de agregados.



Fig. 65. Muestras de L.P. secas de la combinación de agregados.

Ensayo de Equivalente de Arena

Para realizar este ensayo, se inició preparando la solución stock, disolviéndola en agua destilada y dejándola reposar durante 24 horas. Luego, se procedió al tamizado de los agregados utilizando el tamiz N°04, separando 500 gramos tanto del material afirmado como de las mezclas con agregado reciclado según los porcentajes establecidos. Continuando con el procedimiento, se utilizó un tubo de irrigación para verter 400 ml de la solución en un cilindro graduado. Con ayuda de un embudo, se añadió una porción del material previamente humedecido al cilindro, el cual se llenó completamente con la solución. Posteriormente, se agitó el contenido 100 veces de forma manual.

Una vez finalizado la agitación, se dejó reposando el espécimen durante 30 minutos, para luego realizar la lectura correspondiente del contenido de arcilla, y con ayuda de una pesa determinar la cantidad de arena presente en la muestra.



Fig. 66. Muestras de agregados para equivalente de arena.



Fig. 67. Preparación de la solución.



Fig. 68. Colocación del material en cilindro graduado.



Fig. 69. Cilindros graduados con sus muestras para su posterior lectura.

Ensayo de Abrasión Los Ángeles

Previo a la ejecución del ensayo de abrasión, se procedió a tamizar el material granular utilizando las mallas correspondientes (1", 3/4", 1/2" y 3/8"), separando 5000 gramos para cada una de las combinaciones establecidas en el estudio. Luego, el agregado fue lavado cuidadosamente para remover los finos adheridos y posteriormente secado en horno durante 24 horas.

Una vez que la muestra se encontraba completamente seca, se registró su peso inicial y se colocó en la máquina de Los Ángeles, junto con las esferas de acero, para efectuar un total de 500 revoluciones. Al término del ciclo, el material fue extraído y nuevamente tamizado, esta vez con el propósito de separar las partículas gruesas. Finalmente, conociendo el peso final registrado, se calculó el porcentaje de deterioro del agregado debido a la abrasión

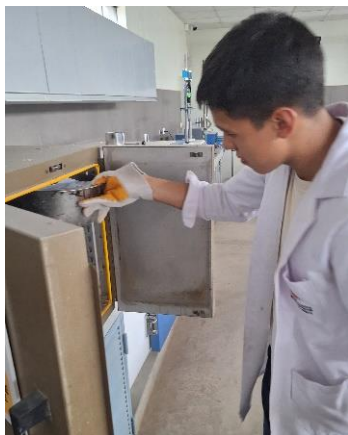


Fig. 70. Secado del agregado tamizado por 24 horas.



Fig. 71. Muestras y esferas para el ensayo de abrasión.



Fig. 72. Maquina Los Ángeles.



Fig. 73. Pesaje de la muestra sometida al desgaste.

Ensayo de Proctor Modificado de Combinaciones (AR + AF)

Para este ensayo se utilizó el Método “C”, que tiene que retener menos del 30% en el tamiz de 3/4 y más del 25% retenido en la de 3/8, además en este procedimiento se hacen 56 golpes por capa, en un molde 6”.

TABLA XIV

METODOS PARA ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO	N°4	3/8	3/4
A	≤ 25%	-	-
B	>25%	≤ 25%	-
C	-	>25%	≤ 30%

TABLA XV**PESO RETENIDO EN PORCENTAJE DEL AGREGADO NATURAL**

MALLA	PESO RETE	% RETE
3/4	4155	14.22
3/8	4196	14.36
N°4	3810	13.04
MENOS DE 4	17052	58.37
PESO TOTAL	29213	Kg

Se debe señalar que se empleó 5.6 kg de muestra completamente seca, en la que se repartieron diferentes proporciones de las partículas retenidas y pasantes de los tamices de 3/8 y N°04, esto datos se lograron hallar mediante un cálculo de reajuste entre el retenido acumulado y el retenido parcial de cada tamiz.

TABLA XVI**PROPORCIONES DEL AGREGADO PARA EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

PESO DE PROCTOR MODIFICADO (NATURAL)			
3/8	16.75	56	937.728 gr
N°4	15.20	56	851.465 gr
MENOS DE 4	68.05	56	3810.807 gr
PESO TOTAL POR BOLSA (gr)			5600.00 gr

Para las combinaciones de agregado reciclado y agregado natural, utilizamos las mismas proporciones, pero ahora aplicando los porcentajes previamente establecidos, los cuales detallo a continuación:

TABLA XVII**CANTIDADES PARA LA COMBINACION 50%AR + 50%AF**

50%AR + 50%AF	CONCRETO RECICLADO		
	3/8	468.86423	gr
	N°4	425.7323	gr
	MENOS DE 4	1905.4035	gr
	AFIRMADO		
	3/8	468.86423	gr
	N°4	425.7323	gr
	MENOS DE 4	1905.4035	gr
		5600	gr

TABLA XVIII

CANTIDADES PARA LA COMBINACION 60%AR + 40%AF

60%AR + 40%AF	CONCRETO RECICLADO		
	3/8	562.6371	gr
	N°4	510.8788	gr
	MENOS DE 4	2286.484	gr
	AFIRMADO		
	3/8	375.0914	gr
	N°4	340.5858	gr
	MENOS DE 4	1524.323	gr
		5600	gr

TABLA XIX

CANTIDADES PARA LA COMBINACION 70%AR + 30%AF

70%AR + 30%AF	CONCRETO RECICLADO		
	3/8	656.4099	gr
	N°4	596.0252	gr
	MENOS DE 4	2667.565	gr
	AFIRMADO		
	3/8	281.3185	gr
	N°4	255.4394	gr
	MENOS DE 4	1143.242	gr
		5600	gr

Determinadas las cantidades para cada combinación de agregado reciclado y agregado natural, se llevó a cabo la preparación de las muestras para crear el afirmado artificial con los tamaños especificados anteriormente.



Fig. 74. Preparación de muestra de 5.6 Kg para Proctor Modificado.

Luego, se procedió a pesar el molde de 6" sin collarín, así como calcular su volumen, para después compactar en 5 capas la muestra saturada. Posteriormente, para hallar su peso compactado, se desmoldo y se enraso la parte superior del molde, uniformizando la muestra en su totalidad. Por último, para calcular su contenido de humedad se sacó una muestra húmeda de cada porcentaje asumido para ser llevada al horno y así sucesivamente hasta obtener 4 puntos para el ensayo.



Fig. 75. Combinación de AR + AF.



Fig. 76. Saturación de la mezcla de AR + AF.



Fig. 77. Compactación de la mezcla de AR+ AF.



Fig. 78. Peso del molde de AR + AF compactado.

Diseño y construcción de modelo de prueba experimental

Antes de llevar a cabo los tramos experimentales en la zona de estudio, se elaboró un diseño preliminar de pavimento flexible con el propósito de definir los espesores de las capas necesarios para realizar la excavación. En coordinación con nuestro asesor, consideramos una vía colectora para el diseño, ya que nuestra investigación debía enfocarse en mejorar una subrasante capaz de soportar una cantidad considerable de ejes equivalentes y el tránsito de ciertos vehículos pesados. Siguiendo la normativa C.E.0.10 Pavimentos Urbanos, se estableció un valor de diseño de 3 millones de ejes equivalentes para una vía colectora [33].

TABLA XX
EJEMPLOS DE EALs DE DISEÑO

Clase de Vía	EALs ² (millones)	Nivel de Confiab. ^b (%)	Factor de Confiabil. (Fr)	EALs de diseño ^a (millones)
Expresas	7.5	90	3.775	28.4
Arteriales	2.8	85	2.929	8.3
Colectoras	1.3	80	2.390	3.0
Locales	0.43	75	2.010	0.84

Posteriormente, con el apoyo Manual de Suelos y geotecnia del MTC, se logró determinar el tipo de tráfico, para así calcular la confiabilidad, la desviación estándar, el error estándar combinado, la servicialidad y la calidad del drenaje. Además, del módulo resiliente (M_r) que se obtuvo correlacionándolo con el CBR determinado en el laboratorio. Finalmente, determinamos los espesores necesarios y sumamos a la profundidad la altura de la geocelda junto con su relleno, con el fin de definir la profundidad total de la excavación.

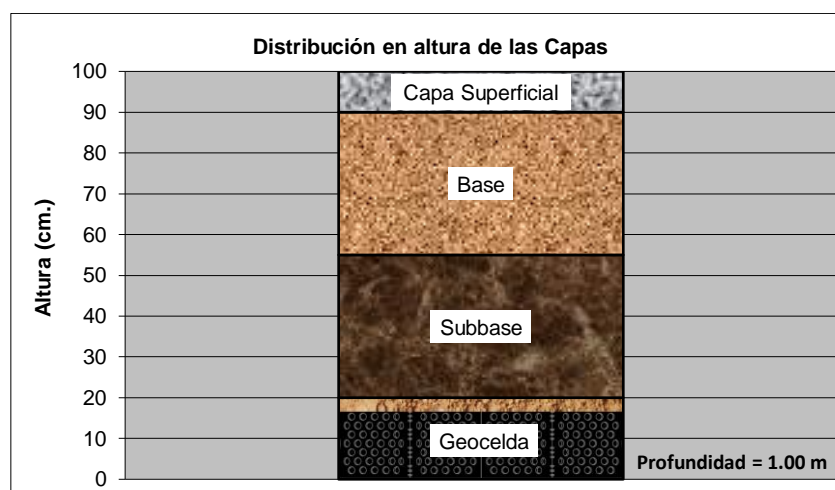


Fig. 79. Espesores de capas para la excavación de tramos de prueba.

La construcción contó con una profundidad de excavación total de 100 cm, donde el ancho fue de 1.20 m y el largo de 4.10 m. El tramo se dividió en secciones específicas: suelo natural, geoceldas con afirmado y geoceldas rellenas con mezclas de agregados reciclados (AR) y afirmado (AF).

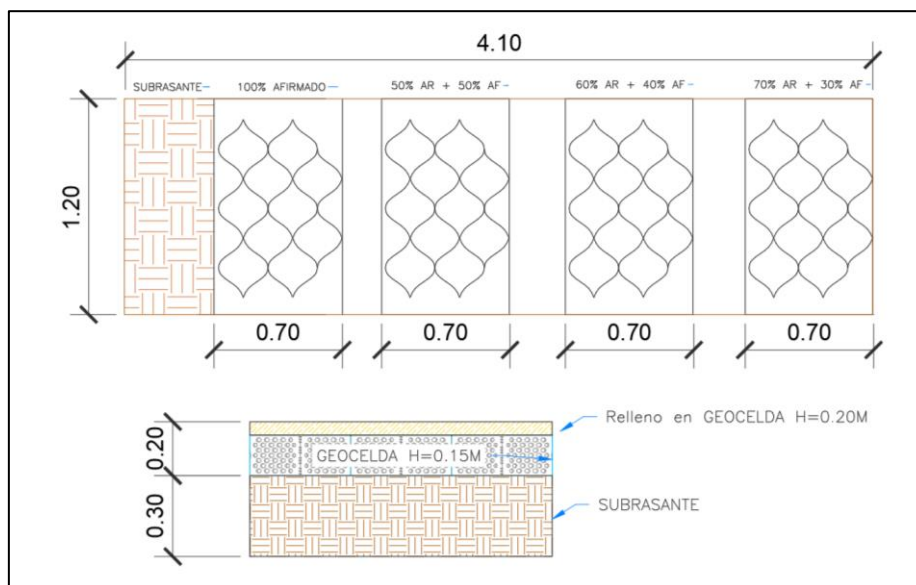


Fig. 80. Modelo de tramos experimentales para ensayo DCP.

El proceso incluyó varias etapas clave. Primero, se llevó a cabo la nivelación y compactación de la subrasante, seguidas del corte e instalación de las geoceldas conforme a las dimensiones especificadas en el plano. Una vez colocados los geosintéticos, se prepararon las mezclas de agregados reciclados (AR) y afirmado (AF) en las proporciones definidas, utilizando una balanza y baldes como apoyo. Además, se incorporó la cantidad óptima de humedad previamente determinada en los ensayos realizados en el laboratorio.



Fig. 81. Excavación de tramo experimental.



Fig. 82. Instalación de geoceldas.



Fig. 83. Pesaje de AR y AF.



Fig. 84. Preparación de la muestra de AR y AF.



Fig. 85. Vaciado del material en geoceldas.



Fig. 86. Distribución homogénea del material.

Una vez que el material estuvo correctamente ubicado, se procedió a compactar los especímenes utilizando una plancha compactadora. Este proceso se realizó de la manera más uniforme posible, con el objetivo de garantizar la homogeneidad en las capas reforzada con geoceldas y material granular.



Fig. 87. Compactación del tramo experimental.



Fig. 88. Capa reforzada con geoceldas compactada para ensayo DPC.

Ensayo de DCP para hallar el CBR experimental

Al llegar al sitio de estudio, identificamos las marcas que habíamos dejado previamente para distinguir cada uno de nuestros modelos de prueba. Después de esta identificación, procedimos a montar el equipo de DCP y lo posicionamos sobre cada uno de los puntos establecidos.



Fig. 89. Montaje de equipo DCP.



Fig. 90. Posicionamiento del equipo DCP.

Para realizar el ensayo de DCP, comenzamos dejando caer una pesa de 8 kg para introducir la punta cónica en la muestra previamente compactada. En primer lugar, tomamos mediciones a una profundidad de 100 milímetros, anotando cuidadosamente el número de golpes requeridos. Luego, repetimos el procedimiento para profundidades de 200 y 300 milímetros. Una vez completadas las mediciones en todos los puntos de prueba, analizamos los datos recopilados para calcular el valor del CBR correspondiente a cada sección utilizando los resultados obtenidos en campo.



Fig. 91. Penetración del equipo DCP.



Fig. 92. Registro de golpes y profundidad.

Construcción de tramo real

La construcción del tramo real conto con una profundidad de excavación de 1m, donde las dimensiones fueron de 3m de ancho y 20m de largo. El tramo se dividió en dos partes: una con afirmado y otra con la combinación (60%AR + 40%AF), la cual obtuvo el mejor valor de capacidad de soporte mediante en ensayo DCP.

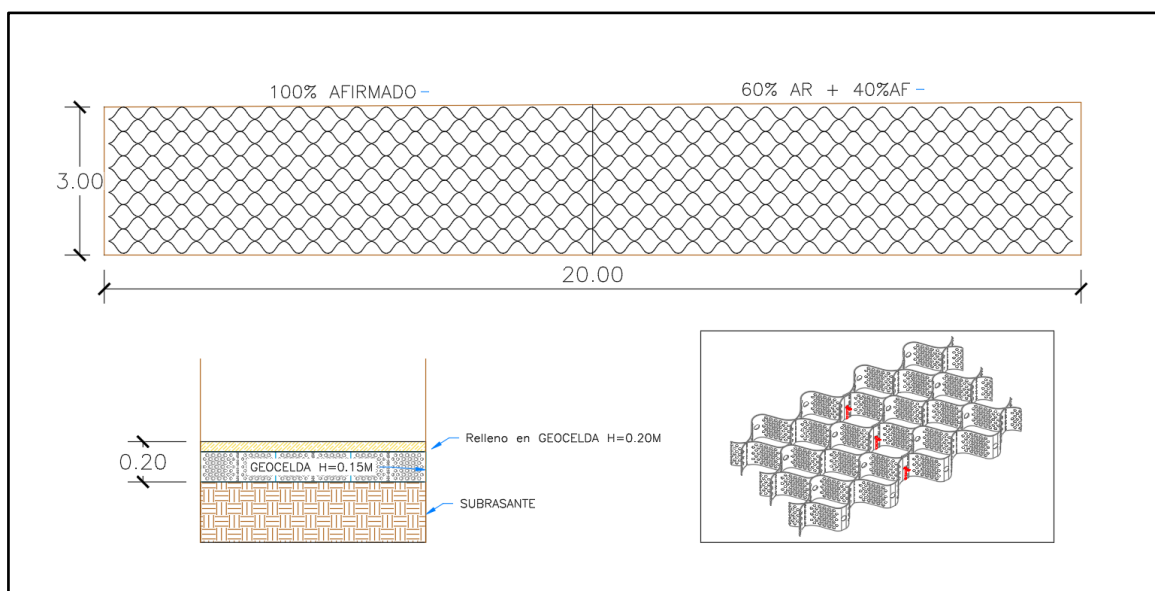


Fig. 93. Modelo para la ejecución de tramo de prueba.

El procedimiento se desarrolló en varias etapas. En primer lugar, se realizaron las labores de excavación, nivelación y compactación de la subrasante con el uso de maquinaria pesada. Para luego realizar el tendido de las geoceldas en todo el tramo excavado.



Fig. 94. Excavación de tramo con retroexcavadora



Fig. 95. Subrasante nivelada y compactada.



Fig. 96. Instalación de uniones en T para geoceldas.



Fig. 97. Tendido de geoceldas en el tramo.

Una vez colocados los geosintéticos, se prepararon los materiales: tanto el agregado natural como la mezcla compuesta por un 60 % de agregados reciclados y un 40 % de agregados naturales, siguiendo las proporciones previamente establecidas. Estas cantidades fueron medidas utilizando la pala de 1 m³ de la retroexcavadora. Finalmente, con el apoyo de una cisterna, se incorporó al material la humedad óptima determinada en los ensayos de laboratorio, asegurando así las condiciones ideales para la compactación.



Fig. 98. Mezclado de 5m³ agregado reciclado y 4m³ afirmado.



Fig. 99. Adición del porcentaje de agua para el afirmado.



Fig. 100. Adición del porcentaje de agua para la combinación 60% AR+40% AF.



Fig. 101. Batido de los materiales granulares humedecidos.

Como siguiente etapa del proceso, se procedió al llenado de las geoceldas con el material granular previamente humedecido. Tras verificar que el material estaba correctamente distribuido, se efectuó la compactación de toda la superficie del tramo utilizando un rodillo vibratorio, asegurando además que esta se realizará de la manera más uniforme posible.



Fig. 102. Llenado de geoceldas con maquinaria.



Fig. 103. Nivelación del material granular.



Fig. 104. Compactación del tramo con rodillo vibratorio.



Fig. 105. Capa reforzada con geoceldas lista para ensayos de campo.

Ensayo CBR in situ

Antes de iniciar con el procedimiento, se contrató un volquete que cumpliera con las especificaciones establecidas por la normativa del ensayo. Posteriormente, se identificaron las áreas correspondientes a cada tipo de material de relleno utilizado, marcando claramente sus límites.

Una vez concluida esta etapa, se procedió a montar el equipo. En primer lugar, se colocó un soporte de fijación que permitiera sujetar el pistón a la viga del volquete de manera segura. Continuando con la instalación, se posicionaron los diales necesarios para registrar las lecturas de penetración, carga y resistencia, junto con la barra de soporte correspondiente. Finalizada la instalación del equipo para el ensayo CBR in situ, se llevó a cabo la penetración del pistón utilizando una manivela. Durante este proceso, se realizaron las lecturas en intervalos de tiempo previamente definidos, con la ayuda de un cronómetro.



Fig. 106. Densidad en tramos reales.



Fig. 107. Instalación del equipo CBR in situ.



Fig. 108. Toma de lecturas de diales en tramo conformado por 60% AR+40% AF



Fig. 109. CBR in situ en segmento conformado por afirmado.

Ensayo Viga Benkelman

Para llevar a cabo el ensayo de la viga Benkelman, iniciamos con el armado del equipo. Primero, se introdujeron los brazos en el cuerpo de la viga, y posteriormente se ajustaron y nivelaron con respecto a la superficie del tramo a evaluar. Una vez montado el equipo, se procedió a colocar los diales necesarios para registrar las deflexiones. El brazo más largo se ubicó en el centro del espacio entre las llantas duales del volquete

Las lecturas del ensayo se registraron a medida que el volquete avanzaba a distancias de 0 cm, 25 cm, 50 cm, 100 cm y más allá de los 100 cm. En total, realizamos cuatro repeticiones por cada lado del tramo, tanto para un tipo de material granular como para el otro, con el propósito de obtener un valor promedio de deflexión en cada uno de los tramos construidos con estos materiales.



Fig. 110. Armado de Viga Benkelman.



Fig. 111. Toma de lectura de diales.



Fig. 112. Deflexiones en tramo con (60% AR+40% AF).



Fig. 113. Deflexiones en tramo con afirmado (AF).

Resultados y discusión

Para describir las características físicas y mecánicas del suelo, se realizaron los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, proctor modificado y valor de capacidad de soporte (CBR). A partir de los ensayos ejecutados, se identificaron los siguientes datos:

Contenido de humedad del suelo natural

Basándonos en la normativa de ensayos del MTC, se procede a medir la cantidad de agua presente en la muestra extraída a una profundidad de 1.50 m. En la tabla XXI, se muestra el porcentaje de humedad del suelo natural.

TABLA XXI
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	C. Humedad (%)
C- 01	M-01	0.30 -1.50	22.9

Análisis Granulométrico del suelo natural

En la tabla XXII mostramos los porcentajes que pasan según el tamaño de sus partículas, en la cual predomina los limos y arcillas con un 90.5 %. Asimismo, en el gráfico 2 se detalla la curva granulométrica de nuestro suelo natural después del lavado.

TABLA XXII
DISTRIBUCION GRANULOMÉTRICA DEL SUELO NATURAL

Calicata	Muestra	%Grava	% Arena	%Limo y Arcilla
		75.00 - 4.75 mm	4.75.00 - 0.075 mm	<0.075 mm
C-01	M-01	1.3	8.2	90.5
	M-02	1.4	7.5	91.1

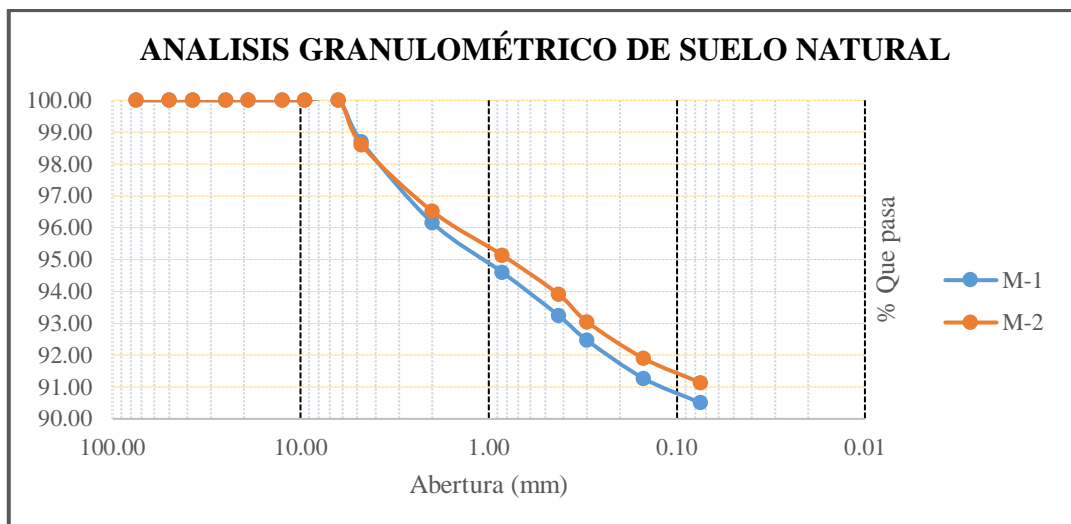


Gráfico 2. Curva granulométrica del suelo natural.

Límites de Atterberg del suelo natural

Para encontrar los límites, utilizamos las secciones MTC E- 110 y MTC-E-111 del manual de ensayos. Los resultados de límites y índice de plasticidad se muestran en la tabla XXIII y en la gráfica 3 se evidencia las diferencias porcentuales entre las muestras evaluadas.

TABLA XXIII

LIMITES DE ATTERBERG DEL SUELO NATURAL

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
C- 01	M-01	0.30-1.50	34.94	22.97	11.96
	M-02	0.30-1.50	34.25	21.86	12.39

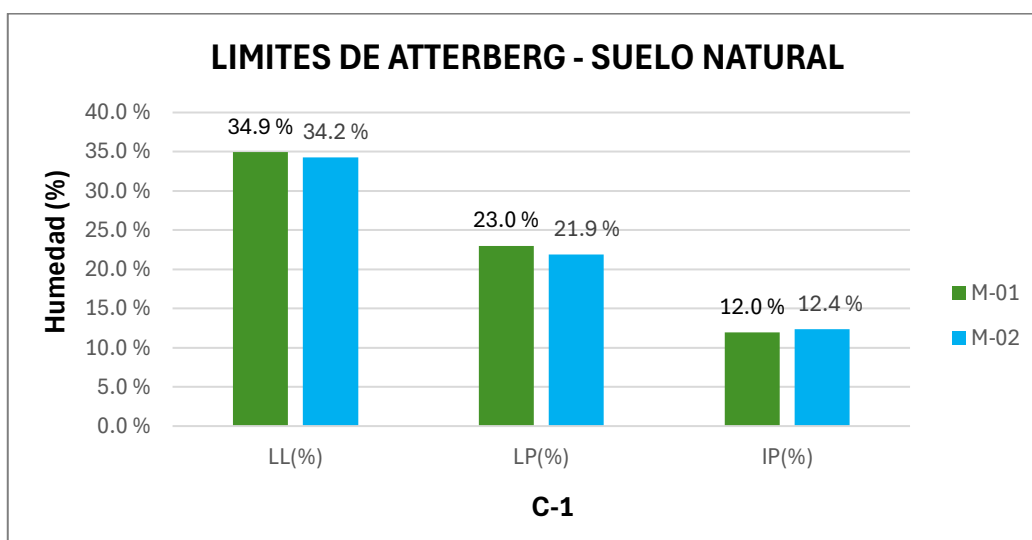


Gráfico 3. Límites de Atterberg del suelo Natural.

Clasificación del suelo natural

Una vez desarrollados las pruebas de granulometría y límites, se procedió a clasificar el suelo de acuerdo con los sistemas AASTHO y SUCS, obteniéndose como resultado una arcilla de baja plasticidad.

TABLA XXIV
CLASIFICACION DEL SUELO NATURAL

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	AASHTO	SUCS
C- 01	M-01	0.30-1.50	A-6(9)	CL
	M-02	0.30-1.50	A-6(9)	CL

Proctor Modificado del suelo natural

Se utilizo el método “A”, siguiendo los lineamientos de la normativa MTC E-115. Donde realizamos un total de 3 repeticiones, con el fin de obtener un promedio de los datos del contenido de humedad optimo y la máxima densidad seca.

TABLA XXV
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA SUELO NATURAL

Calicata	Proctor	Profundidad (m)	Contenido de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/m ³)
C- 01	P-01	0.30-1.50	10.50	1.963
	P-02	0.30-1.50	10.40	1.947
	P-03	0.30-1.50	10.50	1.882
	Promedio	0.30-1.51	11.65	1.914

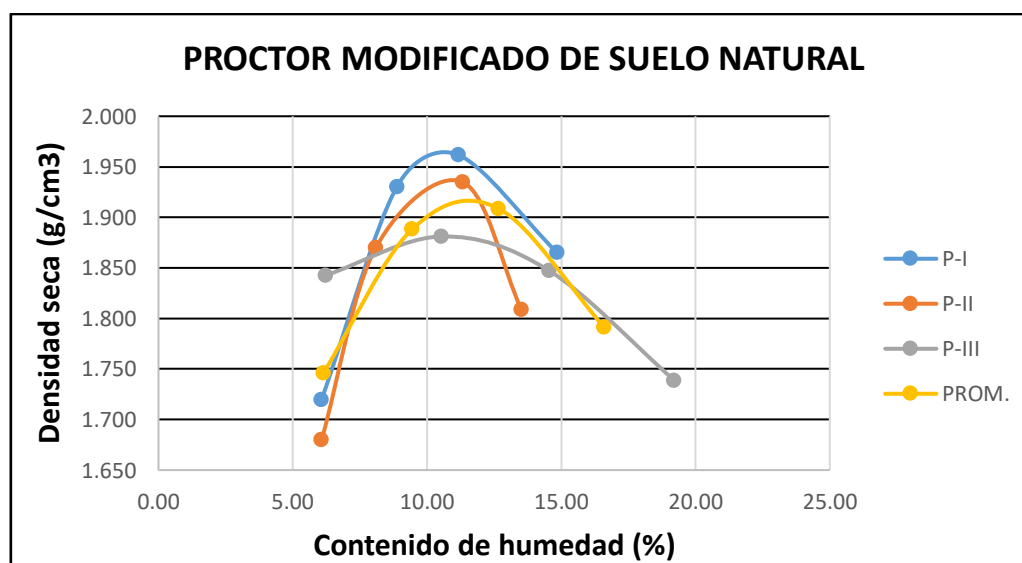


Gráfico 4. Curva de compactación del suelo natural.

Capacidad de soporte (CBR) del suelo natural

Después de calcular la densidad máxima seca y la humedad óptima de la muestra, se procedió a realizar el ensayo siguiendo la normativa MTC E-132. Con el fin de garantizar la fiabilidad de los datos, la prueba se repitió en tres oportunidades, lo que permitió obtener un valor representativo del CBR en estado natural. En la tabla XXVI se presentan los resultados obtenidos para los niveles del 95 % y 100 % de la densidad seca máxima, con una penetración de 2,54 mm.

TABLA XXVI
VALOR DE CBR DEL SUELO NATURAL

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	CBR (%) al 95% M.D.S.	CBR (%) al 100% M.D.S.
C- 01	M-01	0.30-1.50	1.50	1.50
	M-02	0.30-1.50	1.40	1.60
	M-03	0.30-1.50	1.50	1.60
	Promedio	0.30-1.50	1.50	1.57

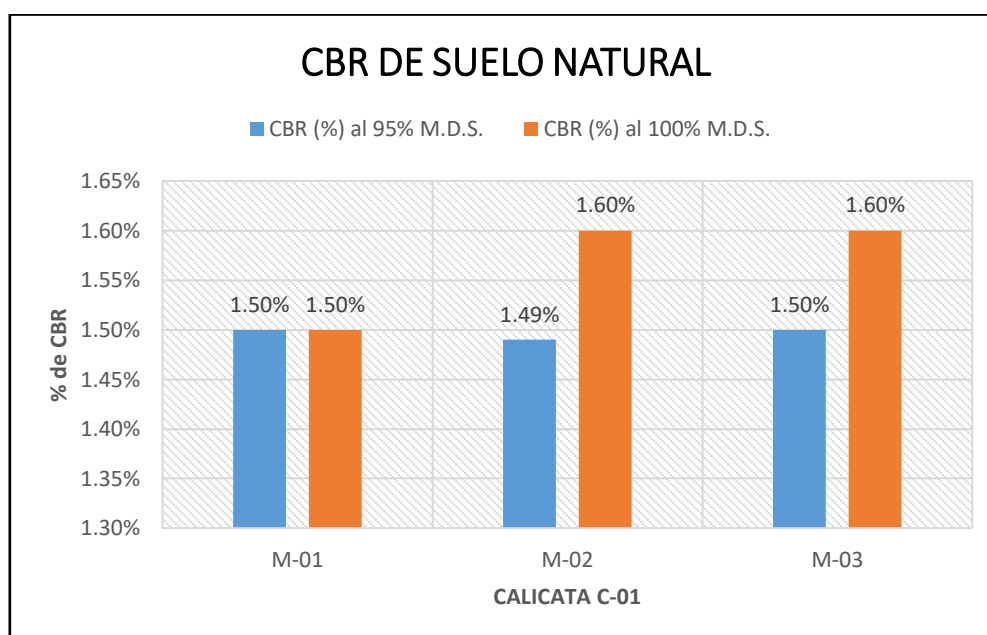


Gráfico 5. Valor de CBR del suelo natural al 95% y 100% de M.D.S.

En segunda instancia, se determinó la cantidad de sales solubles en el agregado reciclado, para su uso en capas de pavimento. Además, se realizaron ensayos para clasificar el afirmado, tanto de forma individual como en mezcla con el agregado reciclado (AR + AF). Junto a estas pruebas de laboratorio, también se hicieron evaluaciones en campo, donde se midió el valor del CBR directamente sobre el terreno y las deflexiones provocadas por cargas aplicadas.

Cantidad de sales solubles del agregado reciclado

De acuerdo con lo establecido en el Manual de Carreteras del MTC, no se especifica un valor máximo permitido de sales solubles para el caso de la subrasante. Por esta razón, se optó por tomar como referencia el límite aplicable a una subbase granular, que es el más cercano en cuanto a características y uso, cuyo valor máximo permitido es de 1.00 %. Los datos obtenidos se detallan en la Tabla XXVII.

TABLA XXVII

CANTIDAD DE SALES SOLUBLES EN LOS AGREGADOS RECICLADOS

Ubicación	Muestra	Tipo de Muestra	Tamaño	Cantidad de Sales	SUBBASE $\leq 1.00\%$
Lambayeque - Carretera Panamericana Norte	M-1	Concreto reciclado	A.F	0.6%	CUMPLE
			A.G	0.8%	CUMPLE
Lambayeque - Carretera Panamericana Norte	M-2	Concreto reciclado	A.F	0.6%	CUMPLE
			A.G	0.5%	CUMPLE

Ensayos de clasificación de agregado natural y mezclas con adición de agregados reciclados

Contenido de humedad

Basándonos en la norma del MTC E- 108, se procede a medir la cantidad de agua presente en el afirmado (AF) y las combinaciones con agregado reciclado (AR+AF). En la tabla XXVIII se detalla las humedades resultantes de nuestros especímenes.

TABLA XXVIII

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF.

Muestra	Tipo de Muestra	C. Humedad (%)
M-01	Afirmado	4.19%
M-02	50% AR + 50% AF	2.57%
M-03	60% AR + 40% AF	2.46%
M-04	70% AR + 30% AF	2.26%

Análisis granulométrico para afirmado y mezclas de AR con AF

En este ensayo usamos la normativa MTC- E 204, donde separamos las partículas gruesas y finas por el tamiz N°04. En total realizamos 4 muestras para el análisis de granulometría, una para el material natural y los demás restantes nuestras combinaciones establecidas. En la tabla XXIX se detallan los porcentajes retenidos de las muestras.

TABLA XXIX

DISTRIBUCIÓN DE GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF

Material	%Grava 75.00 - 4.75 mm	% Arena 4.75.00 - 0.075 mm	%Limo y Arcilla <0.075 mm
Afirmado	40.5	46.5	13.0
50%AR + 50% AF	34.3	60.2	5.5
60%AR + 40% AF	35.9	58.9	5.2
70%AR + 30% AF	36.1	59.1	4.8

Asimismo, en el gráfico 6 y 7 se detalla la curva granulométrica de cada una de nuestras muestras ensayadas para su posterior clasificación.

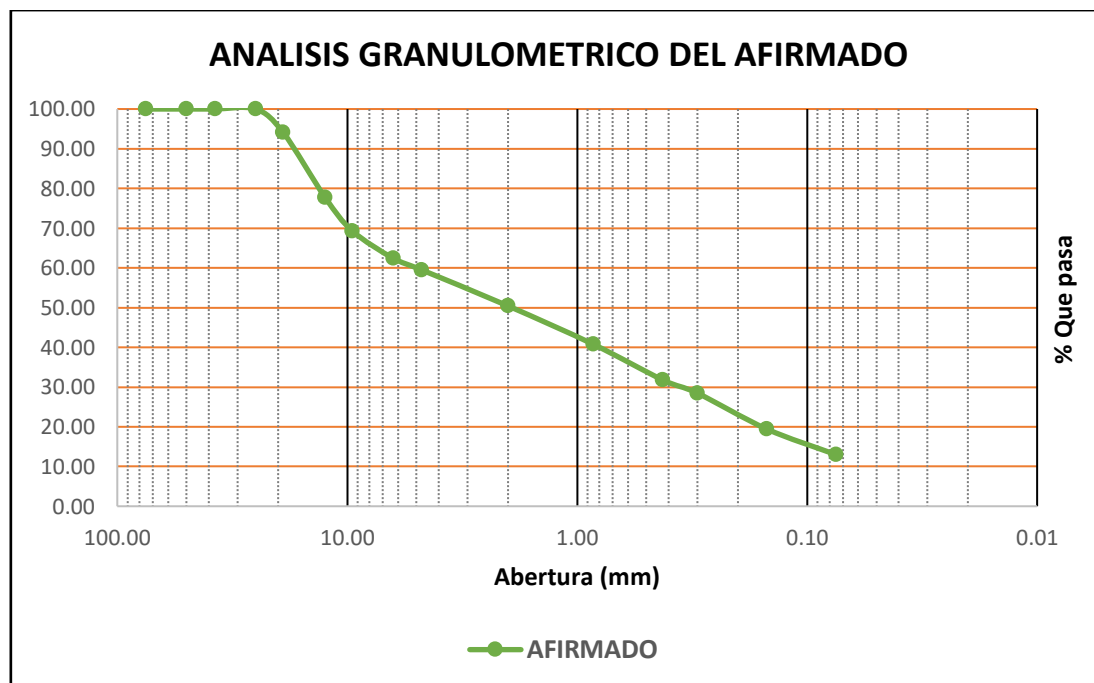


Gráfico 6. Curva granulométrica del afirmado (AF).

