



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES ARENAS LIMOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE
EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Díaz Asencios, Edgar (0000-0003-1601-7547)

Espinoza Martínez, Gustavo Adolfo (0000-0003-1748-5123)

ASESOR

Lazo Lázaro, Guillermo (0000-0002-7968-7858)

Lima, 09 de diciembre del 2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres y a mis hermanos. A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de brindarme su infinito amor y bondad. A mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi vida y por ser los motivos de seguir adelante. A mis hermanos, por depositar su confianza y asumir el rol de padres con mi persona.

Edgar Díaz Asencios

La presente investigación está dedicada íntegramente a mis padres por todo el soporte brindado en mi vida universitaria. Sin su apoyo incondicional habría sido imposible lograr culminar esta investigación.

Gustavo Espinoza Martínez

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Guillermo Lazo Lázaro, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la presente investigación.

Al Ing. José Rodríguez Barboza y a la Ing. Mónica Gonzales del Valle Morales, por sus apoyos en la corrección del formato de la tesis.

A mis padres y hermanos, por sus apoyos motivacionales en mi trayecto estudiantil.

A mis amigos, por sus consejos y por compartir experiencias de vida inolvidables.

A esta prestigiosa universidad, por exigirme a prepararme para un futuro competitivo.

Edgar Díaz Asencios

Agradezco a Dios por estar presente en mi vida y por haberme dado la paciencia y sabiduría para finalizar el curso de tesis.

Un agradecimiento especial al M.Sc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro por el apoyo y asesoramiento en el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Elías Esquivel por haberme acogido y apoyado en la exploración de campo realizado en el Bajo Piura.

Al Ing. Humberto Ramírez por sus consejos y seguimiento continuo en la carrera.

A la Ing. Mónica Gonzales del Valle y al Ing. José Rodríguez Barboza por haber corregido el formato del trabajo de investigación.

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por haberme acogido en sus aulas y a mis excelentes profesores por sus enseñanzas.

Gustavo Espinoza Martínez

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se expone una propuesta de diseño de pavimentos rígidos para subrasantes limo-arenosas susceptibles a erosión con la finalidad de determinar el espesor óptimo de la losa de concreto hidráulico. Este procedimiento fue desarrollado para actuar en zonas donde se presentan fenómenos periódicos y extremos (fenómeno del niño), que ocasionan que el suelo de subrasante pierda su capacidad de soporte hasta alcanzar valores insuficientes ($3\% \leq \text{CBR} < 6\%$) a inadecuadas ($\text{CBR} < 3\%$). La propuesta metodológica usa la guía de diseño AASHTO 1993, resultados de ensayos de métodos de prueba estándar para la relación de soporte de california de laboratorios de suelos compactados y los resultados de ensayos de campo (densidad del suelo por el cono de arena). El procedimiento se desarrolla determinando las propiedades físicas y mecánicas de suelos de subrasantes en su condición operante o natural y evaluando la influencia de los resultados de C.B.R. medidas a densidad natural y al 95%MDS del ensayo de Proctor Modificado como inputs en el diseño. Estos son analizados y comparados en términos de pérdida de capacidad de soporte experimentada en subrasantes en esa condición extrema o crítica y demostrar si en esta condición tiene impacto significativo en el espesor de la losa de concreto hidráulico en términos técnico-económicos. La propuesta es dada como soporte técnico o recomendación técnica para mejorar la práctica de la ciencia del diseño y construcción de caminos viales en el Perú en condiciones similares de fundación y climáticos.

Palabras Claves: pavimento rígido, ensayo de soporte de california, densidad del suelo por el cono de arena, subrasante.

ABSTRACT

In the present work of investigation, a proposal of design of rigid pavements is exposed with subbasement sandy silts susceptible to erosion to determine the optimum thickness of the slab of hydraulics concrete. This procedure was developed to act in areas where extreme periodic phenomena occur (child phenomenon) that cause the subgrade soil to lose its support capacity until reaching insufficient values ($3\% \leq \text{CBR} < 6\%$) to inadequate ($\text{CBR} < 3\%$). The methodological proposal uses the AASHTO 1993 methodology, the test results of standard test methods for the California support relationship of compacted soil laboratories and the results of field tests (soil density by the sand cone). The procedure is developed by determining the physical and mechanical properties of subgrade soils in their operating or natural condition and evaluating the results as inputs in the design. This is analyzed in terms of loss of support capacity experienced in subgrades in that extreme or critical condition and to demonstrate if the impact is significant on the thickness of the hydraulic concrete slab in economic technical terms. The proposal is given as technical support for the practice in road engineering in Peru before the possible problems that could arise due to ignorance in supervisors and designers in similar conditions of foundation and climate.

Keywords: rigid pavement, California support trial, soil density, subgrade by sand cone.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	13
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes	17
Realidad problemática	19
Formulación del problema	22
Hipótesis	22
Objetivos General	23
Objetivos específicos	23
Descripción del contenido.....	23
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 Definición de pavimentos	25
1.2 Pavimento flexible	25
1.3 Pavimento rígido.....	26
1.3.1 Pavimento de concreto simple.....	27
1.3.2 Pavimento de concreto reforzado con conectores	27
1.3.3 Pavimento de concreto reforzado con fibras de acero	28
1.3.4 Pavimento de concreto continuamente reforzado	28
1.4. Tipos de suelos.....	29
1.4.1 Suelos arenosos	29
1.4.2 Suelos arcillosos	29
1.4.3 Suelos limosos	29
1.4.4 Suelos mixtos.....	29

1.5. Componentes estructurales del pavimento rígido	29
1.5.1 Terreno de fundación.....	30
1.5.2 Subrasante.....	30
1.5.3 Subbase.....	30
1.5.4 Losa de concreto hidráulico.....	30
1.6 Comparativo entre pavimentos rígidos y Pavimentos flexibles	31
1.7 Proceso constructivo de pavimentos rígidos	32
1.7.1 Capa subrasante	32
1.7.2 Base granular y sub base granular	32
1.7.3 Drenaje y sub-drenaje.....	32
1.7.4 Construcción de la losa de concreto	33
1.7.5 Juntas de control	33
1.8. Control de calidad	33
1.8.1 Control de calidad del concreto	34
1.8.2 Control de espesores	34
1.8.3 Tolerancia en la rugosidad superficial.....	34
1.9 Metodología empleada: Método AASHTO 1993	34
1.9.1 Reseña histórica.....	35
1.9.2 Filosofía de diseño.....	35
1.9.3 Criterios de diseño.....	35
1.9.4 Variables de diseño.....	36
1.9.5 Nomogramas de diseño	52
1.10 Análisis de otras versiones y posibilidades de aplicación.....	55
1.10.1 Método AASHTO 2002	55
1.10.2 Método AASHTO 2008	56
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	58
2.1 Material.....	58
2.1.1 Población.....	58
2.1.2 Muestra.....	58
2.2 Método.....	58
2.2.1 Tipo de investigación	58

2.2.2 Nivel de investigación	59
2.2.3 Diseño de la investigación	59
2.2.4 Variables de estudio y operacionalización	59
2.2.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	59
2.2.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	60
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	61
3.1 Localización.....	61
3.2 Topografía.....	61
3.3 Geología general	62
3.4 Sismicidad.....	63
3.5 Aspecto geomorfológico.....	64
3.5.1 Estribaciones Andinas	64
3.5.2 Pampa costanera	64
3.5.3 Valle amplio e intermedio	64
3.6 Aspecto climático	65
4. FUNDAMENTO DEL TIPO DE CONTRATO.....	66
4.1 Modalidad Obras por Impuesto	66
4.1.1 Marco legal.....	66
4.1.2 Fases	67
4.1.3 Proceso de implementación.....	68
4.1.4 Obras adjudicadas.....	69
4.1.4 Implementación de Obras por Impuesto en la Vía de Evitamiento del Bajo Piura ...	70
5. RESULTADOS	71
5.1 Cargas de tráfico	71
5.2 Caracterización de los suelos de la subrasante.....	82
5.2.1 Obtención del material.....	82
5.2.3 Ensayo de densidad de campo	83
5.2.4 Humedad natural	90
5.2.5 Límites de consistencia.....	92
5.2.6 Análisis granulométrico de suelos por tamizado	96
5.2.8 Clasificación SUCS	100

5.2.9	Clasificación AASHTO	102
5.3	Capacidad de soporte de la subrasante.....	105
5.3.1	Ensayo Proctor Modificado.....	105
5.3.2	Ensayo de Soporte de California	109
5.4	Diseño de pavimento rígido	121
5.4.1	Diseño de pavimento rígido considerando subrasante al 95% de la MDS	121
5.4.2	Diseño de pavimento rígido considerando sub-rasante a la Densidad Natural.....	126
5.4.3	Influencia del CBR del terreno de fundación en el diseño de pavimentos rígidos ..	132
5.4.4	Sistema de drenaje.....	136
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	146
6.1	Verificación de los resultados	146
6.1.1	Cargas de tráfico.....	146
6.1.2	Caracterización de los suelos.....	146
6.2.3	Densidad de suelos representativos	147
6.1.4	Capacidad de soporte de la subrasante	147
6.1.5	Diseño de pavimentos rígidos.....	147
6.2	Discusión	147
6.2.1	Cargas de tráfico.....	147
6.2.2	Caracterización de los suelos.....	148
6.2.3	Densidad de suelos representativos	148
6.2.4	Capacidad de soporte de la subrasante	148
6.2.5	Diseño de pavimentos rígidos.....	149
7.	CONCLUSIONES	150
8.	RECOMENDACIONES	152
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
	ANEXOS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Comparativo de pavimentos rígidos y flexibles.</i>	31
Tabla 2. <i>Factores de distribución direccional y de carril.</i>	38
Tabla 3. <i>Factores de crecimiento acumulado (Fca).</i>	39
Tabla 4. <i>Configuración de ejes del tráfico.</i>	39
Tabla 5. <i>Ejes equivalentes del tráfico.</i>	40
Tabla 6. <i>Factores de equivalencia del tráfico T3S3.</i>	41
Tabla 7. <i>Factores de equivalencia del tráfico B3-1.</i>	41
Tabla 8. <i>Calificación del índice de servicialidad.</i>	43
Tabla 9. <i>Índice de serviciabilidad terminal.</i>	44
Tabla 10. <i>Índice de servicialidad del tráfico.</i>	44
Tabla 11. <i>Confiabilidad.</i>	46
Tabla 12. <i>Rangos típicos de factores de pérdida de soporte.</i>	48
Tabla 13. <i>Resistencia mínima a la flexión del concreto.</i>	49
Tabla 14. <i>Coefficiente de drenaje.</i>	50
Tabla 15. <i>Coefficiente de transferencia de carga.</i>	51
Tabla 16. <i>Resumen de Parámetros Sismo Resistentes.</i>	63
Tabla 17. <i>Horas de conteo en cada nodo.</i>	72
Tabla 18. <i>Cuadro estadístico de la encuesta según nodo de control.</i>	74
Tabla 19. <i>Fvpi para vehículo tipo C3.</i>	76
Tabla 20. <i>Fvpi para vehículo tipo C4.</i>	76
Tabla 21. <i>Fvpi para vehículo tipo T2S2.</i>	76
Tabla 22. <i>Fvpi para vehículo tipo T2S3.</i>	77
Tabla 23. <i>Fvpi para vehículo tipo T3S2.</i>	78
Tabla 24. <i>Fvpi para vehículo tipo T3S3.</i>	78
Tabla 25. <i>Fvpi para vehículo tipo C3R2.</i>	79
Tabla 26. <i>Fvpi para vehículo tipo C3R3.</i>	79
Tabla 27. <i>Factores de cálculo de Nrep de EE 8.2 tn.</i>	81

Tabla 28. <i>Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente.</i>	82
Tabla 29. <i>Cálculo de la densidad del suelo natural.</i>	89
Tabla 30. <i>Resumen de valores de densidad natural.</i>	89
Tabla 31. <i>Determinación de la humedad natural.</i>	91
Tabla 32. <i>Resumen de valores de humedad natural.</i>	91
Tabla 33. <i>Determinación de límites de consistencia.</i>	94
Tabla 34. <i>Resumen de los límites de consistencia.</i>	95
Tabla 35. <i>Tamices de malla cuadrada.</i>	96
Tabla 36. <i>Análisis granulométrico por tamizado.</i>	99
Tabla 37. <i>Símbolos SUCS.</i>	100
Tabla 38. <i>Clasificación SUCS.</i>	100
Tabla 39. <i>Clasificación AASHTO – Suelos granulares.</i>	103
Tabla 40. <i>Clasificación AASHTO – Suelos limo-arcilloso.</i>	103
Tabla 41. <i>Proctor Modificado.</i>	108
Tabla 43. <i>Compactación.</i>	112
Tabla 44. <i>Registro de la expansión del suelo.</i>	113
Tabla 45. <i>Penetración.</i>	114
Tabla 46. <i>Densidad máxima seca.</i>	116
Tabla 47. <i>Densidad natural.</i>	116
Tabla 48. <i>Resumen de ensayos de laboratorio y campo.</i>	119
Tabla 49. <i>Valores de las variables de diseño.</i>	121
Tabla 50. <i>Método de las Diferencias Acumuladas.</i>	122
Tabla 51. <i>Valores del aporte combinado k.</i>	124
Tabla 52. <i>Resultados de diseño del pavimento rígido para los 4 intervalos definidos.</i>	126
Tabla 53. <i>Método de las Diferencias Acumuladas de CBR a la Densidad Natural.</i>	127
Tabla 54. <i>Valores del aporte combinado k.</i>	130
Tabla 55. <i>Resultados de diseño de pavimento rígido.</i>	132
Tabla 56. <i>Estación Pluviométrica disponible en la zona de estudio.</i>	136
Tabla 57. <i>Precipitación Máxima en 24 horas – Estación Miraflores.</i>	136
Tabla 58. <i>Distribución Log-Normal.</i>	137
Tabla 59. <i>Distribución Pearson Tipo III.</i>	137

Tabla 60. <i>Distribución Gumbel</i>	138
Tabla 61. <i>Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno</i>	139
Tabla 62. <i>Lluvias máximas (mm)-Estación Miraflores</i>	140

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Subrasantes limo-arenosas erosionadas en la carretera Mazocruz-Arequipa.	21
<i>Figura 2.</i> Situación actual de la avenida Sánchez Cerro–Piura.	22
<i>Figura 3.</i> Componentes estructurales de pavimentos flexibles.	26
<i>Figura 4.</i> Diferencia de Transferencia de cargas entre un pavimento rígido y flexible.	26
<i>Figura 5.</i> Representación gráfica de pavimento de concreto simple y con juntas.	27
<i>Figura 6.</i> Pavimento de concreto reforzado con conectores.	27
<i>Figura 7.</i> Concreto fresco y concreto endurecido de un pavimento reforzado con fibras.	28
<i>Figura 8.</i> Pavimento de concreto continuamente reforzado.	28
<i>Figura 9.</i> Componente estructural del pavimento rígido.	31
<i>Figura 10.</i> Pérdidas de serviciabilidad debido al tráfico y al ambiente agresivo.	43
<i>Figura 11.</i> El PSI decrece a medida que el pavimento tiene más años de uso, el valor es muy malo en el último periodo de servicio.	43
<i>Figura 12.</i> la curva C resulta de la suma de la curva B y curva A, siendo la curva C la que representa el costo total de elegir un determinado nivel de confiabilidad y la confiabilidad óptima se obtiene en el punto más bajo de la curva.	47
<i>Figura 13.</i> Comportamiento de una junta entre losas de concreto.	52
<i>Figura 14.</i> Estimación del módulo de reacción de la subrasante asumiendo un espesor de subrasante.	53
<i>Figura 15.</i> Reajuste del modulo de reaccion efectivo de la subrsante de acuerdo a la perdida de soporte.	54
<i>Figura 16.</i> Diseño de pavimento rigido en base al uso de valores medios para cada variable de entrada.	54
<i>Figura 17.</i> Diseño de pavimento rigido en base al uso de valores medios para cada variable de entrada.	55
<i>Figura 18.</i> Ubicación y delimitación del proyecto.	61
<i>Figura 19.</i> Plano topográfico entre Vice y Piura con una cota máxima principal igual a 120m.	62
<i>Figura 20.</i> Cuenca Sedimentaria del Noroeste Peruano.	63
<i>Figura 21.</i> Promedio de datos meteorológicos de la Ciudad de Piura.	65
<i>Figura 22.</i> Línea de tiempo de la evolución de la modalidad obra por impuesto.	67
<i>Figura 23.</i> Las fases con sus respectivos objetivos de la modalidad obra por impuesto.	67