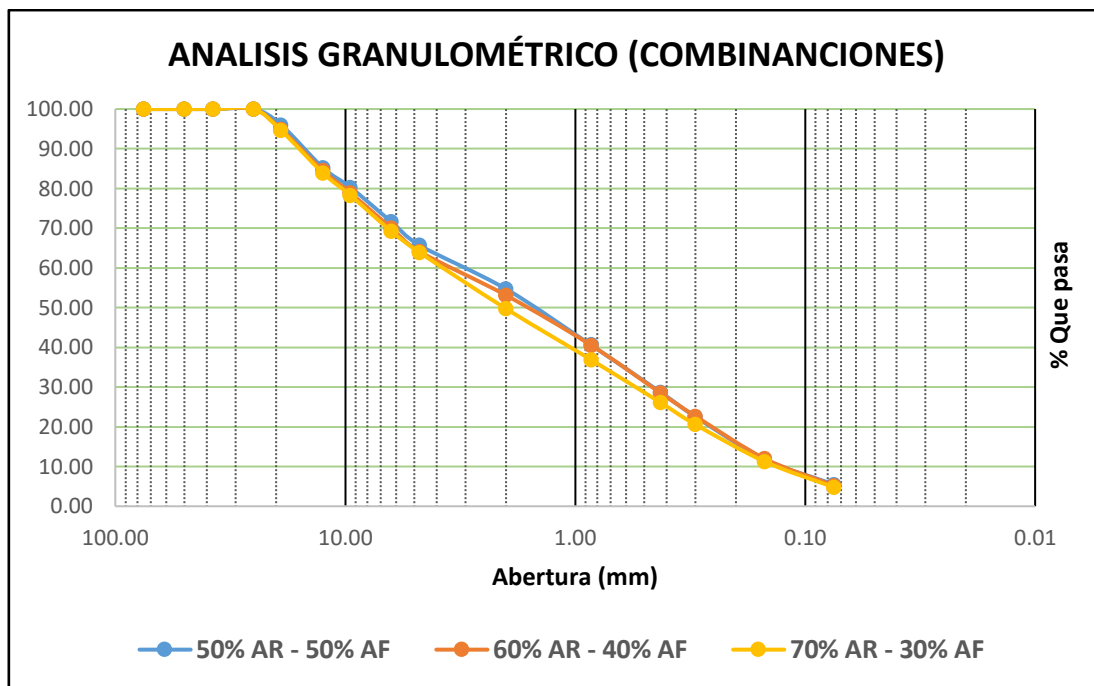


Gráfico 7. Curva granulométrica de las combinaciones de AR y AF.

Límites de Atterberg e Índice de plasticidad

En la tabla XXX evidenciamos todas las muestras de límites que se efectuó para hallar el índice de plasticidad de nuestros materiales granulares. Asimismo, en el gráfico 9 se muestra la línea tendencia de nuestro índice de plasticidad en relación a sus porcentajes de agregado reciclado añadidos.

TABLA XXX

LIMITES DE ATTERBERG DE LAS MUESTRAS DE AR Y AF

Material	Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
AFIRMADO	M-01	26.9 %	20.4 %	6.5 %
50%AR+50%AF	M-01	28.3 %	19.6 %	8.7 %
	M-02	27.1 %	17.8 %	9.4 %
60%AR+40%AF	M-01	27.5 %	19.1 %	8.4 %
	M-02	27.3 %	18.5 %	8.8 %
70%AR+30%AF	M-01	27.0 %	18.8 %	8.1 %
	M-02	26.5 %	18.8 %	7.8 %

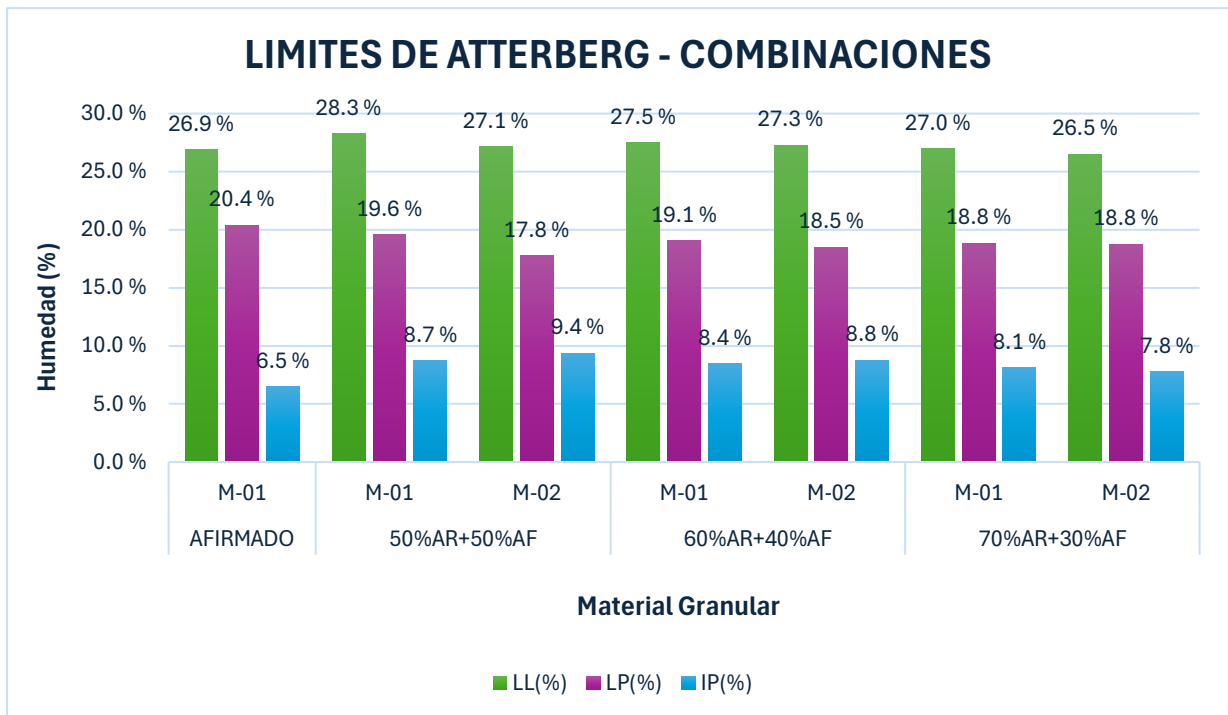


Gráfico 8. Límites de Atterberg del afirmado y mezclas de AR con AF.

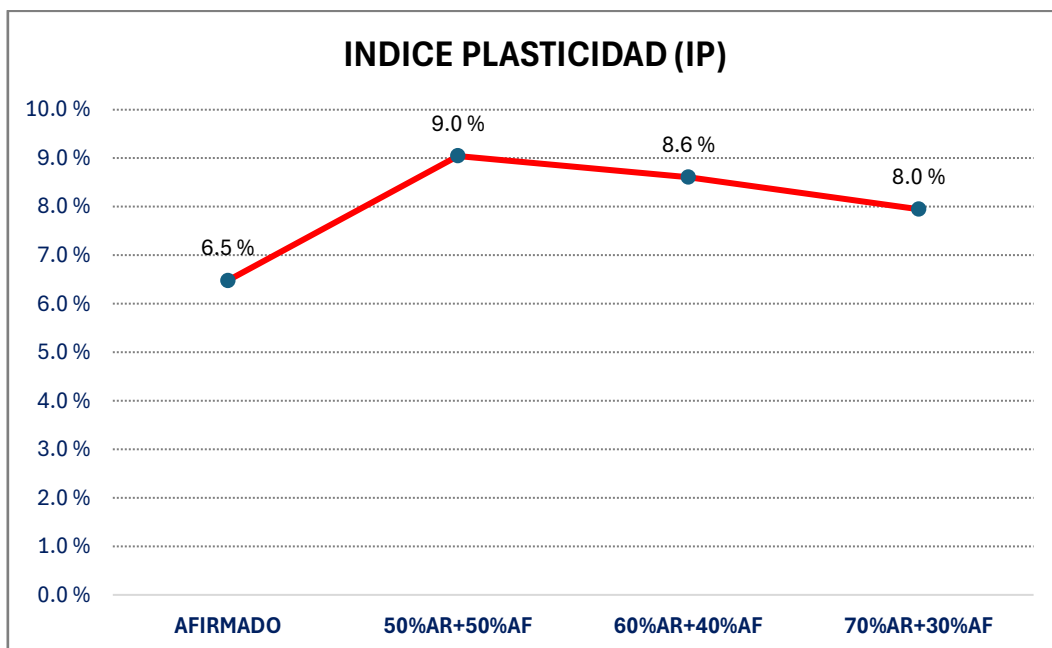


Gráfico 9. Línea tendencia del I.P. de afirmado y combinaciones de AR con AF.

Clasificación de materiales granulares

La tabla XXXI nos detalla la clasificación del afirmado y las combinaciones de AR con AF, según la tipología AASTHO y SUCS.

TABLA XXXI

CLASIFICACION AASHTO Y SUCS DE LA MUESTRAS DE AR Y AF

Material	Muestra	AASHTO	SUCS
Afirmado	M-01	A-1-b (0)	SC-SM
50% AR + 50% AF	M-02	A-2-4 (0)	SP-SC
60% AR + 40% AF	M-03	A-2-4 (0)	SP-SC
70% AR + 30% AF	M-04	A-2-4 (0)	SP

Equivalente de arena de mezclas granulares

En la tabla XXXII resumimos las muestras ensayadas para el equivalente de arena de cada agregado planteado en la investigación. De igual manera, en el gráfico 10 hacemos una comparativa de los promedios obtenidos para cada porcentaje de muestra.

TABLA XXXII

EQUIVALENTE DE ARENA EN LAS MUESTRAS DE AR Y AF.

Material	1	2	3	%Equiv. de Arena
AFIRMADO	25.0 %	27.8 %	31.6 %	28.1 %
50% AR+50% AF	33.3 %	33.3 %	31.6 %	32.7 %
60% AR+40% AF	38.5 %	40.0 %	37.9 %	38.8 %
70% AR+30% AF	38.2 %	35.7 %	36.9 %	37.0 %

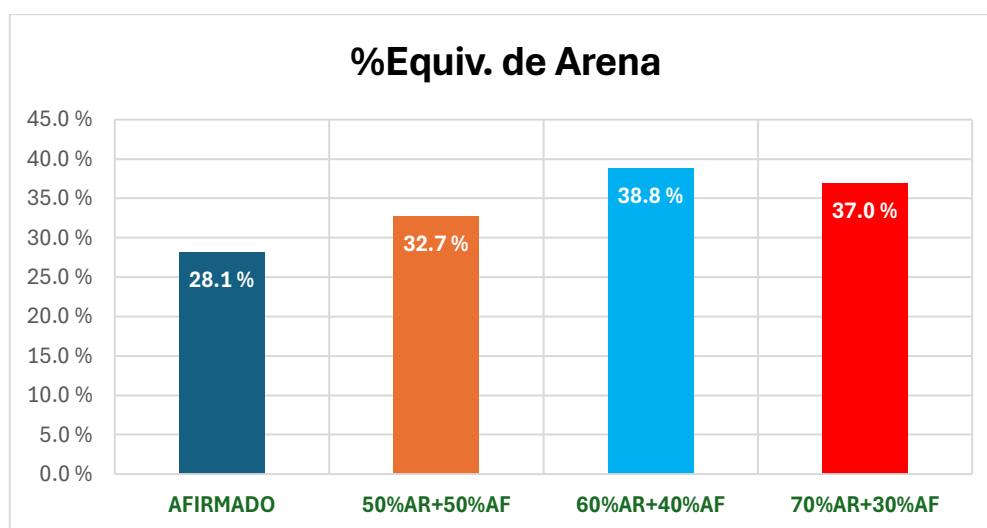


Gráfico 10. Porcentajes de equivalente de arena en el afirmado y mezclas de AR y AF

Desgaste a la Abrasión

Los datos reflejados en el gráfico 11, corresponden al análisis de resistencia al desgaste mediante abrasión, evaluado con el equipo de Los Ángeles, para las combinaciones de agregados naturales y reciclados. En los resultados predomina el agregado natural con un 26.6%, siendo el que tiene más resistencia al desgaste. Sin embargo, las mezclas granulares se encuentran por debajo del máximo porcentaje requerido para su utilización como material de relleno.

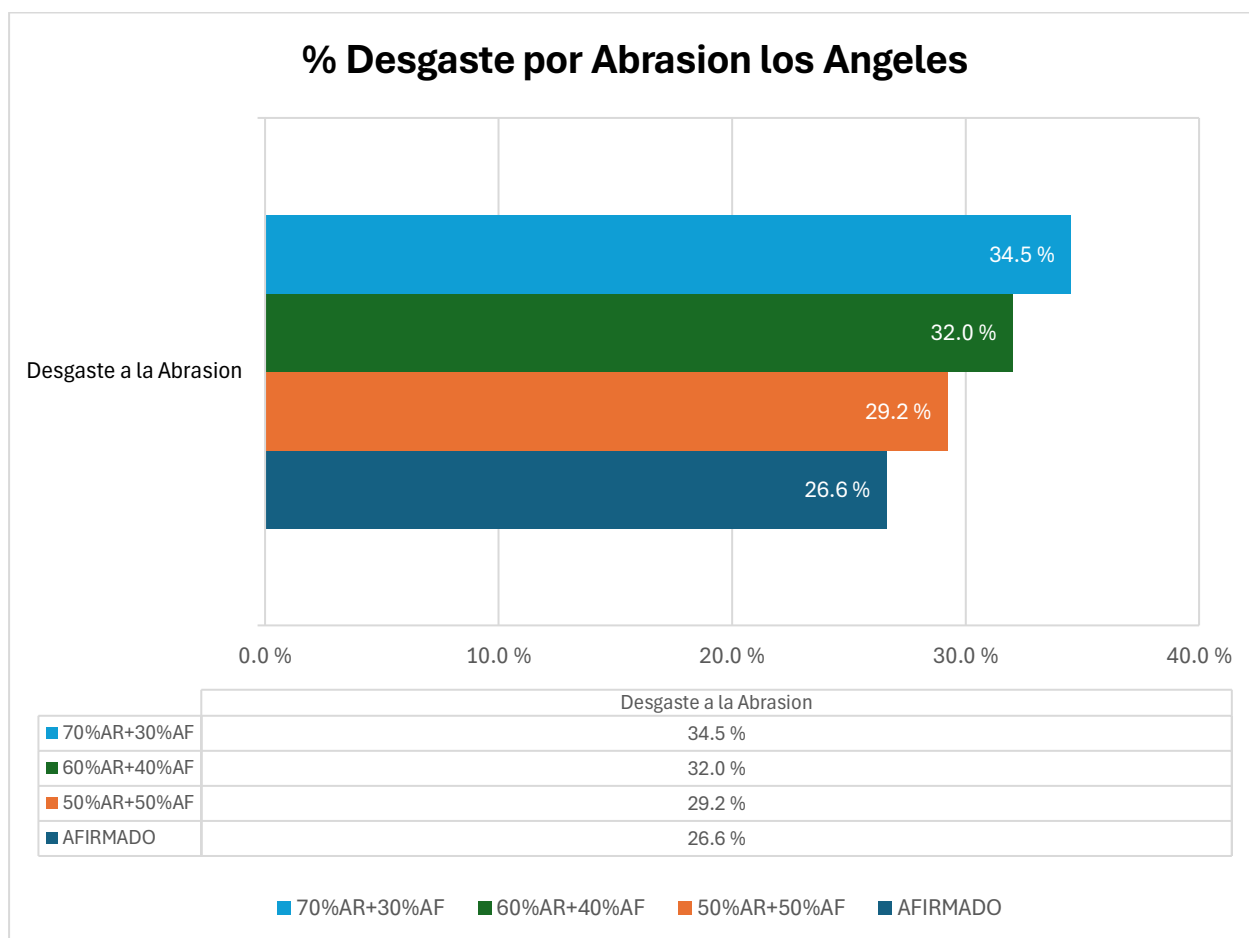


Gráfico 11. Porcentaje de abrasión del afirmado y combinaciones de AR y AF.

Proctor Modificado de mezclas granulares

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma MTC E-115. Se prepararon dos muestras por cada tipo de mezcla evaluada, y a partir de sus resultados se calculó un tercer valor promedio, con el objetivo de determinar tanto la humedad óptima como la densidad seca máxima del material.

TABLA XXXIII

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA AFIMADO

Material	Proctor	Contenido de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/m ³)
Afirmado (AF)	P-01	6.50%	2.150
	P-02	8.10%	2.170
	P-03	7.40%	2.156

TABLA XXXIV

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 50% AR + 50% AN

Material	Proctor	Contenido de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/m ³)
50% AR+50% AF	P-01	9.10%	2.130
	P-02	9.70%	2.120
	P-03	9.36%	2.125

TABLA XXXV

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 60% AR + 40% AN

Material	Proctor	Contenido de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/m ³)
60% AR+40% AF	P-01	9.75%	2.125
	P-02	8.50%	2.250
	P-03	9.15%	2.105

TABLA XXXVI

RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO PARA 70%AR + 30%AN

Material	Proctor	Contenido de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (g/m ³)
70%AR+30%AF	P-01	8.95%	2.094
	P-02	9.20%	2.100
	P-03	9.12%	2.096

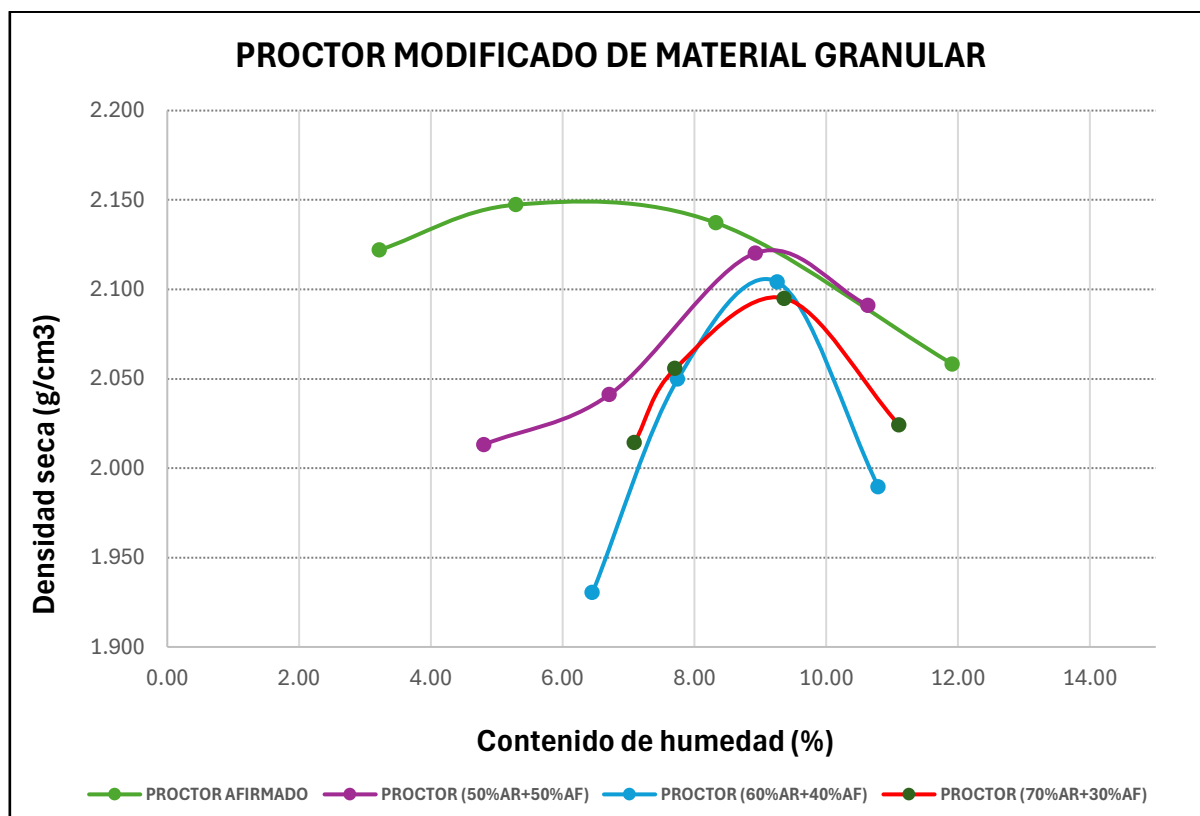


Gráfico 12. Curva de compactación de afirmado y mezclas de AR con AF.

Capacidad de Soporte CBR mediante ensayo DCP

CBR para suelo natural y afirmado

Siguiendo la normativa ASTM D 6951, se calcularon los valores a partir de correlaciones empíricas que vinculan la profundidad acumulada de penetración por cada golpe con la capacidad de soporte del material. En las tablas XXXVII y XXXVIII se presentan los resultados obtenidos para el suelo natural y afirmado, incluyendo el número de golpes y las profundidades registradas.

TABLA XXXVII

RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA SUELO NATURAL

Nº	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
DPC 1	2	100	100	50.0	3.65
	2	200	100	50.0	3.65
	1	300	100	100.0	1.68
DPC 2	3	100	100	33.3	5.75
	2	200	100	50.0	3.65
	2	300	100	50.0	3.65
DPC 3	2	100	100	50.0	3.65
	2	200	100	50.0	3.65
	1	300	100	100.0	1.68
DPC Promedio	2	100	100	44.44	4.35
	2	200	100	50.00	3.65
	1.3	300	100	83.33	2.34
%CBR TOTAL					3.45

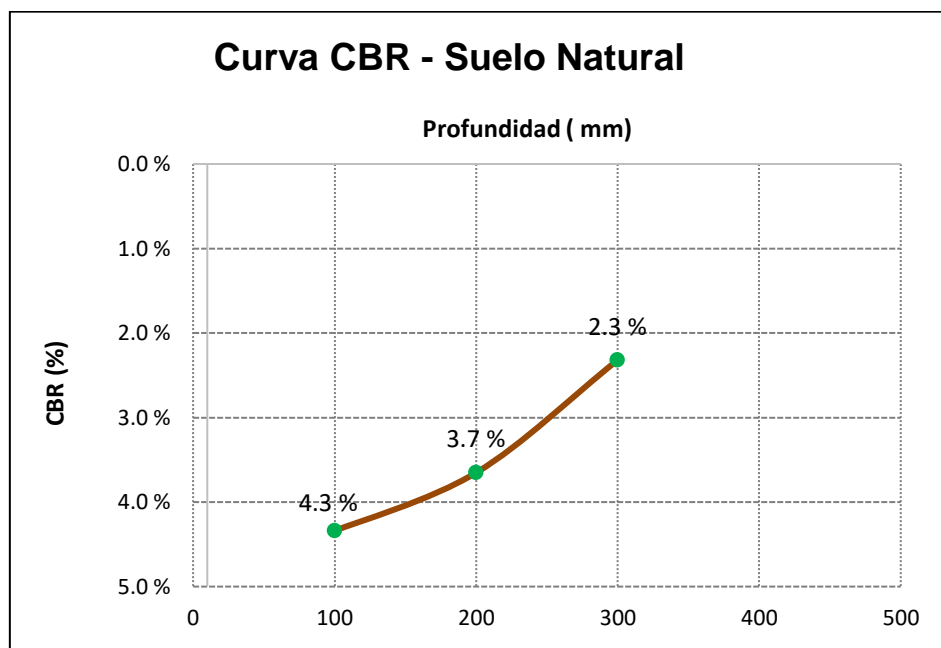


Gráfico 13. Curva CBR para el suelo natural con el ensayo D.C.P.

TABLA XXXVIII
RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA AFIRMADO

Nº	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
DPC 1	18	100	100	5.6	42.78
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 2	19	100	100	5.3	45.46
	4	200	100	25.0	7.94
DPC 3	18	100	100	5.6	42.78
	5	200	100	20.0	10.19
DPC Promedio	18.3	100	100	5.46	43.67
	4.7	200	100	21.67	9.44
% CBR TOTAL					26.56

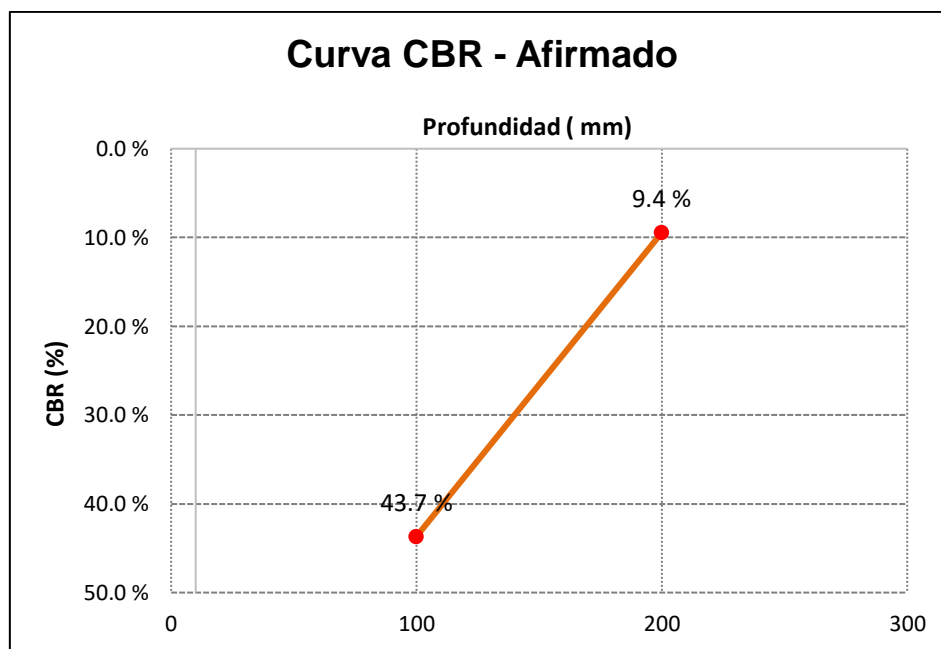


Gráfico 14. Curva CBR para el afirmado con el ensayo D.C.P.

CBR para combinaciones de AR y AN

En las tablas XXXIX, XL y XLI se muestran la correlación del CBR de nuestras combinaciones con los resultados del número de golpes y las profundidades registradas por cada punto de DCP realizado. Además, en las gráficas 15,16 y 17 se evidencian las curvas de CBR en relación a la profundidad de penetración.

TABLA XXXIX

RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 50%AR + 50%AF

Nº	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
DPC 1	18	100	100	5.6	42.78
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 2	20	100	100	5.0	48.14
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 3	19	100	100	5.3	45.46
	6	200	100	16.7	12.50
DPC Promedio	19.0	100	100	5.27	45.46
	5.3	200	100	18.89	10.96
%CBR TOTAL					28.21

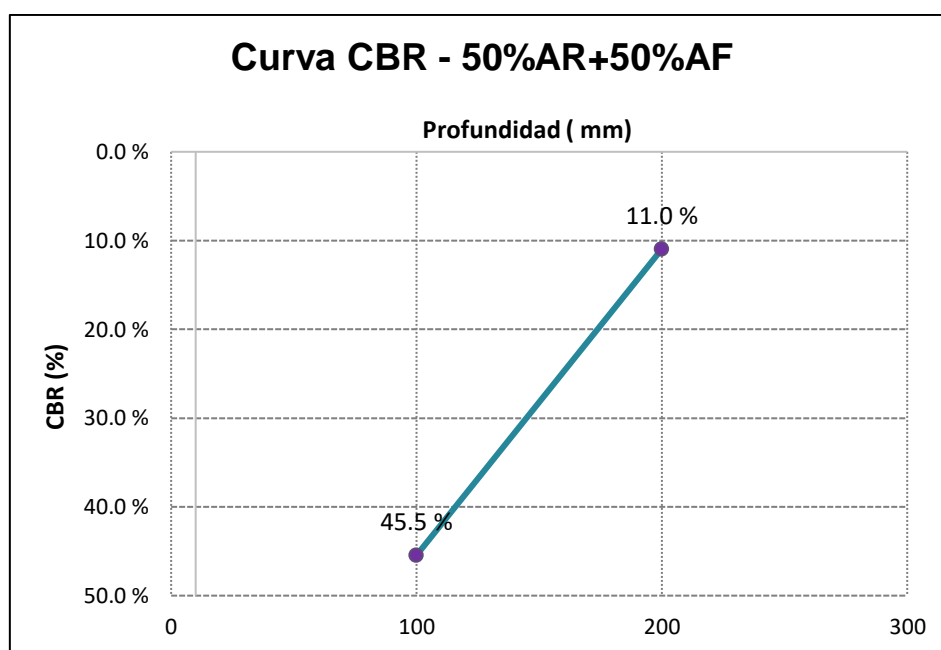


Gráfico 15. Curva CBR de la mezcla (50%AR + 50%AF) con el ensayo D.C.P.

TABLA XL

RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 60%AR + 40%AF

Nº	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
DPC 1	23	100	100	4.3	56.30
	6	200	100	16.7	12.50
DPC 2	24	100	100	4.2	59.05
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 3	22	100	100	4.5	53.57
	5	200	100	20.0	10.19
DPC Promedio	23.0	100	100	4.35	56.31
	5.3	200	100	18.89	10.96
% CBR TOTAL					33.63

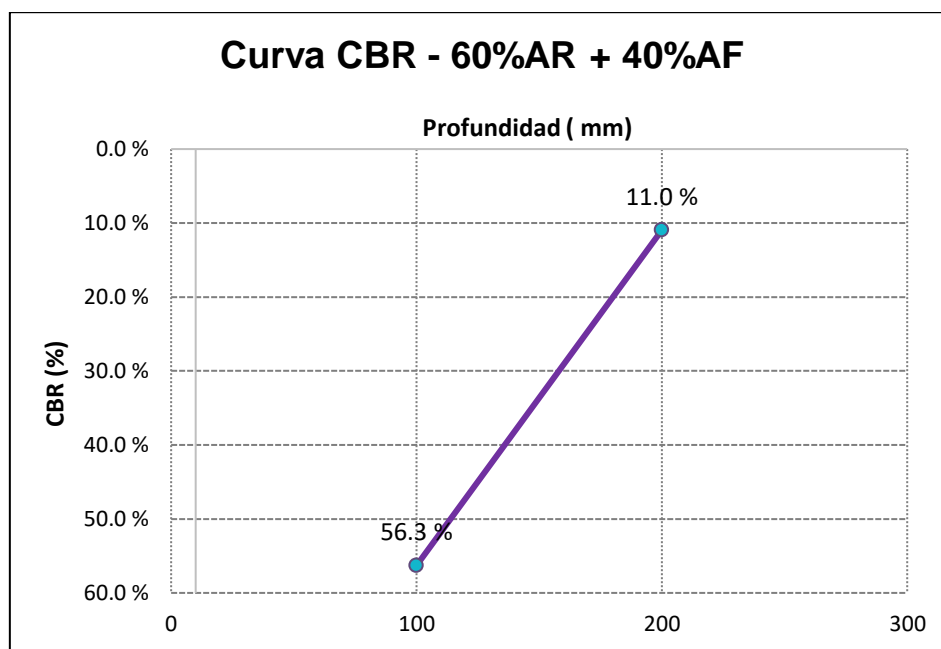


Gráfico 16. Curva CBR de la mezcla (60%AR + 40%AF) con el ensayo D.C.P.

TABLA XLI

RESULTADOS DE CBR MEDIANTE D.C.P. PARA MEZCLA DE 70%AR + 30%AF

N°	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
DPC 1	20	100	100	5.0	48.14
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 2	21	100	100	4.8	50.85
	5	200	100	20.0	10.19
DPC 3	20	100	100	5.0	48.14
	6	200	100	16.7	12.50
DPC Promedio	20.3	100	100	4.92	49.04
	5.3	200	100	18.89	10.96
% CBR TOTAL					30.00

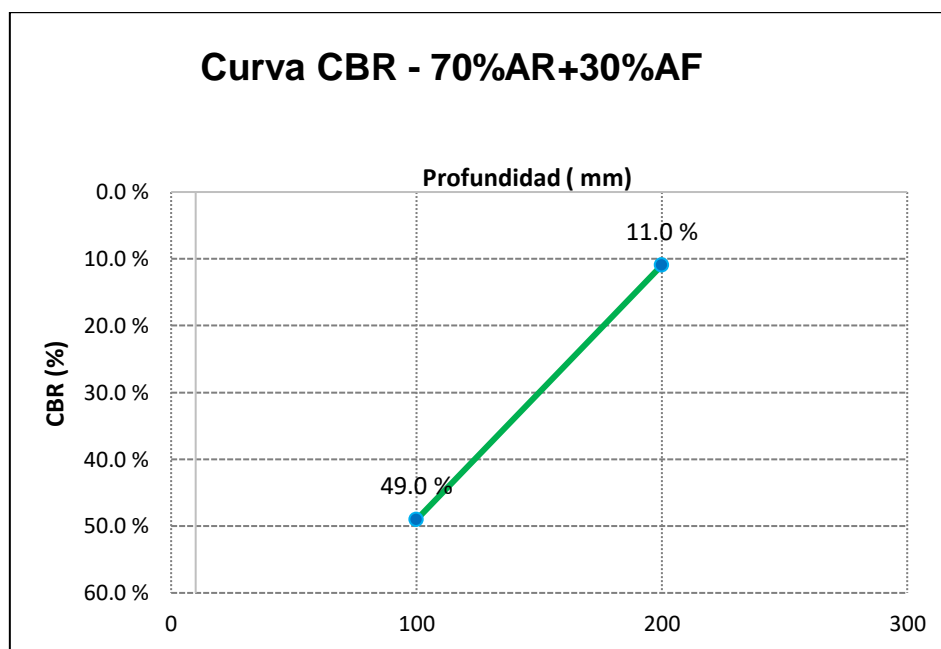


Gráfico 17. Curva CBR de la mezcla (70%AR + 30%AF) con el ensayo D.C.P.

En este trabajo, proponemos emplear la combinación que demuestre el mayor CBR en la construcción de un tramo real, con el objetivo de compararlo posteriormente con otro tramo que contenga agregado convencional como material de relleno en su interior. En el gráfico 18 se evidencia la comparativa entre estos valores, donde se determinó que la mezcla compuesta por (60% AR +40% AF) es la que ofrece la mayor cantidad de CBR de las tres evaluadas.

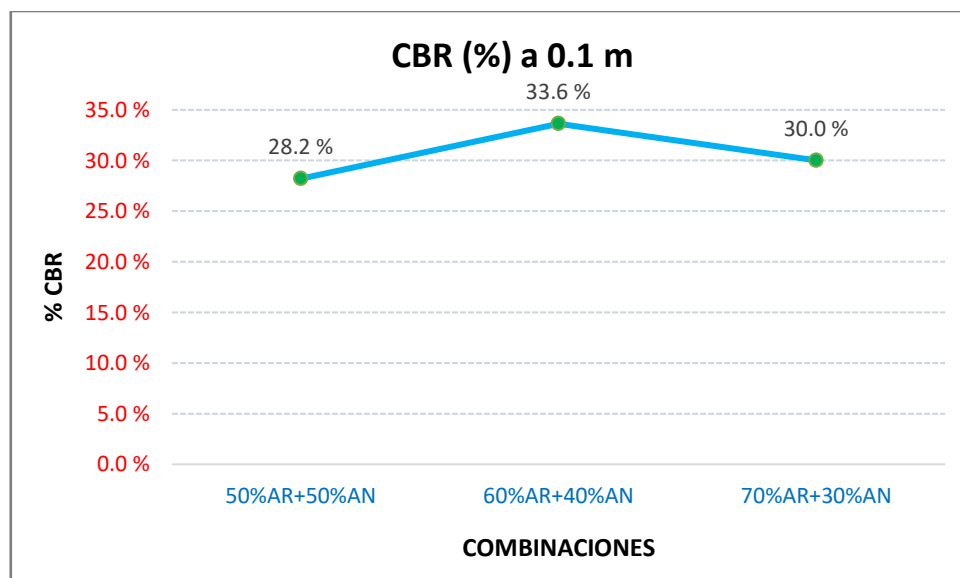


Gráfico 18. Línea tendencia del valor de CBR de las combinaciones de AR y AF.

Capacidad de Soporte mediante ensayo CBR in situ

En la tabla XLII se registran los valores de CBR in situ, en los tramos reales construidos, en los cuales fueron ensayados en 2 puntos cada uno para luego hallar su promedio de CBR para una penetración de 0.1" de penetración.

TABLA XLII

CBR AL 0.1" DE TRAMOS REFORZADOS CON GEOCELDAS CON AR Y AF

Material	Puntos	CBR (%) al 0.1"
AFIRMADO	P-01	21.60%
	P-02	20.50%
	Promedio	21.10%
60%AR+40%AF	P-01	25.20%
	P-02	24.60%
	Promedio	24.90%

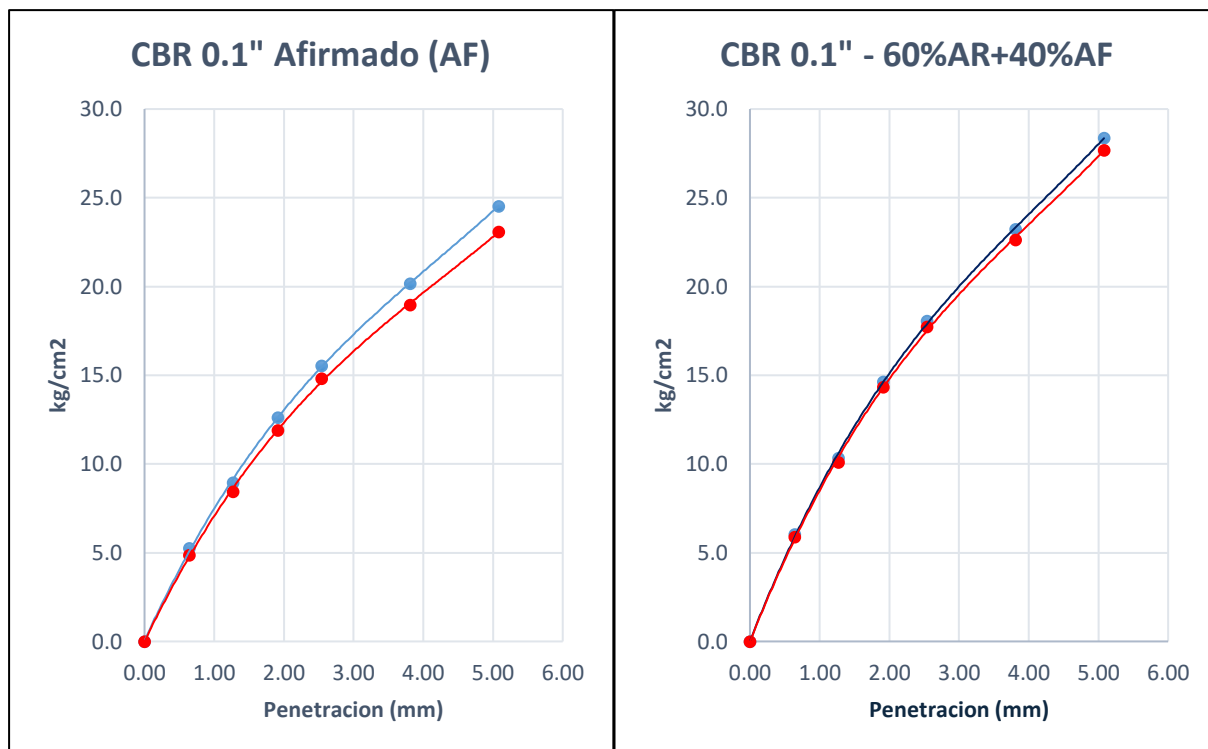


Gráfico 19. Curvas de carga (kg/cm²) vs penetración (mm) para los materiales granulares.

Asimismo, en la gráfica 20 se aprecia la línea tendencia que guardan los valores de CBR a 0.1” de penetración para los diferentes materiales granulares empleados en los tramos de prueba.

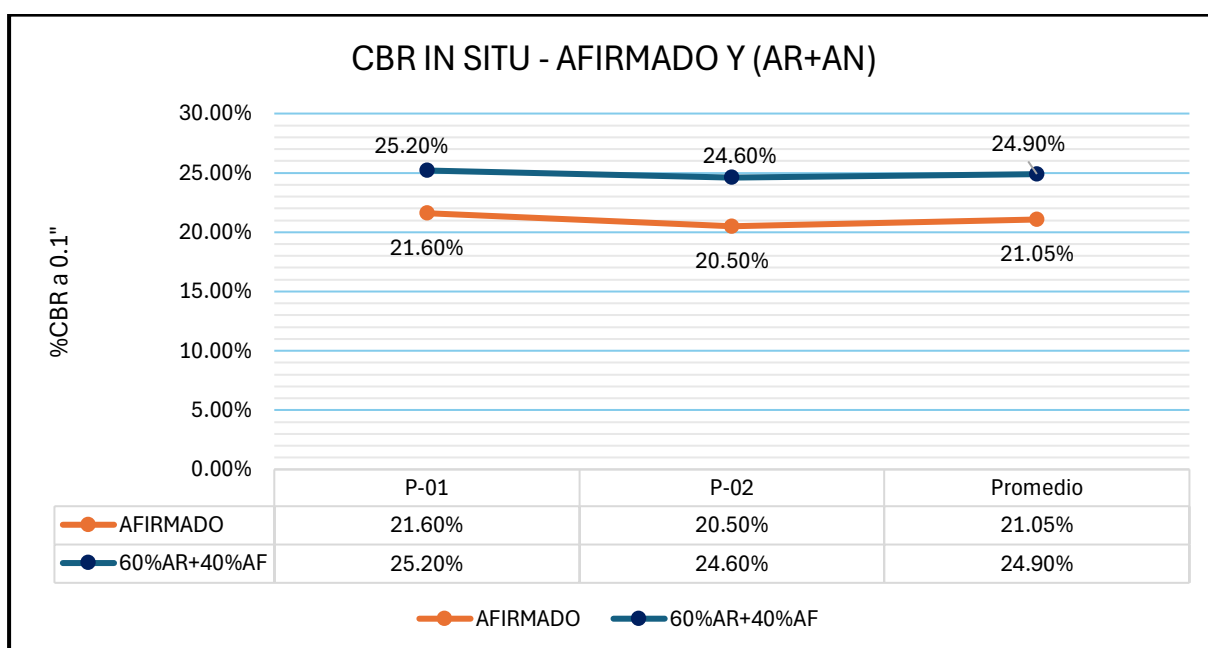


Gráfico 20. Línea de tendencia de CBR al 0.1” de afirmado y AR + AF.

Deflexiones in situ mediante ensayo Viga Benkelman

Las lecturas de deflexiones fueron tomadas a distancias de 0cm, 25cm, 50 cm, 100 cm y hasta más de 5m en adelante para la deflexión final, se realizó 4 repeticiones para cada carril de los tramos de estudio. Además, para el cálculo de deflexiones corregidas se consideró el espesor de la capa, junto con la temperatura ambiente y un factor estación de acuerdo al suelo existente en la zona donde se realizó el ensayo de viga Benkelman.

En la tabla XLIII y XLIV se muestran los valores corregidos de la deflexión presente en el tramo reforzado con geoceldas y afirmado, tanto para el carril derecho como el izquierdo.

TABLA XLIII

LECTURAS DE CARRIL DERECHO – TRAMO CON AFIRMADO (AF)

Nº Lectura	Carril	Temp. °C	Espesor capa (cm)	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
1	D	27	20	1.3	172.90	159.90	132.60	32.50
2	D	27	20	1.3	182.00	163.80	127.40	27.30
3	D	27	20	1.3	154.70	141.70	127.40	41.60
4	D	27	20	1.3	182.00	145.60	109.20	45.50
Promedio					172.90	152.75	124.15	36.73

TABLA XLIV

LECTURAS DE CARRIL IZQUIERDO – TRAMO CON AFIRMADO (AF)

Nº Lectura	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor capa (cm)	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
1	I	27	20	1.3	182.00	169.00	136.50	36.40
2	I	27	20	1.3	178.10	163.80	127.40	41.60
3	I	27	20	1.3	187.20	159.90	114.40	36.40
4	I	27	20	1.3	172.90	141.70	123.50	32.50
Promedio					180.05	158.60	125.45	36.73

En cuanto al tramo con geoceldas y la combinación de material reciclado y afirmado, se obtuvieron los datos mostrados en las tablas XLV y XLVI, correspondientes a ambos carriles.

TABLA XLV

LECTURAS DE CARRIL DERECHO – TRAMO CON 60% AR+40% AF

N° Lectura	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
1	D	27	20	1.3	118.30	100.10	81.90	32.50
2	D	27	20	1.3	109.20	91.00	81.90	18.20
3	D	27	20	1.3	114.40	91.00	81.90	32.50
4	D	27	20	1.3	109.20	96.20	78.00	27.30
Promedio					112.78	94.58	80.93	27.63

TABLA XLVI

LECTURAS DE CARRIL IZQUIERDO – TRAMO CON 60% AR+40% AF

N° Lectura	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
1	I	27	20	1.3	100.10	87.10	72.80	27.30
2	I	27	20	1.3	118.30	96.20	81.90	27.30
3	I	27	20	1.3	114.40	100.10	78.00	32.50
4	I	27	20	1.3	100.10	91.00	72.80	23.40
Promedio					108.23	93.60	76.38	27.63

Una vez obtenidos los datos para cada distancia evaluada, se determinó el valor promedio considerando las cuatro repeticiones realizadas en cada carril, tal como se muestra en los gráficos 21 y 22. Posteriormente, se compararon los resultados entre el tramo con afirmado convencional y el que incorporó la mezcla de agregado reciclado (AR) y afirmado (AF), con el objetivo de identificar cuál presentó un mayor asentamiento durante el estudio.

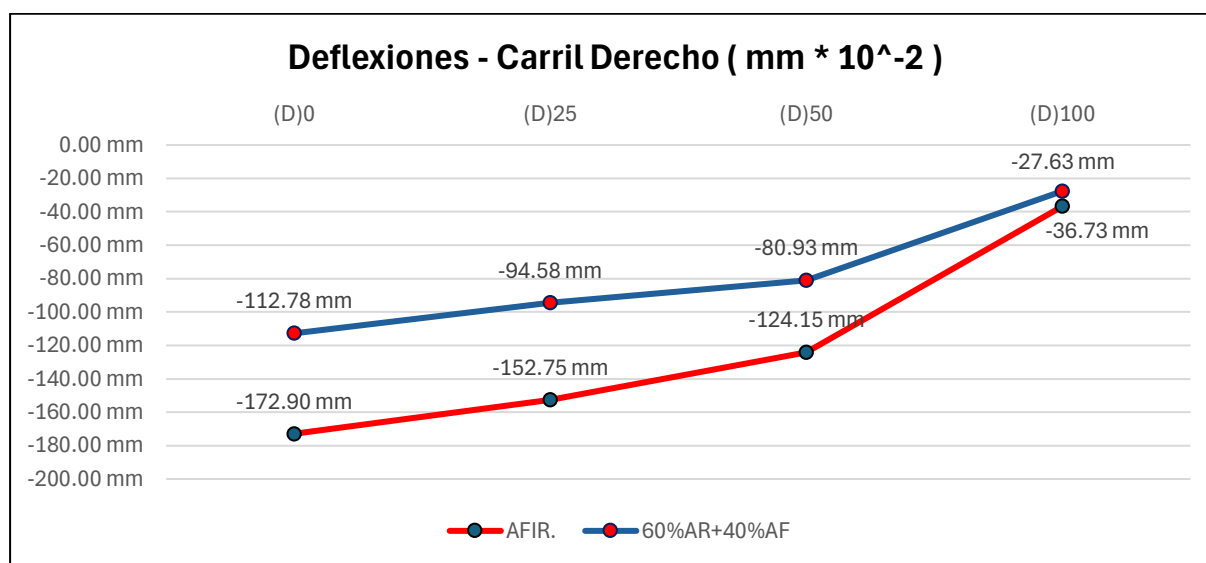


Gráfico 21. Comparación de deflexiones en carril derecho

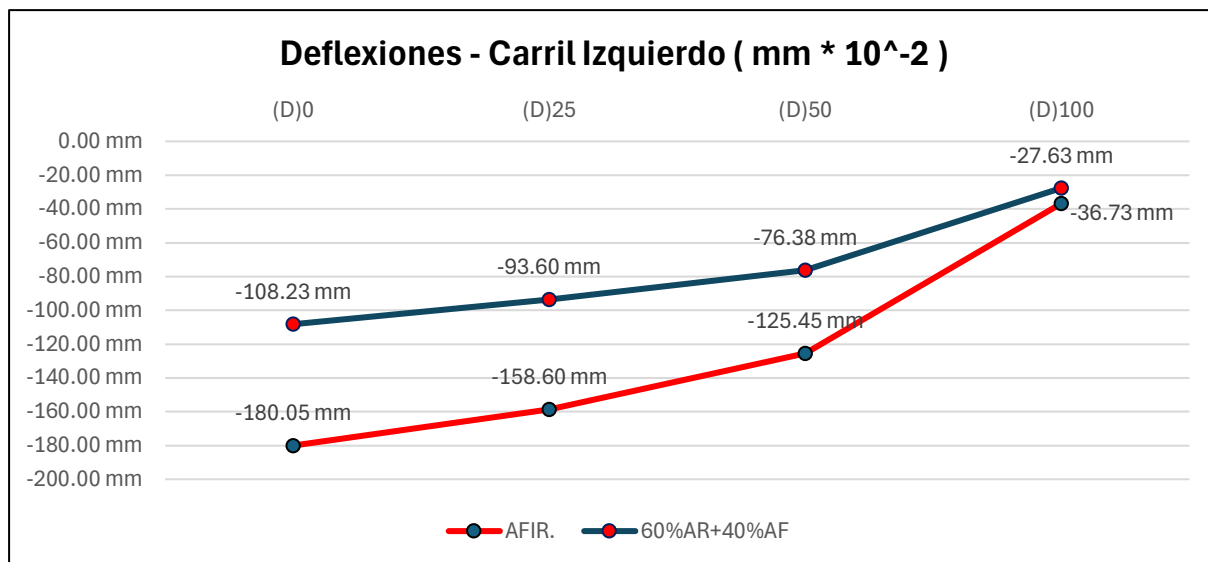


Gráfico 22. Comparación de deflexiones en carril izquierdo.

En la tabla XLVII se registran los valores de deflexiones promedio por cada tramo construido, así como el porcentaje de reducción de deflexiones al usar agregados reciclado con afirmado como material de relleno en geoceldas sobre una subrasante insuficiente.

TABLA XLVII

PROMEDIO Y REDUCCION DE DEFLEXIONES POR TRAMO CONSTRUIDO.

TRAMO	DEFLEXIONES		
	(mm * 10 ⁻²)	(mm)	% REDUCCION
AFIRMADO	176.48	1.76	37.38%
60%AR+40%AF	110.50	1.11	

Costos de producción y transporte de los agregados reciclados

Al evaluar los costos de transporte del agregado reciclado hacia la planta de trituración, se constató que los gastos fueron exclusivamente en la mano de obra y la contratación de un volquete, en la tabla XLVIII se muestra el análisis de precios unitarios para la partida de transporte.

TABLA XLVIII
ACU DE TRANSPORTE DE AGREGADO RECICLADO

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
PARTIDA: TRANSPORTE DE CONCRETO RECICLADO				C.U:	S/. 40.22
Rendimiento: 12 m3/día		Jornada: 3 Hrs/día			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial (S/.)
MANO DE OBRA					15.218
Peón	hh	3	0.750	20.29	15.218
EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					25.000
Camión Volquete 10 m3	hm	1	0.300	100.00	25.000

En el tema de producción consistió principalmente en el costo de trituración por metro cubico del agregado reciclado, esto se ve reflejado en tabla XLIX.

TABLA XLIX
ACU DE PRODUCCION DE AGREGADO RECICLADO TRITURADO

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
PARTIDA: PRODUCCION DE CONCRETO RECICLADO - PLANTA CHANCADORA				C.U:	S/. 150.00
Rendimiento		m3/día		Jornada:	8 Hrs/día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. U	Parcial (S/.)
SUBCONTRATOS					150.00
Trituración de concreto reciclado - Las Palmas	m3		7.000	21.428	150.00

Por último, se sumó el precio unitario del transporte y trituración por m3, para saber el precio de venta como material de relleno en geoceldas.

$$\text{Precio agregado reciclado triturado (m}^3\text{)} = 40.22 + 21.43$$

$$\text{Precio agregado reciclado triturado (m}^3\text{)} = \text{S/}.61.25$$

Comparación de secciones sin refuerzo vs refuerzo con geoceldas para diferentes tipos de tráfico

Para esta comparativa se evaluó la sección reforzada con geoceldas y otra sección estabilizada al CBR mínimo ($\geq 6\%$) para carreteras. El análisis se realizó para un tramo de 1 kilómetro con un ancho de vía de 6 metros. Para los cuales se tomaron como referencia los criterios establecidos en el Manual de Pavimentos C.E.010, seleccionando los valores correspondientes según el tipo de vía analizada. En la Tabla L se presentan las vías consideradas, junto con sus respectivos ejes equivalentes empleados en el diseño del pavimento flexible.

TABLA L
TIPO DE VIAS SEGÚN SUS EJES EQUIVALENTES

Vía	Ejes Equivalentes de Diseño (EE)
Local	(750 000 – 1 000 000)
Colectora	(3 000 000 – 5 000 000)
Expresa	(25 000 000 – 30 000 000)

Luego de hacer los cálculos correspondientes se determinó los espesores para las secciones de pavimento según cada tipo de vía, respetando los valores mínimos establecidos por el manual de carreteras para bases y carpeta de rodadura, los cuales se presentan a continuación:

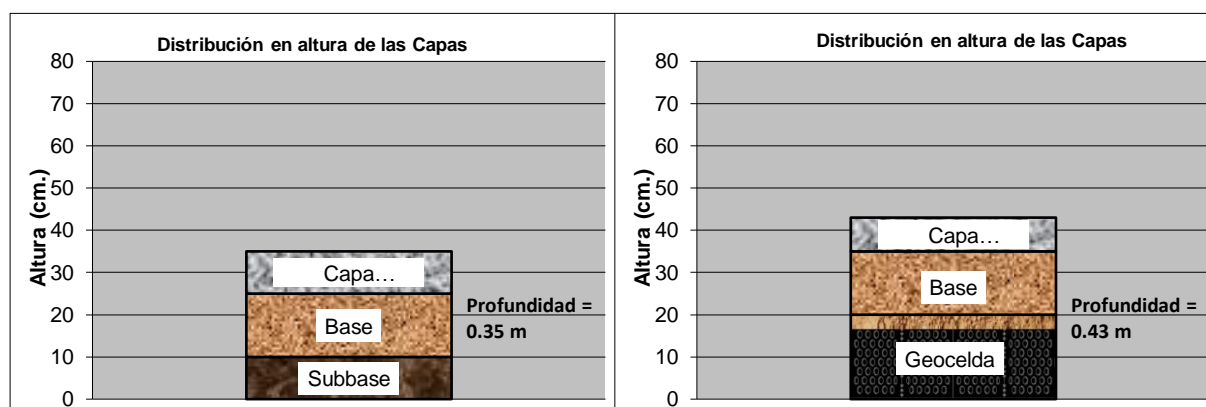


Fig. 114. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceldas para una vía local.

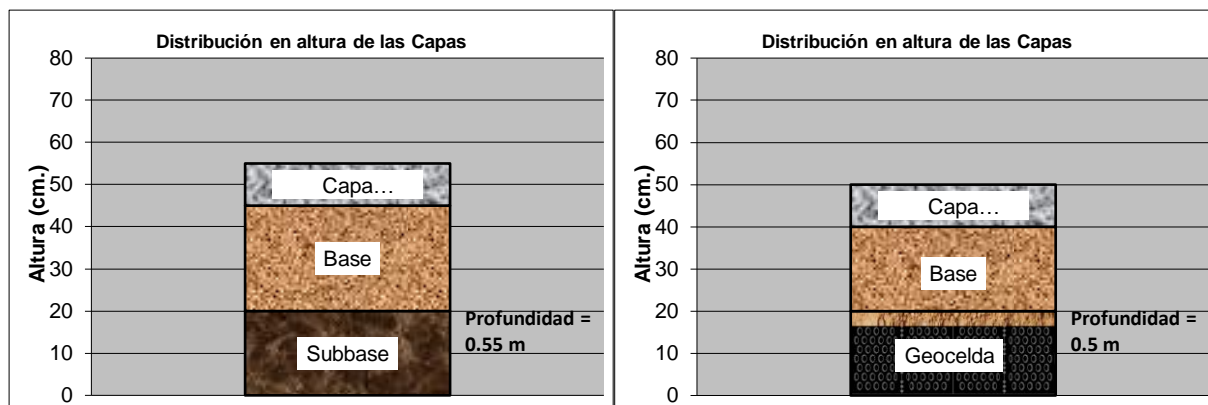


Fig. 115. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceladas para una vía colectora.

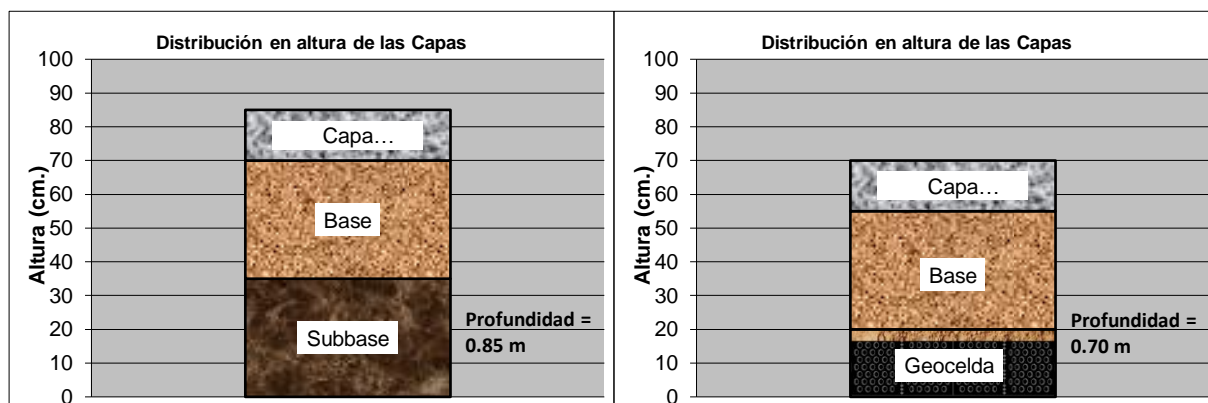


Fig. 116. Espesores del pavimento sin reforzar y reforzado con geoceladas para una vía expresa.

A continuación, se presenta los ACUS de las diferentes capas granulares y de rodadura empleadas en el diseño del pavimento flexible para la sección reforzada con geoceladas y sin reforzar. Asimismo, mencionar que los rendimientos fueron basados en antecedentes revisados anteriormente junto con los costos que fueron actualizado a la fecha presente.

TABLA LI

ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.10 m

Partida	01.02.04.01 SUB BASE GRANULAR e = 0.1 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION			Costo unitario directo por : m2			
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,300.0000	EQ. 2,300.0000				6.98
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0035	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0209	21.36	0.45	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.1200	35.00	4.20	
0207070002	AGUA	m3		0.0189	5.60	0.11	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.53	0.02	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0035	220.00	0.77	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0035	220.00	0.77	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0035	165.50	0.58	
	2.14						

TABLA LII

ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.20 m

Partida	01.02.04.01	SUB BASE GRANULAR e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,300.0000	EQ. 2,300.0000	Costo unitario directo por : m2			11.28
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0035	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0209	21.36	0.45	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.2400	35.00	8.40	
0207070002	AGUA	m3		0.0378	5.60	0.21	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.53	0.02	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0035	220.00	0.77	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0035	220.00	0.77	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0035	165.50	0.58	
						2.14	

TABLA LIII

ACU - SUBBASE GRANULAR E= 0.30 m

Partida	01.02.04.01	SUB BASE GRANULAR e = 0.35 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,200.0000	EQ. 2,200.0000	Costo unitario directo por : m2			17.82
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0036	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0218	21.36	0.47	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.4200	35.00	14.70	
0207070002	AGUA	m3		0.0662	5.60	0.37	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.55	0.02	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0036	165.50	0.60	
						2.20	

TABLA LIV

ACU - BASE GRANULAR E= 0.15 m

Partida	01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.15 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,250.0000	EQ. 2,250.0000	Costo unitario directo por : m2			9.99
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0036	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0213	21.36	0.45	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.1800	35.00	6.30	
0207070002	AGUA	m3		0.0284	5.60	0.16	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.53	0.03	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0036	165.50	0.60	
						3.00	

TABLA LV

ACU - BASE GRANULAR E= 0.20 m

Partida	01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.20 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,250.0000	EQ. 2,250.0000	Costo unitario directo por : m2			12.14
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0036	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0213	21.36	0.45	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.2400	35.00	8.40	
0207070002	AGUA	m3		0.0378	5.60	0.21	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.53	0.03	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0036	165.50	0.60	
						3.00	

TABLA LVI

ACU - BASE GRANULAR E= 0.25 m

Partida	01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.25 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,250.0000	EQ. 2,250.0000	Costo unitario directo por : m2			14.29
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0036	23.60	0.08	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0213	21.36	0.45	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.3000	35.00	10.50	
0207070002	AGUA	m3		0.0473	5.60	0.26	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.53	0.03	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0036	220.00	0.79	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0036	165.50	0.60	
						3.00	

TABLA LVII

ACU - BASE GRANULAR E= 0.35 m

Partida	01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.35 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,150.0000	EQ. 2,150.0000	Costo unitario directo por : m2			18.71
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0037	23.60	0.09	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0223	21.36	0.48	
	Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.4200	35.00	14.70	
0207070002	AGUA	m3		0.0662	5.60	0.37	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.57	0.03	
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0037	220.00	0.81	
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0037	220.00	0.81	
0301200002	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0037	220.00	0.81	
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0037	165.50	0.61	
						3.07	

TABLA LVIII**ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.08 m**

Partida	01.02.04.04		CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=8cm				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,100.0000	EQ. 2,100.0000	Costo unitario directo por : m2			57.89
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0038	29.99	0.11
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.0038	23.60	0.09
0101010005	PEON		hh	6.0000	0.0229	21.36	0.49
							0.69
	Materiales						
0201050006	ASFALTO EN CALIENTE		m3		0.1000	491.53	49.15
							49.15
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.69	0.02
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03011000050003	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 5-8 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03012200040008	CAMION VOLQUETE 6 X 4 330 HP 10 m3		hm	5.0000	0.0190	267.19	5.08
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'		hm	1.0000	0.0038	332.90	1.27
							8.05

TABLA LIX**ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.10 m**

Partida	01.02.04.04		CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=10cm				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,100.0000	EQ. 2,100.0000	Costo unitario directo por : m2			70.18
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0038	29.99	0.11
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.0038	23.60	0.09
0101010005	PEON		hh	6.0000	0.0229	21.36	0.49
							0.69
	Materiales						
0201050006	ASFALTO EN CALIENTE		m3		0.1250	491.53	61.44
							61.44
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.69	0.02
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03011000050003	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 5-8 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03012200040008	CAMION VOLQUETE 6 X 4 330 HP 10 m3		hm	5.0000	0.0190	267.19	5.08
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'		hm	1.0000	0.0038	332.90	1.27
							8.05

TABLA LX**ACU – CARPETA ASFALTICA E= 0.15 m**

Partida	01.02.04.04		CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=15cm				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,100.0000	EQ. 2,100.0000	Costo unitario directo por : m2			100.90
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.0038	29.99	0.11
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.0038	23.60	0.09
0101010005	PEON		hh	6.0000	0.0229	21.36	0.49
							0.69
	Materiales						
0201050006	ASFALTO EN CALIENTE		m3		0.1875	491.53	92.16
							92.16
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.69	0.02
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03011000050003	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 5-8 ton		hm	1.0000	0.0038	220.00	0.84
03012200040008	CAMION VOLQUETE 6 X 4 330 HP 10 m3		hm	5.0000	0.0190	267.19	5.08
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'		hm	1.0000	0.0038	332.90	1.27
							8.05

TABLA LXI

ACU –REFORZAMIENTO CON GEOCELDA E= 0.20 m

Partida	01.02.04.01	INSTALACION Y RELLENO DE MATERIAL EN GEOCELDA e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 1,450.0000	EQ. 1,450.0000	Costo unitario directo por : m2		26.38
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0055	29.99	0.16
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0110	23.60	0.26
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0331	21.36	0.71
						1.13
Materiales						
0207020004	AFIRMADO	m3		0.0960	35.00	3.36
0207020005	AGREGADO RECICLADO TRITURADO	m3		0.1440	61.25	8.82
0207070002	AGUA	m3		0.0378	5.60	0.21
0210020004	GEOCELDA HDPE H=0.15 M	m2		1.0500	9.05	9.50
						21.89
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.13	0.03
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0055	220.00	1.21
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0055	220.00	1.21
03012200050005	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0055	165.50	0.91
						3.36

Posteriormente, se elaboró el presupuesto correspondiente a cada tipo de vía y sección de estudio, considerando las partidas adicionales a la pavimentación, con la finalidad de evaluar la rentabilidad de los casos analizados.

Presupuesto					
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELDA Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"			
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO SIN REFORZAR - 750 000 EE			
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO			Costo al	11/04/2025
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO - 750 000 EE				815,116.98
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,884.23	8,884.23
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00
01.02	PAVIMENTACION				776,374.88
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				99,329.25
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	2,100.00	10.63	22,323.00
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	2,625.00	17.77	46,646.25
01.02.04	PAVIMENTACION ASFALTICA				546,300.00
01.02.04.01	SUB BASE GRANULAR e = 0.1 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	6.98	41,880.00
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.15 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	9.99	59,940.00
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=10cm	m2	6,000.00	70.18	421,080.00
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40
	Costo Directo				815,116.98
	SON : OCHOCIENTOS QUINCE MIL CIENTO DIECISEIS Y 98/100 NUEVOS SOLES				

Fig. 117. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 750 000 EE.

Presupuesto						
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELIDAS Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"				
Subpresupuesto	002	PAVIMENTO REFORZADO CON GEOCELIDAS - 750 000 EE				
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO				Costo al	11/04/2025
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOCELIDAS - 750 000 EE				873,541.38	
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10	
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,984.23	8,984.23	
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90	
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69	
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28	
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00	
01.02	PAVIMENTACION				834,799.28	
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85	
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40	
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26	
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19	
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38	
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38	
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00	
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				115,093.65	
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	2,580.00	10.63	27,425.40	
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00	
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	3,225.00	17.77	57,309.25	
01.02.04	PAVIMENTACION ASFÁLTICA				588,960.00	
01.02.04.01	INSTALACION Y RELLENO DE MATERIAL EN GEOCELIDAS e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	26.38	158,280.00	
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.15 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	9.99	59,940.00	
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFÁLTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00	
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=8cm	m2	6,000.00	57.89	347,340.00	
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40	
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00	
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00	
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40	
Costo Directo					873,541.38	
SON : OCHOCIENTOS SETENTITRES MIL QUINIENTOS CUARENTIUNO Y 38/100 NUEVOS SOLES						

Fig. 118. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geocelidas con 750 000 EE.

En la figura 117 y 118 se aprecia el presupuesto para un pavimento sin reforzar y reforzado con geocelidas para un tráfico de 750 000 ejes equivalente, la cuales dieron de costo un total de S/.815 116.98 y S/.873 541.38 respectivamente.

Presupuesto						
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELIDAS Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"				
Subpresupuesto	003	PAVIMENTO SIN REFORZAR - 3 000000 EE				
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO				Costo al	11/04/2025
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO - 3 000 000 EE				906,127.98	
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10	
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,984.23	8,984.23	
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90	
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69	
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28	
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00	
01.02	PAVIMENTACION				867,385.88	
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85	
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40	
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26	
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19	
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38	
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38	
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00	
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				138,740.25	
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	3,300.00	10.63	35,079.00	
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00	
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	4,125.00	17.77	73,301.25	
01.02.04	PAVIMENTACION ASFÁLTICA				597,900.00	
01.02.04.01	SUB BASE GRANULAR e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	11.28	67,680.00	
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.25 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	14.29	85,740.00	
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFÁLTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00	
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=10cm	m2	6,000.00	70.18	421,080.00	
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40	
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00	
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00	
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40	
Costo Directo					906,127.98	
SON : NOVECIENTOS SEIS MIL CIENTO VEINTISIETE Y 98/100 NUEVOS SOLES						

Fig. 119. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 3 000 000 EE.

Presupuesto					
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELIDAS Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"			
Subpresupuesto	004	PAVIMENTO REFORZADO CON GEOCELIDAS - 3 000000 EE			
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO			Costo al	11/04/2025
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOCELIDAS - 3 000 000 EE				873,975.23
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,984.23	8,984.23
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00
01.02	PAVIMENTACION				935,233.13
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				128,887.50
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	3,000.00	10.63	31,890.00
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	3,750.00	17.77	66,637.50
01.02.04	PAVIMENTACION ASFALTICA				675,600.00
01.02.04.01	INSTALACION Y RELLENO DE MATERIAL EN GEOCELIDAS e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	26.38	158,280.00
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.20 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	12.14	72,840.00
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=10cm	m2	6,000.00	70.18	421,080.00
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40
	Costo Directo				873,975.23
SON : NOVECIENTOS SETENTITRES MIL NOVECIENTOS SETENTICINCO Y 23/100 NUEVOS SOLES					

Fig. 120. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geoceldas con 3 000 000 EE.

En la figura 119 y 120 se observa el presupuesto para una vía colectoras con un tráfico equivalente a 3 000000 EE, en donde el costo para un pavimento sin reforzar es de S/.906 127.98 y uno reforzado con geoceldas equivale a S/.973 975.23.

Presupuesto					
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELIDAS Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"			
Subpresupuesto	005	PAVIMENTO SIN REFORZAR - 25 000000 EE			
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO			Costo al	11/04/2025
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO - 25 000 000 EE				1,215,324.48
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,984.23	8,984.23
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00
01.02	PAVIMENTACION				1,176,582.38
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				197,856.75
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	5,100.00	10.63	54,213.00
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	6,375.00	17.77	113,283.75
01.02.04	PAVIMENTACION ASFALTICA				847,980.00
01.02.04.01	SUB BASE GRANULAR e = 0.35 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	17.82	106,920.00
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.35 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	18.71	112,260.00
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=15cm	m2	6,000.00	100.90	605,400.00
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40
	Costo Directo				1,215,324.48
SON : UN MILLON DOSCIENTOS QUINCE MIL TRESCIENTOS VENTICUATRO Y 48/100 NUEVOS SOLES					

Fig. 121. Presupuesto de un pavimento flexible sin refuerzo con 25 000 000 EE.

Presupuesto					
Presupuesto	1501001	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN SUBRASANTE INSUFICIENTE REFORZADA CON GEOCELIDAS Y AGREGADOS RECICLADOS DE LA CONSTRUCCIÓN"			
Subpresupuesto	006	PAVIMENTO REFORZADO CON GEOCELIDAS - 25 000000 EE			
Cliente	CALDERON CARDOZO, EMANUEL FERNANDO				Costo al
Lugar	LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA				11/04/2025
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOCELIDAS - 25 000 000 EE				1,237,126.23
01.01	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				38,742.10
01.01.01	ELABORACION E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO	gb	1.00	8,984.23	8,984.23
01.01.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	gb	1.00	14,700.90	14,700.90
01.01.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	gb	1.00	9,345.69	9,345.69
01.01.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	gb	1.00	4,156.28	4,156.28
01.01.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	gb	1.00	1,555.00	1,555.00
01.02	PAVIMENTACION				1,198,384.13
01.02.01	OBRAS PROVISIONALES				57,110.85
01.02.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	120.00	437.67	52,520.40
01.02.01.02	MOVILIZACION Y DESMOLZACION DE EQUIPOS DE PAVIMENTACION	gb	1.00	3,315.26	3,315.26
01.02.01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50 X 3.60 m	und	1.00	1,275.19	1,275.19
01.02.02	OBRAS PRELIMINARES				44,667.38
01.02.02.01	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTRUCCION	est	1.00	23,607.38	23,607.38
01.02.02.02	CONTROL TOPOGRAFICO DURANTE EJECUCION DE OBRA	m2	6,000.00	3.51	21,060.00
01.02.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				168,298.50
01.02.03.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTACION	m3	4,200.00	10.63	44,646.00
01.02.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE DE PAVIMENTACION	m2	6,000.00	5.06	30,360.00
01.02.03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO HASTA 5 km	m3	5,250.00	17.77	93,292.50
01.02.04	PAVIMENTACION ASFALTICA				899,340.00
01.02.04.01	INSTALACION Y RELLENO DE MATERIAL EN GEOCELIDAS e = 0.2 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	26.38	158,280.00
01.02.04.02	BASE GRANULAR e = 0.35 m, EXTENDIDO, BATIDO, RIEGO Y COMPACTACION	m2	6,000.00	18.71	112,260.00
01.02.04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	6,000.00	3.90	23,400.00
01.02.04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=15cm	m2	6,000.00	100.90	605,400.00
01.02.05	SEÑALIZACION HORIZONTAL				28,967.40
01.02.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA DISCONTINUA	m	500.00	11.66	5,830.00
01.02.05.02	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS - LINEA CONTINUA	m	2,000.00	10.66	21,320.00
01.02.05.03	PINTURA DE PAVIMENTOS - SIMBOLOS Y LETRAS	m	60.00	30.29	1,817.40
	Costo Directo				1,237,126.23
SON : UN MILLON DOSCIENTOS TRENTISIETE MIL CIENTO VEINTISEIS Y 23/100 NUEVOS SOLES					

Fig. 122. Presupuesto de un pavimento flexible reforzado de geoceldas con 25 000 000 EE.

Por su parte para un tráfico pesado como la vía expresa sus precios aumentan como se muestra en las figuras 121 y 122, donde para una sección mínimamente reforzada cuesta un total de S/.1 215 324.48 y para una reforzada con geoceldas S/.1 237 126.23 respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos en la gráfica 23, se observa que al emplear este refuerzo los costos se elevan respecto al CBR mínimamente mejorado, y esto se debe al proceso de instalación y relleno del material en las geoceldas, ya que se utilizara una maquinaria distinta a las capas granulares convencionales, disminuyendo así su rendimiento diario en campo.

Por otro lado, al realizar la comparación de costos según el nivel de tráfico, se evidencia que el sistema de geoceldas resulta más favorable para vías con tráfico pesado, a partir de 25 000 000 de ejes en adelante, puesto que, al hacerlo en una vía de bajo tránsito, el gasto adicional sería innecesario por la baja demanda de vehículos que existiría. Asimismo, para el tráfico medio, la diferencia presupuestal es más significativa en comparación con los otros niveles de tráfico analizados. En resumen, es más coherente y beneficioso aplicar en una vía expresa porque reduce la brecha que existe entre ambas técnicas de estabilización y brinda una resistencia mayor frente a la deformación estructural del pavimento.

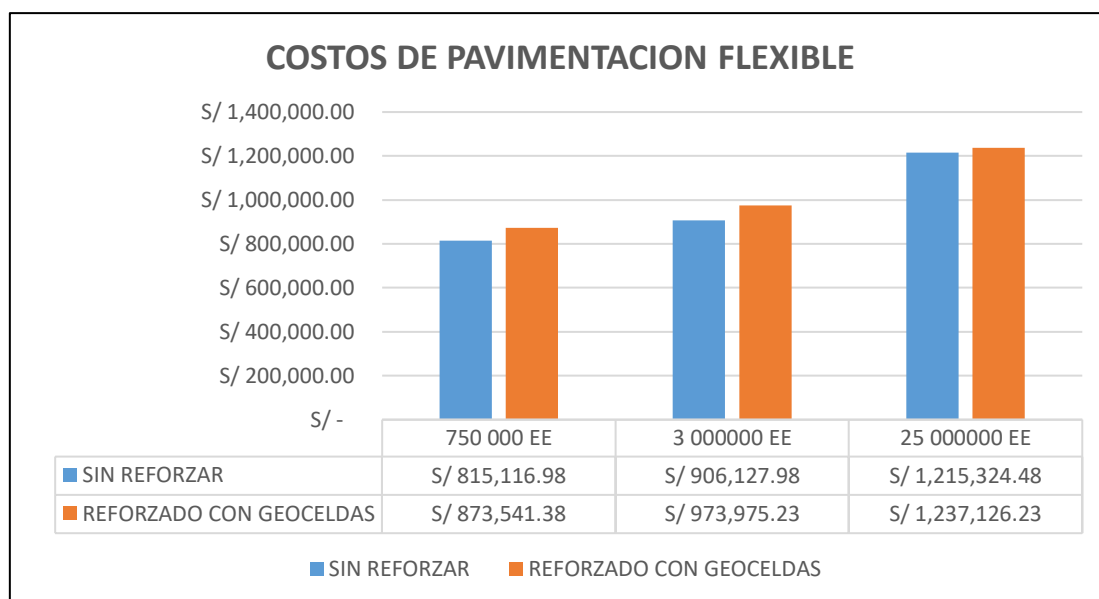


Gráfico 23. Comparación de costos para secciones con diferentes tipos ejes equivalentes (EE)

Finalmente se comparó los resultados obtenidos para la vía expresa en las secciones sin reforzar y reforzadas, tal como se muestra en el gráfico 24, considerando esta vez el uso exclusivo del afirmado como material de relleno en geoceldas. Los hallazgos evidenciaron que, al emplear únicamente material de cantera, el costo total se redujo en comparación con la alternativa que utiliza una mezcla de agregado reciclado y afirmado. Esta disminución se debe principalmente por el menor costo del afirmado, cuyo precio es de S/. 35,00 por m³, frente al agregado reciclado triturado, que presenta un costo de S/. 61,25 por m³. En consecuencia, la selección del afirmado como material de relleno en las geoceldas se presenta como una alternativa económicamente más eficiente, sin comprometer el desempeño estructural de la sección analizada.