<i>Figura 24.</i> Proceso de implementación de Obras por Impuesto.	69
<i>Figura 25.</i> Nodos de control de distribución de tráfico.	72
<i>Figura 26.</i> Flujo total en número de vehículos por día de control en el Nodo Desvió a Bayovar en ambos sentidos.	73
<i>Figura 27.</i> Flujo total en número de ejes por día de control en el nodo Desvió a Bayovar en ambos sentidos del tránsito.	74
<i>Figura 28.</i> Flujo total en número de ejes en ambos sentidos del tránsito por día de control en los 3 Nodos seleccionados para las labores de campo.	74
<i>Figura 29.</i> Formato de cálculo de Fvpi para cada vehículo pesado.	80
<i>Figura 30.</i> Tasa de crecimiento anual del PBI del departamento de Piura.	81
<i>Figura 31.</i> ESALs anual para pavimento rígido.	82
<i>Figura 32.</i> Inicio de la exploración de la nueva vía de evitamiento del Bajo Piura.	83
<i>Figura 33.</i> Aparato de densidad.	84
<i>Figura 34.</i> Pesado de la arena y perfilado de la superficie.	85
<i>Figura 35.</i> Extracción y pesaje del material dentro del círculo hueco en bolsas plásticas.	86
<i>Figura 36.</i> Se observa el proceso para determinar la densidad natural del suelo del Bajo Piura.	87
<i>Figura 37.</i> Toma de muestras de suelo representativo que será ensayado en laboratorio.	88
<i>Figura 38.</i> Proceso a realizar para toma de datos y cálculo de la humedad natural del suelo. ...	90
<i>Figura 39.</i> Aparato manual para límite líquido.	92
<i>Figura 40.</i> Determinación del límite líquido.	93
<i>Figura 41.</i> Diagrama de fluidez para la calicata (C-01) del kilómetro cero (km 00+000).	95
<i>Figura 42.</i> Proceso para realizar la técnica del cuarteo.	97
<i>Figura 43.</i> Proceso realizado para separar el material fino del grueso usando la malla N°4.	97
<i>Figura 44.</i> Proceso de tamizado para el material grueso.	98
<i>Figura 45.</i> Proceso para hallar el % de finos del suelo.	98
<i>Figura 46.</i> Curva granulométrica característica de suelo fino del Bajo Piura.	100
<i>Figura 47.</i> Carta de Casagrande.	102
<i>Figura 48.</i> Clasificación del suelo según SUCS para los 26 kilómetros de la vía de evitamiento del Bajo Piura.	102
<i>Figura 49.</i> Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.	104
<i>Figura 50.</i> Clasificación del suelo según AASHTO para los 26 kilómetros de la vía de evitamiento del Bajo Piura.	105

<i>Figura 51.</i> Proceso de preparación del espécimen a compactar a una determinada humedad.	106
<i>Figura 52.</i> Proceso seguido en el laboratorio para determinar el contenido de humedad.....	107
<i>Figura 53.</i> Curva de relación humedad y densidad.....	108
<i>Figura 54.</i> Proceso seguido previa a la compactación del suelo.....	110
<i>Figura 55.</i> Proceso seguido para compactar el suelo a la humedad óptima y sumergir el suelo en la cámara de curado.	110
<i>Figura 56.</i> Proceso seguido antes, durante y después de medir el hinchamiento de la muestra.	111
<i>Figura 57.</i> Equipos y herramientas empleado en el ensayo CBR.....	111
<i>Figura 58.</i> Suelo fisurado a 12 golpes/capa y a 56 golpes/capa y la toma de suelo para la hallar la humedad final.	112
<i>Figura 59.</i> Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 56 golpes/capa.	113
<i>Figura 60.</i> Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 25 golpes/capa.	114
<i>Figura 61.</i> Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 12 golpes/capa.	114
<i>Figura 62.</i> Curva de definición de CBR para 0.1” y 0.2” de penetración.....	115
<i>Figura 63.</i> Curva de CBR obtenida en la progresiva km. 00+000.....	116
<i>Figura 64.</i> Plantilla de cálculo del CBR a 0.1” y 0.2” al 100% MDS, al 95% MDS y a la densidad natural.....	118
<i>Figura 65.</i> Valores de CBR de sub-rasante limo arenosa obtenidas al 95% de la MDS.	122
<i>Figura 66.</i> Tramos homogéneos obtenidos trazando rectas que contengan la mayor cantidad de puntos analizados.....	123
<i>Figura 67.</i> Determinación de CBR representativo para cada intervalo.	123
<i>Figura 68.</i> Nomograma que permite calcular el valor k. Adaptado de AASHTO 1993.....	124
<i>Figura 69.</i> Calculo del espesor del pavimento en la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 05+500.....	125
<i>Figura 70.</i> Resumen de espesores de losa de concreto para cada intervalo homogéneo.	126
<i>Figura 71.</i> CBR a la densidad natural de suelos limo-arenosos	127
<i>Figura 72.</i> Determinación de los sectores homogéneos que tendrán las mismas características.	128
<i>Figura 73.</i> Determinación de los valores de CBR representativos.	129
<i>Figura 74.</i> Nomograma que permite calcular el valor de k, adaptado de AASHTO 1993.	130

<i>Figura 75.</i> Calculo del espesor del pavimento en la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 01+500.....	131
<i>Figura 76.</i> Resumen de espesores de losa de concreto para cada intervalo homogéneo.	132
<i>Figura 77.</i> CBR a la DN y al 95% de la MDS.....	133
<i>Figura 78.</i> Relación de valores de CBR a la DN y al 95 de la MDS.....	133
<i>Figura 79.</i> Relación de los valores de k a la DN y al 95% de MDS.....	134
<i>Figura 80.</i> Relación de los valores de k respecto al espesor al 95% de MDS.	134
<i>Figura 81.</i> Relación de los valores de k respecto al espesor a la DN.	135
<i>Figura 82.</i> Comparación de los espesores de diseño en pavimento rígido.	135
<i>Figura 83.</i> Ábaco para Cálculo de Tiempo de Concentración, adaptado de la Norma Española 3.2-IC.....	143
<i>Figura 84.</i> Dimensiones de las cunetas.....	144

INTRODUCCIÓN

La economía nacional del Perú ha experimentado un crecimiento paulatino en el transcurso de los últimos años y en el primer trimestre del año 2017 el PBI creció solamente en un 0.4% (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2017). Esto se fundamenta principalmente por los desastres naturales que suscitaron en el país.

Los desastres naturales son uno de los enemigos principales que retrasan el desarrollo de los proyectos de inversión pública y privada. Como el fenómeno de El Niño que se manifiesta de forma erráticamente cíclica en el océano pacífico del Perú y azota a las regiones costeras del país a través de olas de calor que generan intensas lluvias que ocasionan huacicos y desbordes de ríos. Estos temporales se han manifestado en los años 1983, 1998, 2015 y 2017, en este último la región más afectada fue Piura. Esta región sufrió grandes daños en materia de vialidad con un 80% de las carreteras y pistas afectadas. Datos que conciernen al país, los que reflejan un perjuicio económico que supera los 3100 millones de dólares (Bedoya, 2017).

Los suelos de la región Piura son en su mayoría suelos finos (arenosas, limosas y arcillosas), los cuales se caracterizan por ser de baja resistencia al esfuerzo cortante o capacidad de soporte deficiente ($CBR < 7\%$) y de ser susceptibles a la erosión por la acción del agua (Olarte, 2015). Por ello, los materiales a usar deben ser adecuadamente dimensionados para evitar fallas prematuras por sub-dimensionamiento en el diseño. Queda claro que esto afecta directamente a las dimensiones del pavimento sea rígido o flexible. Teniendo en cuenta lo descrito, en la presente tesis de investigación se propone evaluar el desempeño de subrasantes arenosas limosas en el diseño de pavimentos rígidos como una medida de seguridad al momento de asumir valores de CBR. Se analiza esto debido a que el suelo al saturarse pierde sustancialmente su rigidez a lo asumido inicialmente, por ello se propone evaluar el comportamiento real de subrasantes. Esto se hace con el fin de garantizar el adecuado comportamiento del pavimento en el periodo de diseño.

Antecedentes

En el área de suelos y pavimentos se han realizado muchas investigaciones acerca del comportamiento de suelos finos aplicado en el diseño de pavimentos. Por ello, se mostrarán algunos artículos y tesis de grado, tanto nacionales como internacionales que ayudarán a comprender más a detalle la problemática de los suelos finos en el diseño de pavimentos.

Antecedentes Internacionales

Los estudios relacionados a la investigación en el ámbito internacional son el análisis de parámetros de diseño de subrasantes para las carreteras del sur de Rusia y el comportamiento de la deformación de subrasantes compactadas.

Análisis de parámetros de diseño de subrasantes para las carreteras del sur de Rusia

En esta investigación se busca conocer la humedad de diseño de las subrasantes bajo condiciones secas en el sur de Rusia para tener valores adecuados en el rendimiento del pavimento. Para ello se proponen correlacionar la resistencia de los suelos en función de las

variables de humedad y densidad. De acuerdo a ello, pudieron definir que la resistencia estructural de un pavimento tiene un margen de seguridad en cuanto a sus componentes principales que dan aporte a la estructura. De esta manera, se obtiene el aporte a la resistencia estructural del pavimento en construcción de la deflexión elástica, tensión de flexión en superficie monolítica, resistencia al corte en el subbase de arena, resistencia al corte en la subrasante con un margen de seguridad de 33% a 63%, 49% a 62%, 17% a 19% y 2% a 6% respectivamente (Aleksikov, 2016).

Para lograr el objetivo, en áreas específicas del sur de Rusia se tuvo en cuenta las propiedades físicas y mecánicas, la humedad y la densidad de suelos arcillosos para conocer el comportamiento del mismo. Estos factores influyen altamente en la magnitud de las propiedades de resistencia de las subrasantes, siendo estas el módulo de elasticidad, su ángulo de fricción interno y su cohesión. Los autores concluyen que los parámetros mencionados van a depender del tipo de suelo, su humedad y densidad regional. Teniendo en cuenta estos parámetros, los investigadores pudieron desarrollar técnicas que determinaron la humedad del suelo de diseño para el pavimento de la carretera, donde esto depende de los factores climáticos existentes de la zona de estudio expresando en una serie de ecuaciones (Aleksikov, 2016).

El comportamiento de la deformación de subrasantes compactadas

En esta investigación la efectividad de la compactación de suelos de subrasantes está relacionada con el contenido de agua y la energía aplicada. Esto se puede saber teniendo en cuenta como indicador principal la deformación pequeña que se genera en su comportamiento una vez realizada la acción. Por ello, los investigadores centran su estudio experimental en la compactación de arenas limosas como subrasantes típicamente compactados que son preparados para diferentes condiciones. Con ello, se busca determinar el módulo de deformación, el cual está relacionado con el grado de saturación del suelo. De acuerdo a las pruebas que fueron comparadas, se puede decir que es beneficioso compactar el suelo ligeramente seco teniendo una humedad óptima desde el punto de vista del módulo de cizalladura (G_0). Además, la influencia de la energía de compactación aplicada prevalece en el lado seco del plano de compactación, donde un aumento en el nivel de energía corresponde a un aumento en G_0 . Por el contrario, en el lado húmedo del plano de compactación, G_0 permanece casi constante o disminuye con el nivel de energía de compactación (Heitor, Indraratna & Rujikiatkamjon, 2016).

Antecedentes Nacionales

Los estudios relacionados a la investigación en el ámbito nacional son la capacidad de soporte de subrasantes limo-arcillosas y el proceso innovado para determinar el espesor de subrasantes mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera puente Raither-puente Paucartambo.

Capacidad de soporte de subrasantes limo-arcillosas

La práctica ingenieril en el Perú en el diseño de estructuras de pavimentos no está asumiendo las condiciones reales que se pueden presentar en campo. La metodología empleada típicamente considera la capacidad de soporte de suelos limos arcillosos determinados por ensayos de laboratorio CBR-ASTMD 1883 asumiendo valores de CBR relacionado a la densidad

seca equivalente al 95% o 100% de la Máxima Densidad Seca-MDS del ensayo de Proctor Modificado. Sin embargo, este método no está siendo adecuadamente empleado ya que el suelo de esas características puede entrar en un estado de saturación experimentando valores de CBR inferiores a los valores asumidos, por ello, no se debe asignar valores que no se alcanzarán en campo y menos sin antes tener un sustento alguno (Ordoñez & Minaya, 2002).

Se propone usar los valores obtenidos de las muestras inalteradas (suelo sin compactar), es decir, la densidad natural y el CBR correspondiente o en caso extremo realizar el ensayo CBR en el laboratorio considerando Proctor Estándar. Esto se hace como una buena práctica frente este tipo de suelos, para evitar asentamientos durante la vida útil de la estructura del pavimento y la falla prematura de la estructura por sub-dimensionamiento en el diseño (Ordoñez & Minaya, 2002).

Proceso Innovado para determinar el espesor de subrasantes mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera puente Raither-puente Paucartambo

En esta investigación se propone innovar el procedimiento para determinar el espesor de la capa de subrasante en pavimentos flexibles con suelos de fundación limo-arcillosos. El proyecto fue realizado para remediar tramos donde la capacidad de los suelos es deficiente. Para ello se desarrolló una metodología analítica mediante la aplicación de modelos matemáticos que están presentes en el estado de la práctica en la ingeniería vial en el Perú.

El procedimiento empleado fue conformar cuatro diferentes espesores de mejoramiento sobre suelos de fundación con similares propiedades físicas y mecánicas. El autor evaluó el desarrollo de la capacidad de soporte en el sistema de subrasante mejorada del suelo en términos de módulo resiliente equivalente del pavimento. Esto es estimado por medio de técnicas de retro cálculo modular teniendo en cuenta la medición de las deflexiones empleando Deflectómetro tipo Viga Benkelman y Deflectómetro de Impacto. Además, agrega valor a través de la aplicación de una carta de diseño que usa el indicador factor de longitud de curvas representativas del proceso analítico-calibrado (Olarde, 2015).

Realidad problemática

El incremento de los pavimentos rígidos en algunos países de economías desarrolladas como en Corea del Sur y Estados Unidos se evidencian principalmente en autopistas, representando respecto al total de las vías un 30% en los Estados Unidos y un 16% en Corea del Sur (Yang & Yoo, 2017). Como en dichos países, también en el Perú se ha desarrollado una sistemática de aumento progresivo de proyectos de carreteras pavimentadas.

El Estado peruano invierte una fuerte suma de dinero en los proyectos correspondientes en la red vial nacional, la que representa un 20% del total del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), dejando de lado muchos kilómetros de carreteras de la red vial regional y vecinal descuidados en su ejecución y mantenimiento (Becerra, 2012). Por ejemplo, en el departamento de Piura, según reporte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, del año 2016, se tienen cubiertos en kilómetros, en la red nacional un 81% que están pavimentadas y un 19% sin pavimentar. Mientras en la red departamental se tiene 29% pavimentada y un 71% no pavimentada. Finalmente, en la red vecinal se tiene 3% pavimentado y 97% no pavimentado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2016).

Precisamente el proyecto a desarrollarse en la presente investigación se encuentra dentro de las redes departamentales que se sumará 26 kilómetros más en la lista de las vías pavimentadas, la Vía de Evitamiento del Bajo Piura. Este proyecto se desarrollará mediante una Iniciativa Privada presentada al gobierno regional de Piura y se adjudicará la construcción de esta nueva vía de pavimentos rígidos mediante la modalidad de Obras por Impuesto.

El proyecto de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura posee subrasantes compuestos por materiales finos que son muy susceptibles a erosionarse como las arenas limosas que a pesar de realizarse con un adecuado proceso de compactación experimentan pérdidas significativas en su capacidad de soporte (CBR) al entrar en contacto con el agua debido a la poca cohesión existente entre sus partículas, es decir se altera las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante llevándolo a una condición saturada en la que reluce su verdadero comportamiento frente agentes agresivos del clima, como se puede observar en la *figura 1*, que muestra la erosión de suelos arenas limosas de la subrasante debido a las intensas precipitaciones suscitadas en la carretera de Mazocruz a Arequipa. Esta condición extrema debe ser considerada para determinar su parámetro resistente que influirá directamente en las dimensiones del pavimento rígido, más aún en zonas como la región Piura que está propensa a precipitaciones intensas y a desastres naturales como al fenómeno de El Niño costero, el fenómeno de la niña, entre otras.

Las normas internacionales y el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones en la Sección de Suelos y Pavimentos, propone asumir valores de CBR medidos al 95% de la MDS (máxima densidad seca) del ensayo Proctor Modificado, para todo tipo de suelos de subrasantes, como inputs en el diseño de pavimentos rígidos. Sin embargo, estos valores no deben ser usados sin algún soporte técnico analítico que sustente su adopción. Pues el valor recomendado por la norma puede ser alcanzado en campo, pero su conservación en el transcurso del tiempo no es posible debido a la susceptibilidad que presentan los suelos arenas limosas. Este escenario puede impactar negativamente en la vida útil del pavimento generando deterioros prematuros o colapso por subdimensionamiento en el diseño.



Figura 1. Subrasante arena limosa erosionadas en la carretera Mazocruz-Arequipa, por COSAPI, 2017.

La nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura busca descongestionar el tráfico vehicular de la Av. Sánchez Cerro, la que actualmente conecta las ciudades del norte, como Paita, Sullana, Talara, Tumbes y el Ecuador. Dicha vía atraviesa el centro de la ciudad de Piura y concentra peatones, comerciantes, y todo tipo de vehículos (vehículos de carga pesada y de carga liviana, por ejemplo, tráileres, buses, autos, motos, motocarros, etc.) registrándose un IMDA de 2618 vehículos/día, por lo que a diario los usuarios están propensos al peligro de sufrir accidentes de tránsito debido a la alta congestión vehicular existente actualmente, como se puede apreciar en la *figura 2*. Por ello, existe la necesidad de un ordenamiento vehicular, la cual se puede aliviar mediante una vía alterna a la Panamericana Norte y una vía de Circunvalación para la zona denominada Bajo Piura, que asegure la transitabilidad regional, que descongestione el tráfico entre Piura-Vice y favorezca el comercio y el desarrollo económico de la región.

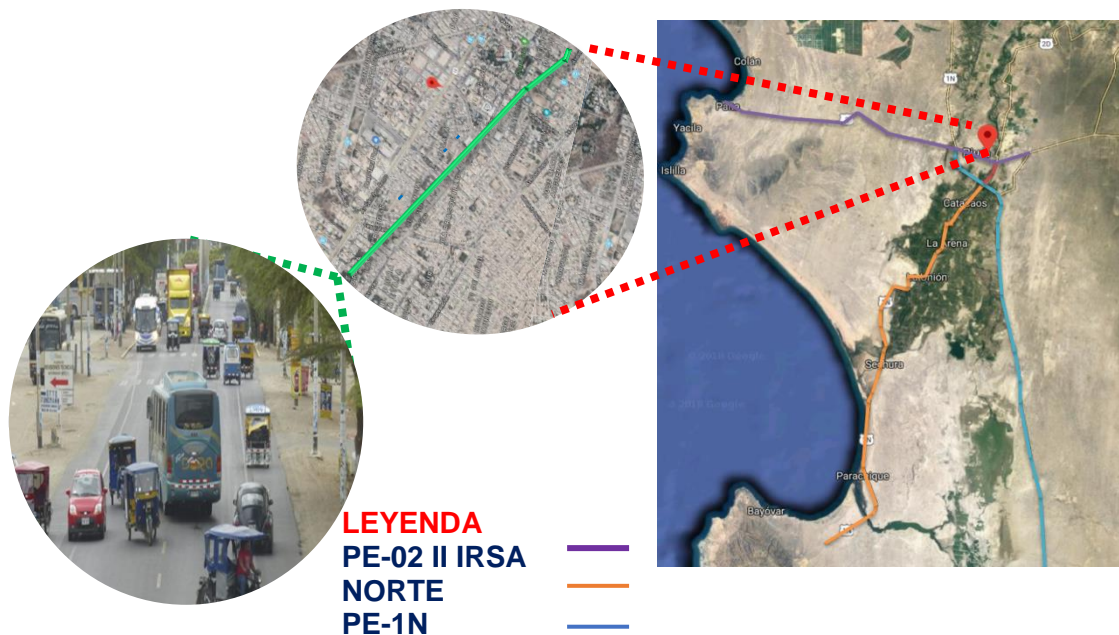


Figura 2. Situación actual de la avenida Sánchez Cerro–Piura, por fuente propia, 2017.

El proyecto de la Vía de Evitamiento se encuentra en la etapa de estudios. Por ello, se propone diseñar la infraestructura vial con pavimento rígido que pueda alcanzar la vida útil de diseño con un costo de mantenimiento mínimo, ya que la vía estará sometida a grandes valores de tráfico. También, se propone evaluar el desempeño de suelos de la subrasante ante posibles problemas de saturación que se podrían presentar en el subsuelo por las precipitaciones intensas, y expuestas a fenómenos naturales periódicos y extremos que se presentan en la zona.

Formulación del problema

En la práctica ingenieril para determinar la capacidad de soporte de la subrasante (CBR), con fines de diseño, se analizan muestras alteradas compactadas en laboratorio de acuerdo a las normativas vigentes. Sin embargo, en algunos tipos de suelos como en las arenas limosas que tienen poca capacidad de soporte y cohesión, los ensayos de laboratorio no representan el comportamiento real cuando estos tipos de suelos se encuentran en una zona donde están sujetos a los fenómenos periódicos y extremos, es decir, cuando están en su condición de puesta en servicio u operación. En condiciones saturadas los suelos arenas limosas pierden capacidad de soporte lo que implica menores valores de módulo resiliente, por consiguiente, mayores asentamientos de la estructura del pavimento que puede terminar en fallas prematuras. Por esta razón surge la siguiente interrogante: ¿Qué medida debe tomarse en la etapa de diseño de pavimentos rígidos para el caso de suelos arenas limosas erosionables en la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura?

Hipótesis

Con un procedimiento analítico-experimental basado en resultados obtenidos a partir de ensayos de laboratorio y exploraciones en campo se podrá determinar un diseño apropiado de

pavimentos rígidos para el caso de suelos arenas limosas susceptibles a erosión en la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura.

Objetivos General

Determinar un diseño apropiado de pavimentos rígidos para el caso de suelos arenas limosas susceptibles a erosión bajo la acción de fenómenos climáticos periódicos y extremos en la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura.

Objetivos específicos

1. Determinar las cargas del tráfico para pavimentos rígidos correspondientes a la Vía de Evitamiento del Bajo Piura de acuerdo al Manual de Carreteras (MTC/14).
2. Clasificar geotécnicamente los suelos de subrasante de la vía de Evitamiento del Bajo Piura mediante ensayos de campo y laboratorio, según las normativas vigentes.
3. Analizar los valores de densidades representativos a la condición de entorno de las subrasantes susceptibles a erosión de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura según la NTP 339.143.
4. Determinar y clasificar los valores de CBR de los suelos de subrasante vinculadas a las condiciones de entorno actual en la que se encuentra la Vía de Evitamiento del Bajo Piura.
5. Diseñar el pavimento rígido para las condiciones críticas de entorno según la metodología AASHTO 1993

Descripción del contenido

La propuesta de diseño de pavimentos rígidos para subrasantes arenas limosas susceptibles a erosión en la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura está estructurado en nueve capítulos. Previo al desarrollo de los capítulos, está la sección de introducción, antecedentes, realidad problemática, formulación del problema, hipótesis, objetivos y la descripción resumida de los contenidos en cada capítulo. Además, se ha incluido una sección adicional de anexos, donde de manera complementaria se puede encontrar información detallada que ayuda a comprender mejor la tesis.

El capítulo 1, presenta el marco teórico de la investigación, en el que se analiza las teorías fundamentales e importantes relacionadas al tema de la investigación, como la definición básica de los pavimentos, los componentes estructurales de los pavimentos rígidos, los procesos constructivos necesarios a tener en cuenta y las metodologías de diseño que se aplican para pavimentos rígidos.

El capítulo 2, describe los materiales y métodos de la investigación, es decir describe el conjunto de procedimientos y técnicas que se va aplicar de manera ordenada y sistemática en el desarrollo de la investigación.

El capítulo 3, está dedicado a describir la localización, la topografía, la geología y el entorno del proyecto en el que se aplicará la investigación.

El capítulo 4, detalla el tipo de contrato que enmarca el proyecto, es decir las fases y los procesos burocráticos que implica llevar la ejecución de las Obras Públicas.

El capítulo 5, especifica los resultados de los ensayos de campo y laboratorio realizados acorde a los objetivos planteados para validar la investigación.

El capítulo 6, describe la verificación de los resultados y la discusión en el que se analiza e interpreta los resultados obtenidos para definir el aporte de la investigación.

El capítulo 7, 8 y 9, presentan las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas respectivamente de la presente investigación.

1. MARCO TEÓRICO

En los siguientes capítulos se desarrollarán los conceptos fundamentales de los pavimentos rígidos y todo lo concerniente a ello que sirven de soporte para la presente investigación.

1.1 Definición de pavimentos

Un pavimento se puede definir, como una estructura de las vías de comunicación terrestre formadas por un conjunto de capas de materiales apropiadamente seleccionados de espesor finito, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento.

Los pavimentos tienen como función proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tránsito de los vehículos con comodidad, seguridad, con el costo óptimo de operación, con una superficie uniforme e impermeable de color y textura apropiada, resistente a la acción del tránsito y al medio ambiente, y que transmita adecuadamente a las capas inferiores los esfuerzos producidos por la acción del tránsito (Rico & Castillo, 2005, pp. 99-102).

En otras palabras, la estructura del pavimento mejora el flujo del tráfico garantizando mayor seguridad ya sea en condiciones de pista húmeda o mojada. Además, el pavimento debe soportar los esfuerzos de las cargas del tráfico y acciones climáticas evitando deterioros prematuros, de tal manera que propicie un tráfico confortable y seguro a un costo mínimo.

1.2 Pavimento flexible

El pavimento flexible es la estructura conformada típicamente por una subbase granular, base granular y una superficie de rodadura compuesta por mezcla de agregado pétreo y aglutinante asfáltico, como se puede observar en la figura 3, que soportan las cargas del tráfico y las acciones climáticas. Aquí la distribución de los esfuerzos se presenta en forma trapezoidal siendo la subrasante la que soporta principalmente las cargas dinámicas del tráfico.

La subbase tiene el propósito de actuar como filtro impidiendo que los materiales finos de la subrasante contaminen a la base y a la vez drenar el agua e impedir la ascensión capilar. También, la subbase se encarga de impedir que las deformaciones provocadas por extremas temperaturas y cambios volumétricos de agua se reflejen en la superficie de rodamiento, y finalmente se encarga de transmitir las cargas a la subrasante.

La base granular tiene la función primordial de proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y subrasante los esfuerzos de tráfico. Esta capa generalmente es tratada con agentes estabilizantes como con cemento portland, asfalto, cal u otros.

Superficie de rodadura está conformada por la carpeta asfáltica, que es un material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. Esta capa debe ser uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente, y sobretodo tener la capacidad de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, tiene que impedir el paso del agua al interior del pavimento (Montejo, 2002).

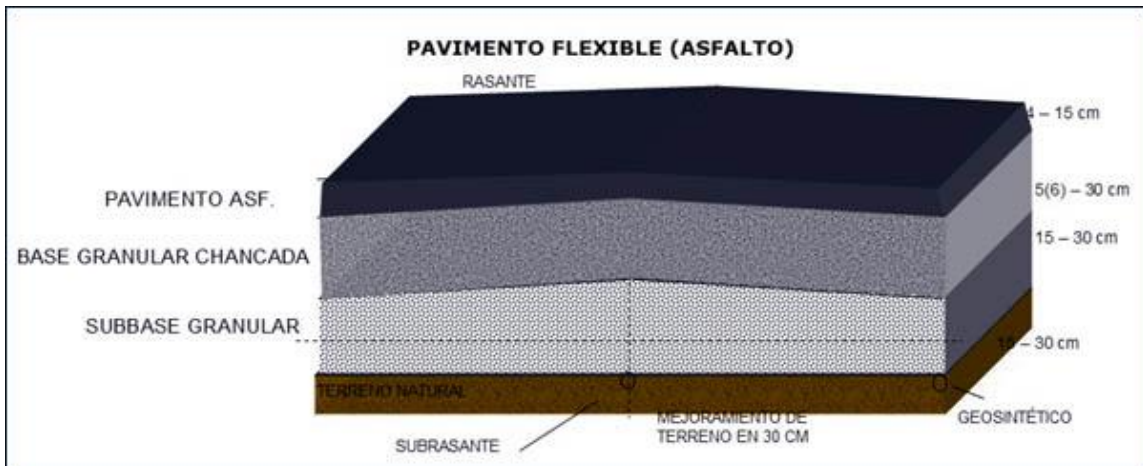


Figura 3. Componentes estructurales de pavimentos flexibles, por la Pontificia Universidad católica de Chile, 2015.

1.3 Pavimento rígido

El pavimento rígido es la estructura conformada fundamentalmente por una losa de concreto hidráulico apoyada en una subbase de material granular que ayuda a uniformizar la cimentación del pavimento. Cuando la subrasante del pavimento resulte ser de una buena calidad se puede prescindir de una subbase, es decir la losa de concreto se puede colocar directamente en la subrasante. Aquí la distribución de los esfuerzos se presenta en forma distribuida en la superficie de la losa como se puede observar en la figura 4. La losa soporta casi todas las cargas del tráfico debido a su alta rigidez que presenta el concreto hidráulico.

Los concretos que se suelen usar para las losas están comprendidas entre 200 y 400 kg/cm². Asimismo las losas pueden ser de concreto simple, reforzada o pre-esforzados.