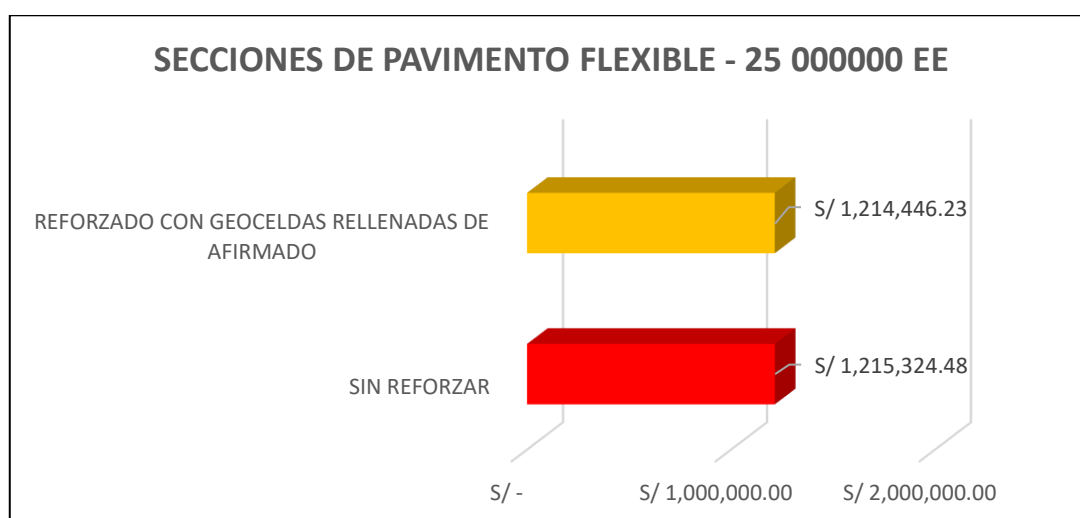


Gráfico 24. Comparación de costos para una vía expresa sin reforzar y reforzada con geoceldas rellenas de afirmado.

Discusiones

De acuerdo con el objetivo de evaluar la capacidad de soporte (CBR) mediante el ensayo normativo ASTM D6951, se compararon geoceldas rellenas con agregado natural (AF) y agregados reciclados (AR) en distintas proporciones. Los resultados demostraron que las mezclas de agregados reciclados y naturales presentaron un mejor desempeño en comparación con el uso exclusivo de agregado natural. La combinación más eficiente fue 60% AR-40% AF, la cual registró un Índice de Penetración Dinámica por Carga (IDPC) de 11.5 mm/golpe y un CBR promedio de 33.6%. Al contrastar los datos con la investigación de Guerra [12], se observa que las celdas rellenas únicamente con residuos de construcción y demolición (RCD) alcanzaron un IDPC promedio de 27.6 mm/golpe, lo que resulta en un valor de 7.1% de CBR. Esta comparación evidencia que la incorporación del agregado reciclado al agregado natural reduce significativamente el valor del IDPC, mejorando así la capacidad de soporte (% CBR). Asimismo, M. Badiger [35], en su artículo, señala que el uso de sistemas de confinamiento como las geoceldas, en lugar de celdas elaboradas con neumáticos reciclados, permite una mejor respuesta frente a la deformación estructural del pavimento, lo que se traduce en una mayor capacidad de soporte (CBR) para la mezcla propuesta.

Según el objetivo de determinar la capacidad de soporte (CBR) in situ en una subrasante de baja calidad, se analizaron dos secciones reforzadas con geoceldas: una con agregado natural y otra con una mezcla de agregado reciclado (AR) más agregado natural (AF). Los resultados indicaron que el tramo reforzado con la combinación AR y AF alcanzó un CBR promedio de 24.90%, superando al tramo con geoceldas y agregado natural, el cual registró un 21.10 %. Al comparar estos valores con los obtenidos por Carhuacho [13], se observa que el CBR inicial del suelo natural fue de 6.5 %, incrementándose hasta 14.1 % en los tramos reforzados con geoceldas fabricadas a partir de envases reciclados. Estos resultados evidencian que, aunque ambas investigaciones lograron incrementar la capacidad de soporte mediante el uso de geoceldas, esta investigación presenta una mejora más significativa, ya que se realizaron pruebas sobre una subrasante más deficiente, correspondiente a una arcilla con un CBR aproximado del 2 %. Asimismo, la diferencia en los resultados también puede atribuirse al tipo de geocelda utilizada. Mientras que Carhuacho empleó prototipos de geoceldas recicladas de envases metálicos, esta investigación utilizó geoceldas de HDPE, diseñadas específicamente para aplicaciones de refuerzo de suelos. En cambio, Gottumukkala [9] en su artículo, evidenció que, en las pruebas de campo, la sección reforzada con geoceldas alcanzó un valor de CBR del 112 %, mientras que el material granular sin refuerzo obtuvo solo un 60 %. Sin embargo, esta

diferencia es esperada y justificable debido a la metodología empleada. Debido a que Gottumukkala realizó el ensayo CBR in situ sobre una base granular, es decir, sobre una estructura compuesta que incluye subrasante estabilizada, subbase y capa base, lo que naturalmente genera valores mucho más altos de capacidad de soporte. En cambio, nuestro estudio se centró exclusivamente en la subrasante reforzada con geoceldas, sin añadir capas estructurales adicionales. Este enfoque permite evaluar directamente el efecto de las geoceldas sobre un suelo de baja calidad, lo que refuerza la importancia de nuestros resultados para proyectos donde se busca optimizar el comportamiento de la subrasante en condiciones críticas. Finalmente, de acuerdo con el Manual de Carreteras de Suelos, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014) [2], los valores obtenidos de CBR permiten recategorizar el suelo evaluado. Inicialmente, se trataba de una subrasante insuficiente, la cual, al ser reforzada con geoceldas rellenas con una mezcla de agregados reciclados y afirmado, logró clasificarse como una subrasante muy buena ($\text{CBR} > 20 \%$). Por su parte, el refuerzo con geoceldas y únicamente afirmado alcanzó el valor mínimo requerido para ser clasificado también dentro de esta categoría, conforme a los criterios del MTC. Este resultado destaca el aporte técnico de los agregados reciclados cuando se combinan con afirmado, demostrando que ambas configuraciones mejoran significativamente el comportamiento estructural de suelos con baja capacidad de soporte.

Para abordar el tercer objetivo específico, determinar las deflexiones en los tramos de prueba reforzados con geoceldas con el uso de la viga Benkelman, se realizó una comparativa de la efectividad de los diferentes materiales de relleno empleados en geoceldas a nivel de subrasante. Los resultados obtenidos evidencian que el tramo conformado por una combinación de agregados reciclados (AR) con agregados naturales (AF), reforzado con geoceldas, presentó una deflexión promedio de 1.11 mm, mientras que el tramo compuesto únicamente por agregado natural (AF) y geoceldas alcanzó un promedio de 1.76 mm. Estos valores fueron comparados con los estudios de Guerra [12], en donde se indica que las celdas llenas de agregado reciclado RCD obtenían una deflexión máxima de 1.75 mm, mientras que las celdas construidas con agregado natural convencional presentaban una deflexión máxima de 2.64 mm. Los resultados denotan que guardan similitud, ya que al utilizar celdas de confinamiento con agregado reciclado en su interior se obtiene una mejor respuesta estructural, a diferencia del uso exclusivo de agregado natural. En el caso del estudio realizado por Carhuancho [13], los resultados de las deflexiones in situ obtenidas con la viga Benkelman mostraron un promedio de 1.86 mm para el suelo natural, y un promedio de 1.25 mm para la sección reforzada con

sistema de geoceldas, lo que representa una reducción del 33% en comparación con el suelo sin refuerzo. Por su parte, E. Santisteban [9] analizó tramos sin reforzar y otro reforzado con geoceldas rellenas con 50% de material propio y 50% de material granular. Los resultados señalaron que la estructura de pavimento flexible con refuerzo presentó un menor asentamiento, disminuyendo de 1.73 mm a 1.28 mm, o una reducción del 28.09% respecto a la estructura sin reforzar. En comparación con estos estudios, el presente trabajo evidencia una mejora superior, logrando una reducción del 37.4% en las deflexiones. Además, es importante destacar que esta prueba fue ejecutada a una mayor profundidad de excavación, lo cual aporta valores más conservadores y reafirma la efectividad del refuerzo con geoceldas y la mezcla de agregados reciclados y naturales como una solución óptima para estabilizar subrasantes de suelos con capacidad de soporte insuficientes.

Para evaluar el último objetivo específico, de costos de producción y transporte de los agregados reciclados para su utilización como material de relleno en geoceldas, se elaboró los costos unitarios por metro cúbico de las dos partidas antes mencionadas. Los resultados indicaron que los precios unitarios de transporte están presupuestados en S/.48.26, en cambio la producción del material sale S/. 21.43 por la trituración de material en la chancadora, dando un total de S/.61.69 de precio de venta del agregado reciclado triturado. Estos valores fueron comparados con la investigación de Chasquero [16], donde sus resultados mostraron que el acarreo del concreto reciclado estuvo valorizado en S/.7.00 y la producción del mismo en S/13.33 por metro cúbico, logrando un costo total de S/20.33 para el concreto reciclado triturado de tamaño máximo de 1". La principal diferencia radica en el transporte del agregado, en el estudio comparado se realizó de forma manual y sin el uso de maquinaria, mientras que en la presente investigación se utilizó un volquete y se contrató personal para la recolección. Además, el costo de producción fue mayor debido al mayor volumen de material procesado tras el chancado y porque se calcularon los precios sobre un rendimiento fijo por metro cúbico; si el análisis se realizara considerando un rendimiento total por jornada diaria, el costo por metro cúbico disminuiría considerablemente. Por lo tanto, aunque los costos aquí obtenidos son más elevados, reflejan una metodología más aplicable a contextos reales de obra, donde se requiere mayor logística, operatividad y precisión en el control de volúmenes.

Conclusiones

En concordancia con el objetivo general de la investigación, y tras la ejecución de diversos ensayos de campo con el uso de agregados reciclados como material de relleno en geoceldas como refuerzo de una subrasante insuficiente, se concluye que el reemplazo parcial del afirmado por agregado reciclado triturado eleva de manera significativa la capacidad de soporte en donde el suelo natural no cumple con los requisitos mínimos para su uso como pavimento.

En relación con la estimación de la capacidad de soporte (CBR), según la norma ASTM D6951, se compararon secciones de geoceldas rellenas con afirmado (AF) y agregados reciclados (AR). El uso exclusivo de afirmado con geoceldas alcanzó un valor promedio de CBR de 26.56 %, mientras que las combinaciones (50%AR-50%AF), (60%AR-40%AF), (70%AR -30%AF) alcanzaron valores de 28.21 %, 33.63 % y 30.00 %, respectivamente. A partir de estos resultados, se determinó que la mezcla de (60 %AR - 40 %AF) ofreció un mejor desempeño en capacidad de soporte, por lo que fue seleccionada para la construcción del tramo real sobre una subrasante de baja resistencia.

En cuanto al CBR in situ en los tramos reales, se obtuvo un valor promedio de 21.10 % para el tramo reforzado con geoceldas y afirmado, en comparación con el tramo que incorporó una mezcla de 60 % de agregados reciclados y 40 % de afirmado dentro de las geoceldas, el cual alcanzó un 24.90 %. Se concluye que la inclusión conjunta de agregados reciclados y afirmado dentro del confinamiento de las geoceldas mejora significativamente la capacidad de soporte, evidenciando que una mezcla granular adecuada, combinada con confinamiento lateral, permite un refuerzo más eficiente en subrasantes con baja resistencia natural.

Respecto a la obtención de deflexiones con la Viga Benkelman, se determinó que los tramos reforzados con geoceldas y afirmado presentaron una mayor deflexión promedio de 1.76 mm, mientras que la combinación de agregados reciclados y afirmado dentro de las geoceldas mostró una mejor respuesta estructural, alcanzando una menor deflexión de 1.11 mm. Esto evidencia que la inclusión de agregados reciclados, al ser confinados adecuadamente, no solo reduce la deformación bajo carga, sino que también incrementa la rigidez del sistema, mejorando el desempeño estructural del pavimento.

Al evaluar los costos de producción y transporte de agregados reciclados para su uso como material de relleno en geoceldas, se calculó que el precio de venta del agregado reciclado triturado es de S/. 61.25. Se concluye que su uso no resulta viable económicamente para aplicaciones a gran escala, debido a los costos adicionales generados por la recolección y el triturado del material, y porque su precio es significativamente mayor en comparación con el afirmado, según las cotizaciones obtenidas. Sin embargo, al analizar la comparativa para los distintos tipos de vía se observa que, en el caso de vías con alto nivel de tránsito, el uso de agregado reciclado triturado no genera un incremento de costo desproporcionado en relación con el beneficio estructural que aporta. En ese contexto, su viabilidad económica está directamente relacionada con el nivel de exigencia de la vía y con los criterios de diseño definidos por el ingeniero proyectista, quien deberá ponderar si prioriza la optimización de costos o la necesidad de contar con una mayor resistencia y durabilidad del pavimento

Recomendaciones

Se recomienda emplear agregados reciclados triturados, obtenidos de la demolición de veredas y pavimentos rígidos sin presencia de acero, debido a su facilidad de trituración, como material de relleno en geoceldas. Esta solución resulta especialmente adecuada en áreas donde el suelo natural presenta una baja capacidad de soporte y no cumple con los estándares mínimos requeridos para estructuras de pavimento.

En cuanto a la capacidad de soporte para el diseño de pavimentos, se recomienda que se utilicen los valores obtenidos de la prueba CBR in situ en lugar de los resultados encontrados con el penetrómetro de cono dinámico (DCP). Esto se debe a que el DCP, al basarse en la correlación entre el número de golpes y la profundidad de penetración, puede generar un mayor margen de error. En cambio, el CBR in situ proporciona resultados más conservadores y precisos al aplicar carga mediante un pistón sobre la capa mejorada con geoceldas, reflejando de forma más fiable el comportamiento estructural del suelo.

Para la obtención de deflexiones mediante la Viga Benkelman, se recomienda construir tramos experimentales de mayor longitud que permitan realizar mediciones en varios puntos a lo largo del recorrido del volquete. Esto facilitará una evaluación más representativa del comportamiento estructural del sistema, demostrando la efectividad del uso combinado de agregado reciclado triturado y afirmado dentro de las geoceldas en la estabilización de subrasantes insuficientes.

Debido a los altos gastos involucrados en la producción del agregado reciclado triturado, se recomienda que se disponga de una infraestructura específica, como un sitio de vertido en la zona, para almacenar los materiales, ya que mejoraría la eficiencia de recolección y producción con la maquinaria adecuada. Este enfoque ayudaría a optimizar los costos asociados y haría que la aplicación a gran escala de estos agregados sea económicamente viable, fomentando así su uso en proyectos de construcción de pavimentos de manera ambientalmente responsable

Referencias

- [1] S. K. Pokharel, J. Han, D. Leshchinsky, R. L. Parsons, y I. Halahmi, «Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading», *Geotext. Geomembr.*, vol. 28, n.º 6, pp. 570-578, dic. 2010, doi: 10.1016/j.geotexmem.2010.06.002.
- [2] «MC-05-14 Seccion Suelos y Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf». Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- [3] V. Kerni, V. K. Sonthwal, U. Jan, P. G. Student, y P. G. Student, «Review on Stabilization of Clayey Soil Using Fines Obtained From Demolished Concrete Structures», vol. 4, n.º 5, 2007.
- [4] M. A. C. Silva, «SÓLIDOS DE LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL SECTOR VIVIENDA EN LA CIUDAD DE LIMA Y CALLAO».
- [5] «Compendio Estadístico, Lambayeque 2021.pdf». Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4241762/Compendio%20Estad%20C3%ADstico%20Lambayeque%202021.pdf>
- [6] R. Baadiga, U. Balunaini, S. Saride, y M. R. Madhav, «Behavior of Geogrid- and Geocell-Stabilized Unpaved Pavements Overlying Different Subgrade Conditions Under Monotonic Loading», *Int. J. Geosynth. Ground Eng.*, vol. 8, n.º 3, p. 34, may 2022, doi: 10.1007/s40891-022-00379-x.
- [7] M. A. Khan y A. J. Puppala, «Sustainable pavement with geocell reinforced reclaimed-asphalt-pavement (RAP) base layer», *J. Clean. Prod.*, vol. 387, p. 135802, feb. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135802.
- [8] S. R. Duddu, V. Kommanamanchi, H. Chennarapu, y U. Balunaini, «Field Evaluation of Deformation Modulus of Geogrid and Geocell-Stabilized Subgrade Soil», *KSCCE J. Civ. Eng.*, vol. 28, n.º 11, pp. 4944-4960, ene. 2024, doi: 10.1007/s12205-024-2322-7.
- [9] B. Gottumukkala, B. Mehar, D. Minchala, S. Pulikanti, y K. Kuna, «Laboratory and Field Evaluations of Geocell Reinforced Bases for Locally Available Material in the Himalayan Region», *Int. J. Geosynth. Ground Eng.*, vol. 9, oct. 2023, doi: 10.1007/s40891-023-00497-0.
- [10] «Experimental investigation of the geometry of geocell on the performance of flexible pavement under repeated loading - ScienceDirect». Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114424000281?via%3Dihub>
- [11] «Evaluación del comportamiento mecánico de sistemas de GEOCELDA y materiales reciclados (RAP Y CALAMINA) - hdl:11349/24586». Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24586>
- [12] J. A. Guaje Guerra, «Estudio del agregado reciclado de residuos de construcción y demolición en celdas de confinamiento con llantas desechadas para la construcción de obras viales en Colombia», Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2020. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78634>
- [13] M. Taípe Carhuáncho, «Aplicación de geoceldas de envases metálicos reciclables en la estabilización del suelo fino, carretera del distrito Chacapampa, Junín», 2022, Accedido: 3 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10040>
- [14] R. Y. Chávez Mejía, «Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021.», ene. 2023, Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/362>

- [15] E. Santisteban Ayala, «Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas en Huaura – Huaura – Lima, 2019», *Repos. Inst. - UCV*, 2019, Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45690>
- [16] J. Chasquero Martínez y H. Hurtado Collantes, «Uso del Concreto Reciclado Proveniente de Demoliciones para la Producción de Afirmado», *Univ. Nac. Jaén*, ago. 2019, Accedido: 31 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/239>
- [17] S. Ibañez y S. Fabianny, «Propuesta de uso de RCD y NFU en la sub-base de afirmado para pavimentos rígidos en la zona costera del Perú para reducir los efectos de contaminación ambiental», *Univ. Peru. Cienc. Apl. UPC*, feb. 2023, Accedido: 31 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/668203>
- [18] K. Beatriz Contreras y V. Alfonso Herrera, «Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote – Santa - Ancash», Universidad Nacional de Santa. Accedido: 31 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/document/y9gv8elq-mejoramiento-agregado-obtenido-escombros-construccion-estructura-pavimento-chimbote.html>
- [19] B. M. Das, *Fundamentals of geotechnical engineering*, 4th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2013.
- [20] C. C. Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Limusa, 2007.
- [21] L. Bañón y J. F. Beviá García, *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Accedido: 10 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- [22] «Manual Ensayo de Materiales.pdf». Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [23] «Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications». Accedido: 3 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/d6951_d6951m-18r23.html
- [24] «Guía Informativa de Manejo de Residuos de Construcción y Demolición en obras menores | SINIA». Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-informativa-manejo-residuos-construccion-demolicion-obras>
- [25] M. O'Mahony y M. M. O'Mahony, «Recycling of materials in civil engineering», <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Oxford University, UK, 1990. Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ora4-prd.bodleian.ox.ac.uk/objects/uuid:25b3c922-4720-4424-a2c6-b19f00013148>
- [26] N. Perez Garcia y P. Garnica Anguas, «EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO», *PUBLICACION Tec.*, n.º 514, 2018, Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://trid.trb.org/View/1513580>
- [27] «MC-01-13 Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - (Versión Revisada - JULIO 2013).pdf». Accedido: 26 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construccion%20C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construccion%20C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)

- [28] A. M. Krishna, A. Dey, y S. Sreedeeep, *Geotechnics for Natural and Engineered Sustainable Technologies: GeoNEst*. Springer, 2018.
- [29] «Solución de geoceldas de PRS - PRS Geo-Technologies». Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.prs-med.com/es/geoceldas/solucion-de-geoceldas-de-prs/>
- [30] «Geoceldas», TDM Perú. Accedido: 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdm.com.pe/products-geosinteticos-geoceldas/>
- [31] «Beam Effect - Neoloy Geocell», PRS Geo-Technologies. Accedido: 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.prs-med.com/za/engineering-services/highway-engineering/beam-effect/>
- [32] Martín Eduardo Lázaro Linarez y Luisa Stephanie Telles Córdova, «INFLUENCIA DEL SISTEMA DIAMOND GRID EN EL MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN UN PAVIMENTO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO 2018», Universidad Privada del Norte. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22193?show=full>
- [33] «CE.010 Pavimentos Urbanos DS N° 010-2010». Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619679-ce-010-pavimentos-urbanos-ds-n-010-2010>
- [34] «[INDECI] Mapa geotécnico de la ciudad de Chiclayo (Biblioteca SIGRID)». Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3125>
- [35] M. Badiger, K. H. Mamatha, y S. V. Dinesh, «Evaluation of commercial and scrap tyre cellular reinforcement infilled with demolition waste for granular sub-base of flexible pavements: A sustainable approach», *Int. J. Transp. Sci. Technol.*, may 2024, doi: 10.1016/j.ijst.2024.05.003.

Anexos

Anexo 1: Validación de ensayos de laboratorio



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

• LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 005-2025-1
 FECHA: 21 de Mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Emanuel Fernando Calderón Cardozo

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de la construcción

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico por tamizado
- Límites Atterberg
- Equivalente de arena
- Abrasión de los Ángeles
- Proctor Modificado
- CBR en laboratorio
- Sales solubles totales
- Ensayo DCP
- CBR in situ
- Viga Benkelman



 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.
Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil

Anexo 2: Cotización de agregados y maquinaria

AGREGADOS VELASQUEZ

PRIMEROS EN LA CONSTRUCCIÓN

Chiclayo, 23 de Mayo del 2025

COTIZACIÓN N° 02714

SEÑOR: EMANUEL FERNANDO CALDERON CARDOZO

DNI: 77380918

Chiclayo

COTIZACIÓN DE AGREGADOS

De nuestra consideración:

Es grato dirigirme a usted con la finalidad de expresarle mi cordial saludo y a la vez presentar a nuestra empresa **AGREGADOS VELASQUEZ**, con RUC. **10167169258**, dedicada a la ejecución de obras, alquiler de maquinaria pesada, movimiento de tierras, arena zarandeada y zarandeo de piedra.

Mediante la presente le damos a conocer el precio de AGREGADOS y ALQUILER DE MAQUINARIA:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO INC. IGV
AFIRMADO	M3	S/ 35.00
ARENA FINA (ARENILLA)	M3	S/ 35.40
ARENA GRUESA	M3	S/ 53.10
PIEDRA CHANCADA DE 1/2	M3	S/ 76.70
PIEDRA BASE	M3	S/ 53.10
RIPIO CORRIENTE	M3	S/ 53.10
RETROEXCAVADORA	HRS	S/ 120.00
RODILLO PEQUEÑO	HRS	S/ 110.00
MINICARGADOR CON LAMPON	HRS	S/ 100.00
VOLQUETE 10m3	HRS	S/ 100.00

EL PRECIO INCLUYE IGV

CUENTA DE DETRACCIONES BN: 00-250031505

Gracias por darnos la oportunidad de ofrecerle este presupuesto. Como siempre, es para nosotros un placer hacer negocios con ustedes.

Atentamente


A. Oscar Velásquez Peche
GERENTE

Oscar Andres Velasquez Peche

Gerencia general

CEL: 979203042



Anexo 3: Registro de excavación de calicata C-01.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Solicitante : Calderon Cardozo, Emanuel Fernando
 Atención : Escuela Ingeniería Civil
 Proyecto : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente empleando geoceladas con adición de agregados reciclados de la construcción como material de relleno
 Ubicación : Urbanización Prolongacion Sipan - La Victoria- Chiclayo
 Fecha de Entrega : Chiclayo, 15 de Octubre del 2024

Calicata : C-1
 Nivel freático : (-)

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.10	A C I E L O A B I E R T O	M - 1	[Color brown]	TERRENO DE CULTIVO	Material organico de color marrón oscuro
0.20					
0.30					
0.40			[Diagonal lines]	CL A-6 (9)	Arcilla de baja plasticidad Limite líquido : 34.9% Limite plástico : 23.0% Índice de plasticidad : 12.0% Humedad natural : 22.7%
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					

Observaciones:
 Muestreo e identificación realizados por el solicitante

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Av. Augusto B. Leguía N°287 (Vía de evitamiento Km. 787+080) Simón Bolívar - Chiclayo. Teléf.: 074-437218 / Celular:
 Bitel 990336658 CORREO: george3062@hotmail.com / RUC: 20561193372.

Anexo 4: Clasificación de suelo natural (Granulometría y límites).



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

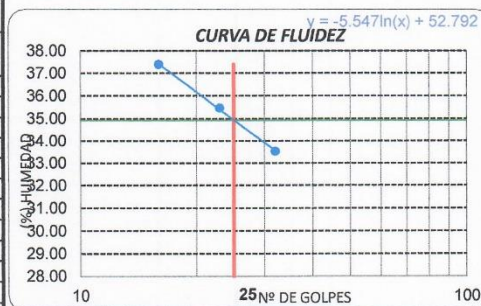


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : La Victoria Chiclayo
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de suelos por tamizado
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 107
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

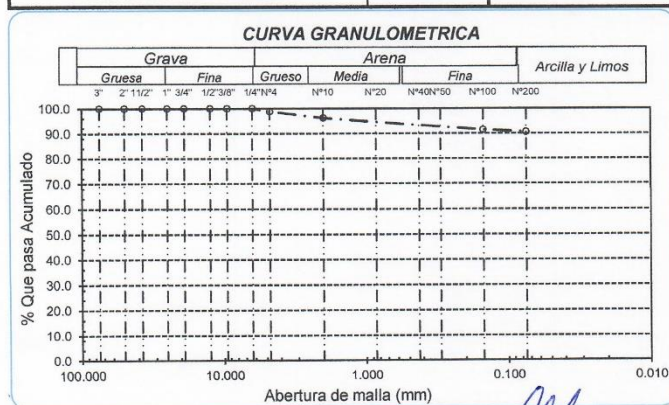
Calicata: N°01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	1.3	98.7
N° 10	2.000	3.8	96.2
N° 20	0.850	5.4	94.6
N° 50	0.300	7.5	92.5
N° 100	0.150	8.7	91.3
N° 200	0.075	9.5	90.5



		G.G. %		
% Grava	G. G. %	0.0		
	G. F %	1.3	1.3	
	A. G %	2.5		
% Arena	A. M %	2.9		
	A. F %	2.7	8.2	
	% Arcilla y Limo	90.5	90.5	92.5
Total			100.0	

Límite líquido (LL)	34.94 (%)
Límite Plástico (LP)	22.97 (%)
Índice Plástico (IP)	11.96 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
Arcilla de baja plasticidad	
Clasificación (AASHTO)	A-6 (9)
Descripción	
MALO	



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

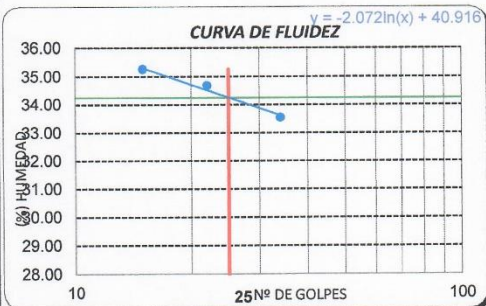


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : La Victoria Chiclayo
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de suelos por tamizado
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 107
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

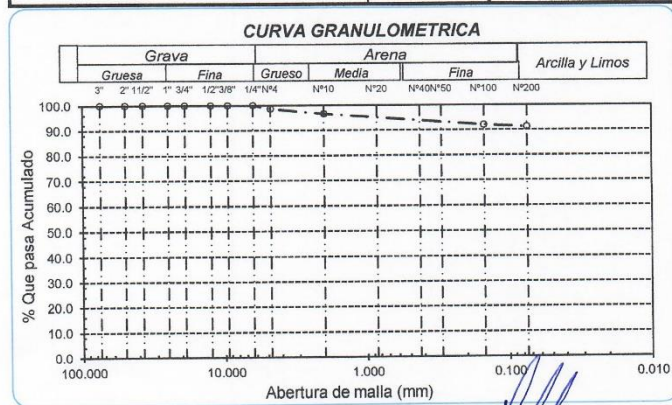
Muestra: M-2 Calicata: N°01 Muestra: M-2 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	1.4	98.6
N° 10	2.000	3.5	96.5
N° 20	0.850	4.9	95.1
N° 50	0.300	7.0	93.0
N° 100	0.150	8.1	91.9
N° 200	0.075	8.9	91.1



% Grava	G.G. %	C.F. %	A.G. %	A.M. %	A.F. %	% Arcilla y Limo
	0.0	1.4	2.1	2.6	2.8	91.1
						91.1
						100.0

Límite líquido (LL)	34.25 (%)
Límite Plástico (LP)	21.86 (%)
Índice Plástico (IP)	12.39 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	Arcilla de baja plasticidad
Clasificación (AASHTO)	A-6 (9)
Descripción	MALO



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 5: Proctor modificado de suelo natural.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
 N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2024
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA: C-01
 MUESTRA: M-1 PROFUNDIDAD: 1.00 m - 1.50 m

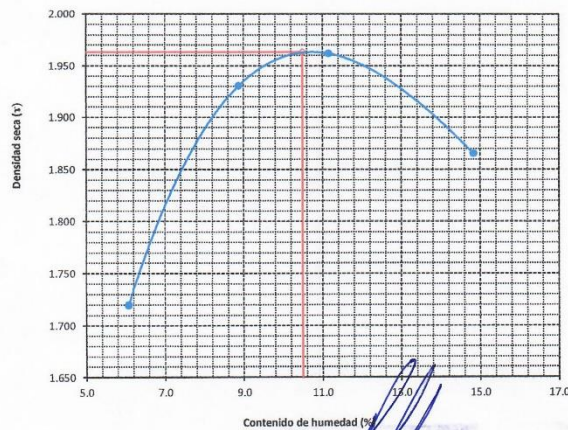
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5719	5976	6049	6013
Peso del molde	g.	4030	4030	4030	4030
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1689	1946	2019	1983
Volumen del molde	cm ³	925.81	925.81	925.81	925.81
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.824	2.102	2.181	2.142

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Recipiente		3	6	9	12
Peso del suelo húmedo + tara	g.	86.97	85.27	65.69	75.51
Peso del suelo seco + tara	g.	83.33	80.24	61.43	68.78
Peso de tara	g.	23.42	23.62	23.28	23.44
Peso de agua	g.	3.64	5.03	4.26	6.73
Peso de suelo seco	g.	59.91	56.62	38.15	45.34
Contenido de agua	%	6.1	8.9	11.2	14.8
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.720	1.930	1.962	1.865

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.963	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.50	%

GRÁFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2024
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA: **C-01**
 MUESTRA: **M-2** PROFUNDIDAD: **1.00 m - 1.50 m**

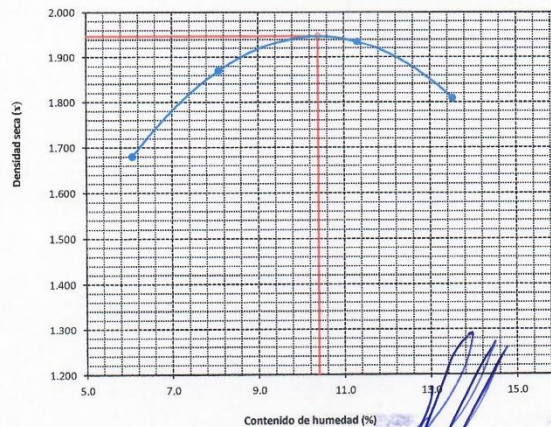
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5575	5807	5936	5838
Peso del molde	g.	3845	3845	3845	3845
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1730	1962	2091	1993
Volumen del molde	cm ³	970.7	970.7	970.7	970.7
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.782	2.021	2.154	2.053

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Recipiente		3	6	9	12
Peso del suelo húmedo + tara	g.	60.36	70.34	76.00	53.12
Peso del suelo seco + tara	g.	58.24	66.83	70.01	49.18
Peso de tara	g.	23.36	23.46	17.12	20.06
Peso de agua	g.	2.12	3.51	5.99	3.94
Peso de suelo seco	g.	34.88	43.37	52.89	29.12
Contenido de agua	%	6.1	8.1	11.3	13.5
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.680	1.870	1.935	1.808

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.947	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.40	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneira Ohltus
 Tel. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
Ubicación : Chiclayo 2024
Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA: **C-01**
 MUESTRA: **M-3** PROFUNDIDAD: **1.00 m - 1.50 m**

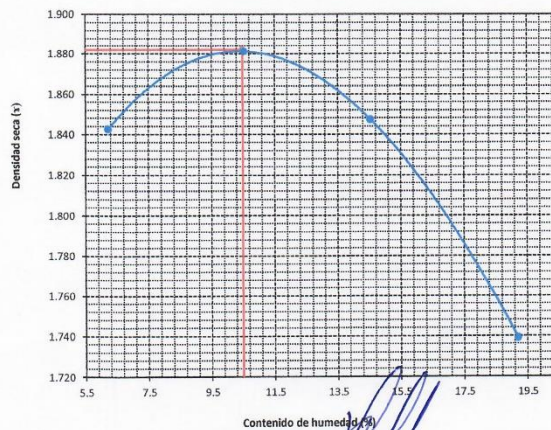
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5842	5955	5989	5949
Peso del molde	g.	4030	4030	4030	4030
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1812	1925	1959	1919
Volumen del molde	cm ³	925.81	925.81	925.81	925.81
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.957	2.079	2.116	2.073

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	113.56	115.46	101.89	101.02
Peso del suelo seco + tara	g.	108.23	106.64	91.93	88.54
Peso de tara	g.	22.54	22.93	23.47	23.57
Peso de agua	g.	5.33	8.82	9.96	12.48
Peso de suelo seco	g.	85.69	83.71	68.46	64.97
Contenido de agua	%	6.2	10.5	14.5	19.2
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.843	1.881	1.847	1.739

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.882	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.50	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneira Obilias
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2024
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA: **C-01**
 MUESTRA: **M-4** PROFUNDIDAD: **1.00 m - 1.50 m**

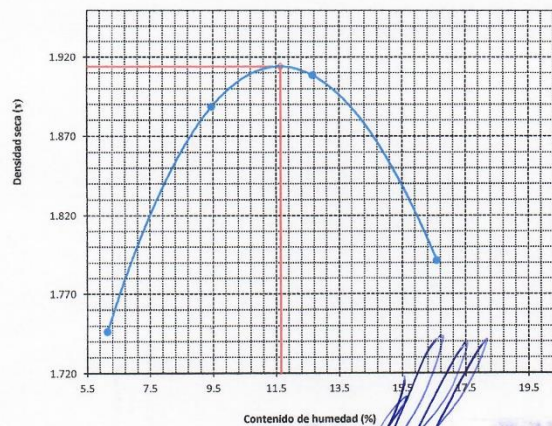
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5712.00	5912.67	5991.33	5933.33
Peso del molde	g.	3968.33	3968.33	3968.33	3968.33
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1743.67	1944.33	2023.00	1965.00
Volumen del molde	cm ³	940.77	940.77	940.77	940.77
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.853	2.067	2.150	2.089

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	86.96	90.36	81.19	76.55
Peso del suelo seco + tara	g.	83.27	84.57	74.46	68.83
Peso de tara	g.	23.11	23.34	21.29	22.36
Peso de agua	g.	3.70	5.79	6.74	7.72
Peso de suelo seco	g.	60.16	61.23	53.17	46.48
Contenido de agua	%	6.1	9.5	12.7	16.6
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.746	1.888	1.909	1.791

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.914	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.65	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. LABORATORIO USAT



Anexo 6: CBR en laboratorio de suelo natural.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA: C-01
 MUESTRA: M-1 PROFUNDIDAD: 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde		B-1				C-2				C-2				
Nº Capa		5				5				5				
Nº Golpes por capa		56				25				12				
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo		12393		12866		12133.5		12664		11674	12462			
Peso de molde (g)		7851		7851		8115		8115		8155	8155			
Peso del suelo húmedo (g)		4542		5015		4018.5		4549		3719	4307			
Volumen del molde (cc)		2124		2124		2134		2134		2134	2134			
Densidad húmeda (g/cc)		2.139		2.361		1.883		2.132		1.743	2.018			
% de humedad		11.49		22.10		10.64		24.06		10.54	26.60			
Densidad seca (g/cc)		1.918		1.934		1.702		1.718		1.577	1.594			
HUMEDAD														
Tarro Nº		-		-		-		-		-	-			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		83.30	83.30	5015.00	5015.00	82.70	82.70	4549.00	4549.00	82.27	82.27			
Tarro + Suelo seco (gr.)		77.13	77.13	4542.00	4542.00	77.02	77.02	4018.50	4018.50	76.67	76.67			
Peso del Agua (gr.)		6.17	6.17	473.00	473.00	5.68	5.68	530.50	530.50	5.60	5.60			
Peso del tarro (gr.)		23.43	23.43	0.00	0.00	23.63	23.63	0.00	0.00	23.56	23.56			
Peso del suelo seco (gr.)		53.70	53.70	4456.51	4456.51	53.39	53.39	3951.25	3951.25	53.11	53.11			
% de humedad		11.49	11.49	22.10	22.10	10.64	10.64	24.06	24.06	10.54	10.54			
Promedio de Humedad (%)		11.49		22.10		10.64		24.06		10.54	26.60			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSIÓN				EXPANSIÓN				EXPANSIÓN			
			DIAL		EXPANSIÓN		DIAL		EXPANSIÓN		DIAL		EXPANSIÓN	
					Pulg	%			Pulg	%		Pulg	%	
		0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0
		24	0.65	0.016				1.25	0.031			2.85	0.066	
		48	2.84	0.071				2.44	0.061			3.14	0.079	
		72	4.27	0.107				3.91	0.098			4.54	0.114	
		96	5.19	0.130				5.11	0.128			5.06	0.127	
			4.58	total	2.83			4.58	total	2.79		4.57	total	2.77
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº B-1				MOLDE Nº C-2				MOLDE Nº C-2			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2												
0.000	0.000	0'00"	0	2					0	2				
0.640	0.025	0'30"	15	8					12	7			8	5
1.270	0.050	1'00"	23	11					16	8			13	7
1.910	0.075	1'30"	31	14					24	11			17	9
2.540	0.100	2'00"	35	15	15.5	1.5			28	13	12.4	1.2	20	10
3.810	0.150	3'00"	42	18					33	15			24	11
5.080	0.200	4'00"	52	22	21.7	1.4			40	17	17.3	1.2	28	13
6.350	0.250	5'00"	56	23					44	19			31	14
7.620	0.300	6'00"	61	25					48	20			34	15
10.160	0.400	8'00"	70	29					57	23			43	18
12.700	0.500	10'00"	85	34					65	29			50	21