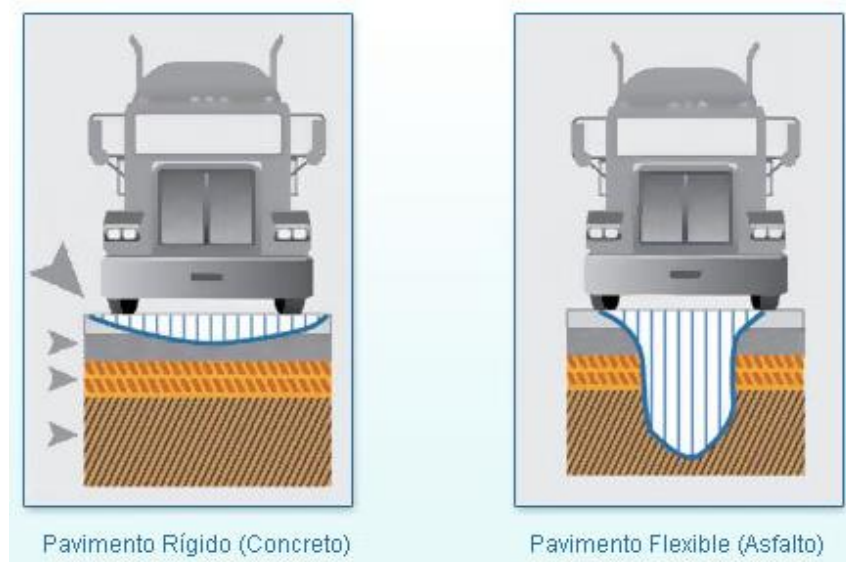


Figura 4. Diferencia de Transferencia de cargas entre un pavimento rígido y flexible, por Duravía, 2017.

1.3.1 Pavimento de concreto simple

Los pavimentos de concreto simple son aquellas que no tienen acero de refuerzo, se aplica mayormente para losas que están espaciadas entre 3 a 6 metros de longitud, pero lo más recomendable es no superar los 4.5 metros. La transferencia de cargas en las juntas transversales se realiza mediante fricción o trabazón de agregados, y/o mediante dovelas o barras pasa juntas de acero liso y engrasado. Además, la conexión entre carriles en las juntas longitudinales se realiza mediante barras de acero corrugado como anclajes.

Las juntas inducen el agrietamiento del concreto por las tensiones originadas principalmente por las variaciones de temperatura y humedad que experimenta la carpeta de rodadura, y en la figura 5 se puede observar todas sus componentes.

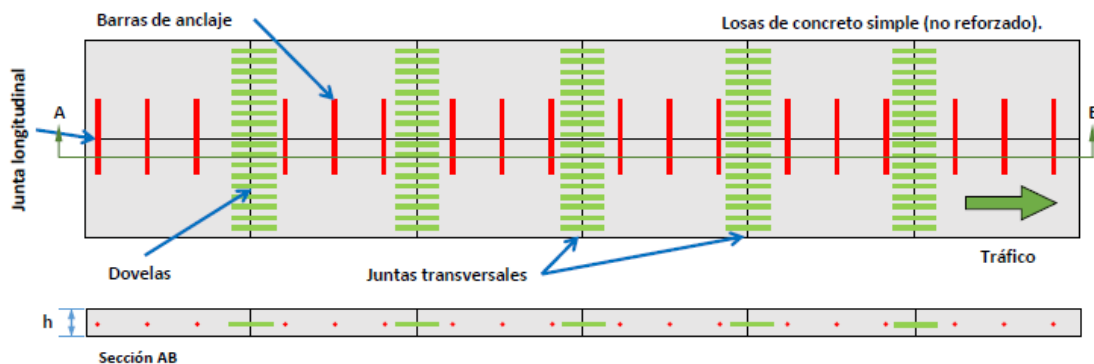


Figura 5. Representación gráfica de pavimento de concreto simple y con juntas, por Vásquez, 2017.

1.3.2 Pavimento de concreto reforzado con conectores

Los pavimentos de concreto reforzado, se le denomina así porque contienen acero de refuerzo, se aplica para losas de hasta 12 metros de longitud. A pesar de tener refuerzo moderado de acero, se espera que se produzcan fisuras controladas en los paños. La transferencia de cargas en las juntas transversales se realiza mediante dovelas o barras pasa juntas de acero liso o engrasado, y del mismo modo en la conexión de los carriles en las juntas longitudinales se realiza mediante barras de acero corrugado como anclajes. En figura 6 se puede observar todos componentes de este tipo de pavimento.

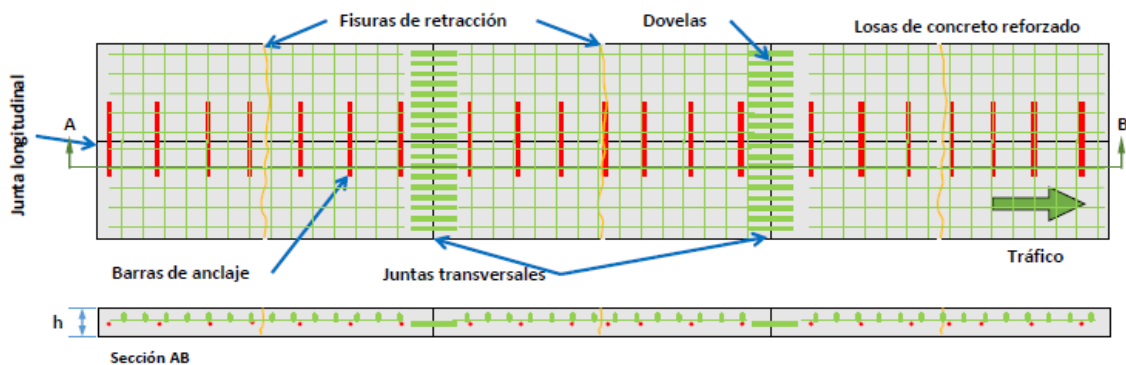


Figura 6. Pavimento de concreto reforzado con conectores, por Vásquez, 2017.

1.3.3 Pavimento de concreto reforzado con fibras de acero

El pavimento de concreto reforzado con fibras se le denomina así debido a que en la mezcla de la losa de concreto incluye en su composición fibras cortas de acero envueltas de forma aleatoria, como se puede apreciar en la figura 7. Esta combinación se realiza con la finalidad de mejorar la condición estructural del pavimento. Esto se ve reflejado en el incremento de la capacidad ante la rotura de la estructura sometida a las cargas dinámicas del tráfico. También por una posible reducción de forma parcial de la armadura que podría llevar la losa de concreto y por la reducción de la mano de obra empleada debido a reducciones del espesor de losa a usar (Cruz & Quispe, 2014).

Esencialmente las fibras en los pavimentos traen mejoras incrementando su resistencia a la tracción. En consecuencia, las estructuras sufren menos fisuras y una mayor durabilidad.



Figura 7. Concreto fresco y concreto endurecido de un pavimento reforzado con fibras, por Collazos, 2012.

1.3.4 Pavimento de concreto continuamente reforzado

En el pavimento de concreto continuamente reforzado las tensiones son controladas por el acero de refuerzo. El espaciamiento de las fisuras debe estar en un rango tal que no se desprendan pequeños pedazos del pavimento o se generen segmentos muy grandes de concreto, es decir se espera fisuras controladas en la superficie de rodadura y las conexiones entre los carriles de las juntas longitudinales se realizan mediante barras de acero corrugado como anclajes, como se puede notar en la figura 8.

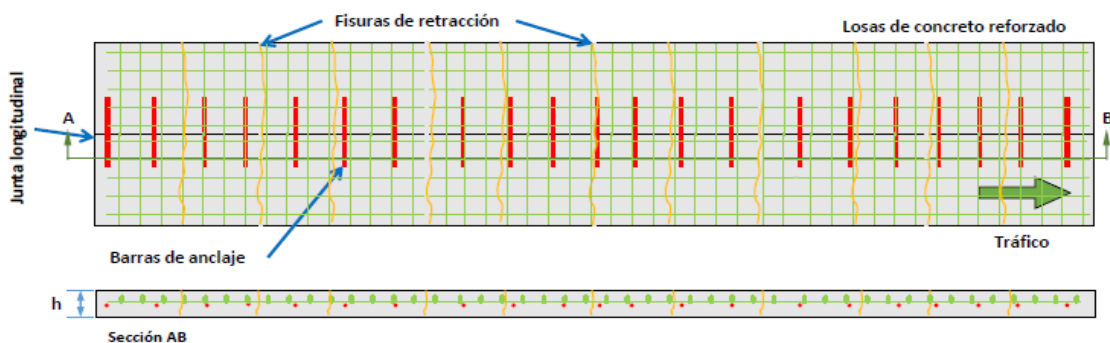


Figura 8. Pavimento de concreto continuamente reforzado, por Vásquez, 2017.

1.4. Tipos de suelos

La capa superficial de la corteza del planeta tierra está conformada por una mezcla de rocas, residuos, agua, minerales, materias orgánicas e inorgánicas. Por lo que es importante clasificar y/o tipificar el suelo como objeto de estudio. A continuación, se describirán algunos tipos de suelos relacionados a la presente tesis.

1.4.1 Suelos arenosos

Los suelos arenosos son aquellas que se caracterizan por presentar diámetros comprendidos entre 0.05 – 2 mm, con una densidad relativamente alta, con presencia de porosidad entre 36 - 46% aproximadamente debido al bajo contenido de arcillas. Se caracterizan por tener una elevada permeabilidad al agua, por lo que, tiene poca capacidad de retención de humedad y nutrientes, están compuestos con minerales llamados cuarzos, feldspatos, micas y minerales ferromagnéticos como anfíboles, olivinas y piroxenos. Este tipo de suelos son más frecuentes en zonas áridas y semiáridas.

1.4.2 Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos son aquellos que se caracterizan por presentar diámetros menores a 0.002 mm, es decir, de tamaño de las partículas muy finas. Además, tiene minúsculos espacios de poros que hace que se unan o formen terrones, mayor capacidad de retención de agua por lo tanto es de baja permeabilidad, alta capacidad de contraerse y expandirse, tiene minerales como la alófana y caolinita. También se caracterizan por formar grietas, es decir, se abren cuando hay sequía y se cierran cuando hay humedad. Las arcillas se localizan mayormente en el horizonte B u horizonte de acumulación o precipitación.

1.4.3 Suelos limosos

Los suelos limosos son aquellas que se caracterizan por presentar diámetros entre 0.002 – 0.05 mm, es decir, tienen gránulos de tamaño intermedio, por lo que se transporta fácilmente bajo la acción del agua. Los suelos limosos tienen mayor capacidad de retención de agua por lo que puede expandirse, forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos, son de color marrón oscuro y fáciles de moldear. También, posee suavidad e inestabilidad cuando está húmedo y presenta una textura como la del polvo al estar seco que se deshace fácilmente.

1.4.4 Suelos mixtos

Los suelos mixtos son aquellos suelos que, de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas y biológicas presentan características intermedias entre los suelos arenosos, arcillosos y limosos, es decir de acuerdo a la cantidad en términos proporcionales de contenido que tenga. Este suelo se puede encontrar de textura fina o gruesa, de estructura floclada, agregada o dispersa, con porosidades que permitan mayor o menor circulación de agua. En este tipo de suelo está, por ejemplo, el suelo Limo-Arcilloso.

1.5. Componentes estructurales del pavimento rígido

En las siguientes líneas se desarrollan las principales componentes que integra la estructura del pavimento rígido.

1.5.1 Terreno de fundación

En los procedimientos del diseño de los pavimentos rígidos es fundamental conocer las características fundamentales del terreno de fundación, como la resistencia estructural, la deformabilidad y la durabilidad.

La resistencia estructural del terreno de fundación es vital conocer porque es la encargada de soportar las cargas impuestas por el tráfico, es decir tiene que tener la capacidad de soporte de la carga por cortante. Para determinar esta característica se recurre al ensayo de valor relativo de soporte (C.B.R).

Es de suma importancia conocer la deformabilidad del terreno, puesto que un excesivo estado de deformación conlleva a un estado de colapso complicando así el buen funcionamiento del pavimento. Para ello se deben realizar estudios basados en la teoría mecánica del suelo.

En relación con la durabilidad se evalúa el contenido de los materiales orgánicos y su composición química.

1.5.2 Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

1.5.3 Subbase

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

1.5.4 Losa de concreto hidráulico

La losa de concreto tiene como componente primordial al cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. En la *figura 9* se observa todas las componentes estructurales que conforma el pavimento rígido.

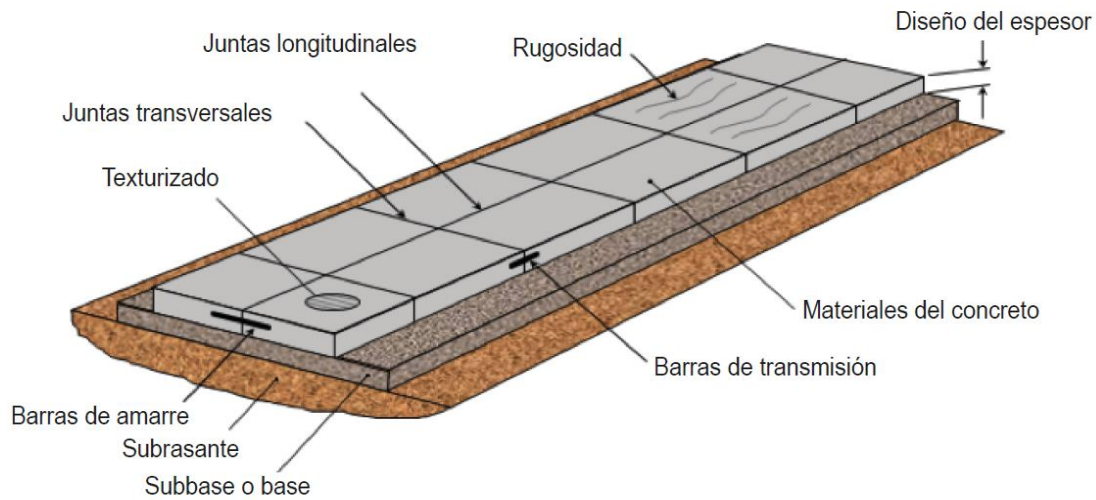


Figura 9. Componente estructural del pavimento rígido, por Calo, 2010.

1.6 Comparativo entre pavimentos rígidos y Pavimentos flexibles

En la tabla 1 se resume las principales diferencias entre un pavimento rígido y flexible en la que se denota las fortalezas y debilidades de cada tipo de pavimento.

Tabla 1. Comparativo de pavimentos rígidos y flexibles.

Pavimento rígido	Pavimento Flexible
<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil de 20 a 30 años (rígido de por vida). • Buen confort y seguridad (mayor visibilidad, menor distancia de frenado, menos accidentes, menor acumulación de agua). <ul style="list-style-type: none"> • Baja emisión de ruido • Menos cierres durante la vida útil (sello de grietas cada 5 años). • Precio de los insumos de la losa estables. • Menor costo en el ciclo de vida completa (menor consumo de combustible, menor consumo de CO₂, menor costo de iluminación entre 20% a 25%). <ul style="list-style-type: none"> • Uso de agregados reciclados. • Reducción de la isla de calor (color blanco de la losa). • Menor consumo de materiales de cantera (menor excavación y relleno). • Ahorro de combustible (reducción de consumo de vehículos pesados en un 20%). 	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil de 10 años (pierde resistencia con el tiempo). <ul style="list-style-type: none"> • Buen confort y seguridad. • Moderada emisión de ruido. • Gran cantidad de interrupciones del tránsito (bacheo anual, recarpeteo cada 5 años). • Precio de la carpeta asfáltica muy variable (calidad y comportamiento). • Mayor costo en el ciclo de vida completa. <ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje de agregados. • Incremento de la isla de calor (color oscuro de la carpeta asfáltica). • Moderado consumo de material de cantera (más capas de pavimento). • Mayor consumo de combustible (vehículos pesados principalmente). • La puesta en marcha es inmediata.

Pavimento rígido	Pavimento Flexible
<ul style="list-style-type: none"> • Problemas en el escalonamiento debido a proceso constructivo. • La puesta en marcha demora hasta que el concreto alcance resistencia adecuada. 	

Nota: Se resume las ventajas y desventajas de los pavimentos rígidos y flexibles, por fuente Propia, 2017.

1.7 Proceso constructivo de pavimentos rígidos

Respecto a los procesos constructivos de pavimentos rígidos se precisan en los párrafos posteriores algunos puntos esenciales e importantes a considerar en cada componente estructural.

1.7.1 Capa subrasante

La subrasante es el suelo natural o con estabilizantes, compactado y nivelado, cuya función es resistir las cargas del tráfico, transmitir y distribuir estas cargas al cuerpo del terraplén. Además, tiene que impedir que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento.

La capa subrasante debe estar bien compactada y con una densificación uniforme, con un espesor mínimo de 30 cm, con un tamaño máximo de material de 3", límite líquido menor a 40%, índice plástico máximo de 12%, expansión máxima de 2% y grado de compactación de 100% ± 2 en prueba AASHTO estándar (Inciarte, 2012). Además, de ser necesario optar por estabilizar para mejorar las propiedades físicas del suelo a través de procesos mecánicos y con la incorporación de productos mecánicos, naturales o sintético.

1.7.2 Base granular y sub base granular

La capa base es la capa intermedia entre la sub base y la carpeta de rodadura que provee una plataforma de trabajo estable y uniforme para obtener un desempeño de mejor calidad.

La capa subbase se construye sobre la capa subrasante. Está compuesta por materiales granulares de buena gradación que deberán ser compactadas entre el 95 y 100% de su máxima densidad seca. Se recomienda evitar zonas con materiales de alta plasticidad y compactaciones irregulares (MTC, 2014).

Los materiales que se emplean pueden ser tratados o estabilizados con ligantes hidráulicos, aditivos o agentes químicos. Se podrá estabilizar siempre y cuando los materiales a estabilizar estén libres de partículas orgánicas. Además, se sugiere que los materiales granulares a usar sean de excelente gradación y se recomienda trabajar con un espesor mínimo de 15 centímetros.

1.7.3 Drenaje y sub-drenaje

Las obras de sub drenaje sirven para controlar las aguas subterráneas que pueden afectar a las vías de transporte terrestre.

Se puede optar por capas drenantes que son construidas con materiales granulares, los cuales pueden preverse en zonas de corte o de terraplenes. En zona de corte se construye encima de la subrasante y en zonas de terraplenes se construye entre el terreno natural y el cuerpo del terraplén.

Otra opción son los subdrenes que consisten en una red colectora formada por tuberías perforadas enterradas en las zanjas para recolectar toda el agua subterránea que llegue en esta y se puede construir en paralela o perpendicular al eje de la vía (MTC, 2014). También existen los geodrenes que como componente principal se tienen los geotextiles que se usan como filtro para dejar escurrir el agua y evitar la migración de finos y así evitar la erosión interna.

A nivel superficial están las cunetas que son canales adosados a los lados de la corona de la vía y paralelas a los ejes longitudinales. Tiene la finalidad de recolectar el agua proveniente del talud y de la misma superficie de rodadura. También están los vados en sus diferentes variedades como los vados monolíticos y los puentes vado. Estos se construyen en las zonas de cruce de caminos con un cauce para permitir que las aguas de la superficie de rodamiento escurran sin perjudicar a la vía.

1.7.4 Construcción de la losa de concreto

Luego de construir la capa sub base se tiene que verificar que la superficie se encuentre libre de materias extrañas, encharcamientos y sin irregularidades.

Para la mezcla de concreto lo más recomendable es que sea una mezcla relativamente seca en el orden de 2 a 4 cm de asentamiento medido en el ensayo del Cono de Abrams (MTC, 2014). El tiempo de transporte debe ser menor de 30 minutos para las condiciones que se requieren, sin embargo, puede manejar con aditivos apropiados.

Para la colocación y compactación del concreto existen diversos tipos de equipos de pavimentación, los cuales lo realizan mediante un proceso de extrusión. El acomodo y la compactación se logran con un sistema de vibradores que fluidifica la mezcla.

1.7.5 Juntas de control

Las juntas tienen la función de controlar los cambios volumétricos que sufre el concreto debido a la variación de temperatura. Estos cambios producen tensiones en la superficie de la losa, lo que hace que se expandan o sufran contracciones.

Las juntas de contracción tienen como función principal atenuar los esfuerzos de tensiones causados por la contracción del concreto. Las juntas de expansión permiten que las losas se expandan sin generar daños. Las juntas de construcción son aquellas que se forman por las interrupciones de las operaciones de colado y tienen que garantizar la continuidad estructural. Finalmente, se tienen las juntas de alabeo que tienen la función de evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos (MTC, 2014).

1.8. Control de calidad

Los criterios a tener en cuenta para asegurar la calidad de los procesos, en la elaboración de la losa de concreto, se basan en cumplir los estándares de calidad que se encuentran documentados en el expediente técnico del proyecto. Típicamente se realizan las

verificaciones a través de diversos ensayos en campo, muestreos y mediciones teniendo en cuenta los criterios de aceptación de un plan de puntos de inspección para que lo realizado no transforme en una no conformidad. En las siguientes líneas se presentan los principales controles de calidad que se realizan en losa de concreto hidráulico de un pavimento rígido.

1.8.1 Control de calidad del concreto

Consiste en obtener muestras del concreto en obra. Para ello, se realizan técnicas de acuerdo a la Norma Técnica Peruana actualizada para la preparación y manejo de las muestras.

Se mide la resistencia a la compresión de las briquetas de concreto a los 3 días, 7 días y 28 días siendo principalmente medida la resistencia a la flexión de vigas de concreto (ASTM C 94, 2014). De tal manera que se determine su módulo de rotura el cual debe ser cercano a la resistencia especificada. Esta última medición es usada en el diseño de pavimentos rígidos como un input.

La frecuencia con la que se realiza el muestreo dependerá de las variaciones importantes que existan en las propiedades del concreto. Es así como se debe realizar más muestras cuando exista mayor variación para tener un control consistente de la mezcla. También se debe tener en cuenta la cantidad de m³ a utilizar para desarrollar una cantidad de muestras acorde a ello.

En el caso de los pavimentos se realiza un control estricto de las muestras en el área al que corresponde. Siendo a nivel urbano 1 muestra por cada 100m³ de vaciado de concreto (MTC, 2014).

1.8.2 Control de espesores

Se buscan contar con espesores uniformes en las progresivas del pavimento rígido, para ello se colocan marcas o hilos de nivel en las orillas de la sección. De esta manera se verifican los espesores a través del uso de una cuerda extendida transversalmente al eje del trazo sobre el paño superior de las cimbras en varios de sus puntos.

1.8.3 Tolerancia en la rugosidad superficial

Se controlan las irregularidades haciendo que estas no excedan el límite permisible. En caso contrario, se debe utilizar equipos para generar una rugosidad superficial aceptable con la ayuda fresadoras o métodos abrasivos equivalentes.

Los puntos altos en desnivel de la superficie no deben exceder los 8mm respecto al perfil exigido en el proyecto. En caso exista, se deberán eliminar y a la vez verificar con una prueba de perfilógrafo que demuestre que las variaciones estén dentro del criterio de aceptación del plan de puntos de inspección (PPI).

1.9 Metodología empleada: Método AASHTO 1993

Una de las metodologías más utilizadas y adecuadas de acuerdo a la realidad nacional es la metodología propuesta por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte en su versión AASHTO 1993, en seguida se describirá todos los puntos importantes que respecta esta metodología.

1.9.1 Reseña histórica

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

La primera guía de diseño de pavimentos de la AASHO fue editada en 1961 y 1962, años después en 1972 fue evaluada y revisada por el Comité de Diseño AASHTO. Emitiendo la "AASHTO *Interim Guide for Design of Pavement Structures*", la cual incorporó experiencias que fueron acumuladas desde la primera edición de la Guía de 1962. En 1981 se revisó parte de la guía correspondiente al diseño de pavimentos rígidos correspondiente al capítulo III (AASHTO, 1993, p. II-3).

En 1993 se publicó una nueva versión de la guía AASHTO, la cual incorpora la revisión del diseño de sobre capas, diseño de subbases delgadas, erosión de la subbase y confinamiento lateral, así como también se extendieron las extrapolaciones de las cargas de tráfico de ejes simples hasta 50,000 lb y en ejes tándem y trídem hasta 90,000 lb, también a la ecuación general de diseño de la guía se le agregaron algunos factores tales como: el error estándar combinado, la diferencia de servicialidad y el coeficiente de drenaje (Cornejo & Velásquez, 2009).

1.9.2 Filosofía de diseño

La filosofía de diseño para pavimentos rígidos permite tener en cuenta tanto la pérdida de servicio por las cargas del tráfico y por la agresividad del ambiente. El enfoque de diseño consiste en determinar el espesor técnico-económico requerido en función del nivel de tráfico proyectado. Para ello, se usa la ecuación fundamental de diseño que es resuelta por los nomogramas que implícitamente comparan un número estructural requerido y un número estructural propuesto.

1.9.3 Criterios de diseño

La metodología de diseño AASHTO (1993) de pavimentos rígidos tiene como criterio de diseño: la serviciabilidad. Este se usa como una medida del comportamiento del pavimento rígido relacionada con la seguridad y comodidad que puede tener el usuario al usar la vía. El criterio mencionado hace referencia, en cuanto a lo primero, al diseño geométrico y las señales de tránsito en la vía. Respecto al segundo, se relaciona a las características físicas presentes en la estructura, por ejemplo: las fisuras. Este es el que principalmente afecta el comportamiento estructural del pavimento.

La serviciabilidad se expresa en términos del índice de serviciabilidad presente (PSI). Este es obtenido a través de mediciones de la aspereza de la superficie de rodadura y de la fatiga que puede estar presentando la estructura ante las cargas dinámicas del tráfico. La aspereza es el factor dominante en la estimación del PSI del pavimento. Por ello, es trascendental tener un método confiable para medir la rugosidad de la superficie para saber el rendimiento que puede estar presentando la estructura (AASHTO, 1993).

El rendimiento de servicio de la carretera se basa principalmente en 5 suposiciones fundamentales siendo estos los siguientes:

1. Las carreteras son para el confort y conveniencia del usuario.
2. El confort de conducción o calidad de conducción es un asunto de respuesta subjetiva.
3. La serviciabilidad se expresa por medio de calificaciones por los usuarios y se denomina como la calificación del servicio.
4. Hay características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden ser relacionadas a evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
5. El rendimiento puede ser representado por la historia de serviciabilidad del pavimento.

La superficie del pavimento es calificada por el PSI en una escala del 0 a 5. El número 5 significa que la estructura está en excelentes condiciones (ideal) y números 0 quiere decir que la vía es intransitable (inexistente).

El criterio de diseño por serviciabilidad determina el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad final (P_t) para la vida útil del pavimento. Se busca mayor suavidad en la superficie del pavimento inicial con el valor del P_0 , que tendrá un ciclo de vida más largo que uno de menor suavidad inicial, por ejemplo, $P_0=4.5$ y otro de $P_0=4$.

1.9.4 Variables de diseño

En el diseño de pavimentos rígidos se realiza el análisis de los factores de diseño que intervienen en la ecuación que determinará el espesor de la losa de concreto. Estos factores se miden a través 11 parámetros como se observan y se listan en la ecuación 1 de la metodología AASHTO 1993.

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log_{10} \left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right)} \right) \quad (1)$$

Dónde:

$W_{8.2}$: Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas a lo largo del periodo de diseño.

Z_R : Desviación normal estándar.

S_0 : Error estándar combinado en la predicción del tráfico y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D : Espesor del pavimento de concreto.

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t: Índice de serviciabilidad final.

M_r: Resistencia media del concreto a flexión a los 28 días.

C_d: Coeficiente de drenaje.

J: Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c: Módulo de elasticidad del concreto en Mpa.

K: Módulo de reacción de la superficie (base, subbase y subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Estos son necesarios analizar para predecir un buen comportamiento de la estructura y evitar el colapso de la misma durante el periodo de su vida de servicio.

1.9.4.1 El tráfico (ESALS)

Las cargas del tráfico en una vía se presentan de forma mixta. Esto se refleja en valores de cargas en distintos tipos de ejes (simple, tándem y tridem) y configuraciones vehiculares que son necesarios estimar y sumar sobre el periodo de diseño.

Es importante la exactitud del tráfico estimado ya que influenciarán significativamente en el ciclo de vida del pavimento.

El tráfico de camiones es la información más esencial que se requerirá para una estimación correcta del tráfico futuro. Para ello, se debe usar un factor de confiabilidad por la incertidumbre en las predicciones del tráfico y del rendimiento.

El incremento del tráfico futuro se puede dar de forma lineal o exponencial. Esto dependerá de la importancia de la vía. Por ejemplo, si la carretera es clasificada como arterial principal, su crecimiento será exponencial y si es arterial menor, tendrá un crecimiento lineal (AASHTO, 93).

El diseño estructural es vinculante a la cantidad de tráfico esperado en el carril de diseño para la vida útil del proyecto. La AASHTO-1993 simplifica el efecto del tráfico introduciendo el concepto de ejes equivalentes. Estos representan la transformación de las cargas de todo tipo de vehículos en ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas el cual es llamada ESALS (equivalent single axel load). En el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes se tomará en cuenta el índice medio diario, el factor direccional, el factor carril de diseño, factor de vehículo pesado, factor de crecimiento acumulado y el número de días del año.

En las siguientes ecuaciones 2 y 3 se detallarán los factores que son considerados para realizar un adecuado estudio de tráfico.

$$N_{rep \text{ de } EE_{8.2 \text{ tn}}} = \sum (EE_{\text{día-carril}} \times F_{ca} \times 365) \quad (1)$$

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi} \quad (2)$$

Donde:

$N_{rep \text{ de } EE_{8.2 \text{ tn}}}$: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn.

$EE_{\text{día-carril}}$: Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado,

por día para el carril de diseño.

IMD_{pi}: Índice medio diario según tipo de vehículo pesado.

F_d: Factor direccional.

F_c: Factor carril de diseño.

F_{vpi}: Factor de vehículo pesado del tipo seleccionado. representa el numero de EE.

F_p: Factor de presión de neumáticos.

F_{ca}: Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

365: Número de días del año

Según el conteo de vehículos en la calzada se podrá determinar el carril y la dirección que tiene un mayor volumen de tráfico. Esto es importante conocer para delimitar el carril de diseño sobre el cual se trabajará y se desarrollará en los otros carriles.

Tabla 2. Factores de distribución direccional y de carril.

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (F _d)	Factor Carril (F _c)	Factor Ponderado F _d x F _c para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Nota: Para determinar el tráfico en el carril de diseño. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

Para la proyección adecuada del tráfico se toma en cuenta la tasa anual del crecimiento del tráfico el cual es definido como la correlación de la dinámica de crecimiento socioeconómico. Esta considera la tasa de crecimiento del tráfico de vehículos de pasajeros y la tasa de crecimiento del tráfico de vehículos de carga. El valor de la tasa de crecimiento del tráfico varías entre 2% a 6% pudiendo variar si existieran proyectos determinados en la zona. En las siguientes líneas se mostrarán las fórmulas a usar y las tablas de resumen.

$$T_n = T_o * (1 + r)^{n-1} \quad (3)$$

Donde:

Tn: tránsito proyectado al año “n” en vehículo/día.