Henry Rivasneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

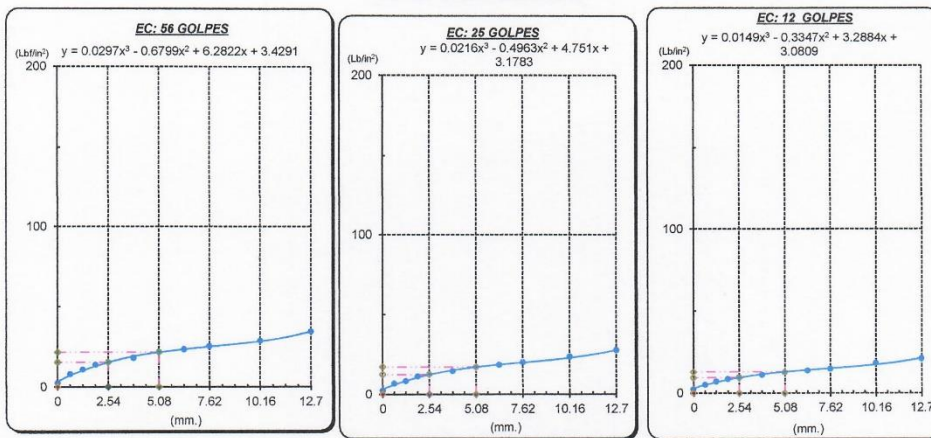


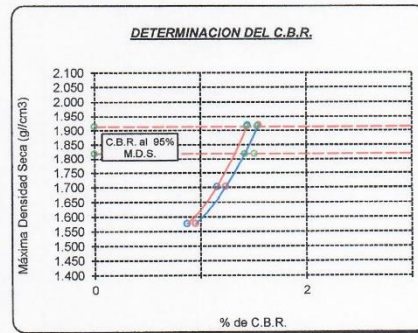
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.914 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.818 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	11.65 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2 %	1 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	2 %	1 %



Henry Rivadeneyra Ohlitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MCGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA : **C-01**
 MUESTRA : **M-2** PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN																	
Nº Molde		C-1				D-3				D-3							
Nº Capa		5				5				5							
Nº Golpes por capa		56				25				12							
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado							
Peso molde + Suelo húmedo		12678	12993	12312.5	12728	11947	12463										
Peso de molde (g)		8150	8150	8225	8225	8225	8225										
Peso del suelo húmedo (g)		4528	4843	4087.5	4503	3722	4238										
Volumen del molde (cc)		2129	2129	2127	2127	2127	2127										
Densidad húmeda (g/cc)		2.127	2.275	1.922	2.117	1.750	1.993										
% de humedad		10.60	17.69	10.52	20.86	10.43	24.52										
Densidad seca (g/cc)		1.923	1.933	1.739	1.752	1.585	1.600										
HUMEDAD																	
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Tarro + Suelo húmedo (gr)		68.28	68.28	4843.00	4843.00	67.88	67.88	4503.00	4503.00	67.48	67.48						
Tarro + Suelo seco (gr)		63.99	63.99	4528.00	4528.00	63.67	63.67	4087.50	4087.50	63.34	63.34						
Peso del Agua (gr)		4.29	4.29	315.00	315.00	4.21	4.21	415.50	415.50	4.14	4.14						
Peso del tarro (gr)		23.53	23.53	0.00	0.00	23.60	23.60	0.00	0.00	23.66	23.66						
Peso del suelo seco (gr)		40.46	40.46	4442.58	4442.58	40.07	40.07	4017.63	4017.63	39.68	39.68						
% de humedad		10.60	10.60	17.69	17.69	10.52	10.52	20.86	20.86	10.43	10.43						
Promedio de Humedad (%)		10.60	17.69	10.52	20.86	10.43	24.52										
EXPANSIÓN																	
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSIÓN			EXPANSIÓN			EXPANSIÓN								
			DIAL	Pulg	%	DIAL	Pulg	%	DIAL	Pulg	%						
		0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0						
		24	0.37	0.009		0.39	0.010		0.41	0.010							
		48	2.25	0.056		2.13	0.053		1.91	0.048							
		72	3.32	0.083		3.11	0.078		2.98	0.075							
		96	4.24	0.105		4.15	0.104		3.54	0.089							
			4.57	total 2.32		4.57	total 2.27		4.57	total 1.94							
PENETRACIÓN																	
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº C-1				MOLDE Nº D-3				MOLDE Nº D-3						
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN				
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%			
mm.	pulg.	Lbf/in2															
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2				0	2				
0.640	0.025	0'30"	18	9			13	7				8	5				
1.270	0.050	1'00"	26	12			19	9				12	7				
1.910	0.075	1'30"	32	14			25	11				17	9				
2.540	0.100	2'00"	36	16	15.9	1.6	29	13	12.8	1.3		22	11	9.7	1.0		
3.810	0.150	3'00"	45	19			35	15				25	12				
5.080	0.200	4'00"	52	22	22.6	1.5	40	17	18.0	1.2		28	13	13.4	0.9		
6.350	0.250	5'00"	59	24			45	19				31	14				
7.620	0.300	6'00"	65	27			51	21				36	16				
10.160	0.400	8'00"	78	32			61	25				44	19				
12.700	0.500	10'00"	90	36			72	29				53	22				

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

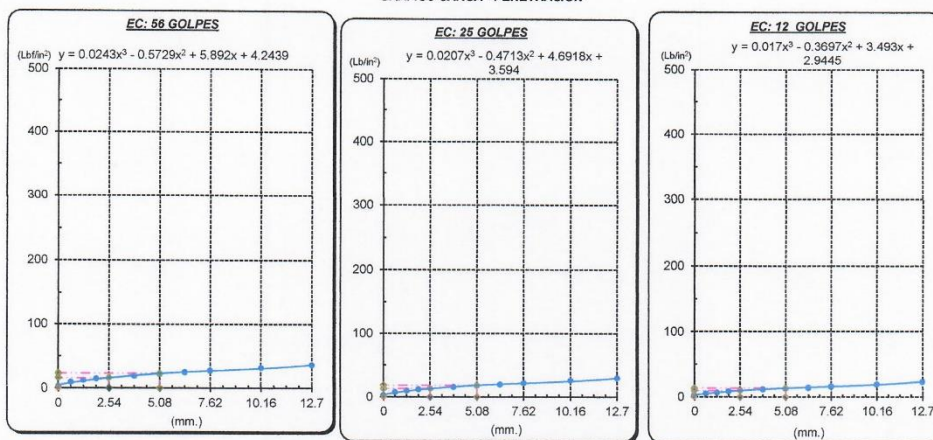


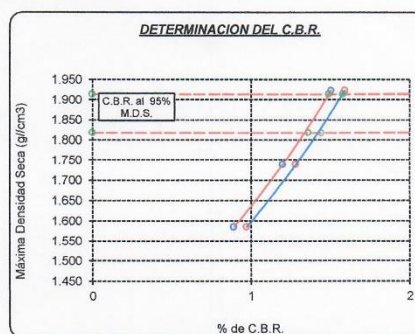
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.914 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.818 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	11.65 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2 %	1 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	1 %	1 %



Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración
 N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883



Testista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

CALICATA : C-01
 MUESTRA : M-3 PROFUNDIDAD : 1.00 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde		C1				D-3				D3					
Nº Capa		5				5				5					
Nº Golpes por capa		56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo		12714	12957	12311	12710	11908	12423								
Peso de molde (g)		8150	8150	8187.5	8187.5	8225	8225								
Peso del suelo húmedo (g)		4564	4847	4123.5	4522.5	3683	4198								
Volumen del molde (cc)		2129	2129	2128	2128	2127	2127								
Densidad húmeda (g/cc)		2.144	2.277	1.938	2.125	1.732	1.974								
% de humedad		10.61	16.93	10.56	20.40	10.43	24.64								
Densidad seca (g/cc)		1.938	1.947	1.753	1.765	1.568	1.584								
HUMEDAD															
Tarro Nº		-													
Tarro + Suelo húmedo (gr)		68.17	68.17	4847.00	4847.00	67.55	67.55	4522.50	4522.50	67.38	67.38	4198.00	4198.00		
Tarro + Suelo seco (gr)		63.89	63.88	4564.00	4564.00	63.34	63.34	4123.50	4123.50	63.24	63.24	3683.00	3683.00		
Peso del Agua (gr)		4.29	4.29	283.00	283.00	4.21	4.21	399.00	399.00	4.14	4.14	515.00	515.00		
Peso del tarro (gr)		23.43	23.43	0.00	0.00	23.46	23.46	0.00	0.00	23.56	23.56	0.00	0.00		
Peso del suelo seco (gr)		40.45	40.45	4477.23	4477.23	39.88	39.88	4052.47	4052.47	39.68	39.68	3626.14	3626.14		
% de humedad		10.61	10.61	16.93	16.93	10.56	10.56	20.40	20.40	10.43	10.43	24.64	24.64		
Promedio de Humedad (%)		10.61	16.93	10.56	20.40	10.43	24.64								
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSIÓN				EXPANSIÓN				EXPANSIÓN				
			Pulg		%		Pulg		%		Pulg	%			
		0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0			
		24	0.38	0.010		0.30	0.008		0.39	0.010					
		48	1.72	0.043		1.80	0.045		1.65	0.041					
		72	3.25	0.081		2.94	0.074		2.85	0.071					
		96	4.72	0.118		3.95	0.099		3.72	0.093					
			4.57	total	2.58	4.57	total	2.16	4.57	total	2.04				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN	TIEMPO	STAND.	CARGA Lb/fin2	MOLDE Nº C1				MOLDE Nº D-3				MOLDE Nº D3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.														
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"	18	9			14	8			8	5			
1.270	0.050	1'00"	27	12			21	10			13	7			
1.910	0.075	1'30"	34	15			27	12			18	9			
2.540	0.100	2'00"	39	17	16.7	1.7	31	14	13.7	1.4	21	10	9.9		
3.810	0.150	3'00"	47	20			38	16			26	12			
5.080	0.200	4'00"	54	23	23.4	1.6	43	18	19.0	1.3	29	13	13.6		
6.350	0.250	5'00"	61	25			48	20			33	15			
7.620	0.300	6'00"	67	27			53	22			37	16			
10.160	0.400	8'00"	80	32			64	26			46	20			
12.700	0.500	10'00"	95	38			76	31			55	23			

Henry Rivasdenegri
 Ombudsman
 Enc. Laboratorio USAT



FECHAS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

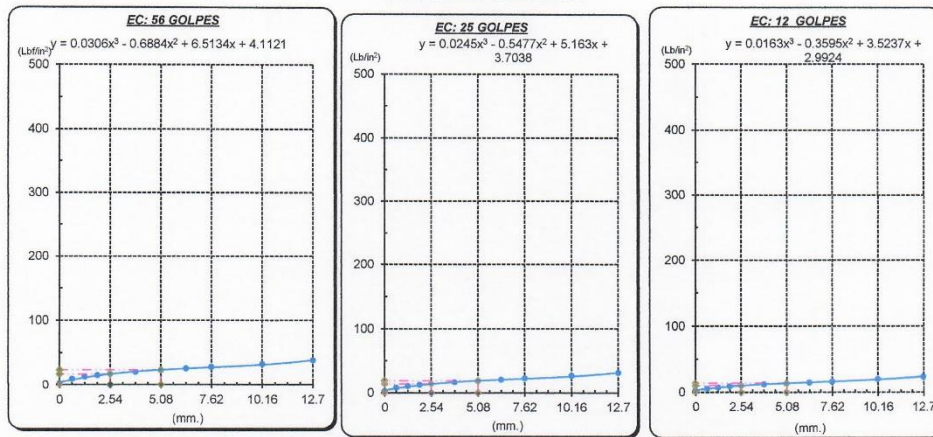


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

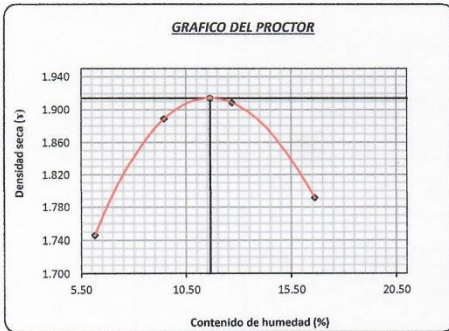
DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.914 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.818 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	11.65 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2 %	2 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	2 %	1 %

GRAFICO DEL PROCTOR




DETERMINACION DEL C.B.R.




Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 7: Contenido de humedad del suelo natural, afirmado y mezclas de AR Y AF.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
Atención : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo, Lambayeque
Fecha de emisión: : 19/05/25
Ensayo : Determinación del contenido de sales solubles
Normativa : Norma N.T.P. 339.152

I.- Datos A.F

1.- Relación de Mezcla Suelo + Agua destilada		1:5	1:5
2.- Peso de la Muestra	(g)	50	50
3.- Peso del Frasco	(g)	49.48	51.89
4.- Peso del Frasco + Agua+ Sales	(g)	141.35	129.91
5.- Peso del Frasco + Residuo de Sales	(g)	49.54	51.95
6.- Peso de Residuos de sales	(g)	0.06	0.06
7.- Volumen de Solución	(g)	91.81	77.96

II.- Resultados

A.-Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.60%
B.- Constituyentes de sales solubles totales	(ppm)	6000.00

Ensayo : Determinación del contenido de sales solubles
Referencia : Norma N.T.P. 339.152


I.- Datos A.G

1.- Relación de Mezcla Suelo + Agua destilada		1:5	1:5
2.- Peso de la Muestra	(g)	50	50.06
3.- Peso del Frasco	(g)	51.47	53.57
4.- Peso del Frasco + Agua+ Sales	(g)	146.31	131.75
5.- Peso del Frasco + Residuo de Sales	(g)	51.59	53.59
6.- Peso de Residuos de sales	(g)	0.12	0.02
7.- Volumen de Solución	(g)	94.72	78.16


II.- Resultados

A.-Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.70%
B.- Constituyentes de sales solubles totales	(ppm)	6995.80


Observaciones :



Henry Rindenevra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT




USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo




USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 8: Sales solubles totales en el agregado reciclado (AR).



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
Atención : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo, Lambayeque
Fecha de emisión: : 19/05/25
Ensayo : Determinación del contenido de sales solubles
Normativa : Norma N.T.P. 339.152

I.- Datos A.F

1.- Relación de Mezcla Suelo + Agua destilada		1:5	1:5
2.- Peso de la Muestra	(g)	50	50
3.- Peso del Frasco	(g)	49.48	51.89
4.- Peso del Frasco + Agua+ Sales	(g)	141.35	129.91
5.- Peso del Frasco + Residuo de Sales	(g)	49.54	51.95
6.- Peso de Residuos de sales	(g)	0.06	0.06
7.- Volumen de Solución	(g)	91.81	77.96

II.- Resultados

A.-Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.60%
B.- Constituyentes de sales solubles totales	(ppm)	6000.00

Ensayo : Determinación del contenido de sales solubles
Referencia : Norma N.T.P. 339.152

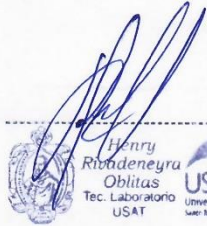
I.- Datos A.G

1.- Relación de Mezcla Suelo + Agua destilada		1:5	1:5
2.- Peso de la Muestra	(g)	50	50.06
3.- Peso del Frasco	(g)	51.47	53.57
4.- Peso del Frasco + Agua+ Sales	(g)	146.31	131.75
5.- Peso del Frasco + Residuo de Sales	(g)	51.59	53.59
6.- Peso de Residuos de sales	(g)	0.12	0.02
7.- Volumen de Solución	(g)	94.72	78.16


II.- Resultados

A.-Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.70%
B.- Constituyentes de sales solubles totales	(ppm)	6995.80


Observaciones :



Henry Rindenevra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT




USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 9: Clasificación de afirmado y mezclas de AR con AF (Granulometría y límites).



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



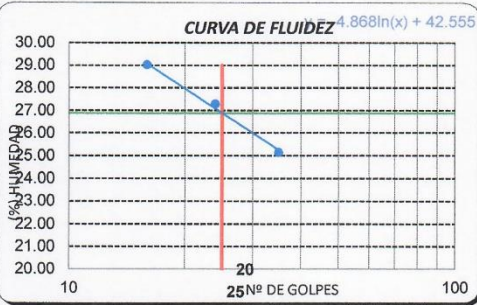
Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : La Victoria Chiclayo
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

Cantera: La Victoria

Afirmado: M-1

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	5.9	94.1
1/2"	12.500	22.2	77.8
3/8"	9.500	30.7	69.3
1/4"	6.300	37.6	62.4
N° 4	4.750	40.5	59.5
N° 10	2.000	49.6	50.4
N° 20	0.850	59.2	40.8
N° 50	0.300	71.5	28.5
N° 100	0.150	80.6	19.4
N° 200	0.075	87.0	13.0

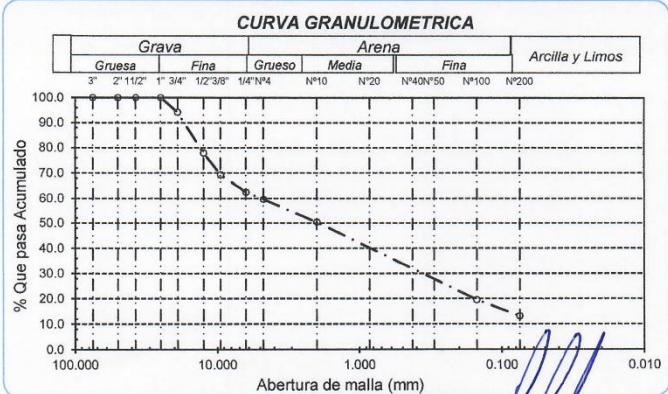



Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	5.9	40.5
	G.F. %	34.6	
	A.G. %	9.1	
% Arena	A.M. %	18.6	46.5
	A.F. %	18.8	
	% Arcilla y Limo	13.0	
Total		100.0	


Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	26.89 (%)
Límite Plástico (LP)	20.39 (%)
Índice Plástico (IP)	6.50 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SC-SM
Descripción del suelo	
Arena limo arcillosa con grava	
Clasificación (AASHTO)	A-1-b (0)
Descripción	
BUENO	

Contenido de Humedad	
	4.1


Ensayo de Límite de Atterberg	
	BUENO







Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

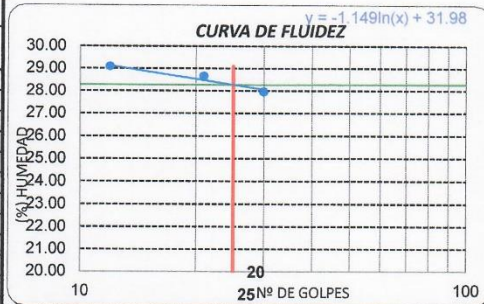


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

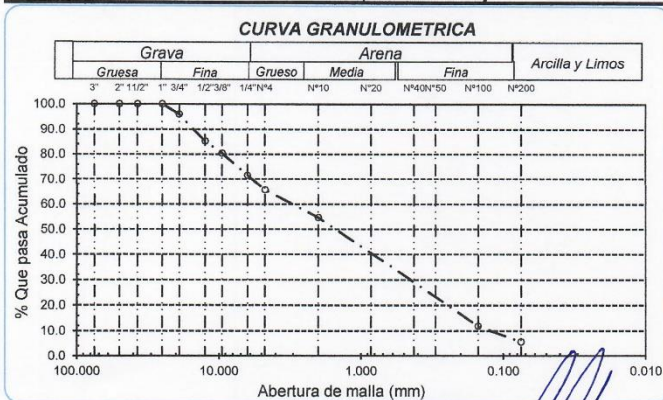
M- 1 : 50%AR-50%AF

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	4.0	96.0
1/2"	12.500	14.8	85.2
3/8"	9.500	19.7	80.3
1/4"	6.300	28.4	71.6
N° 4	4.750	34.3	65.7
N° 10	2.000	45.3	54.7
N° 20	0.850	59.5	40.5
N° 50	0.300	77.4	22.6
N° 100	0.150	88.2	11.8
N° 200	0.075	94.5	5.5



Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	4.0	
	G.F. %	30.3	34.3
	A.G. %	11.0	
% Arena	A.M. %	26.0	
	A.F. %	23.2	60.2
	% Arcilla y Limo	5.5	5.5
Total		100.0	

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	28.28 (%)
Límite Plástico (LP)	19.57 (%)
Índice Plástico (IP)	8.71 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP-SC
Descripción del suelo	
Arena pobremente graduada con arcilla y grava	
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	
BUENO	



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



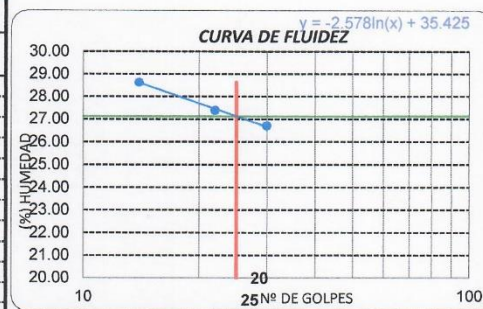
Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127; 1998

M-2: 50%AR-50%AF

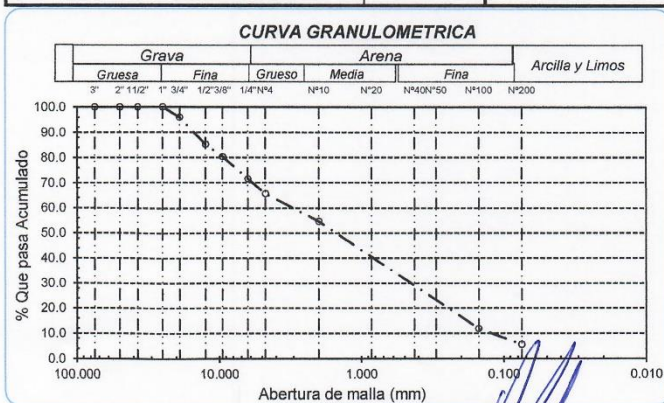
0

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	4.0	96.0
1/2"	12.500	14.8	85.2
3/8"	9.500	19.7	80.3
1/4"	6.300	28.4	71.6
N° 4	4.750	34.3	65.7
N° 10	2.000	45.3	54.7
N° 20	0.850	59.5	40.5
N° 50	0.300	77.4	22.6
N° 100	0.150	88.2	11.8
N° 200	0.075	94.5	5.5



Distribución granulométrico			
% Grava	G.G. %	4.0	34.3
	G. F %	30.3	
% Arena	A.G %	11.0	60.2
	A.M %	26.0	
	A.F %	23.2	
% Arcilla y Limo		5.5	5.5
Total			100.0

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	27.13 (%)
Límite Plástico (LP)	17.75 (%)
Índice Plástico (IP)	9.37 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP-SC
Descripción del suelo	
Arena pobremente graduada con arcilla y grava	
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	
BUENO	



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

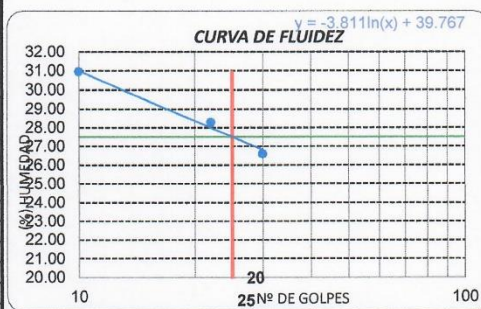


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : 0
 : N.T.P. 399.127: 1998

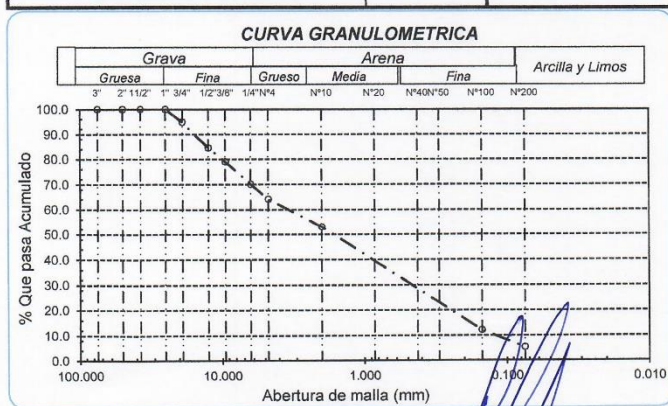
M- 1 : 60%AR-40%AF

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	5.1	94.9
1/2"	12.500	15.5	84.5
3/8"	9.500	21.1	78.9
1/4"	6.300	30.0	70.0
N° 4	4.750	35.9	64.1
N° 10	2.000	46.9	53.1
N° 20	0.850	59.5	40.5
N° 50	0.300	77.3	22.7
N° 100	0.150	88.0	12.0
N° 200	0.075	94.8	5.2



Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	5.1	35.9
	G. F %	30.8	
	A.G %	11.0	
% Arena	A.M %	24.6	58.9
	A.F %	23.3	
	% Arcilla y Limo	5.2	
Total		100.0	100.0

Ensayo de Limite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	27.50 (%)
Límite Plástico (LP)	19.06 (%)
Índice Plástico (IP)	8.44 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP-SC
Descripción del suelo	
Arena pobremente graduada con arcilla y grava	
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	BUENO



Henry Padenevra Oblitas
 Tec. LABORATORIO USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

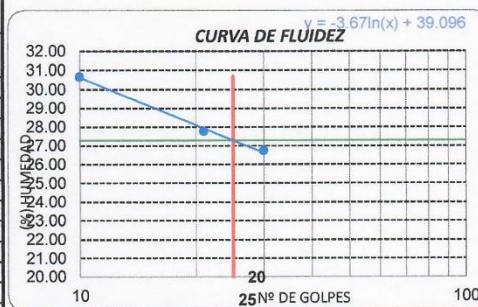


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : 0
 : N.T.P. 339.127: 1998

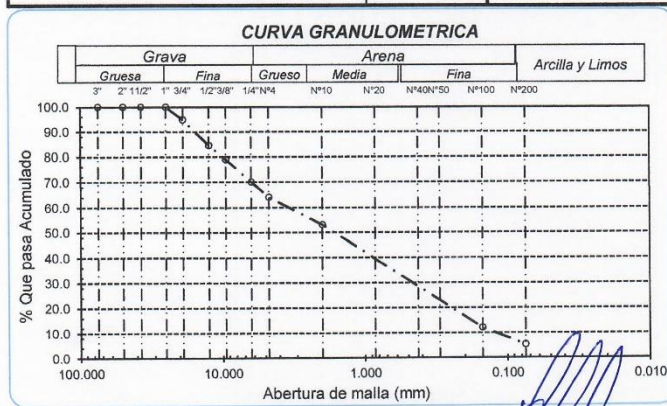
M-2: 60%AR-40%AF

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	5.1	94.9
1/2"	12.500	15.5	84.5
3/8"	9.500	21.1	78.9
1/4"	6.300	30.0	70.0
N° 4	4.750	35.9	64.1
N° 10	2.000	46.9	53.1
N° 20	0.850	59.5	40.5
N° 50	0.300	77.3	22.7
N° 100	0.150	88.0	12.0
N° 200	0.075	94.8	5.2



Distribución granulométrico			
% Grava	G.G. %	5.1	35.9
	G.F. %	30.8	
% Arena	A.G. %	11.0	58.9
	A.M. %	24.6	
	A.F. %	23.3	
% Arcilla y Limo		5.2	5.2
Total		100.0	

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	27.28 (%)
Límite Plástico (LP)	18.51 (%)
Índice Plástico (IP)	8.77 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP-SC
Descripción del suelo	
Arena pobremente graduada con arcilla y grava	
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	
BUENO	



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

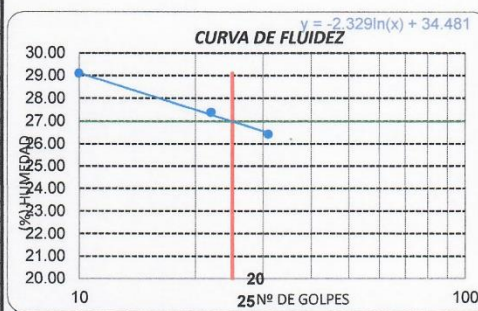


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

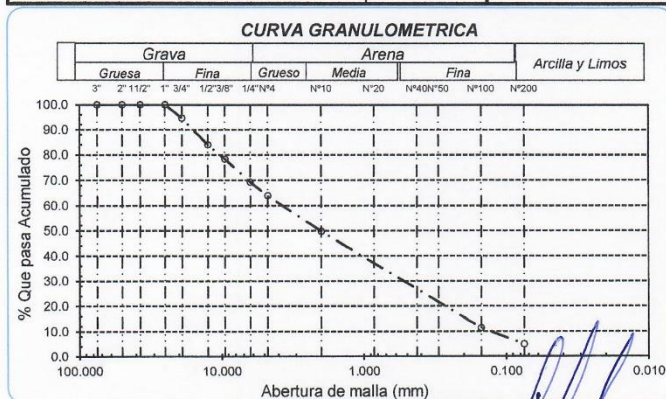
Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : 0
 : N.T.P. 339.127: 1998

M- 1 : 70%AR- 30%AF

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	5.4	94.6
1/2"	12.500	16.1	83.9
3/8"	9.500	21.7	78.3
1/4"	6.300	30.8	69.2
N° 4	4.750	36.1	63.9
N° 10	2.000	50.3	49.7
N° 20	0.850	63.2	36.8
N° 50	0.300	79.4	20.6
N° 100	0.150	88.7	11.3
N° 200	0.075	95.2	4.8



Distribución granulométrico				Ensayo de Límite de Atterberg	
% Grava	G. G. %	5.4	36.1	Límite líquido (LL)	26.98 (%)
	G. F %	30.7		Límite Plástico (LP)	18.84 (%)
	A. G %	14.2		Índice Plástico (IP)	8.14 (%)
% Arena	A. M %	23.7	59.1	Clasificación (S.U.C.S.)	SP
	A. F %	21.3		Descripción del suelo	Arena pobremente graduada con grava
	% Arcilla y Limo	4.8		Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Total		100.0		Descripción	BUENO
Contenido de Humedad			2.2		



Henry Rivadenebra Oblitas
 Tec. LABORATORIO USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

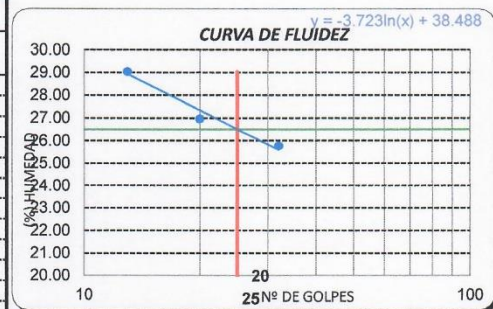


Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : Analisis granulometrico de agregados gruesos y finos
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 Normativa : N.T.P. 399.128 - MTC E 204
 : 0
 : N.T.P. 339.127: 1998

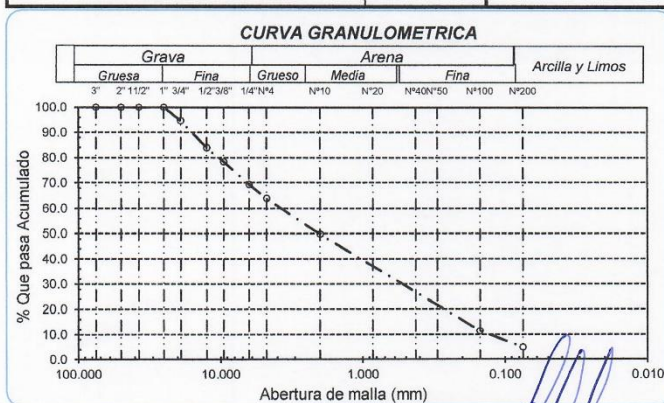
M-2: 70%AR- 30%AF

Análisis Granulométrico por tamizado			
Nº Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	5.4	94.6
1/2"	12.500	16.1	83.9
3/8"	9.500	21.7	78.3
1/4"	6.300	30.8	69.2
Nº 4	4.750	36.1	63.9
Nº 10	2.000	50.3	49.7
Nº 20	0.850	63.2	36.8
Nº 50	0.300	79.4	20.6
Nº 100	0.150	88.7	11.3
Nº 200	0.075	95.2	4.8



Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	5.4	36.1
	G. F %	30.7	
	A.G %	14.2	
% Arena	A.M %	23.7	59.1
	A.F %	21.3	
	% Arcilla y Limo	4.8	
Total		100.0	100.0


Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	26.51 (%)
Límite Plástico (LP)	18.75 (%)
Índice Plástico (IP)	7.76 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP
Descripción del suelo	
Arena pobremente graduada con grava	
Clasificación (AASHTO)	A-2-4 (0)
Descripción	
BUENO	




Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 10: Proctor Modificado de afirmado y mezclas de AR con AF.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/ft³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
Ubicación : Chiclayo 2025
Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA: M-1 (AFIRMADO)

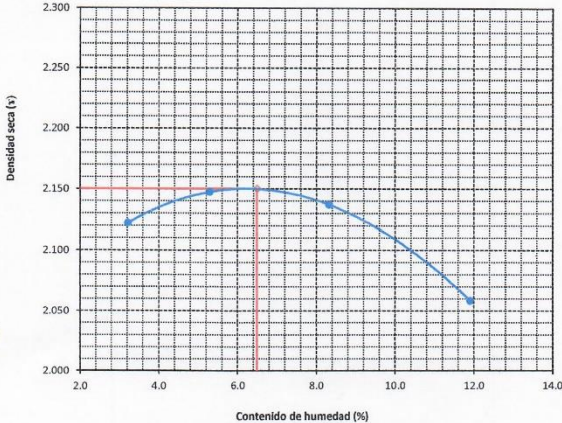
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10756	10906	11021	10996
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4657	4807	4922	4897
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.191	2.261	2.315	2.303


CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	90.60	86.60	85.85	91.91
Peso del suelo seco + tara	g.	88.50	83.42	81.06	84.60
Peso de tara	g.	23.38	23.38	23.56	23.26
Peso de agua	g.	2.1	3.18	4.79	7.31
Peso de suelo seco	g.	65.12	60.04	57.5	61.34
Contenido de agua	%	3.2	5.3	8.3	11.9
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.122	2.147	2.137	2.058


DENSIDAD MAXIMA SECA	2.150	g/cm ³			
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.50	%	-0.8	-0.7	0.3
					1.9
					0.2

GRAFICO DEL PROCTOR






Henry Huadacheyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



USAT
 Universidad Católica
 Chiclayo - Perú



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA: M-2 (AFIRMADO)

Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g	10754	10964	11087	11029
Peso del molde	g	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g	4655	4865	4988	4930
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2126	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.190	2.288	2.346	2.319

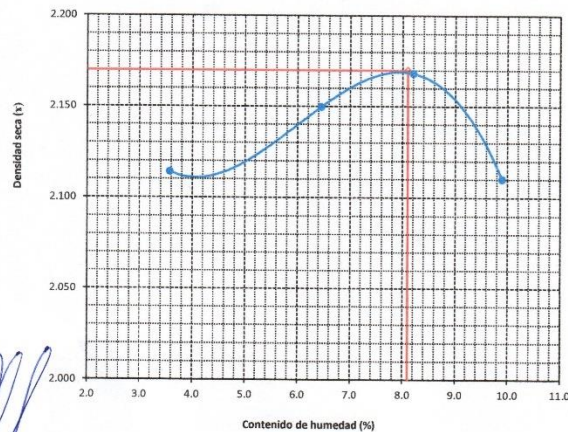
CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g	98.60	100.06	119.35	106.41
Peso del suelo seco + tara	g	96.00	95.41	112.05	98.93
Peso de tara	g	23.35	23.35	23.13	23.40
Peso de agua	g	2.6	4.65	7.3	7.48
Peso de suelo seco	g	72.65	72.06	88.92	75.53
Contenido de agua	%	3.6	6.5	8.2	9.9
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.114	2.150	2.168	2.110

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.170	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	8.10	%

-0.4 0.5 0.2 -0.1
0.0

GRAFICO DEL PROCTOR



2.160
7.49
7.300

Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Henry Rivabenebra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT



USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA: M-3 (AFIRMADO)

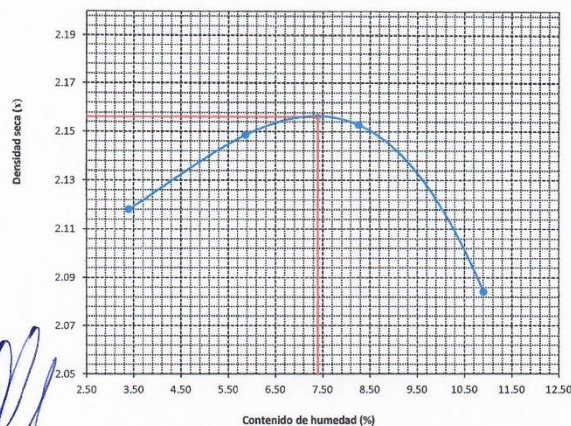
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10755	10935	11054	11012.5
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4656	4836	4955	4913.5
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.19	2.27	2.33	2.31