To: tránsito actual en vehículo/día.

n: número de años del periodo de diseño.

r: tasa anual de crecimiento de tránsito.

En la tabla 3 se muestra el periodo de análisis anual, factor sin crecimiento y su tasa anual de crecimiento.







Tabla 3. Factores de crecimiento acumulado (Fca).

Periodo de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Nota: Para el cálculo de número de repeticiones de EE. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

Para determinar el número de repeticiones equivalentes se considera principalmente el tráfico pesado de ómnibus y de camiones ya que estos son los más críticos dentro de la categoría de vehículos de transporte. Estos son medidos en ejes equivalentes (EE) acumulados en el periodo de diseño. Saber que Los EE son ejes simples de dos ruedas típicas, los cuales tiene una carga de 8.2 toneladas. En la tabla 04 se mostrarán los tipos de configuración y en la tabla 05 las fórmulas a usar para la conversión en EE.

Tabla 4. Configuración de ejes del tráfico.

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota: Clasificación por ejes. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

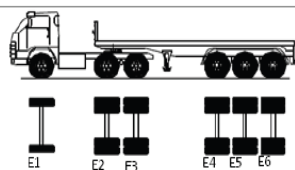
Tabla 5. *Ejes equivalentes del tráfico.*

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8,2tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 17.5]^{4.0}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

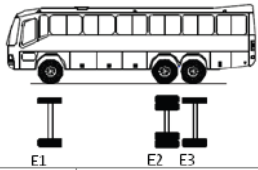
Para el cálculo del factor de vehículo pesado (Fvp) se necesita transformar las cargas de los vehículos en ejes equivalentes principalmente en camiones y buses. Para ello se usará la relación de cargas por eje y la configuración que posean los vehículos.

Tabla 6. Factores de equivalencia del tráfico T3S3.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos						Long. Máxima (m)	
T3S3							20.50	
	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$	$EE_{T1} = [P / 13.3]^{4.1}$		$EE_{TR} = [P / 17.5]^{4.0}$				
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8	7	8	8		
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16		23				
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem		Eje Tridem				
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble		Rueda Doble				
Peso	7	16		23				
Factor E.E.	1.273	2.134		2.984				6.390

Nota: Factores de equivalencia por eje y factor vehículo para camión C3. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

Tabla 7. Factores de equivalencia del tráfico B3-1.

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
B3-1								14.00
	$EE_{S1} = [P / 6.8]^{4.1}$		$EE_{T2} = [P / 13.0]^{4.1}$					
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	7					
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	15						
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem						
Tipos de Rueda	Rueda Simple	1 Eje Rueda Doble+1 Eje Rueda Simple						
Peso	7	15						
Factor E.E.	1.273	1.798						
								Total Factor Camión B3-1
								3.071

Nota: Factores de equivalencia por eje y factor vehículo para bus B3-1. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

1.9.4.2 Serviciabilidad

El pavimento en el transcurso del tiempo experimenta deterioros reflejándose en una pérdida de su serviciabilidad. Esta se define como la diferencia entre la serviciabilidad inicial y serviciabilidad final (Δ PSI).

Aquella pérdida se presenta principalmente por la acción de 3 factores, por ejemplo, el tráfico, el medio ambiente y la edad del pavimento. El primero, es considerado debido a que su presencia puede causar deterioros hasta la falla del pavimento. El segundo, se considera en algunas situaciones críticas de trabajo debido a la presencia de suelos arcillosos expansivos y heladas de la zona que reducen el rendimiento del pavimento. El tercero, es un factor negativo y trabaja para reducir la serviciabilidad. En la *figura 10* se puede observar lo descrito anteriormente.

El cambio del PSI en el transcurso del tiempo se puede obtener sumando los efectos de las cargas dinámicas del tráfico, arcillas expansivas y levantamiento por heladas principalmente, como se puede ver en la *figura 11*. La variación del PSI se determina de acuerdo a la ecuación 5.

$$\Delta\text{PSI} = \Delta\text{PSI}_{\text{tráfico}} + \Delta\text{PSI}_{\text{arcilla/heladas}} \quad (4)$$

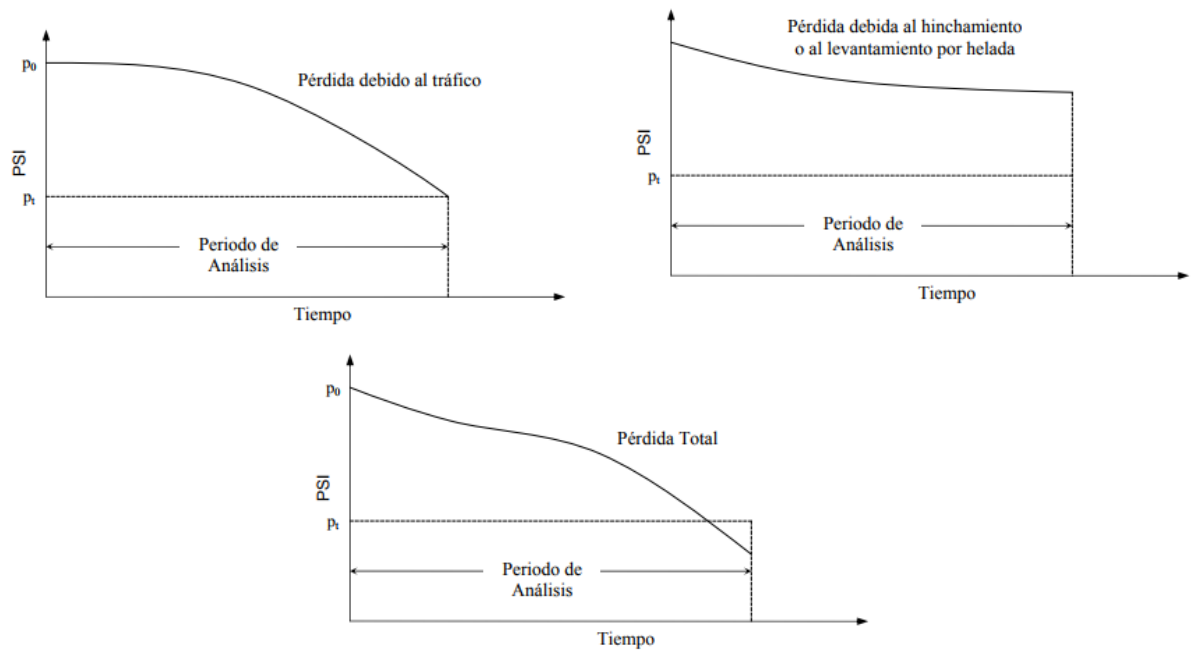


Figura 10. Pérdidas de serviciabilidad debido al tráfico y al ambiente agresivo, por AASHTO, 1993.

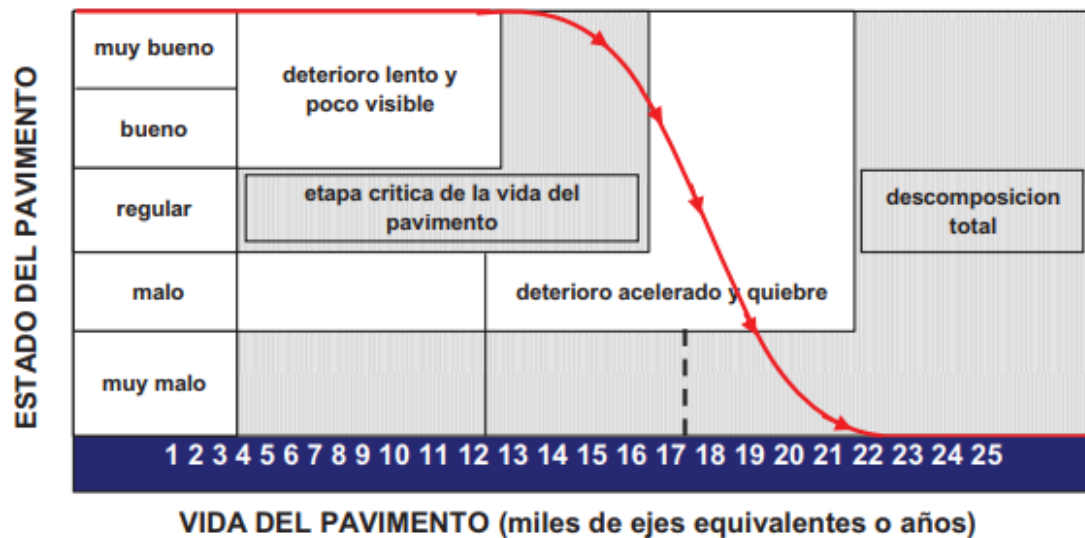


Figura 11. El PSI decrece a medida que el pavimento tiene más años de uso, el valor es muy malo en el último periodo de servicio, por MTC, 2014.

La metodología AASHTO-1993 caracteriza el servicio con dos parámetros: el índice de servicio inicial (P_i) y el índice de servicio terminal (P_t). Los rangos de valores son dados en la tabla número 08.

Tabla 8. Calificación del índice de serviciabilidad.

Índice de serviciabilidad	Calificación
---------------------------	--------------

5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Nota: Índice de serviciabilidad final de acuerdo con su calificación. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

Índice de serviciabilidad inicial (Pi)

El índice de serviciabilidad inicial es la condición en la que un pavimento posee inmediatamente después de la construcción o rehabilitación de una carretera. Un valor recomendable por la metodología de AASHTO 1993 para pavimentos rígidos es de 4.5 y para pavimentos de asfalto es de 4.2. El valor para pavimentos rígidos es más alto debido a la durabilidad o mayor periodo de vida que le caracteriza.

Índice de serviciabilidad terminal (Pt)

El índice de serviciabilidad terminal es el nivel más bajo pero aceptable que tiene el pavimento al no cumplir con su función de proporcionar confort y seguridad al usuario que transita con su vehículo por la vía. Algunos valores son dados en la siguiente tabla 09.

Tabla 9. *Índice de serviciabilidad terminal.*

Pt	Clasificación
3	Autopista
2.5	Colectores
2.25	Calle industrial
2	Estacionamientos

Nota: Índice de serviciabilidad terminal para distintas clases de carreteras. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

Tabla 10. *Índice de serviciabilidad del tráfico.*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P2}	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P3}	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P4}	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P15}	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

Nota: Índice de serviciabilidad inicial (Pi), índice de serviciabilidad final o terminal Pt y pérdida de serviciabilidad según rango del tráfico. Adaptado de “Especificaciones Técnicas para Construcción”, por MTC, 2014.

1.9.4.3 Confiabilidad

La confiabilidad en el proceso de diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección diseñada se desempeñe satisfactoriamente sobre las condiciones del tráfico y ambientales para el periodo de diseño (AASHTO, 1993).

Para definir la confiabilidad se toma en cuenta la condición del pavimento, la acumulación de carga axial y el rendimiento del pavimento. La primera hace referencia al índice de serviciabilidad presente cuyo valor va depender de la rugosidad de la superficie. La segunda toma en cuenta el número de ejes equivalentes que se han acumulado desde que inició la puesta en marcha hasta un punto del periodo de diseño. El tercero, se vincula con el índice de serviciabilidad y el número de aplicaciones de carga que resiste la sección del pavimento durante su vida útil.

La confiabilidad es usada como un factor de diseño para multiplicar la predicción del tráfico. El factor de confiabilidad depende tanto del nivel de confiabilidad (R) y de la desviación estándar (So). En las siguientes ecuaciones se mostrará el factor de confiabilidad y sus componentes:

$$W_t = F_R * w_t \quad (5)$$

$$F_R = 10^{-Z_R \times S_0} \quad (6)$$

Donde:

W_t : trafico con un factor de confiabilidad

F_R : factor de confiabilidad de diseño

Z_R : desviacion normal estandar

S_0 : desviación estándar

Tabla 11. *Confiabilidad.*

% Confiabilidad R	Desviación normal estándar Zr
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Nota: Nivel de confiabilidad acorde a su desviación normal estándar. Adaptado de "AASHTO® Guide for Design of Pavement Structures 1993", por AASHTO, 1993.

La selección de un nivel adecuado de confiabilidad para el diseño del pavimento dependerá del nivel de uso a darle al proyecto y de las consecuencias asociadas a la construcción de un pavimento de espesor más delgado al correcto. Por ello, es muy importante identificar el nivel óptimo de confiabilidad para un proyecto particular. De esta manera se debe buscar minimizar el costo total, tal como se observa en la *figura 12*.

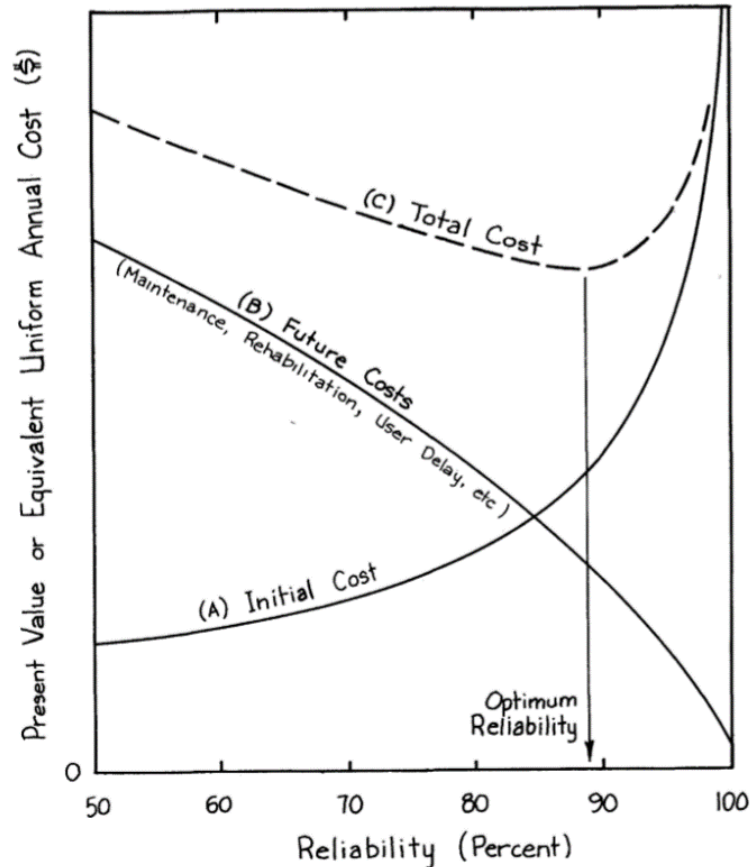


Figura 12. la curva C resulta de la suma de la curva B y curva A, siendo la curva C la que representa el costo total de elegir un determinado nivel de confiabilidad y la confiabilidad óptima se obtiene en el punto más bajo de la curva, por AASHTO, 1993.

1.9.4.4 Desviación estándar (S_o)

La desviación estándar es una medida de la incertidumbre de las mediciones realizadas. Su valor dependerá de las condiciones específicas del rendimiento del modelo de predicción que refleje mejor capacidad de proyectar el tráfico a través del número de ESALs.

La AASHTO-1993, recomienda el valor de 0.34 de desviación estándar cuando no se considera la varianza del tráfico futuro proyectado. En caso contrario considera 0.39 de desviación estándar.

El valor por asumir de S_o en el diseño representará la mejor capacidad de proyectar el tráfico futuro. Por ello, si se hace un recuento del tráfico y se concluye que existe mayor capacidad de proyectar el tráfico, se usará una menor desviación. Los valores de la desviación estándar para pavimentos rígidos se encuentran entre 0.30-0.40 y para pavimentos flexibles se encuentra entre 0.40-0.50.