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	94.60	93.33	102.60	99.16
Peso del suelo seco + tara	g.	92.25	89.42	96.56	91.77
Peso de tara	g.	23.37	23.37	23.35	23.33
Peso de agua	g.	2.35	3.92	6.04	7.40
Peso de suelo seco	g.	68.89	66.05	73.21	68.44
Contenido de agua	%	3.40	5.87	8.27	10.91
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.12	2.15	2.15	2.08

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.156	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.40	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Henry Ruedengra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/ pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA I : 50%AR + 50%AF

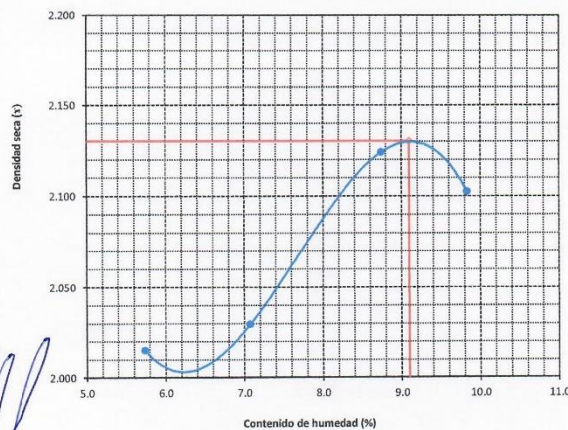
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10629	10719	11009	11008
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4530	4620	4910	4909
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.131	2.173	2.310	2.309

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	55.60	65.97	88.70	92.43
Peso del suelo seco + tara	g.	53.60	62.85	83.07	85.83
Peso de tara	g.	18.77	18.77	18.69	18.73
Peso de agua	g.	2	3.12	5.63	6.6
Peso de suelo seco	g.	34.83	44.08	64.38	67.1
Contenido de agua	%	5.7	7.1	8.7	9.8
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.015	2.029	2.124	2.102

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.130	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.10	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 H. Obedeneyra Obitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA II: 50%AR + 50%AF

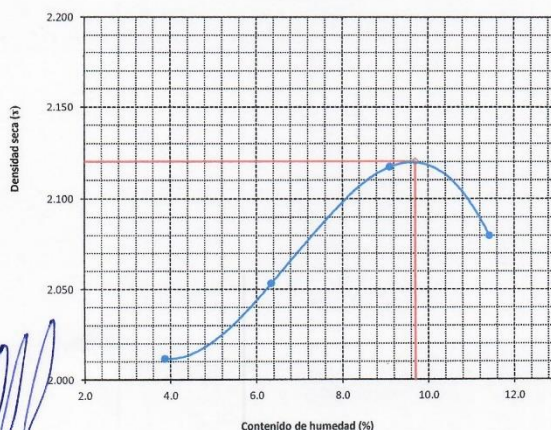
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10541	10741	11010	11026
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4442	4642	4911	4927
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.089	2.183	2.310	2.318

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	86.50	71.86	63.33	63.63
Peso del suelo seco + tara	g.	84.00	68.69	59.61	59.01
Peso de tara	g.	19.50	18.79	18.81	18.60
Peso de agua	g.	2.5	3.17	3.72	4.62
Peso de suelo seco	g.	64.5	49.9	40.8	40.41
Contenido de agua	%	3.9	6.4	9.1	11.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.011	2.053	2.117	2.080

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.120	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.70	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivas de la Cruz
 Obilitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA III: 50%AR + 50%AF

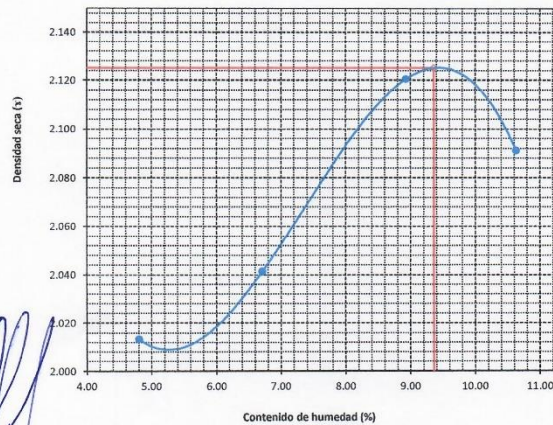
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10585	10730	11009.5	11017
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4486	4631	4910.5	4918
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.110	2.178	2.310	2.313

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	71.05	68.92	76.02	78.03
Peso del suelo seco + tara	g.	68.80	65.77	71.34	72.42
Peso de tara	g.	19.14	18.78	18.75	18.67
Peso de agua	g.	2.25	3.15	4.68	5.61
Peso de suelo seco	g.	49.67	46.99	52.59	53.76
Contenido de agua	%	4.81	6.72	8.93	10.63
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.013	2.041	2.120	2.091

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.125	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.36	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Ruedeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/ft³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA I : 60%AR + 40%AF

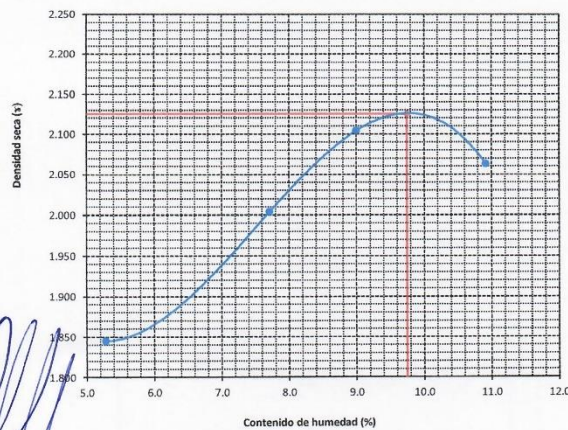
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10228	10688	10975	10963
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4129	4589	4876	4864
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.942	2.159	2.294	2.288

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	78.50	88.54	84.01	86.15
Peso del suelo seco + tara	g.	75.50	83.54	78.62	79.50
Peso de tara	g.	18.74	18.74	18.75	18.60
Peso de agua	g.	3	5	5.39	6.65
Peso de suelo seco	g.	56.76	64.80	59.87	60.9
Contenido de agua	%	5.3	7.7	9.0	10.9
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.845	2.004	2.104	2.063

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.125	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.75	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Prudene yra Obilitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 COMITÉ DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA II: 60%AR + 40%AF

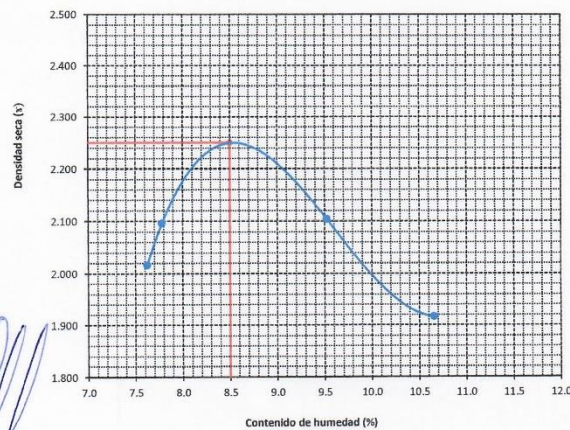
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10713	10902	10998	10608
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4614	4803	4899	4509
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.170	2.259	2.304	2.121

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	66.91	101.64	88.79	95.60
Peso del suelo seco + tara	g.	63.83	95.99	82.70	88.20
Peso de tara	g.	23.44	23.40	18.77	18.77
Peso de agua	g.	3.08	6.65	6.09	7.4
Peso de suelo seco	g.	40.39	72.59	63.93	69.43
Contenido de agua	%	7.6	7.8	9.5	10.7
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.017	2.096	2.104	1.917

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.250	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	8.50	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Rivalbentura Ojeda
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA III: 60%AR + 40%AF

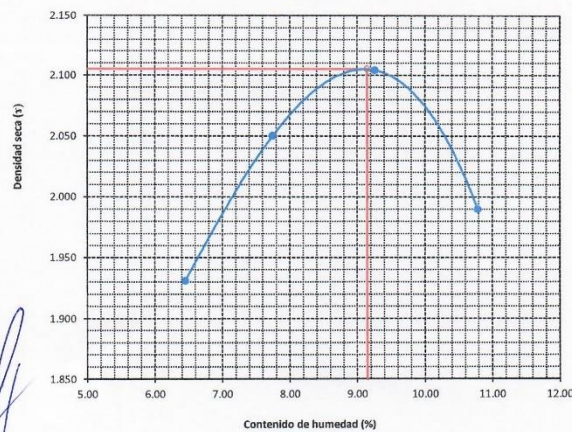
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10470.5	10795	10986.5	10785.5
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4371.5	4696	4887.5	4686.5
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.056	2.209	2.299	2.204

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	72.71	95.09	86.40	90.88
Peso del suelo seco + tara	g.	69.67	89.77	80.66	83.85
Peso de tara	g.	21.09	21.07	18.76	18.69
Peso de agua	g.	3.04	5.33	5.74	7.03
Peso de suelo seco	g.	48.58	68.70	61.90	65.17
Contenido de agua	%	6.46	7.75	9.26	10.79
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.931	2.050	2.104	1.990

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.105	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.15	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 T. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA I : 70%AR + 30%AF

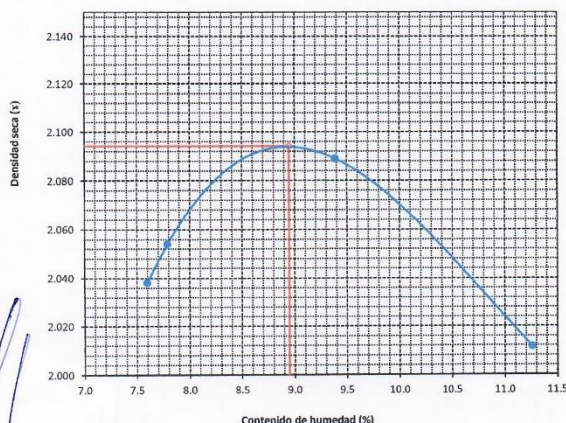
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10761	10806	10957	10857
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4662	4707	4858	4758
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.193	2.214	2.285	2.238

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	80.63	88.56	86.80	92.50
Peso del suelo seco + tara	g.	76.26	83.53	80.93	85.00
Peso de tara	g.	18.76	18.98	18.40	18.40
Peso de agua	g.	4.37	5.03	5.87	7.5
Peso de suelo seco	g.	57.50	64.55	62.53	66.6
Contenido de agua	%	7.6	7.8	9.4	11.3
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.038	2.054	2.089	2.012

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.094	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	8.95	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry
 Henry
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuet Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA II: 70%AR + 30%AF

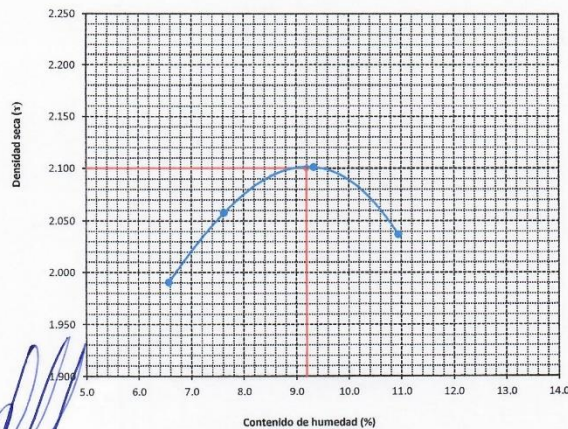
Número de ensayo	1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g. 10609	10807	10983	10903
Peso del molde	g. 6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g. 4510	4708	4884	4804
Volumen del molde	cm ³ 2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³ 2.121	2.215	2.297	2.260

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente	4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g. 59.75	90.08	73.74	85.60
Peso del suelo seco + tara	g. 57.22	85.02	69.04	79.00
Peso de tara	g. 18.77	18.69	18.73	18.73
Peso de agua	g. 2.53	5.06	4.7	6.6
Peso de suelo seco	g. 38.45	66.33	50.31	60.27
Contenido de agua	% 6.6	7.6	9.3	11.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³ 1.990	2.058	2.101	2.037

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.100	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.20	%

GRAFICO DEL PROCTOR



[Signature]
 Henry Rivas Meyra
 Obilitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/ft³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Emanuel Fernando Calderon Cardozo
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Ubicación : Chiclayo 2025
 Fecha de emisión : 19/05/2025

MUESTRA III: 70%AR + 30%AF

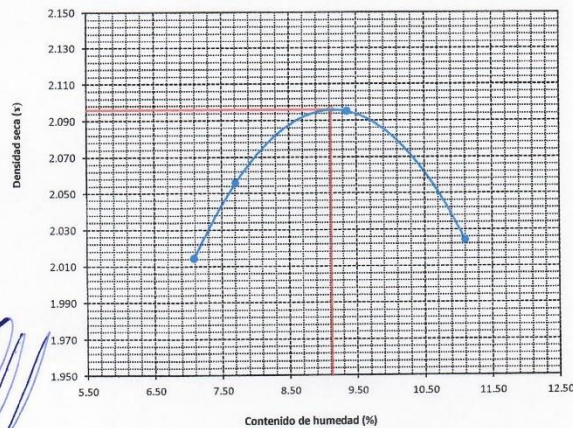
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10685	10806.5	10970	10880
Peso del molde	g.	6099	6099	6099	6099
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4586	4707.5	4871	4781
Volumen del molde	cm ³	2125.96	2125.96	2125.96	2125.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.157	2.214	2.291	2.249

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		4	6	8	10
Peso del suelo húmedo + tara	g.	70.19	89.32	80.27	89.05
Peso del suelo seco + tara	g.	66.74	84.28	74.99	82.00
Peso de tara	g.	18.77	18.84	18.57	18.57
Peso de agua	g.	3.45	5.05	5.28	7.05
Peso de suelo seco	g.	47.98	65.44	56.42	63.44
Contenido de agua	%	7.09	7.71	9.36	11.11
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.014	2.056	2.095	2.024

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.096	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.12	%

GRAFICO DEL PROCTOR



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 11: Equivalente de arena del afirmado y mezclas de AR con AF.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pag. 01 de 01)

Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
 Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Afirmado
 Cantera : La Victoria

I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	10.00	9.00	9.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	2.50	2.50	3.00
EQUIVALENTE DE ARENA	25.00 %	27.78 %	31.58 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	29 %		

ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):
 Minimo : 25 % Minimo


OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pag. 01 de 01)

Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingenieria Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : 50%AR + 50%AF
Cantera

I.- DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	9.00	9.00	9.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	3.00	3.00	3.00
EQUIVALENTE DE ARENA	33.33 %	33.33 %	31.58 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	33 %		

ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):
Minimo : 25 % Minimo

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santa Torivio de Mogrovejo





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pag. 01 de 01)

Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingenieria Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : 60%AR + 40%AF
Cantera

I.- DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	7.80	7.50	7.65
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	3.00	3.00	2.90
EQUIVALENTE DE ARENA	38.46 %	40.00 %	37.91 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	39 %		

ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):
Minimo : 25 % Minimo

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry
Rivandeyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pag. 01 de 01)

Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingenieria Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : 70%AR + 30%AF
Cantera

I.- DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	7.85	8.40	8.13
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	3.00	3.00	3.00
EQUIVALENTE DE ARENA	38.22 %	35.71 %	36.92 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	37 %		

ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):
Minimo : 25 % Minimo






OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Andeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 12: Desgaste a la abrasión del afirmado y mezclas de AR con AF.

	 <p style="margin: 0;">UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES</p> 						
Tesista	: Calderon Cardozo Emanuel Fernando						
Escuela	: Escuela de Ingenieria Civil						
Tesis	: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción						
Lugar	: Chiclayo- Lambayeque						
Fecha de ensayo	: Chiclayo, 19 de mayo del 2025						
<p>ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES</p> <p>REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131</p> <p>Cantera : La Victoria - Patapo</p> <p>Muestra : Afirmado</p>							
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60%; margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">% de desgaste por abrasión</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">%</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">26.6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">% de uniformidad</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">%</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">0.6</td> </tr> </table>		% de desgaste por abrasión	%	26.6	% de uniformidad	%	0.6
% de desgaste por abrasión	%	26.6					
% de uniformidad	%	0.6					
<p>Requerimiento : 50 % Maximo</p> <p>OBSERVACIONES :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muestras provistas e identificadas por el solicitante. - Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500 							
 <p style="font-size: small; margin: 0;">Henry Pivadeneyra Oblitas Tec. Laboratorio USAT</p> 	 <p style="font-size: small; margin: 0;">LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES USAT TECNICO DE LABORATORIO</p>						



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingenieria Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 19 de mayo del 2025

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : (-)
Muestra : 50%AR + 50%AF

% de desgaste por abrasión	%	29.2
% de uniformidad	%	0.8

Requerimiento : 50 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 19 de mayo del 2025

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : (-)
Muestra : 60%AR + 40%AF

% de desgaste por abrasión	%	32.0
% de uniformidad	%	0.8

Requerimiento : 50 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500




 Henry
 Ribadeneira
 Obitos
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geocelidas y agregados reciclados de construcción
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 19 de mayo del 2025

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : (-)
Muestra : 70%AR + 30%AF

% de desgaste por abrasión	%	34.5
% de uniformidad	%	0.7

Requerimiento : 50 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry
Pineda
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT




Anexo 13: Ensayo DCP en tramos con afirmado y mezclas de AR con AF.

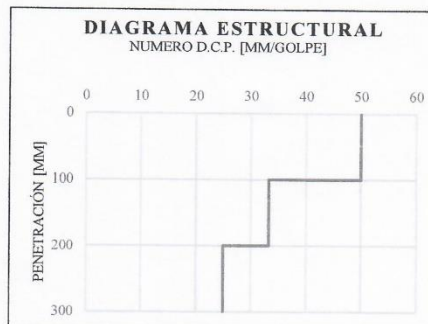
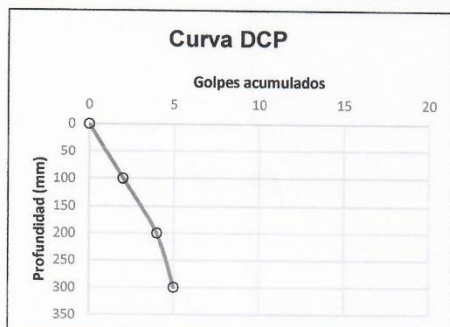
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	1	CL	Arcilla de baja plasticidad
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	CL		
ADICIÓN	Terreno Natural		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
2	2	40.0	100	100	50.0	3.65
4	2	80.0	200	100	50.0	3.65
5	1	100.0	300	100	100.0	1.68



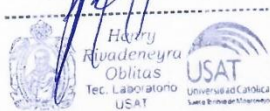
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE LA EXCAVACION A NIVEL NATURAL DEL TERRENO H = -1.00m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



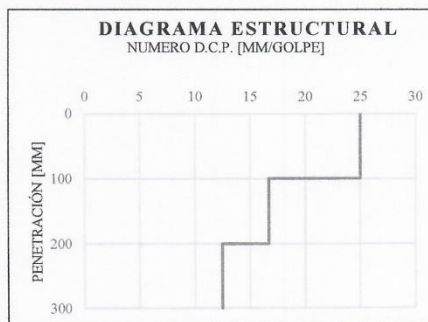
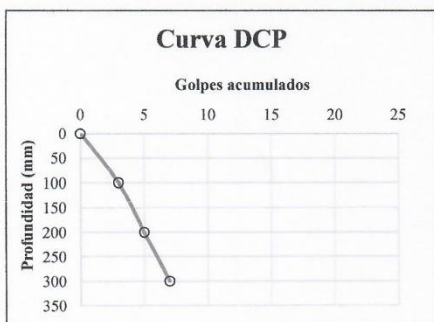
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
ATENCION: : Escuela de Ingenieria Civil
TESIS: : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
UBICACIÓN: : Chiclayo-Lambayeque
FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	2	CL	Arcilla de baja plasticidad
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	CL		
ADICIÓN	Terreno Natural		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
3	3	42.9	100	100	33.3	5.75
5	2	71.4	200	100	50.0	3.65
7	2	100.0	300	100	50.0	3.65



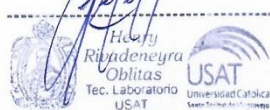
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE LA EXCAVACION A NIVEL NATURAL DEL TERRENO H = -1.00m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((DCP)^{1.12})$$



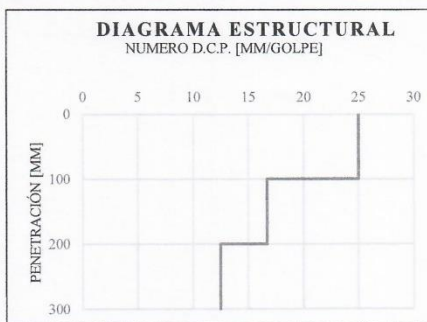
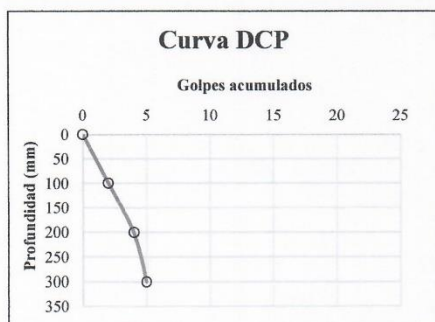
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
ATENCIÓN: : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS: : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
UBICACIÓN: : Chiclayo-Lambayeque
FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	3	CL	Arcilla de baja plasticidad
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	CL		
ADICIÓN	Terreno Natural		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice DCP (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
2	2	40.0	100	100	50.0	3.65
4	2	80.0	200	100	50.0	3.65
5	1	100.0	300	100	100.0	1.68



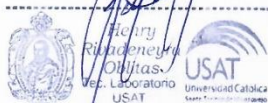
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE LA EXCAVACION A NIVEL NATURAL DEL TERRENO H ≈ -1.00m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((DCP)^{1.12})$$



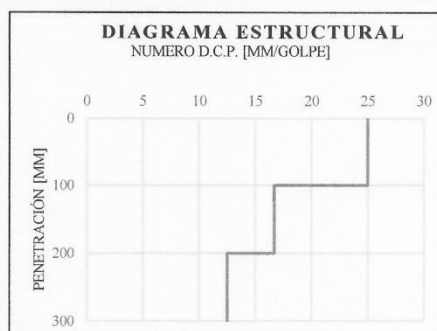
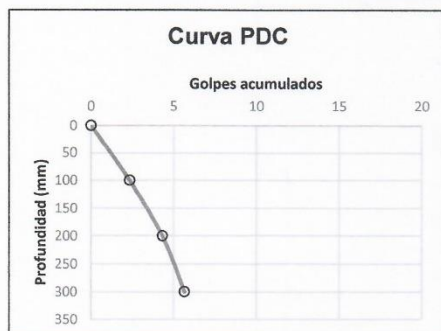
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION: : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS: : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN: : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN: : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	PROMEDIO	CL	Arcilla de baja plasticidad
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	CL		
ADICIÓN	Terreno Natural		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0.0	0.0	0			
2.3	2.3	41.2	100	100	42.9	4.3 %
4.3	2.0	76.5	200	100	50.0	3.7 %
5.7	1.3	100.0	300	100	75.0	2.3 %



Promedio Índice PDC (mm/golpe)	CBR Promedio (%)
56.0	3.4 %

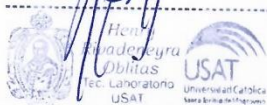
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE LA EXCAVACION A NIVEL NATURAL DEL TERRENO H = 1.00m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



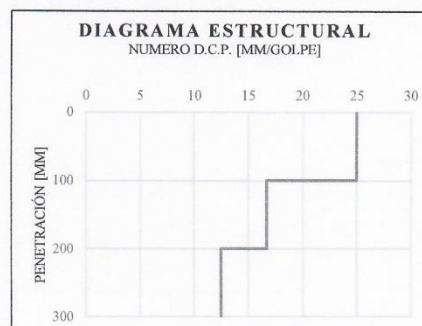
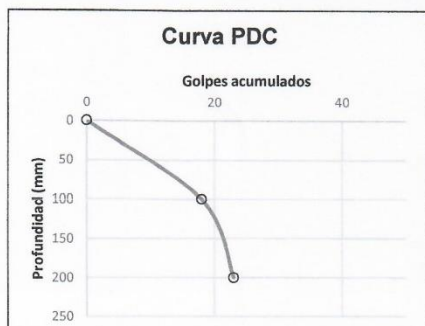
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	1	SC-SM	Arena limo arcillosas con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SC-SM		
ADICIÓN	Afirmado reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
18	18	78.3	100	100	5.6	42.78
23	5	100.0	200	100	20.0	10.19



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELADAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



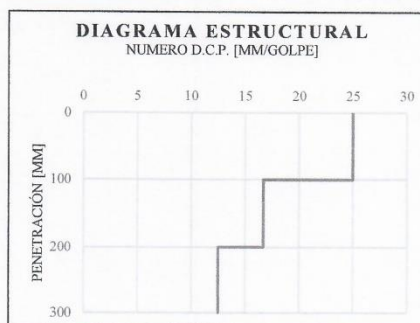
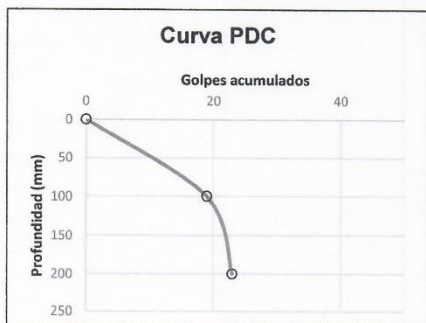
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	2	SC-SM	Arena limo arcillosas con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SC-SM		
ADICIÓN	Afirmado reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
19	19	82.6	100	100	5.3	45.46
23	4	100.0	200	100	25.0	7.94



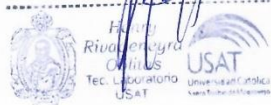
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292/((PDC)^{1.12})$



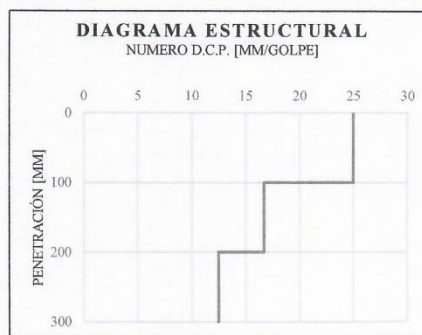
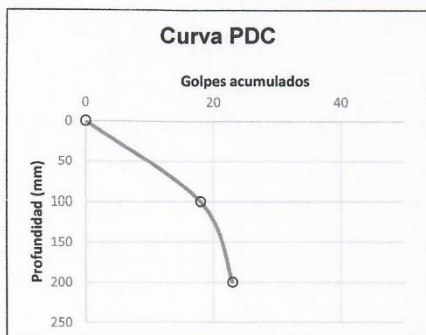
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	3	SC-SM	Arena limo arcillosas con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SC-SM		
ADICIÓN	Afirmado reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
18	18	78.3	100	100	5.6	42.78
23	5	100.0	200	100	20.0	10.19



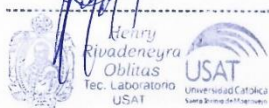
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



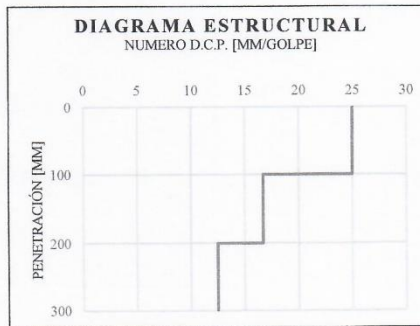
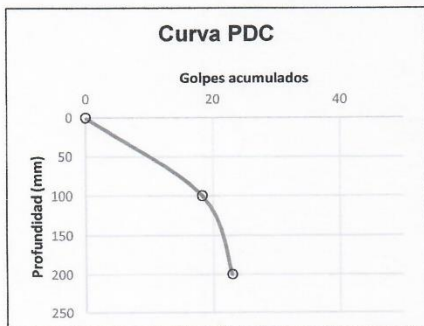
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	PROMEDIO	SC-SM	Arena limo arcillosas con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg		FECHA: 23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SC-SM		
ADICIÓN	Afirmado reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
18.3	18.3	79.7	100	100	5.5	43.7 %
23.0	4.7	100.0	200	100	21.4	9.4 %



Promedio Índice PDC (mm/golpe)	CBR Promedio (%)
13.4	26.6 %

OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



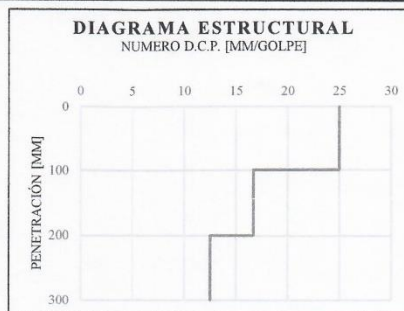
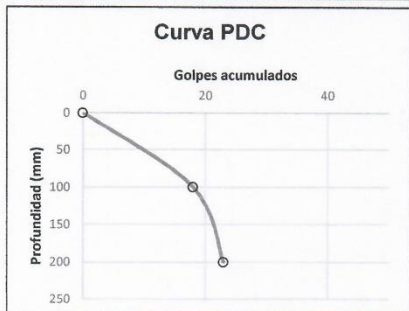
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	1	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(50%AR+50%AF) reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
18	18	78.3	100	100	5.6	42.78
23	5	100.0	200	100	20.0	10.19



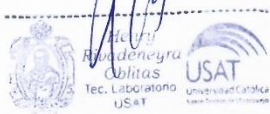
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



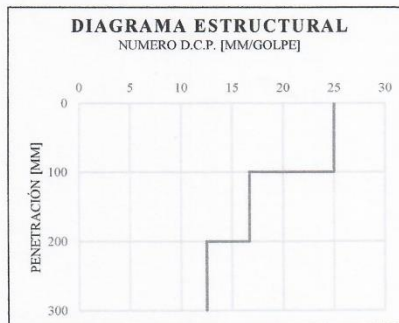
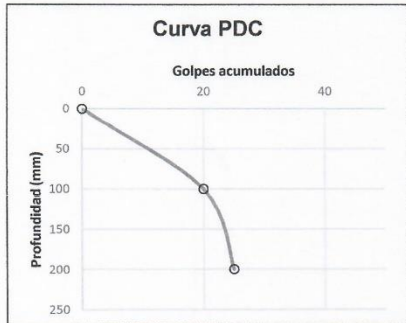
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	2	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(50%AR+50%AF) reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
20	20	80.0	100	100	5.0	48.14
25	5	100.0	200	100	20.0	10.19



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELADAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$



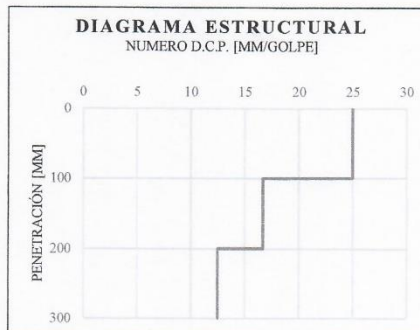
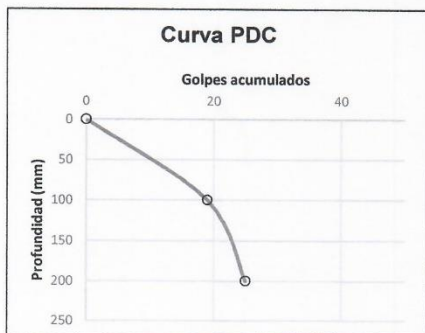
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	3	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(50%AR+50%AF) reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
19	19	76.0	100	100	5.3	45.46
25	6	100.0	200	100	16.7	12.50



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELADAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



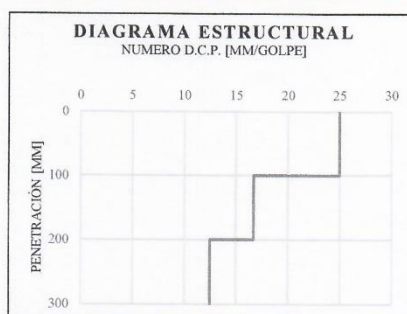
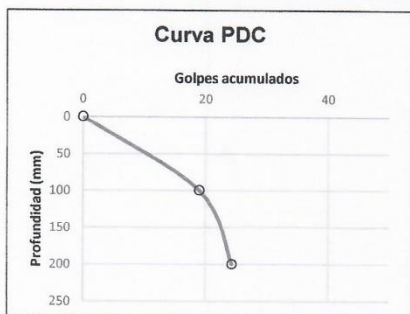
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	PROMEDIO	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(50%AR+50%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
19.0	19.0	78.1	100	100	5.3	45.5 %
24.3	5.3	100.0	200	100	18.8	11.0 %



Promedio Índice PDC (mm/golpe)	CBR Promedio (%)
12.0	28.2 %

OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



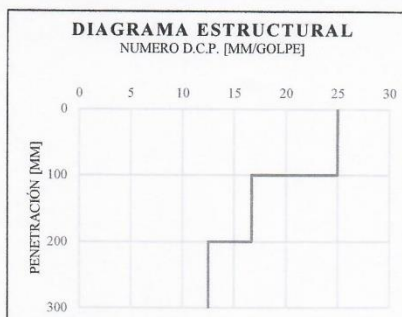
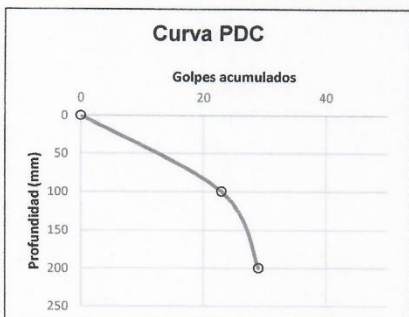
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	1	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(60%AR+40%AF) reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
23	23	79.3	100	100	4.3	56.30
29	6	100.0	200	100	16.7	12.50



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292/((PDC)^{1.12})$



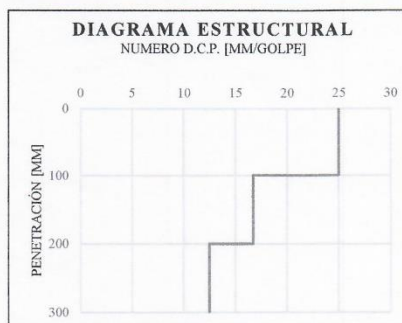
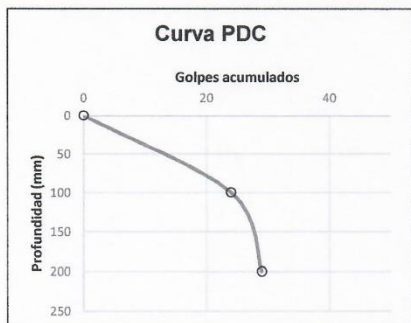
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	2	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(60%AR+40%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
24	24	82.8	100	100	4.2	59.05
29	5	100.0	200	100	20.0	10.19



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



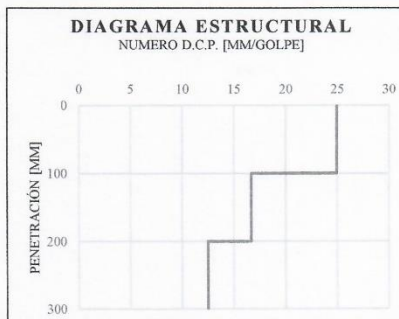
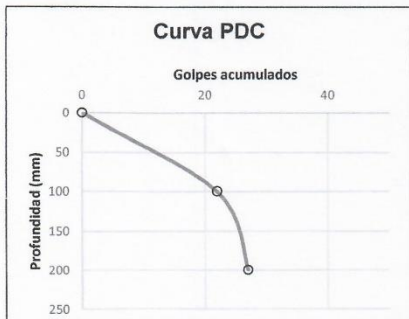
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	3	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(60%AR+40%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
22	22	81.5	100	100	4.5	53.57
27	5	100.0	200	100	20.0	10.19



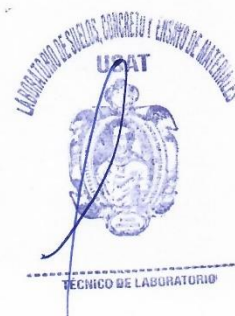
OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$



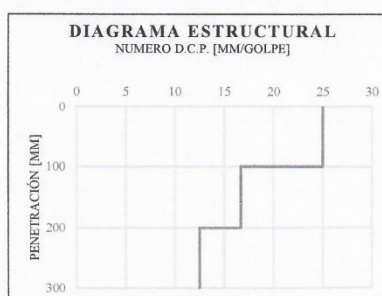
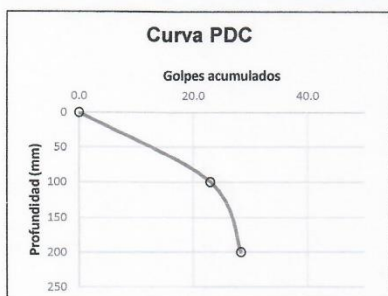
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingeniería Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	PROMEDIO	SP-SC	Arena pobremente graduada con arcilla y grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg		FECHA: 23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP-SC		
ADICIÓN	(60%AR+40%AF) reforzado con geoceladas		

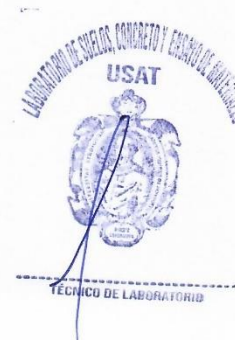
Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0.0	0	0.0	0			
23.0	23.0	81.2	100	100	4.3	56.3 %
28.3	5.3	100.0	200	100	18.8	11.0 %



Promedio Índice PDC (mm/golpe)	CBR Promedio (%)
11.5	33.6 %

OBSERVACIONES:
 PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELADAS H=0.80 m

CORRELACIONES:
 1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000) $CBR = 292/((PDC)^{1.12})$



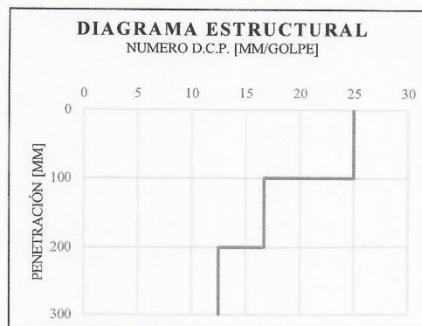
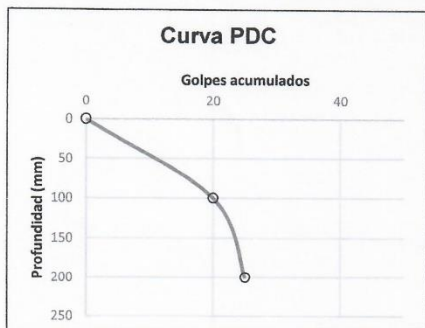
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de construcción
UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	1	SP	Arena pobremente graduada con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP		
ADICIÓN	(70%AR+30%AF) reforzado con geoceladas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
20	20	80.0	100	100	5.0	48.14
25	5	100.0	200	100	20.0	10.19



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELADAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica del Perú



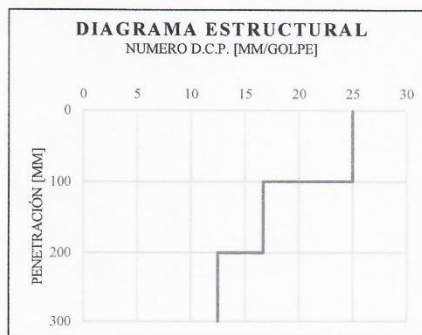
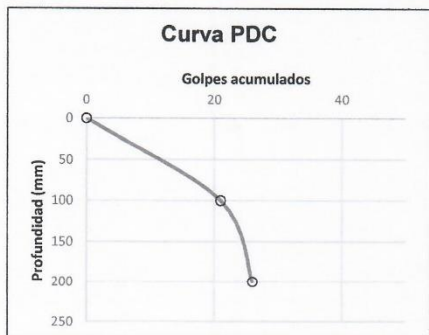
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	2	SP	Arena pobremente graduada con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP		
ADICIÓN	(70%AR+30%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
21	21	80.8	100	100	4.8	50.85
26	5	100.0	200	100	20.0	10.19



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$



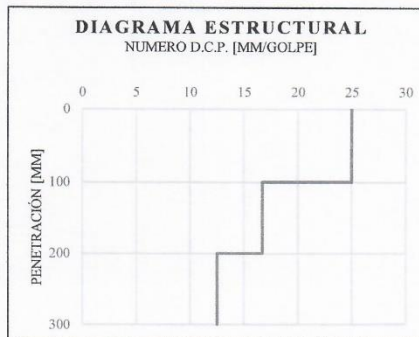
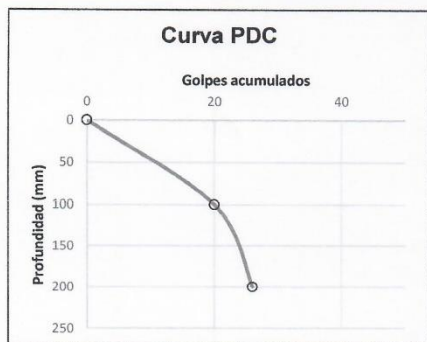
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingenieria Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	3	SP	Arena pobremente graduada con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP		
ADICIÓN	(70%AR+30%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
20	20	76.9	100	100	5.0	48.14
26	6	100.0	200	100	16.7	12.50



OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOCELAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$



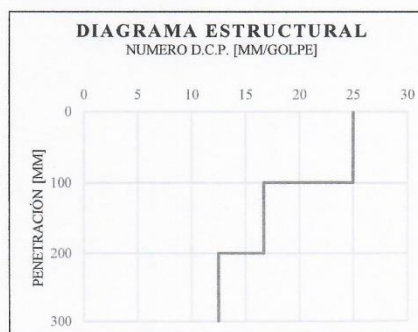
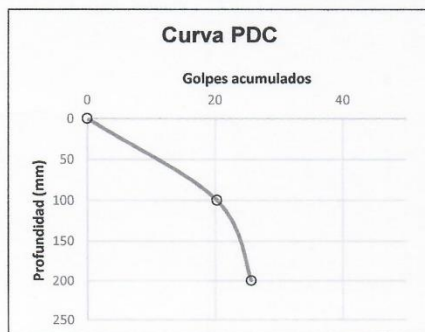
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Calderon Cardozo Emanuel Fernando
 ATENCION : Escuela de Ingeniería Civil
 TESIS : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de construcción
 UBICACIÓN : Chiclayo-Lambayeque
 FECHA RECEPCIÓN : Chiclayo, 19 de Mayo del 2025

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO ASTM D 6951

PUNTO:	PROMEDIO	SP	Arena pobremente graduada con grava
LOCALIZACIÓN			
PESO DEL MARTILLO:	8,0 kg	FECHA:	23/11/2024
FACTOR DEL MARTILLO:	1,0		
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO:	SP		
ADICIÓN	(70%AR+30%AF) reforzado con geoceldas		

Número de golpes acumulado	Número de golpes	% golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por lectura (mm)	Índice PDC (mm/golpe)	CBR ⁽¹⁾ (%)
0	0	0.0	0			
20.3	20.3	79.2	100	100	4.9	49.0 %
25.7	5.3	100.0	200	100	18.8	11.0 %



Promedio Índice PDC (mm/golpe)	CBR Promedio (%)
11.8	30.0 %

OBSERVACIONES:

PENETRACIÓN REALIZADA SOBRE NIVEL DE CAPA REFORZADA CON GEOELDAS H=-0.80 m

CORRELACIONES:

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000)

$$CBR = 292 / ((PDC)^{1.12})$$



Anexo 14: Ensayo de Viga Benkelman en tramos reales con afirmado y mezcla de (60%AR + 40%AF).