1.9.4.5. Módulo de reacción de la subrasante (k)

El módulo de reacción de la subrasante es la resistencia que ofrece el suelo por sus características inherentes. Esta se expresa a través del módulo efectivo de la reacción de la subrasante (k), el cual es utilizado en el diseño del pavimento rígido.

El valor k es directamente proporcional al módulo resiliente del suelo de la carretera, la duración de la temporada y modulo estacional. El valor será usado como una entrada para la estimación de un valor de k de diseño efectivo.

Existe la posibilidad que la subbase experimente pérdida de soporte (LS) debido a su erosión o a movimientos diferenciales del suelo vertical. Esta pérdida se refleja en una disminución del valor k efectivo, ya que debajo de la losa se pueden desarrollar vacíos, aunque el suelo no sea erosionable. En caso de no considerarse este efecto podría reducir la vida útil del pavimento, es decir cabe la posibilidad de que falle la estructura del pavimento antes de lo previsto.

La elección del valor apropiado de pérdida de soporte dependerá de la experiencia y el criterio del profesional encargado del diseño. La AASHTO-1993, propone valores en el rango de 2 a 3 ante situaciones severas, por ejemplo, en la presencia de heladas y arcillas activas expansivas.

En la tabla 12 se muestran los rangos típicos de los factores de pérdida de soporte según el tipo de material, los cuales son las recomendaciones de la metodología AASHTO 1993.

Tabla 12. Rangos típicos de factores de pérdida de soporte.

Tipo de material	Pérdida de soporte (LS)
Base granular tratada con cemento	0 <> 1
E=1000000-2000000 psi	
Mezcla tratada con cemento	0 <> 1
E=500000-1000000 psi	
Base tratada con cemento	0 <> 1
E=350000-1000000 psi	
Mezclas bituminosas estabilizadas	0 <> 1
E=400000-300000 psi	
Estabilizado con cal	1 <> 3
E=20000-70000 psi	
Material granular sin consolidar	1 <> 3
E=15000-45000 psi	
Subrasante de material natural	2 <> 3
E=3000-40000 psi	

Nota: El E de la tabla se refiere al símbolo general del módulo de resiliencia del material. Adaptado de "AASHTO® Guide for Design of Pavement Structures 1993", por AASHTO, 1993.

1.9.4.6 Resistencia a la flexión del concreto (MR)

La resistencia a la flexión del concreto es un factor considerado dentro del diseño del pavimento rígido. Este se mide a través del parámetro: módulo de rotura del concreto.

La losa de concreto del pavimento trabaja a flexión debido a la gran rigidez que posee comparado con la superficie del suelo sobre el que se apoya. Entonces, la forma en la que trabaja la losa se puede idealizar como si fuese una viga simplemente apoyada siendo el soporte, el suelo y las cargas (las cargas dinámicas que son producto del tráfico).

Es necesario determinar la resistencia del concreto a través de vigas que serán ensayadas a los 28 días aplicando cargas en los tercios y forzando la falla en el tercio central de la viga. Se realiza la correlación de estos resultados con los datos obtenidos del ensayo a compresión de las probetas cilíndricas para determinar la resistencia mínima a la flexión como las que indica en tabla 13.

Tabla 13. Resistencia mínima a la flexión del concreto.

Rango del tráfico expresada en EE	Resistencia mínima a la flexión del concreto (MR)	Resistencia mínima equivalente a la compresión del concreto (f'c)	Unidad
≤ 5000000 EE	40	280	kg/cm ²
>5000000 EE			
≤ 15000000 EE	42	300	kg/cm ²
>15000000EE	45	350	kg/cm ²

Nota: Valores recomendados de resistencia del concreto según el rango de tráfico. Adoptado de "AASHTO® Guide for Design of Pavement Structures 1993", por AASHTO, 1993.

1.9.4.7 Módulo elástico del concreto (Ec)

El módulo elástico del concreto es una propiedad fundamental en ingeniería de cualquier material de pavimento. Este es un parámetro que representa la rigidez de la losa de concreto hidráulico. Dentro de la metodología se la denota con E el cual hace referencia al comportamiento de tensión-deformación del material ante las cargas dinámicas del tráfico. Esto hace posible que la superficie del pavimento tenga resistencia ante las posibles deflexiones que se presentan.

En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

La AASHTO 1993 indica que el módulo elástico del concreto (Ec) puede ser estimado usando una correlación como muestra la siguiente ecuación.

$$E = 57000 * f'c^{0.5} \text{ (} f'c \text{ en PSI)} \quad (7)$$

1.9.4.8 Módulo resiliente del suelo (Mr)

El módulo resiliente del suelo es conocido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable (Garnica, Gómez & Sesma, 2002). Las cargas repetidas del tráfico después de un número de ciclos de carga hace que el suelo se deforme y vuelva a su estado original, es decir, que entre en un estado conocido como estado resiliente. El suelo experimenta un comportamiento elástico y un módulo aproximadamente constante. Este concepto se aplica a suelos granulares y finos.

La AASHTO (1993) propone distintas notaciones para el módulo resiliente para los suelos. Por ejemplo, el módulo resiliente de la subbase como Esb; el módulo resiliente de la base como Ebs y el módulo resiliente de la subrasante como Mr. Sin embargo, todos se calculan a través de una misma fórmula como la siguiente:

$$M_r = 2555 \times \text{CBR}^{0.64} \text{ (psi)} \quad (8)$$

Dónde:

CBR: índice de soporte de california

1.9.4.9 Drenaje (Cd)

El nivel de drenaje esperado en un proyecto de pavimento rígido se trata a través del uso de un coeficiente de drenaje (Cd). Este valor dependerá de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje existentes del lugar.

Es muy importante tener en cuenta la humedad que se puede presentar en el pavimento ya que es muy frecuente en las temporadas del año. Esto trae una serie de problemas que impactan en la vida útil de servicio de la estructura. Las principales consecuencias se presentan de la siguiente manera:

- Erosión del suelo por migración de partículas.
- Ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada.
- Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad.
- Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural.

La metodología AASHTO 1993 incorpora el coeficiente de drenaje a ser considerado en el diseño.

Se busca mantener el agua libre o humedad por un determinado tiempo de las capas intermedias. Este drenaje dependerá del tipo de diseño, permeabilidad de las capas de subbase, tipo de subrasante, condiciones climáticas, grado de precipitación, entre otras más.

El coeficiente de drenaje varía entre 0.70 a 1.25 y un alto valor implica un buen drenaje y favorece a la estructura reduciendo el espesor del concreto a utilizar.

Tabla 14. *Coeficiente de drenaje.*

Calidad de drenaje	% Del tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1%<>5%	5%<>25%	>25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00- 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Nota: Valores de coeficiente de drenaje de acuerdo con la calidad del drenaje y al porcentaje de lluvias anuales. Adoptado de "AASHTO® Guide for Design of Pavement Structures 1993", por AASHTO, 1993.

1.9.4.10 Transferencia de carga

El nivel de transferencia de carga se mide a través de un coeficiente de transferencia de carga (J). Este es usado en el diseño del pavimento rígido como un factor que provee a la estructura una capacidad para transferir cargas a través de discontinuidades, como juntas o grietas.

El valor J recomendado aumenta a medida que aumentan las cargas del tráfico, ya que la transferencia de carga agregada disminuye con un mayor número de repeticiones de carga.

La guía de la AASHTO 1993 recomienda usar valores altos de J con valores bajos de módulo de reacción efectivo de la subrasante (k), con coeficientes térmicos altos y con grandes variaciones de temperatura.

Es importante el uso correcto de pasadores (dowells) para transmitir las cargas dinámicas de tráfico de una manera eficiente de una losa a otra para minimizar las deflexiones en las juntas, principalmente. Estas deflexiones pueden darse de forma excesiva produciendo bombeo en la subbase y posteriormente la rotura de la losa de concreto.

Para lograr que el pavimento se comporte satisfactoriamente, el tamaño y espaciado del uso de los pasadores (dowells) debe ser el adecuado. Esto dependerá de la experiencia del diseñador para tener una elección acertada.

La AASHTO 1993, propone como regla general usar diámetros de los pasadores iguales al espesor de la losa multiplicado por 1/8 pulgadas y el espaciado de los pasadores entre 12 pulgadas y 18 pulgadas.

Tabla 15. Coeficiente de transferencia de carga.

Berma	Asfalto		Concreto	
Dispositivos de transmisión de cargas	Si	No	Si	No
Tipo de Pavimento				
Simple con junta y reforzada con junta	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2

Reforzado continuo (CRCP)	2.9-3.2	-	2.3-.29	-
---------------------------	---------	---	---------	---

Nota: Coeficiente de transferencia de carga (j) recomendada para varios tipos de pavimento y condiciones de diseño. Adoptado de "AASHTO® Guide for Design of Pavement Structures 1993", por AASHTO, 1993.

En la *figura 13* se observa la importancia y el comportamiento de los pasadores en las juntas de los pavimentos rígidos.

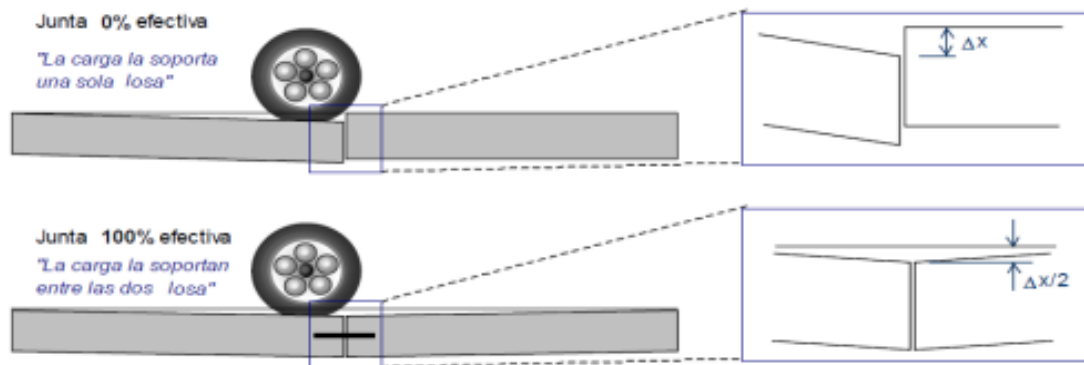


Figura 13. Comportamiento de una junta entre losas de concreto, por Lazcano, 2015.

1.9.5 Nomogramas de diseño

Según la metodología AASHTO 1993 se utilizan una serie de monogramas de diseño para resolver la ecuación fundamental de los pavimentos rígidos.

Para encontrar el módulo de reacción se utiliza el monograma mostrado en la *figura 14*. Para ello, como primer paso es asumir un espesor de acuerdo al criterio y experiencia dado las características del suelo de la vía. Con el espesor dado se traza una línea recta hasta encontrar el módulo elástico de la subbase y el módulo resiliente de la subrasante, luego se trazan líneas perpendiculares hasta encontrar el módulo de reacción de la subrasante.

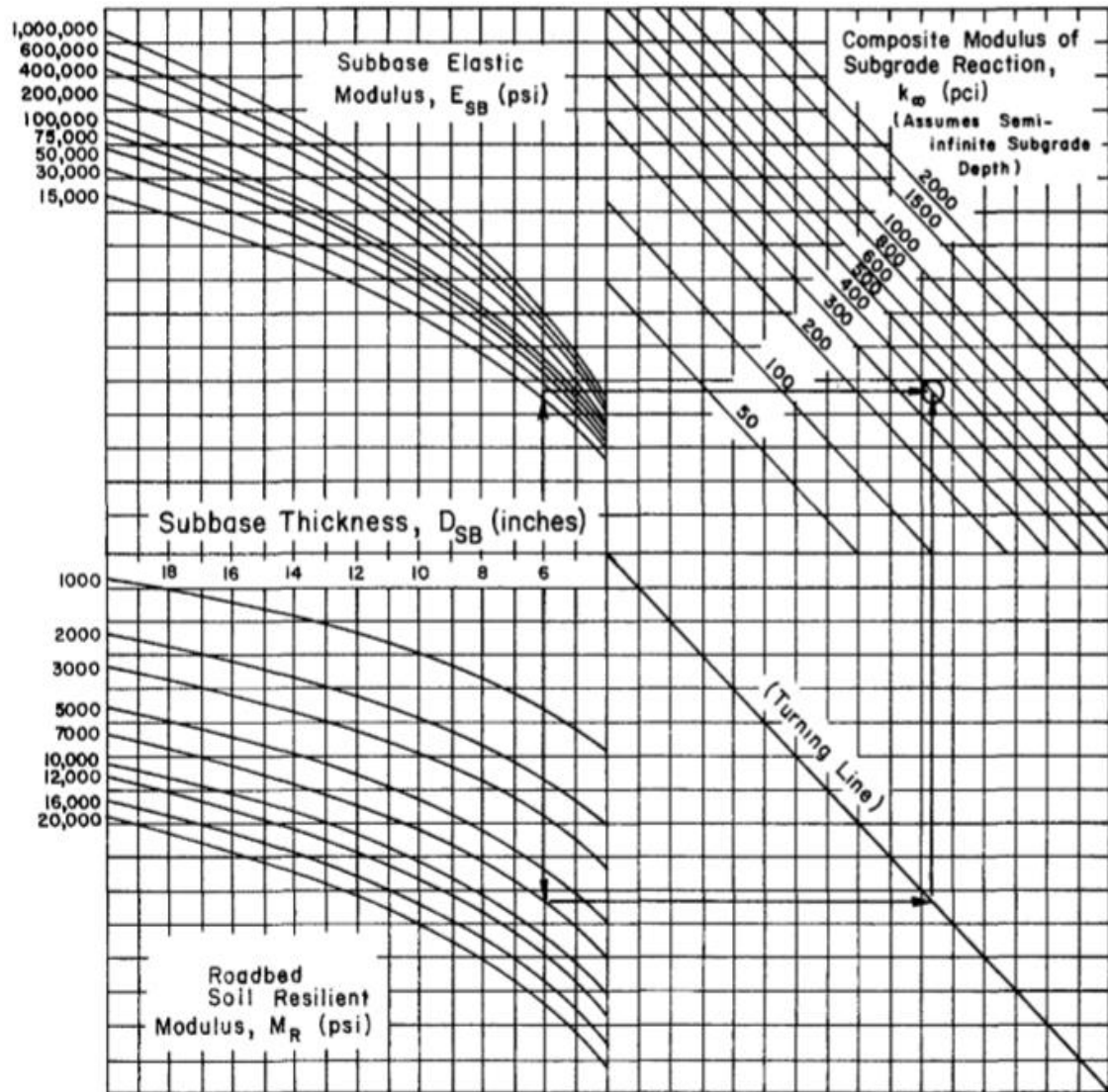


Figura 14. Estimación del módulo de reacción de la subrasante asumiendo un espesor de subrasante, por AASHTO, 1993.

Una vez encontrada el módulo de reacción de la subrasante se procede a corregir por la pérdida potencial de soporte. El valor que se obtiene luego de esa corrección es la que ingresa para proceder al diseño del pavimento rígido. La figura 15 muestra al nomograma para obtener el módulo de reacción corregido.