	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	(ID)Docum.:	2-T
	ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN	Fecha:	May-25
	BASADO EN LA NORMA ASTM D4695 - MTC E1002	Especialid.:	Civil

1°) DATOS DEL SERVICIO:

PROYECTO: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de la construcción

UBICACIÓN: La Victoria - Chiclayo - Lambayeque

CLIENTE: Emanuel F. Calderon Cardozo

MATERIAL : Subrasante reforzada con geoceldas y afirmado

2°) DATOS PROPUESTOS DE CAMPO PARA LUEGO HACER LAS CORRECCIONES:

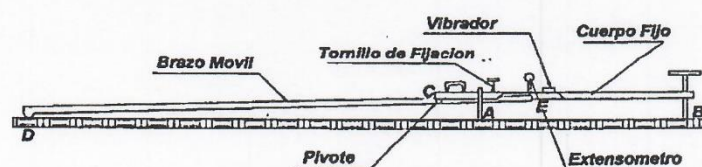
2.1) De la Libreta de Campo se obtuvo los siguientes Datos:

Progresiva (Km)	Carril	(0) cm	(25) cm	(50) cm	(100) cm	> 100cm
(0 + 000)	D	51	48	42	20	13
(0 + 050)	D	52	48	40	18	12
(0 + 100)	D	40	37	34	15	6
(0 + 150)	D	50	42	34	20	10

3°) CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES EN LOS KM EVALUADOS:

3.1) Fórmula a Emplear para tal Km y posterior a ello se arme la Matriz de Deflexiones:

$$D_x = (\text{Lectura de la dist. en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'} - \text{Lectura de la dist. Mayor en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'}) * F_c$$



3.2) Armado de la Matriz de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
		(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0.+000)	D	152	140	116	28
(0 + 050)	D	160	144	112	24
(0 + 100)	D	136	124	112	36
(0 + 150)	D	160	128	96	40

Henry Rivadeneira Ceballos
Téc. Laboratorio USAT



4°) LA PRIMERA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA NORMADA:

4.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Temperatura para la Matriz de Deflexiones:

$$(Fc)_{Temp.} = D_{20} = \frac{Dt}{[K * (T - 20) * e + 1]}$$

- Donde tenemos la siguiente Leyenda:

(Fc)Tem. = D20 = Deflexión recuperable a la Temperatura estándar de 20°C

Dt = Deflexión en centésimas de milímetro a la Temperatura (T)

K = Coeficiente igual a $1 \cdot 10^{-3}$ (1 / cm * °C)

T = Temperatura de Asfalto medida para cada KILOMETRO

C = Espesor de la Carpeta Asfáltica en centímetros

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°4.

4.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

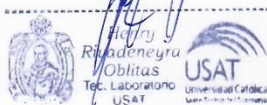
Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Tem.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	D	27	(20.0) cm	0.88	133.00	123.00	102.00	25.00
(0 + 050)	D	27	(20.0) cm	0.88	140.00	126.00	98.00	21.00
(0 + 100)	D	27	(20.0) cm	0.88	119.00	109.00	98.00	32.00
(0 + 150)	D	27	(20.0) cm	0.88	140.00	112.00	84.00	35.00

5°) SEGUNDA Y ÚLTIMA CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD NORMADA:

5.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Estacionalidad para la Matriz de Deflexiones:

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa	1	1.1 a 1.3
Arcillosa	1	1.2 a 1.4

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°5.

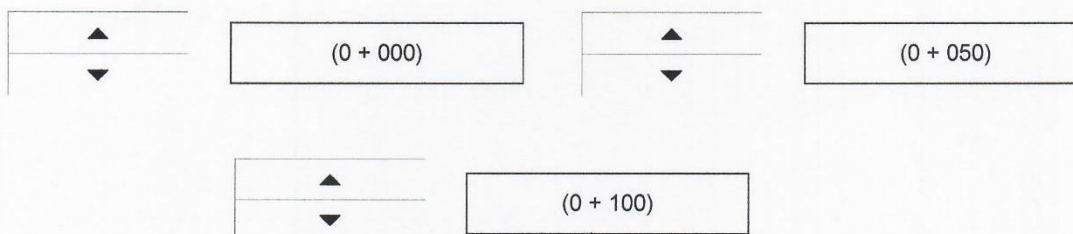


5.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	D	27	(20.0) cm	1.30	172.90	159.90	132.60	32.50
(0 + 050)	D	27	(20.0) cm	1.30	182.00	163.80	127.40	27.30
(0 + 100)	D	27	(20.0) cm	1.30	154.70	141.70	127.40	41.60
(0 + 150)	D	0	(20.0) cm	1.30	182.00	145.60	109.20	45.50

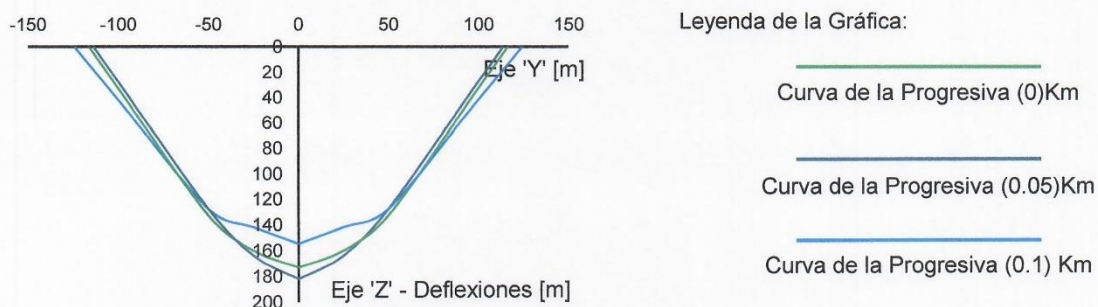
5.3) Gráfica de funciones más representativas de todo el análisis:

5.3.1) Se apreciará las Funciones de los siguientes Kilometrajes:



*) En la siguiente hoja se verá la Gráfica con sus respectivas Funciones, donde estas funciones estarán dados en los siguientes ejes: Superficie de Análisis (m) x Deflexiones (m).

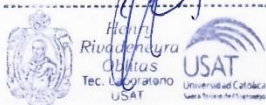
5.3.2) Funciones de los Kilometrajes propuestos Representativos:



- Resumen de esas 3 Curvas Representativas:

Se tiene un buen PAVIMENTO y una SUBRASANTE de calidad mala.

OBSERVACIONES GENERALES:



	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	(ID)Docum.:	2-T
	ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN	Fecha:	May-25
	BASADO EN LA NORMA ASTM D4695 - MTC E1002	Especialid.:	Civil

1°) DATOS DEL SERVICIO:

PROYECTO: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de la construcción

UBICACIÓN: La Victoria - Chiclayo - Lambayeque

CLIENTE: Emanuel F. Calderon Cardozo

MATERIAL: Subrasante reforzada con geoceldas y afirmado

2°) DATOS PROPUESTOS DE CAMPO PARA LUEGO HACER LAS CORRECCIONES:

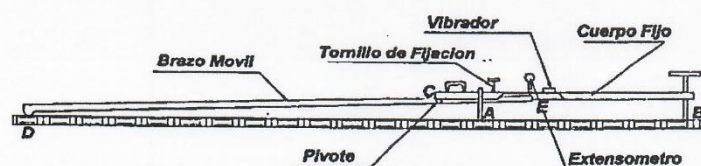
2.1) De la Libreta de Campo se obtuvo los siguientes Datos:

Progresiva (Km)	Carril	(0) cm	(25) cm	(50) cm	(100) cm	> 100cm
(0 + 000)	I	53	50	43	21	13
(0 + 050)	I	48	45	37	18	9
(0 + 100)	I	54	48	38	21	13
(0 + 150)	I	48	41	37	17	10

3°) CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES EN LOS KM EVALUADOS:

3.1) Fórmula a Emplear para tal Km y posterior a ello se arme la Matriz de Deflexiones:

$$Dx = (\text{Lectura de la dist. en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'} - \text{Lectura de la dist. Mayor en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'}) * Fc$$



3.2) Armado de la Matriz de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
		(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	160	148	120	32
(0 + 050)	I	156	144	112	36
(0 + 100)	I	164	140	100	32
(0 + 150)	I	152	124	108	28

Henry Rivas Obispo
Tecnico de Laboratorio
USAT



4°) LA PRIMERA CORRECIÓN POR TEMPERATURA NORMADA:

4.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Temperatura para la Matriz de Deflexiones:

$$(F_c)_{Temp.} = D_{20} = \frac{D_t}{[K * (T - 20) * e + 1]}$$

- Donde tenemos la siguiente Leyenda:

(Fc)Tem. = D20 = Deflexión recuperable a la Temperatura estándar de 20°C

Dt = Deflexión en centésimas de milímetro a la Temperatura (T)

K = Coeficiente igual a $1 \cdot 10^{-3}$ (1 / cm * °C)

T = Temperatura de Asfalto medida para cada KILOMETRO

C = Espesor de la Carpeta Asfáltica en centímetros

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°4.

4.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

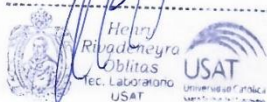
Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Tem.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	27	(20.0) cm	0.88	140.00	130.00	105.00	28.00
(0 + 050)	I	27	(20.0) cm	0.88	137.00	126.00	98.00	32.00
(0 + 100)	I	27	(20.0) cm	0.88	144.00	123.00	88.00	28.00
(0 + 150)	I	27	(20.0) cm	0.88	133.00	109.00	95.00	25.00

5°) SEGUNDA Y ÚLTIMA CORRECIÓN POR ESTACIONALIDAD NORMADA:

5.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Estacionalidad para la Matriz de Deflexiones:

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa	1	1.1 a 1.3
Arcillosa	1	1.2 a 1.4

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°5.

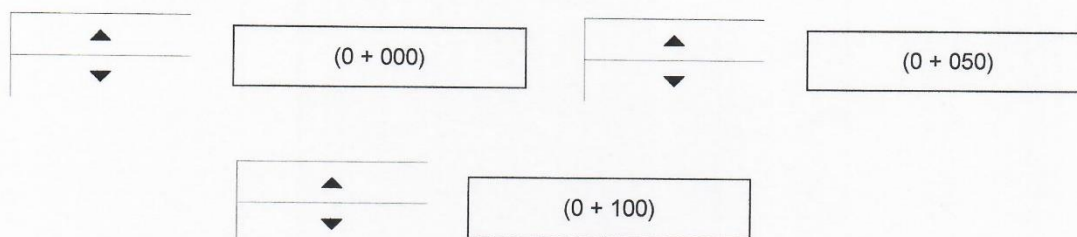


5.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	27	(20.0) cm	1.30	182.00	169.00	136.50	36.40
(0 + 050)	I	27	(20.0) cm	1.30	178.10	163.80	127.40	41.60
(0 + 100)	I	27	(20.0) cm	1.30	187.20	159.90	114.40	36.40
(0 + 150)	I	27	(20.0) cm	1.30	172.90	141.70	123.50	32.50

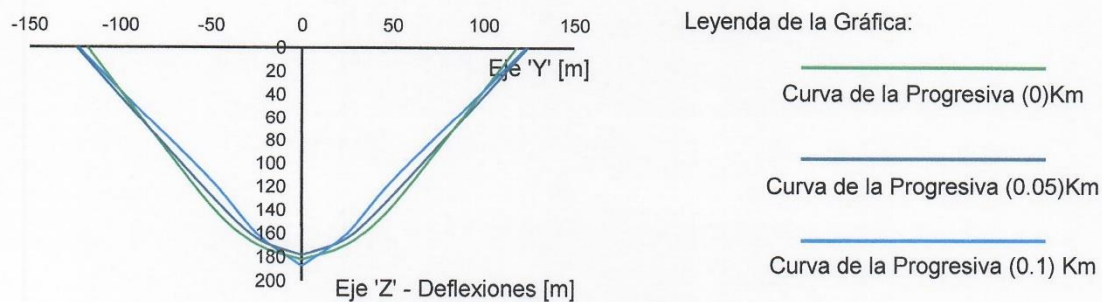
5.3) Gráfica de funciones más representativas de todo el análisis:

5.3.1) Se apreciará las Funciones de los siguientes Kilometrajes:



*) En la siguiente hoja se verá la Gráfica con sus respectivas Funciones, donde estas funciones estarán dados en los siguientes ejes: Superficie de Análisis (m) x Deflexiones (m).

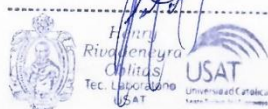
5.3.2) Funciones de los Kilometrajes propuestos Representativos:



- Resumen de esas 3 Curvas Representativas:

Se tiene un buen PAVIMENTO y una SUBRASANTE de calidad mala.

OBSERVACIONES GENERALES:



	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	(ID)Docum.: 2-T
	ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN	Fecha: May-25
	BASADO EN LA NORMA ASTM D4695 - MTC E1002	Especialid.: Civil

1°) DATOS DEL SERVICIO:

PROYECTO: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de la construcción

UBICACIÓN: La Victoria - Chiclayo - Lambayeque

CLIENTE: Emanuel F. Calderon Cardozo

MATERIAL: Subrasante reforzada con geoceladas y 60%AR + 40%AF

2°) DATOS PROPUESTOS DE CAMPO PARA LUEGO HACER LAS CORRECCIONES:

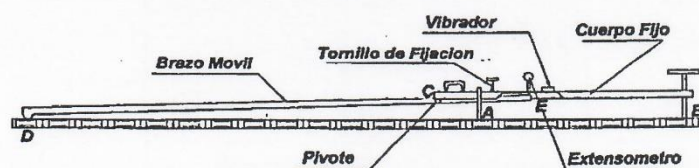
2.1) De la Libreta de Campo se obtuvo los siguientes Datos:

Progresiva (Km)	Carril	(0) cm	(25) cm	(50) cm	(100) cm	> 100cm
(0 + 000)	D	36	32	28	17	10
(0 + 050)	D	35	31	29	15	11
(0 + 100)	D	40	35	33	22	15
(0 + 150)	D	38	35	31	20	14

3°) CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES EN LOS KM EVALUADOS:

3.1) Fórmula a Emplear para tal Km y posterior a ello se arme la Matriz de Deflexiones:

$$Dx = (\text{Lectura de la dist. en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'} - \text{Lectura de la dist. Mayor en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'}) * Fc$$



3.2) Armado de la Matriz de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
		(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	D	104	88	72	28
(0 + 050)	D	96	80	72	16
(0 + 100)	D	100	80	72	28
(0 + 150)	D	96	84	68	24



Ingeniería Civil
 Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

4°) LA PRIMERA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA NORMADA:

4.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Temperatura para la Matriz de Deflexiones:

$$(Fc)_{Temp.} = D_{20} = \frac{Dt}{[K * (T - 20) * e + 1]}$$

- Donde tenemos la siguiente Leyenda:

(Fc)Tem. = D20 = Deflexión recuperable a la Temperatura estándar de 20°C

Dt = Deflexión en centésimas de milímetro a la Temperatura (T)

K = Coeficiente igual a $1 \cdot 10^{-3}$ (1 / cm * °C)

T = Temperatura de Asfalto medida para cada KILOMETRO

C = Espesor de la Carpeta Asfáltica en centímetros

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°4.

4.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

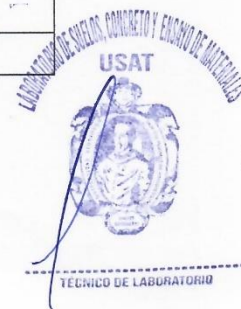
Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Tem.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	D	27	(20.0) cm	0.88	91.00	77.00	63.00	25.00
(0 + 050)	D	27	(20.0) cm	0.88	84.00	70.00	63.00	14.00
(0 + 100)	D	27	(20.0) cm	0.88	88.00	70.00	63.00	25.00
(0 + 150)	D	27	(20.0) cm	0.88	84.00	74.00	60.00	21.00

5°) SEGUNDA Y ÚLTIMA CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD NORMADA:

5.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Estacionalidad para la Matriz de Deflexiones:

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa	1	1.1 a 1.3
Arcillosa	1	1.2 a 1.4

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°5.

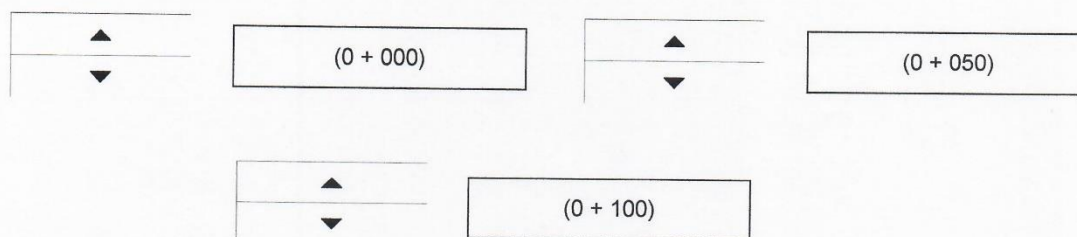


5.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	D	27	(20.0) cm	1.30	118.30	100.10	81.90	32.50
(0 + 050)	D	27	(20.0) cm	1.30	109.20	91.00	81.90	18.20
(0 + 100)	D	27	(20.0) cm	1.30	114.40	91.00	81.90	32.50
(0 + 150)	D	27	(20.0) cm	1.30	109.20	96.20	78.00	27.30

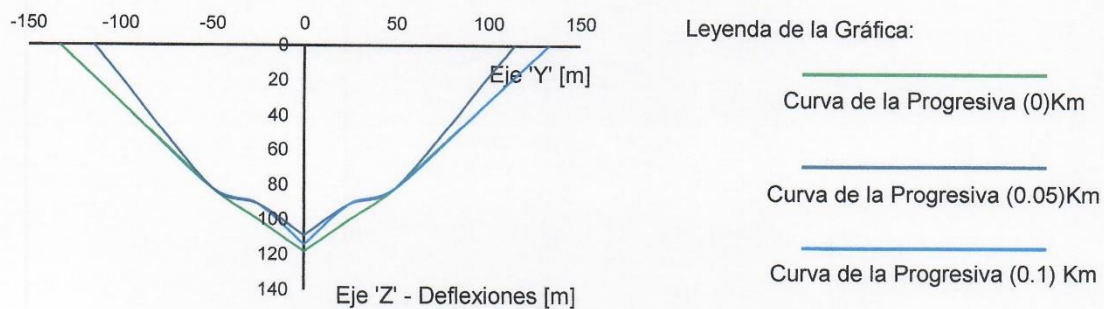
5.3) Gráfica de funciones más representativas de todo el análisis:

5.3.1) Se apreciará las Funciones de los siguientes Kilometrajes:



*) En la siguiente hoja se verá la Gráfica con sus respectivas Funciones, donde estas funciones estarán dados en los siguientes ejes: Superficie de Análisis (m) x Deflexiones (m).

5.3.2) Funciones de los Kilometrajes propuestos Representativos:




- Resumen de esas 3 Curvas Representativas:

Se tiene un buen PAVIMENTO y una SUBRASANTE de calidad mala.

OBSERVACIONES GENERALES:



	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	(ID)Docum.: 2-T
	ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN	Fecha: May-25
	BASADO EN LA NORMA ASTM D4695 - MTC E1002	Especialid.: Civil

1°) DATOS DEL SERVICIO:

PROYECTO: Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceladas y agregados reciclados de la construcción

UBICACIÓN: La Victoria - Chiclayo - Lambayeque

CLIENTE: Emanuel F. Calderon Cardozo

MATERIAL: Subrasante reforzada con geoceladas y 60%AR + 40%AF

2°) DATOS PROPUESTOS DE CAMPO PARA LUEGO HACER LAS CORRECCIONES:

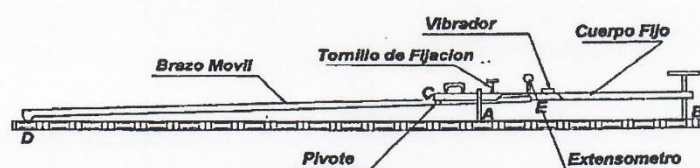
2.1) De la Libreta de Campo se obtuvo los siguientes Datos:

Progresiva (Km)	Carril	(0) cm	(25) cm	(50) cm	(100) cm	> 100cm
(0 + 000)	I	32	29	26	16	10
(0 + 050)	I	34	29	26	14	8
(0 + 100)	I	35	32	27	17	10
(0 + 150)	I	37	35	31	20	15

3°) CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES EN LOS KM EVALUADOS:

3.1) Fórmula a Emplear para tal Km y posterior a ello se arme la Matriz de Deflexiones:

$D_x = (\text{Lectura de la dist. en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D' - Lectura de la dist. Mayor en la que se encuentra la llanta con respecto al pto 'D'}) * F_c$



3.2) Armado de la Matriz de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
		(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	88	76	64	24
(0 + 050)	I	104	84	72	24
(0 + 100)	I	100	88	68	28
(0 + 150)	I	88	80	64	20

4°) LA PRIMERA CORRECIÓN POR TEMPERATURA NORMADA:

4.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Temperatura para la Matriz de Deflexiones:

$$(Fc)_{Temp.} = D_{20} = \frac{Dt}{[K * (T - 20) * e + 1]}$$

- Donde tenemos la siguiente Leyenda:

(Fc)Tem. = D20 = Deflexión recuperable a la Temperatura estándar de 20°C

Dt = Deflexión en centésimas de milímetro a la Temperatura (T)

K = Coeficiente igual a $1 \cdot 10^{-3}$ (1 / cm * °C)

T = Temperatura de Asfalto medida para cada KILOMETRO

C = Espesor de la Carpeta Asfáltica en centímetros

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°4.

4.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

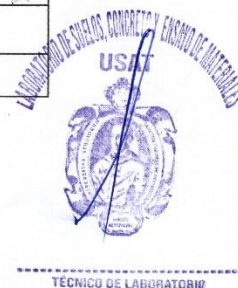
Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Tem.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	27	(20.0) cm	0.88	77.00	67.00	56.00	21.00
(0 + 050)	I	27	(20.0) cm	0.88	91.00	74.00	63.00	21.00
(0 + 100)	I	27	(20.0) cm	0.88	88.00	77.00	60.00	25.00
(0 + 150)	I	27	(20.0) cm	0.88	77.00	70.00	56.00	18.00

5°) SEGUNDA Y ÚLTIMA CORRECIÓN POR ESTACIONALIDAD NORMADA:

5.1) Fórmula para el Factor de Corrección por Estacionalidad para la Matriz de Deflexiones:

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa	1	1.1 a 1.3
Arcillosa	1	1.2 a 1.4

*) En la siguiente hoja se verá el cálculo de este paso N°5.

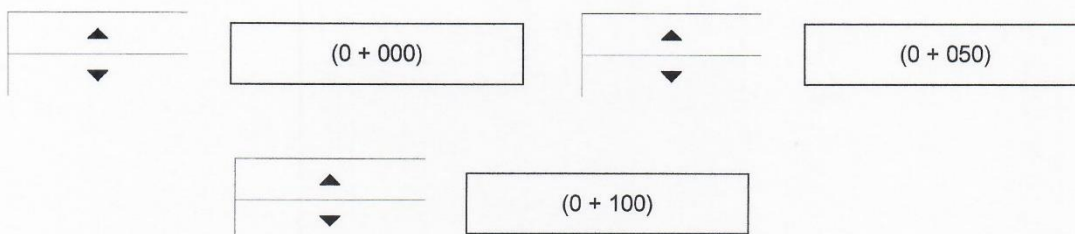


5.2) Empleando la Fórmula tenemos la siguiente Matriz de Información de Deflexiones:

Progresiva : Tramos (Km)	Carril	Temp. de la Carpeta	Espesor de la Carpeta	(Fc)Est.	Deflexiones (mm * 10 ⁻²)			
					(D)0	(D)25	(D)50	(D)100
(0 + 000)	I	27	(20.0) cm	1.30	100.10	87.10	72.80	27.30
(0 + 050)	I	27	(20.0) cm	1.30	118.30	96.20	81.90	27.30
(0 + 100)	I	27	(20.0) cm	1.30	114.40	100.10	78.00	32.50
(0 + 150)	I	27	(20.0) cm	1.30	100.10	91.00	72.80	23.40

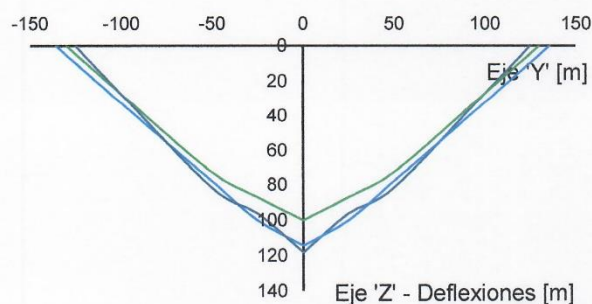
5.3) Gráfica de funciones más representativas de todo el análisis:

5.3.1) Se apreciará las Funciones de los siguientes Kilometrajes:



*) En la siguiente hoja se verá la Gráfica con sus respectivas Funciones, donde estas funciones estarán dados en los siguientes ejes: Superficie de Análisis (m) x Deflexiones (m).

5.3.2) Funciones de los Kilometrajes propuestos Representativos:



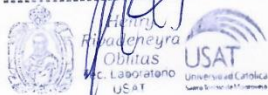
Leyenda de la Gráfica:

- Curva de la Progresiva (0)Km
- Curva de la Progresiva (0.05)Km
- Curva de la Progresiva (0.1) Km


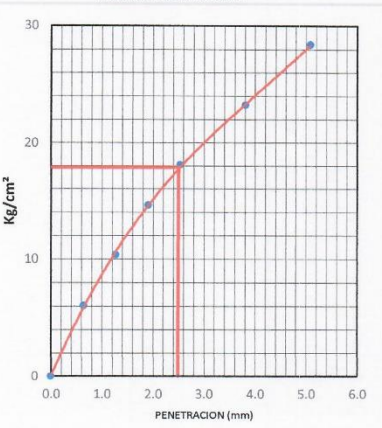



- Resumen de esas 3 Curvas Representativas:

Se tiene un buen PAVIMENTO y una SUBRASANTE de calidad mala.

OBSERVACIONES GENERALES:



Anexo 15: CBR in situ en tramos reales con afirmado y mezcla de (60%AR + 40%AF).

 <p>EMP ASFALTOS</p>	<h2>SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS SAC</h2>																																																						
<p>Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.</p>																																																							
<p>ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)</p>																																																							
<p>PROYECTO : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzado con Geoceladas y agregados reciclados de la construcción</p> <p>UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque</p> <p>MATERIAL : Subrasante</p> <p>PUNTO : 01 (60%AR+40%AF)</p> <p>SOLICITANTE : Emanuel F. Calderon Cardozo</p>																																																							
<p>RES.LAB. : S.B.F. TEC.LAB. : A.C.O FECHA : 7/04/2025</p>																																																							
<p style="text-align: center;">GRAFICO C.B.R. IN SITU</p>  <p style="text-align: center;">0.1" (%) = 25,2 %</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">RESULTADOS DE CAMPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ds. IN SITU</td> <td>gr/cm3</td> <td>2,165</td> </tr> <tr> <td>w IN SITU</td> <td>%</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">PENETRACION</th> <th>LECTURA</th> <th>CARGA</th> <th>RESIST.</th> </tr> <tr> <th>TIEMPO</th> <th>mm</th> <th>Dial</th> <th>KG.</th> <th>KG./cm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,00'</td><td>0,000</td><td>0</td><td>0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>0,30'</td><td>0,640</td><td>55</td><td>124</td><td>6,0</td></tr> <tr><td>1,00'</td><td>1,270</td><td>95</td><td>213</td><td>10,3</td></tr> <tr><td>1,30'</td><td>1,910</td><td>134</td><td>301</td><td>14,6</td></tr> <tr><td>2,00'</td><td>2,540</td><td>165</td><td>372</td><td>18,1</td></tr> <tr><td>3,00'</td><td>3,810</td><td>212</td><td>478</td><td>23,2</td></tr> <tr><td>4,00'</td><td>5,080</td><td>260</td><td>584</td><td>28,4</td></tr> </tbody> </table>	RESULTADOS DE CAMPO			Ds. IN SITU	gr/cm3	2,165	w IN SITU	%	—	PENETRACION		LECTURA	CARGA	RESIST.	TIEMPO	mm	Dial	KG.	KG./cm ²	0,00'	0,000	0	0	0,0	0,30'	0,640	55	124	6,0	1,00'	1,270	95	213	10,3	1,30'	1,910	134	301	14,6	2,00'	2,540	165	372	18,1	3,00'	3,810	212	478	23,2	4,00'	5,080	260	584	28,4
RESULTADOS DE CAMPO																																																							
Ds. IN SITU	gr/cm3	2,165																																																					
w IN SITU	%	—																																																					
PENETRACION		LECTURA	CARGA	RESIST.																																																			
TIEMPO	mm	Dial	KG.	KG./cm ²																																																			
0,00'	0,000	0	0	0,0																																																			
0,30'	0,640	55	124	6,0																																																			
1,00'	1,270	95	213	10,3																																																			
1,30'	1,910	134	301	14,6																																																			
2,00'	2,540	165	372	18,1																																																			
3,00'	3,810	212	478	23,2																																																			
4,00'	5,080	260	584	28,4																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>AREA DE PISTON</td> <td>20,58</td> <td>cm2</td> </tr> <tr> <td>CALIBRACION Kg.</td> <td colspan="2">Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354</td> </tr> <tr> <td>ELEMENTO DE REACCION</td> <td colspan="2">Volquete</td> </tr> </table>	AREA DE PISTON	20,58	cm2	CALIBRACION Kg.	Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354		ELEMENTO DE REACCION	Volquete		<p>CBR a 0.1" 25,2 %</p>																																													
AREA DE PISTON	20,58	cm2																																																					
CALIBRACION Kg.	Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354																																																						
ELEMENTO DE REACCION	Volquete																																																						
 <p>LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENGRANAJES METALICOS</p> <p>USAT</p> <p>TECNICO DE LABORATORIO</p>	 <p>SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</p> <p>Secundino Burga Fernández</p> <p>ING. CIVIL</p> <p>REG. CIP. 169278</p>  <p>EMP ASFALTOS</p> <p>CHICLAYO - PERU</p> <p>SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</p>																																																						



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS SAC

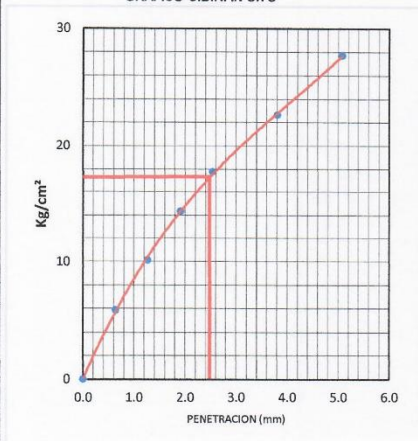
Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

PROYECTO : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzado con Geoceladas y agregados reciclados de la construcción
UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque
MATERIAL : Subrasante
PUNTO : 02 (60%AR+40%AF)
SOLICITANTE : Emanuel F. Calderon Cardozo

RES.LAB. : S.B.F.
TEC.LAB. : A.C.O
FECHA : 7/04/2025

GRAFICO C.B.R. IN SITU



RESULTADOS DE CAMPO		
Ds. IN SITU	gr/cm3	2,165
w IN SITU	%	—

PENETRACION		LECTURA	CARGA	RESIST.
TIEMPO	mm	Dial	KG.	KG./cm²
0,00'	0,000	0	0	0,0
0,30'	0,640	54	121	5,9
1,00'	1,270	92	208	10,1
1,30'	1,910	130	295	14,3
2,00'	2,540	160	365	17,7
3,00'	3,810	207	466	22,6
4,00'	5,080	255	570	27,7

0.1" (%) = **24,6** %

CBR a 0.1" 24,6 %

AREA DE PISTON	20,58 cm2
CALIBRACION Kg.	Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354
ELEMENTO DE REACCION	Volquete



Henry Rivaldenebra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundino Barza Fernández
 ING. CIVIL
 REG. CIP. 169278



TÉCNICO DE LABORATORIO



EMP ASFALTOS

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS SAC

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

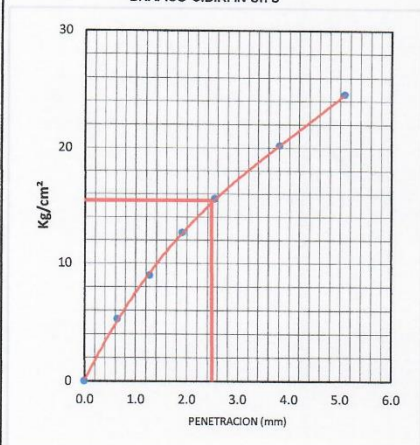
ENSAYO DE C.B.R. IN SITU

(ASTM D 4429-93)

PROYECTO : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzado con Geoceladas y agregados reciclados de la construcción
UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque
MATERIAL : Subrasante
PUNTO : 03 (Afirmado)
SOLICITANTE : Emanuel F. Calderon Cardozo

RES.LAB. : S.B.F.
TEC.LAB. : A.C.O
FECHA : 7/04/2025

GRAFICO C.B.R. IN SITU



RESULTADOS DE CAMPO		
Ds. IN SITU	gr/cm3	2,158
w IN SITU	%	—

PENETRACION		LECTURA	CARGA	RESIST.
TIEMPO	mm	Dial	KG.	KG./cm²
0,00'	0,000	0	0	0,0
0,30'	0,640	48	108	5,2
1,00'	1,270	82	184	8,9
1,30'	1,910	116	260	12,6
2,00'	2,540	143	320	15,5
3,00'	3,810	185	415	20,2
4,00'	5,080	225	505	24,5

0.1"(%) = **21,6** %

CBR a 0.1" **21,6** %

AREA DE PISTON	20,58	cm2
CALIBRACION Kg.	Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354	
ELEMENTO DE REACCION	Volquete	




Henry Oblitas
 Henry Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundo B. Fernández
 ING. CIVIL
 REG. CIR. 159278



TÉCNICO DE LABORATORIO



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS SAC

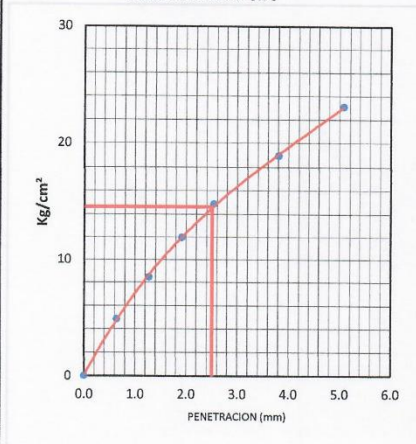
Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU
(ASTM D 4429-93)

PROYECTO : Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzado con Geoceldas y agregados reciclados de la construcción
UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque
MATERIAL : Subrasante
PUNTO : 04 (Afirmado)
SOLICITANTE : Emanuel F. Calderon Cardozo

RES.LAB. : S.B.F.
TEC.LAB. : A.C.O
FECHA : 7/04/2025

GRAFICO C.B.R. IN SITU




RESULTADOS DE CAMPO		
Ds. IN SITU	gr/cm3	2,158
w IN SITU	%	

PENETRACION		LECTURA	CARGA	RESIST.
TIEMPO	mm	Dial	KG.	KG./cm²
0,00'	0,000	0	0	0,0
0,30'	0,640	45	100	4,9
1,00'	1,270	77	174	8,5
1,30'	1,910	110	245	11,9
2,00'	2,540	135	305	14,8
3,00'	3,810	173	390	19,0
4,00'	5,080	211	475	23,1

0.1" (%) = **20,5** %

CBR a 0.1" 20,5 %


AREA DE PISTON	20,58	cm2
CALIBRACION Kg.	Y = -0.00014863X2 + 4.37520822X + 12.8848759404354	
ELEMENTO DE REACCION	Volquete	




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

USAT

UNIVERSIDAD SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA



Henry Obdelyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundino Barga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIR. 169278

TÉCNICO DE LABORATORIO



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C

SERVICIOS DE LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELOS Y PAVIMENTOS,
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE
LABORATORIO



QR DATA CODE

Área de Metrología
LABORATORIO DE LONGITUD

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SLSP - LL - 026-2024

pág. 1 de 2

1.- Expediente : 026
2.- Cliente : Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos S.A.C
Dirección : AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

3.- Equipo: : DIAL
Marca : GILSON
N° de serie : 102710172
Modelo : 26104C-GIL1
Clase : NO INDICA
Procedencia : NO INDICA
Tipo de indicación : ANALÓGICO
Intervalo de indicación : 0 - 25.4 mm (0 - 1")
Resolución : 0,0254 mm
Codigo de identificación : NO INDICA

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

Servicios de Laboratorio de Suelos y Pavimentos S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

4.- Fecha y lugar de calibración

Fecha de calibración : 2024-12-19
Lugar de calibración : AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

5.- Método de calibración

La calibración se realizo con el metodo descrito en el PC-014 "Procedimiento para la calibración de comparadores utilizando bloques patrón de longitud".

6.- Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	25,7 °C	25,8 °C
Humedad	66 % HR	66 % HR

Fecha de Emisión: 2024-12-20

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Ing. Secundino Burga Fernández
ÁREA DE METROLOGÍA



Ing. Secundino Burga Fernández
Jefe del Laboratorio de Metrología



AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos emp_calibraciones@hotmail.com
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 servicios.lab20@gmail.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C





SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C

SERVICIOS DE LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELOS Y PAVIMENTOS,
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE
LABORATORIO



QR DATA CODE

Área de Metrología
LABORATORIO DE LONGITUD

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SLSP - LL - 025-2024

pág. 2 de 2

7.- Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado
INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD (INACAL)	Bloques Patron de Longitud de GRADO (0)	LLA - C - 045 - 2022

8.- Resultados de medición

Valor Patrón (mm)	Indicación del comparador (mm)	Error encontrado (mm)
0,000	0,000	0,000
2,500	2,504	0,004
5,100	5,101	0,001
7,700	7,702	0,002
10,300	10,301	0,001
12,900	12,902	0,002
15,000	15,002	0,002
17,600	17,602	0,002
20,200	20,204	0,004
22,800	22,803	0,003
25,000	25,003	0,003

Valor Patrón (mm)	Indicación del comparador (mm)	Error encontrado (mm)
25,000	25,010	0,010
	25,000	0,000
	25,000	0,000
	25,010	0,010
	25,000	0,000

Nota: El error máximo permitido dato dado por el fabricante.

Incertidumbre de medición: 6 μ m

9.- Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $K=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

10. Observaciones

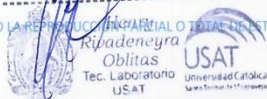
- * Se adjunta una etiqueta autoadhesiva de la calibración.
- * El laboratorio no se hace remplazo de una mala manipulación del equipo.



FIN DEL CERTIFICADO

AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos emp_calibraciones@hotmail.com
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 servicios.lab20@gmail.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C





SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C

SERVICIOS DE LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELOS Y PAVIMENTOS, CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO



QR DATA CODE

Área de Metrología
LABORATORIO DE LONGITUD

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SLSP - LL - 025-2024

pág. 1 de 2

1.- Expediente : 025
2.- Cliente : Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos S.A.C
Dirección : AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

3.- Equipo: : DIAL
Marca : HUMBOLDT
N° de serie : 100475080
Modelo : H-4158,1
Clase : NO INDICA
Procedencia : USA
Tipo de indicación : ANALOGICO
Intervalo de indicación : 0 - 25,4 mm (0 - 1")
Resolución : 0.0254 mm
Código de identificación : NO INDICA

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

Servicios de Laboratorio de Suelos y Pavimentos S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

4.- Fecha y lugar de calibración

Fecha de calibración : 2024-12-19
Lugar de calibración : AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

5.- Método de calibración

La calibración se realizo con el metodo descrito en el PC-014 "Procedimiento para la calibración de comparadores utilizando bloques patrón de longitud".

6.- Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	25,6 °C	25,9 °C
Humedad	66 % HR	65 % HR

Fecha de Emisión: 2024-12-20

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C
Ing. Secundino Burga Fernández
JEFE DE METROLOGÍA

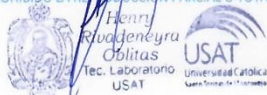


Ing. Secundino Burga Fernandez
Jefe del Laboratorio de Metrología



AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos emp_calibraciones@hotmail.com
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 servicios.lab20@gmail.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C





SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C

SERVICIOS DE LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELOS Y PAVIMENTOS,
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE
LABORATORIO



QR DATA CODE

Área de Metrología
LABORATORIO DE LONGITUD

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SLSP - LL - 026-2024

pág. 2 de 2

7.- Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado
INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD (INACAL)	Bloques Patron de Longitud de GRADO (0)	LLA -C - 045 - 2022

8.- Resultados de medición

Valor Patrón (mm)	Indicación del comparador (mm)	Error encontrado (mm)
0,000	0,000	0,000
2,500	2,505	0,005
5,100	5,102	0,002
7,700	7,702	0,002
10,300	10,302	0,002
12,900	12,904	0,004
15,000	15,003	0,003
17,600	17,602	0,002
20,200	20,204	0,004
22,800	22,802	0,002
25,000	25,004	0,004

Valor Patrón (mm)	Indicación del comparador (mm)	Error encontrado (mm)
25,000	25,003	0,003
	25,003	0,003
	25,004	0,004
	25,004	0,004
	25,004	0,004

Nota: El error máximo permitido dato dado por el fabricante.

Incertidumbre de medición: 3 μ m

9.- Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $K=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

10.- Observaciones

- * Se adjunta una etiqueta autoadhesiva de la calibración.
- * El laboratorio no se hace replazo de una mala manipulación del equipo.

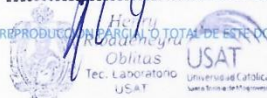


FIN DEL CERTIFICADO



AV. VICENTE RUSO LOTE. 1 FND. EL CERRITO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos emp_calibraciones@hotmail.com
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 servicios.lab20@gmail.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C



Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Vicente Ruso Lote 1 fundo El Cerrito, distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 14 de febrero de 2023

Fecha de Vencimiento: 13 de febrero de 2026



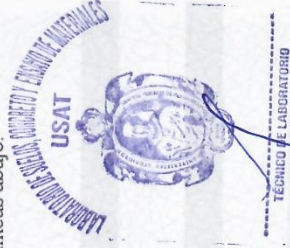
Henry
Rivadencury
Oblitas
Téc. Laboratorio
USAT
Laboratorio de Ensayo y Calibración



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lela
Fecha: 2023.02.27 10:53:07
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ
Directora (d.t.) Dirección de Acreditación - INACAL

Cedula: N° 043-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 006-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE-203



TÉCNICO DE LABORATORIO

Fecha de emisión: 27 de febrero de 2023

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y vigencia de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorias/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Múltiple con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-00M1 Ver. 03

Anexo 16: Diseño de pavimento flexible para excavación de tramos experimentales.

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiabilidad
- N° estimado de ejes simples equivalentes
- Módulo resiliente efectivo
- Pérdida de servicio para diseño ΔPSI

Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\ln(1+0.03)} \times 1.5$$

= 2.0 x 10⁶ ejes de 8.2 toneladas

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x10 ⁶

Tn = Tránsito en cualquier año n.
 Ti = Tránsito en el año cero (inicial).
 r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del período de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T \text{ acumulado} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \quad (2.2)$$

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	3,000,000.00
ESAL's(W18) =	3.00E+06

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₀₁	75,000	65%
	T ₀₂	150,001	70%
	T ₀₃	300,001	75%
	T ₀₄	500,001	80%
	T ₀₅	750,001	85%
	T ₀₆	1,000,001	85%
Resto de Caminos	T ₀₇	1,500,001	85%
	T ₀₈	3,000,001	85%
	T ₀₉	5,000,001	90%
	T ₁₀	7,500,001	90%
	T ₁₁	10,000,001	90%
	T ₁₂	12,500,001	90%
	T ₁₃	15,000,001	95%
	T ₁₄	20,000,001	95%
	T ₁₅	25,000,001	95%
	T ₁₆	>30,000,000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₀₁	75,000	-0.385
	T ₀₂	150,001	-0.524
	T ₀₃	300,001	-0.674
	T ₀₄	500,001	-0.842
	T ₀₅	750,001	-0.842
	T ₀₆	1,000,001	-1.036
Resto de Caminos	T ₀₇	1,500,001	-1.036
	T ₀₈	3,000,001	-1.282
	T ₀₉	5,000,001	-1.282
	T ₁₀	7,500,001	-1.282
	T ₁₁	10,000,001	-1.282
	T ₁₂	12,500,001	-1.282
	T ₁₃	15,000,001	-1.645
	T ₁₄	20,000,001	-1.645
	T ₁₅	25,000,001	-1.645
	T ₁₆	>30,000,000	-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

R (%) = 85.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -1.036

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

INDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:
Po = 4
Pt = 2.5
Δ PSI = Po - Pt



Δ PSI = 1.50

4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANTE **CBR = 1.5 %** **Mr = 3311.99 PSI**

Número Estructural requerido SN = 5.47

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07 = 15.213 ... Ecuación I

9.36 × Log₁₀(SN + 1) + $\frac{\log_{10}(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5})}{0.4 + \frac{10.94}{(SN + 1)^{5.19}}}$ + 2.32 Log₁₀(Mr) = 15.213 ... Ecuación II



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.052 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial **D1 = 10.00 Cm**

Espesor de Base **D2 = 35.00 Cm**

Espesor de Subbase **D3 = 35.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 5.47**

Número Estructural calculado **SN = 5.52**

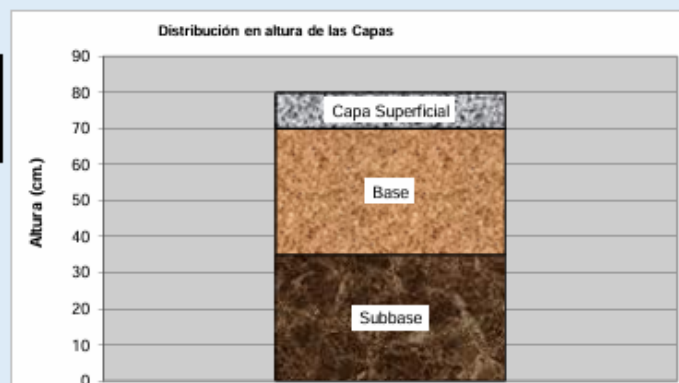
$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de C° Asfáltico	e= 3.937	10.00
Base Granular	e= 13.780	35.00
Subbase granular	e= 13.780	35.00



Anexo 17: Diseños de pavimento flexible sin reforzar para comparativas de 3 tipos de ejes equivalentes.



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiabilidad
 - N° estimado de ejes simples equivalentes
 - Módulo resiliente efectivo
 - Pérdida de servicio para diseño ΔPSI
- Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W ₁₈	= Tráfico (Número de ESAL's)
Z _r	= Desviación Estándar Normal
S _o	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
P _o	= Serviciabilidad Inicial
P _t	= Serviciabilidad Final
M _r	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\text{Ln}(1+0.03)} \times 1.5$$

$$= 2.0 \times 10^6 \text{ ejes de 8.2 toneladas}$$

T_n = Tránsito en cualquier año n.
T_i = Tránsito en el año cero (inicial).
r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del período de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\text{Ln}(1+r)} \quad (2.2)$$

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W ₁₈	2004969.913
	2.0 x10 ⁶

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	750,000.00
ESAL's(W18) =	7.50E+05

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	65%
	T ₁₅	150.001	70%
	T ₂₀	300.001	75%
	T ₂₅	500.001	80%
	T ₃₀	750.001	85%
	T ₃₅	1.000.001	90%
Resto de Caminos	T ₄₀	1.500.001	85%
	T ₄₅	3.000.001	90%
	T ₅₀	5.000.001	95%
	T ₅₅	7.500.001	90%
	T ₆₀	10.000.001	90%
	T ₆₅	12.500.001	90%
	T ₇₀	15.000.001	95%
	T ₇₅	20.000.001	95%
	T ₈₀	25.000.001	95%
	T ₈₅	>30.000.000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	150.000	-0.385
	T ₁₅	150.001	300.000	-0.524
	T ₂₀	300.001	500.000	-0.674
	T ₂₅	500.001	750.000	-0.842
	T ₃₀	750.001	1.000.000	-0.842
	T ₃₅	1.000.001	1.500.000	-1.036
Resto de Caminos	T ₄₀	1.500.001	3.000.000	-1.036
	T ₄₅	3.000.001	5.000.000	-1.036
	T ₅₀	5.000.001	7.500.000	-1.282
	T ₅₅	7.500.001	10.000.000	-1.282
	T ₆₀	10.000.001	12.500.000	-1.282
	T ₆₅	12.500.001	15.000.000	-1.282
	T ₇₀	15.000.001	20.000.000	-1.645
	T ₇₅	20.000.001	25.000.000	-1.645
	T ₈₀	25.000.001	30.000.000	-1.645
	T ₈₅	>30.000.000		-1.645

R (%) = 80.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.842

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviciabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 3.8
Pt = 2.0

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.80



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 6 %**

Mr = 8042.81 PSI

Número Estructural requerido **SN = 2.97**

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07

14.524 ... Ecuación I

9.36 × Log₁₀(SN + 1) + $\frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$
0.4 + $\frac{5.19}{(\text{SN} + 1)}$

14.524 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.052 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial D1 = 10.00 Cm

Espesor de Base D2 = 15.00 Cm

Espesor de Subbase D3 = 10.00 Cm

Número Estructural requerido SN = 2.97

Número Estructural calculado SN = 3.09

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

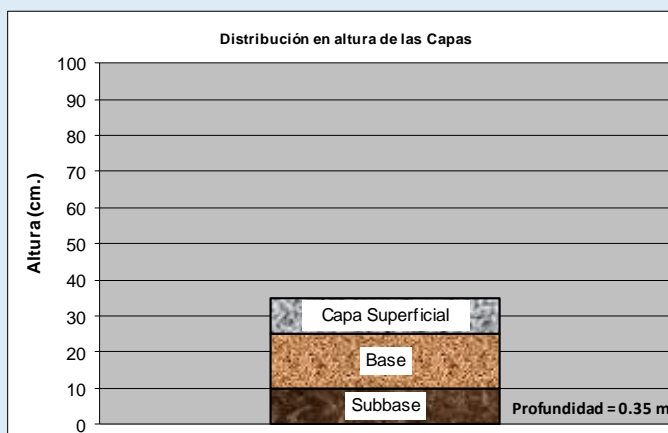
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de Cº Asfáltico

	Pulg.	Cm.
e=	3.937	10.00
e=	5.906	15.00
e=	3.937	10.00

Base Granular

Subbase granular



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiability
 - N° estimado de ejes simples equivalentes
 - Módulo resiliente efectivo
 - Pérdida de servicio para diseño ΔPSI
- Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\ln(1+0.03)} \times 1.5$$

$$= 2.0 \times 10^6 \text{ ejes de 8.2 toneladas}$$

- Tn = Tránsito en cualquier año n.
Ti = Tránsito en el año cero (inicial).
r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del período de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \quad (2.2)$$

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x10^6

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	3,000,000.00
ESAL's(W18) =	3.00E+06

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	65%
	T ₁₁	150.001	70%
	T ₁₂	300.001	75%
	T ₁₃	500.001	80%
	T ₁₄	750.001	80%
	T ₁₅	1.000.001	85%
	T ₁₆	1.500.001	85%
	T ₁₇	3.000.001	85%
	T ₁₈	5.000.001	90%
	T ₁₉	7.500.001	90%
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	90%
	T ₂₁	12.500.001	90%
	T ₂₂	15.000.001	95%
	T ₂₃	20.000.001	95%
	T ₂₄	25.000.001	95%
	T ₂₅	30.000.000	95%
	T ₂₆	>30.000.000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	150.000	-0.385
	T ₁₁	150.001	300.000	-0.524
	T ₁₂	300.001	500.000	-0.674
	T ₁₃	500.001	750.000	-0.842
	T ₁₄	750.001	1.000.000	-0.842
	T ₁₅	1.000.001	1.500.000	-1.036
	T ₁₆	1.500.001	3.000.000	-1.036
	T ₁₇	3.000.001	5.000.000	-1.282
	T ₁₈	5.000.001	7.500.000	-1.282
	T ₁₉	7.500.001	10.000.000	-1.282
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	12.500.000	-1.282
	T ₂₁	12.500.001	15.000.000	-1.282
	T ₂₂	15.000.001	20.000.000	-1.545
	T ₂₃	20.000.001	25.000.000	-1.545
	T ₂₄	25.000.001	30.000.000	-1.545
	T ₂₅	>30.000.000	>30.000.000	-1.545

R (%) = 85.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr):

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -1.036

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 4
Pt = 2.5

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.50



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 6 %**

Mr = 8042.81 PSI

Número Estructural requerido SN = 3.998

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07

15.213 ... Ecuación I

$$9.36 \times \log_{10}(SN+1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \log_{10}(Mr)$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)}$$

15.213 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.052 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial D1 = 10.00 Cm

Espesor de Base D2 = 25.00 Cm

Espesor de Subbase D3 = 20.00 Cm

Número Estructural requerido SN = 4.00

Número Estructural calculado SN = 4.18

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

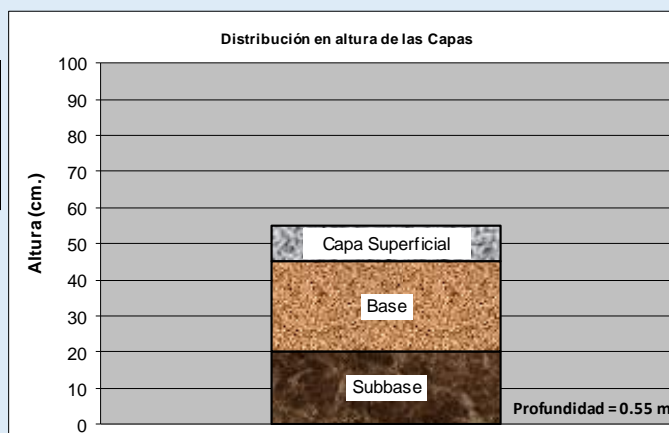
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de Cº Asfáltico

	Pulg.	Cm.
e=	3.937	10.00
e=	9.843	25.00
e=	7.874	20.00

Base Granular

Subbase granular



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiability
 - N° estimado de ejes simples equivalentes
 - Módulo resiliente efectivo
 - Pérdida de servicio para diseño ΔPSI
- Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\ln(1+0.03)} \times 1.5$$

= 2.0 x 10⁶ ejes de 8.2 toneladas

T_n = Tránsito en cualquier año n.
T_i = Tránsito en el año cero (inicial).
r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del periodo de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \quad (2.2)$$

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x 10 ⁶

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

$$\text{ESAL's}(W18) = 25,000,000.00$$

$$\text{ESAL's}(W18) = 2.50E+07$$

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	ESES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	65%
	T ₂₀	150,001	300,000	70%
	T ₁₀	300,001	500,000	75%
	T ₂₀	500,001	750,000	80%
	T ₁₀	750,001	1,000,000	80%
	T ₂₀	1,000,001	1,500,000	85%
Resto de Caminos	T ₁₀	1,500,001	3,000,000	85%
	T ₂₀	3,000,001	5,000,000	85%
	T ₁₀	5,000,001	7,500,000	90%
	T ₂₀	7,500,001	10,000,000	90%
	T ₁₀	10,000,001	12,500,000	90%
	T ₂₀	12,500,001	15,000,000	90%
	T ₁₀	15,000,001	20,000,000	95%
	T ₂₀	20,000,001	25,000,000	95%
	T ₁₀	25,000,001	30,000,000	95%
	T ₂₀	>30,000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	ESES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75,000	150,000	-0.385
	T ₂₀	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₀	300,001	500,000	-0.674
	T ₂₀	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₀	750,001	1,000,000	-0.842
	T ₂₀	1,000,001	1,500,000	-1.036
Resto de Caminos	T ₁₀	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₂₀	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₀	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₂₀	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T ₁₀	10,000,001	12,500,000	-1.282
	T ₂₀	12,500,001	15,000,000	-1.282
	T ₁₀	15,000,001	20,000,000	-1.645
	T ₂₀	20,000,001	25,000,000	-1.645
	T ₁₀	25,000,001	30,000,000	-1.645
	T ₂₀	>30,000,000		-1.645

R (%) = 95.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -1.645

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Servicios Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:
Po = 4.2
Pt = 3.0

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.20



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 6 %**

Mr = 8042.81 PSI

Número Estructural requerido SN = 6.45

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07 = 16.408 ... Ecuación I

9.36 × Log₁₀(SN+1) + $\frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr}) = 16.409 ... \text{Ecuación II}$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.054 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial **D1 = 15.00 Cm**

Espesor de Base **D2 = 35.00 Cm**

Espesor de Subbase **D3 = 35.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 6.45**

Número Estructural calculado **SN = 6.45**

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

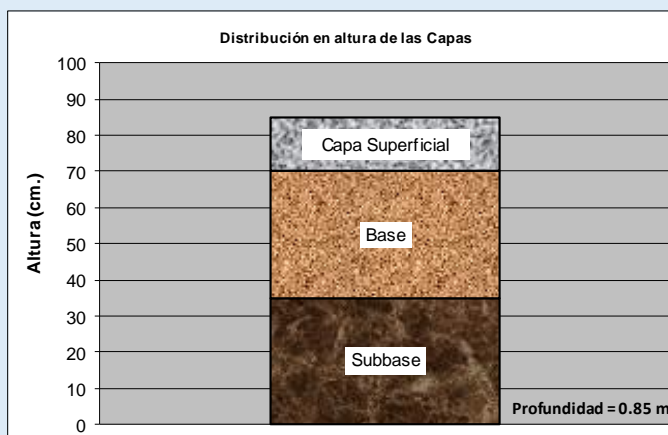
Comparando ambos "SN"

CUMPLE


ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de Cº Asfáltico
Base Granular
Subbase granular

	Pulg.	Cm.
e=	5.906	15.00
e=	13.780	35.00
e=	13.780	35.00



Anexo 17: Diseños de pavimento flexible reforzados con geoceladas para comparativas de 3 tipos de ejes equivalentes.



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiability
- N° estimado de ejes simples equivalentes
- Módulo resiliente efectivo
- Pérdida de servicio para diseño ΔPSI

Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\ln(1+0.03)} \times 1.5$$

= 2,0 x 10⁶ ejes de 8.2 toneladas

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x10 ⁶

Tn = Tránsito en cualquier año n.
 Ti = Tránsito en el año cero (inicial).
 r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del periodo de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \quad (2.2)$$

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	750,000.00
ESAL's(W18) =	7.50E+05

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	65%
	T ₁₁	150.001	70%
	T ₁₂	300.001	75%
	T ₁₃	500.001	80%
	T ₁₄	750.001	85%
	T ₁₅	1.000.001	90%
	T ₁₆	1.500.001	95%
Resto de Caminos	T ₁₇	3.000.001	95%
	T ₁₈	5.000.001	95%
	T ₁₉	7.500.001	95%
	T ₂₀	10.000.001	95%
	T ₂₁	12.500.001	95%
	T ₂₂	15.000.001	95%
	T ₂₃	20.000.001	95%
	T ₂₄	25.000.001	95%
	T ₂₅	>30.000.000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	150.000	-0.385
	T ₁₁	150.001	300.000	-0.524
	T ₁₂	300.001	500.000	-0.674
	T ₁₃	500.001	750.000	-0.842
	T ₁₄	750.001	1.000.000	-0.842
	T ₁₅	1.000.001	1.500.000	-1.036
	T ₁₆	1.500.001	3.000.000	-1.036
Resto de Caminos	T ₁₇	3.000.001	5.000.000	-1.036
	T ₁₈	5.000.001	7.500.000	-1.282
	T ₁₉	7.500.001	10.000.000	-1.282
	T ₂₀	10.000.001	12.500.000	-1.282
	T ₂₁	12.500.001	15.000.000	-1.282
	T ₂₂	15.000.001	20.000.000	-1.645
	T ₂₃	20.000.001	25.000.000	-1.645
	T ₂₄	25.000.001	30.000.000	-1.645
	T ₂₅	>30.000.000		-1.645

R (%) = 80.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.842

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 3.8
Pt = 2.0

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.80



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 24.9 %**

Mr = 19996.71 PSI

Número Estructural requerido SN = 2.10

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07

14.524 ... Ecuación I

9.36 × Log₁₀(SN + 1) + $\frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$
0.4 + $\frac{5.19}{(\text{SN} + 1)}$

14.524 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.052 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial D1 = 8.00 Cm

Espesor de Base D2 = 15.00 Cm

Espesor de Subbase D3 = 0.00 Cm

Número Estructural requerido SN = 2.10

Número Estructural calculado SN = 2.26

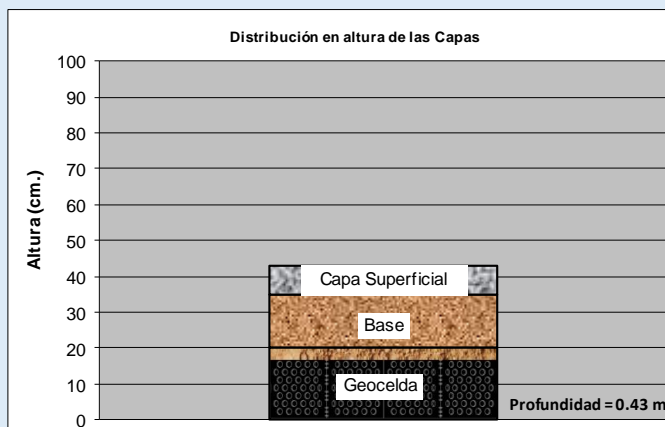
$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de Cº Asfáltico	e= 3.150	8.00
Base Granular	e= 5.906	15.00
Subbase granular	e= 0.000	0.00
Geocelda	e= 7.874	20.00



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiability
 - N° estimado de ejes simples equivalentes
 - Módulo resiliente efectivo
 - Pérdida de servicio para diseño ΔPSI
- Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\text{Ln}(1+0.03)} \times 1.5$$

$$= 2.0 \times 10^6 \text{ ejes de 8.2 toneladas}$$

Tn = Tránsito en cualquier año n.
Ti = Tránsito en el año cero (inicial).
r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del período de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\text{Ln}(1+r)} \quad (2.2)$$

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x10^6

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) = 3,000,000.00

ESAL's(W18) = 3.00E+06

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	65%
	T ₁₁	150.001	70%
	T ₁₂	300.001	75%
	T ₁₃	500.001	80%
	T ₁₄	750.001	80%
	T ₁₅	1.000.001	85%
	T ₁₆	1.500.001	85%
	T ₁₇	3.000.001	85%
	T ₁₈	5.000.001	90%
	T ₁₉	7.500.001	90%
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	90%
	T ₂₁	12.500.001	90%
	T ₂₂	15.000.001	95%
	T ₂₃	20.000.001	95%
	T ₂₄	25.000.001	95%
	T ₂₅	>30.000.000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	150.000	-0.385
	T ₁₁	150.001	300.000	-0.524
	T ₁₂	300.001	500.000	-0.674
	T ₁₃	500.001	750.000	-0.842
	T ₁₄	750.001	1.000.000	-0.842
	T ₁₅	1.000.001	1.500.000	-1.036
	T ₁₆	1.500.001	3.000.000	-1.036
	T ₁₇	3.000.001	5.000.000	-1.282
	T ₁₈	5.000.001	7.500.000	-1.282
	T ₁₉	7.500.001	10.000.000	-1.282
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	12.500.000	-1.282
	T ₂₁	12.500.001	15.000.000	-1.282
	T ₂₂	15.000.001	20.000.000	-1.645
	T ₂₃	20.000.001	25.000.000	-1.645
	T ₂₄	25.000.001	30.000.000	-1.645
	T ₂₅	>30.000.000		-1.645

R (%) = 85.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -1.036

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 4
Pt = 2.5

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.50



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 24.9 %**

Mr = 19996.71 PSI

Número Estructural requerido **SN = 2.78**

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$

15.213 ... Ecuación I

$9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr)$
 $0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)}$

15.213 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.052 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial D1 = 10.00 Cm

Espesor de Base D2 = 20.00 Cm

Espesor de Subbase D3 = 0.00 Cm

Número Estructural requerido SN = 2.78

Número Estructural calculado SN = 2.90

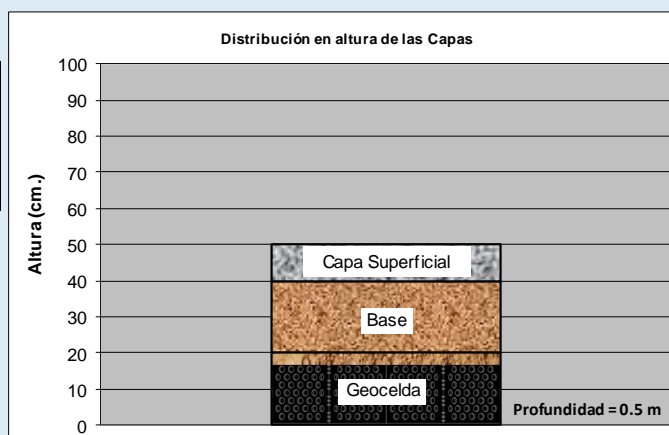
$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de Cº Asfáltico	e= 3.937	10.00
Base Granular	e= 7.874	20.00
Subbase granular	e= 0.000	0.00
Geocelda	e= 7.874	20.00



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

MÉTODO AASTHO -93

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

Tomada de la gráfica de diseño para pavimentos flexibles basada en valores promedio de los diferentes datos que se van a utilizar:

- Confiability
 - N° estimado de ejes simples equivalentes
 - Módulo resiliente efectivo
 - Pérdida de servicio para diseño ΔPSI
- Dan como resultado el N° estructural de diseño (SN)

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1. Determinación del tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes de la siguiente forma:

$$W_{18} = 388 \times 0.5 \times 365 \times \frac{(1+0.03)^{15} - 1}{\text{Ln}(1+0.03)} \times 1.5$$

$$= 2.0 \times 10^8 \text{ ejes de } 8.2 \text{ toneladas}$$

Tn = Tránsito en cualquier año n.
Ti = Tránsito en el año cero (inicial).
r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

A partir de la expresión 2.1 es posible por integración obtener el tránsito acumulado durante los n años del período de diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{acumulado}} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{\text{Ln}(1+r)} \quad (2.2)$$

DATOS	
Tránsito promedio diario anual	141620.00 Vh/año
N° de carriles:2	50.00%
Tasa de crecimiento anual	3.00%
Periodo de diseño	15.00 años
Factor camión	1.5
W18	2004969.913
	2.0 x10^6

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

$$\text{ESAL's}(W18) = 25,000,000.00$$

$$\text{ESAL's}(W18) = 2.50E+07$$

2. CONFIABILIDAD:

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	65%
	T ₁₁	150.001	70%
	T ₁₂	300.001	75%
	T ₁₃	500.001	80%
	T ₁₄	750.001	80%
	T ₁₅	1.000.001	85%
	T ₁₆	1.500.001	85%
	T ₁₇	3.000.001	90%
	T ₁₈	5.000.001	90%
	T ₁₉	7.500.001	90%
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	90%
	T ₂₁	12.500.001	90%
	T ₂₂	15.000.001	90%
	T ₂₃	20.000.001	95%
	T ₂₄	25.000.001	95%
	T ₂₅	>30.000.000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	75.000	150.000	-0.385
	T ₁₁	150.001	300.000	-0.524
	T ₁₂	300.001	500.000	-0.674
	T ₁₃	500.001	750.000	-0.842
	T ₁₄	750.001	1.000.000	-0.842
	T ₁₅	1.000.001	1.500.000	-1.036
	T ₁₆	1.500.001	3.000.000	-1.036
	T ₁₇	3.000.001	5.000.000	-1.036
	T ₁₈	5.000.001	7.500.000	-1.282
	T ₁₉	7.500.001	10.000.000	-1.282
Resto de Caminos	T ₂₀	10.000.001	12.500.000	-1.282
	T ₂₁	12.500.001	15.000.000	-1.282
	T ₂₂	15.000.001	20.000.000	-1.645
	T ₂₃	20.000.001	25.000.000	-1.645
	T ₂₄	25.000.001	30.000.000	-1.645
	T ₂₅	>30.000.000		-1.645

R (%) = 95.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -1.645

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

3. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 4.2
Pt = 3.0

Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.20



4. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

SUBRASANT **CBR = 24.9 %**

Mr = 20021.88 PSI

Número Estructural requerido SN = 4.73

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W18) - Zr × So + 0.20 + 8.07

16.408 ... Ecuación I

$$9.36 \times \log_{10}(SN+1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \log_{10}(Mr)$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)}$$

16.408 ... Ecuación II

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm Superficial

a2 = 0.054 /cm Base

a3 = 0.047 /cm Subbase

5. CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15 %

m3 = 1.05

Espesor de capa Superficial **D1 = 15.00 Cm**

Espesor de Base **D2 = 35.00 Cm**

Espesor de Subbase **D3 = 0.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 4.73**

Número Estructural calculado **SN = 4.73**

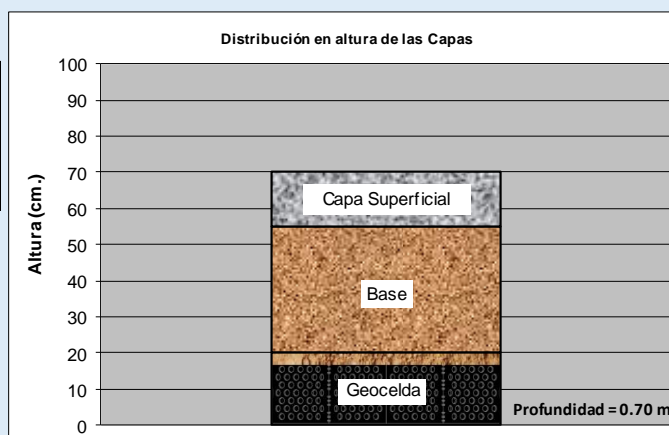
$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

Comparando ambos "SN"

CUMPLE

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de Cº Asfáltico	e= 5.906	15.00
Base Granular	e= 13.780	35.00
Subbase granular	e= 0.000	0.00
Geocelda	e= 7.874	20.00



Anexo 17: Acta conformidad de asesor

CONFORMIDAD DE ASESOR
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Chiclayo, 19 de Mayo del 2025.

Señores

López Carranza, Atilio Rubén
Castillo Velarde, Roberto Carlos
Escuela Profesional de Ingeniería Civil-USAT
Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: **“Evaluación de la capacidad de soporte en subrasante insuficiente reforzada con geoceldas y agregados reciclados de la construcción”**.

Presentado por el estudiante **Calderón Cardozo Emanuel Fernando** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.



Ing. Lorren Palomino, Ángel Alberto
Docente Asesor