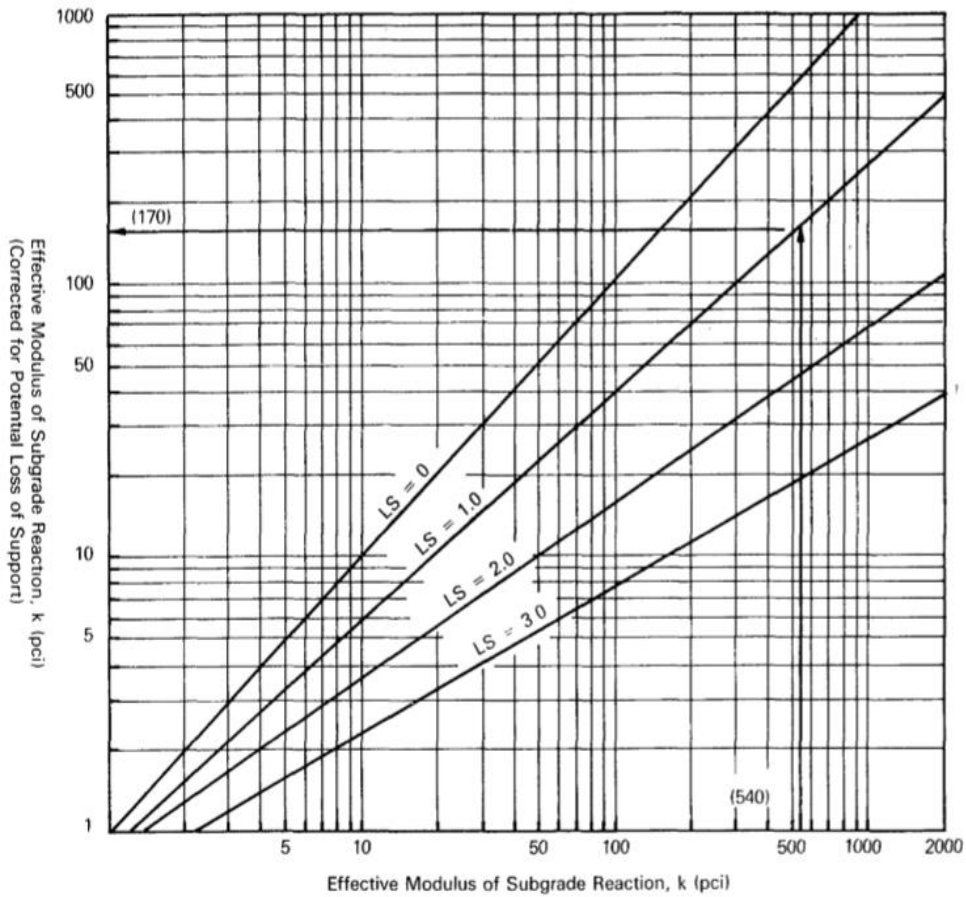


Figura 15. Reajuste del modulo de reaccion efectivo de la subsante de acuerdo a la perdida de soporte, por AASHTO, 1993.

En la figura 16 y la figura 17 se muestran los nomogramas de diseño para pavimentos rígidos propuesta por la metodología AASHTO en su versión de 1993.

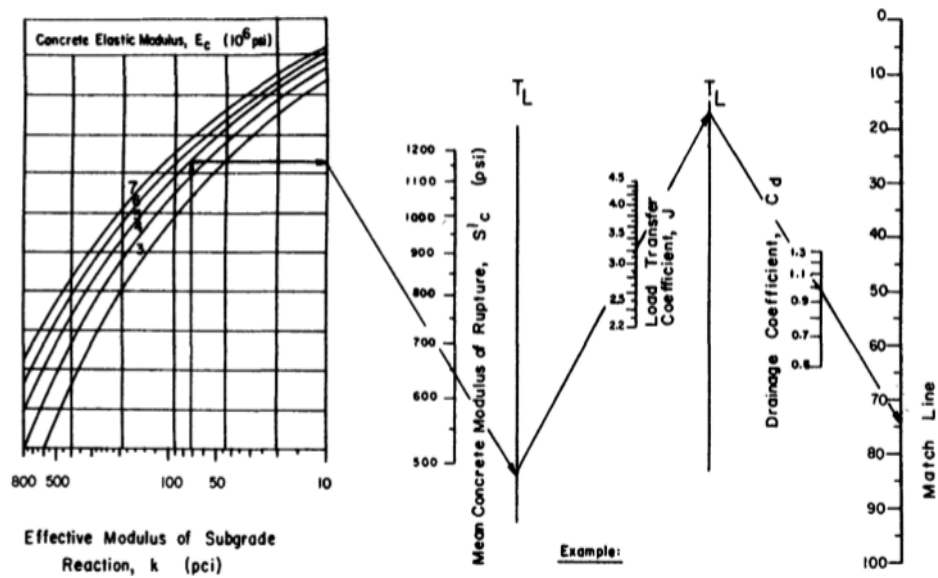


Figura 16. Diseño de pavimento rígido en base al uso de valores medios para cada variable de entrada, por AASHTO, 1993.

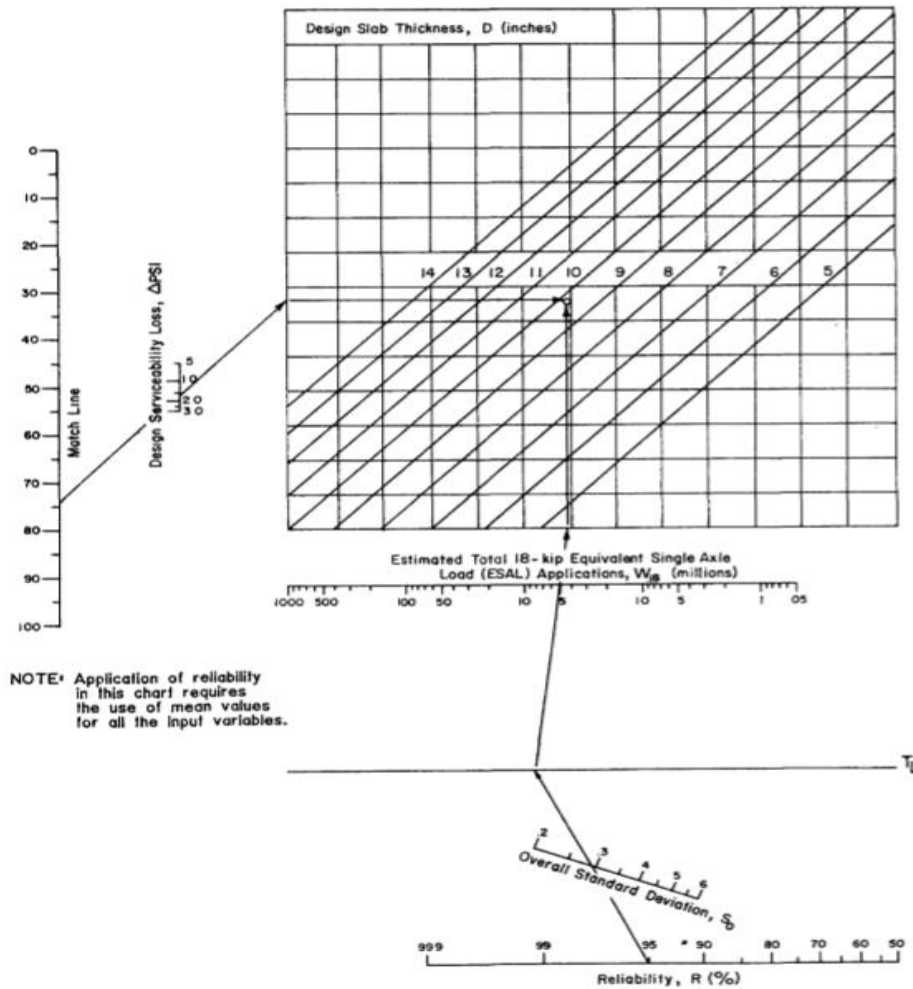


Figura 17. Diseño de pavimento rígido en base al uso de valores medios para cada variable de entrada, por AASHTO, 1993.

1.10 Análisis de otras versiones y posibilidades de aplicación

En esta sección se desarrolla una breve descripción de los puntos clave de las versiones más recientes de la metodología de diseño emitida por la Asociación de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte por sus siglas en inglés (AASHTO) a lo largo de los últimos años .

1.10.1 Método AASHTO 2002

La versión de la guía de diseño AASHTO 2002 se desarrolló con la finalidad de proveer a la comunidad vial una herramienta adecuada para el diseño de la estructura de pavimentos, basada en principios mecanicista-empírica. Las versiones anteriores surgieron a base de metodologías empíricas, es decir, por medio de experiencias ingenieriles, observaciones entre la relación y la realización de pavimentos para establecer conexiones ente las variables de diseño y su funcionamiento.

La versión 2002 adiciona la metodología mecanicista que está basado en la propiedad de los materiales y cómo estas propiedades se relacionan con la realización del pavimento, es decir es una aproximación científica en el que se confía en el comportamiento estructural mecánico al efectuar las cargas a la estructura. La metodología mecanicista-empírica permite evaluar las consecuencias en el desempeño del pavimento a futuro como producto de nuevas condiciones

de carga, incluye los efectos por envejecimiento, las respuestas a las cargas se determinan a través de modelos matemáticos, los deterioros se asocian a la respuesta crítica del pavimento, considera directamente el drenaje y la erosión de la subbase, incluye futuros avances y conocimientos que puedan ser implementados y desarrollados.

La guía de diseño AASHTO 2002 fue desarrollada y publicada en Estados Unidos. Esta guía está a base de las características de los materiales contribuyentes, condiciones climáticas, cargas de tránsito, el sistema administrativo del pavimento donde se incluye el presupuesto, políticas de mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción y la priorización de inversiones exclusivos para la realidad de dicho país. Por lo que no se puede aplicar, así como se encuentra en los demás países dado que está cumple para condiciones mencionadas para este país más no para otras realidades (Leiva, 2012).

1.10.2 Método AASHTO 2008

Las versiones de AASHTO desde 1960 hasta 1993 estaban basados en ecuaciones empíricas producto del desarrollo de pruebas realizadas en la AASHO ROAD TEST en 1950. Hoy existe la última guía de diseño que tiene un enfoque mecanicista empírica conocida como AASHTO 2008. Esta tiene un soporte técnico validado por un gran número de datos de rendimiento de pruebas realizadas en carreteras representando un enorme cambio en la práctica actual de la comunidad ingenieril. La guía de diseño de pavimentos empírica mecanicista (MEPDG) es usado actualmente en los Estados Unidos para el diseño de pavimentos flexibles tradicionales e innovadores y para pavimentos rígidos, tanto nuevos como para rehabilitación.

La MEPDG es un procedimiento iterativo en donde los resultados del diseño (outputs) no son espesores de capa sino valores de rugosidad y esfuerzos generados en la estructura del pavimento. Ese proceso termina en un diseño factible hasta que los criterios de rendimiento predichos hayan cumplido. Para ello, el diseño contempla la predicción de indicadores de rendimiento (esfuerzos y deflexiones) para un nivel de confiabilidad y provee un vínculo directo entre los materiales, diseño estructural, procedimiento constructivo, clima, tráfico y sistemas de gestión del pavimento durante la vida útil del proyecto. Estos últimos mencionados son parte de todos los inputs considerados en la metodología siendo estos más de 100. Así los inputs determinados son ingresados a un software potente (DARWin-ME) que calcula los cambios generados en las propiedades de las capas, el daño, los esfuerzos principales y el IRI para el periodo de diseño. De esta manera se obtienen los outputs que son valores de IRI y esfuerzos que permiten saber si diseño será el adecuado de acuerdo a las condiciones del lugar y a los criterios de falla para un nivel de confiabilidad dado.

Es importante resaltar que usar la AASHTO 2008 permite obtener un diseño racional u óptimo de las capas del pavimento, debido a que su enfoque analítico científico proporciona una gran confiabilidad. Sin embargo, esta metodología no proporciona la orientación suficiente en el desarrollo de factores de calibración local o regional para predecir los valores de rugosidad y esfuerzos a generarse en la estructura del pavimento. Por ejemplo, en algunos lugares no existen datos de estaciones meteorológicas para poder integrar el efecto del clima sobre las capas del pavimento de acuerdo al modelo climático integrado (ICM). Modelo que es una herramienta poderosa usada en la MEPDG que permite modelar la temperatura y humedad por hora dentro de las capas del pavimento y en la fundación teniendo como insumos los datos del clima en forma de temperatura, precipitación, velocidad del viento, cubiertas de viento y humedad relativa (AASHTO, 2008).

El uso de la herramienta de análisis expuesta líneas atrás es un gran avance en el diseño de pavimentos, sin embargo, para su implementación eficaz en el Perú se necesitan datos de inputs estrictos relacionados a los obtenidos en las estaciones meteorológicas. Por ello, Si se desea usar de forma extensiva la metodología es necesario la implantación de una sistematización rigurosa de la información del clima en coordinación con Senamhi y el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este capítulo se puntualiza la metodología de investigación que se aplica en la presente tesis, así mismo se identifica la población y la muestra.

2.1 Material

Como material se tiene la población y la muestra.

2.1.1 Población

La ingeniería de pavimentos rígidos para subrasantes arenas limosas susceptibles a erosión en condiciones de entorno climático periódico y extremo.

2.1.2 Muestra

El proyecto de la Vía de Evitamiento de Bajo Piura.

2.2 Método

La metodología a aplicar en la presente tesis parte de identificar el tipo de investigación, definir el nivel de investigación, establecer el diseño de investigación, determinar las variables de estudio y operacionalización, puntualizar las técnicas e instrumentos de recolección de datos y precisar las técnicas de procedimiento y análisis de datos.

2.2.1 Tipo de investigación

Respecto al tipo de investigación se tiene una investigación aplicada y una investigación de enfoque cuantitativo.

2.2.1.1 Aplicada

El Proyecto de la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura será abordado por un tipo de investigación aplicada, que buscará lograr los objetivos de la presente tesis, usando conocimiento completamente teórico relacionado a los suelos y pavimentos. Estos son, principalmente, la teoría de pavimentos, ensayos de caracterización geotécnica y las metodologías de diseño de pavimentos rígidos. De comprobarse la hipótesis planteada en la investigación, se podrá ayudar a los ingenieros que se presenten ante un caso particular de suelos arenas limosas en el diseño de pavimentos rígidos. Esto tendrá un cuantioso impacto al momento de asumir el valor adecuado de CBR como input en el diseño. Por lo tanto, se usará el conocimiento en la práctica en provecho de la comunidad ingenieril.

2.2.1.2 Enfoque cuantitativo

El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo para la recolección de datos, donde estos serán obtenidos en el Bajo Piura en un tramo de 26 km. Las calicatas a realizarse serán tomadas cada 2km en el lado derecho e izquierda de forma alternada en la futura carretera. Estos servirán de insumos para realizar la medición numérica en el laboratorio, principalmente, en la clasificación del suelo (granulometría y límites de consistencia), en el ensayo de Proctor modificado y en el ensayo de Soporte de California. Con lo obtenido, se podrá realizar un

análisis numérico para probar la hipótesis planteada en la presente tesis. Para finalizar el proyecto, se logrará experimentar el impacto que tendrá en términos técnicos y económicos al considerar una de las opciones en el diseño del pavimento rígido.

2.2.2 Nivel de investigación

Los estudios realizados son del tipo Correlacional, que tienen por finalidad conocer la relación existente entre las variables independientes: la capacidad de soporte de la subrasante arena limosa al 95% MDS y la capacidad de soporte de la subrasante arena limosa a la densidad natural aplicado en el diseño de pavimento rígido del Bajo Piura. Para ello, se tienen que medir, cuantificar, analizar y establecer vinculaciones entre cada una de las variables principales. Con ello, se busca saber el comportamiento de las variables al conocer la actuación de las otras variantes vinculadas. El fin de este tipo de estudios es predecir si el patrón sistemático es positivo o negativo en términos técnicos y económicos al considerar una de las variables.

2.2.3 Diseño de la investigación

Se cuenta con dos diseños de investigación, experimental y transversal, que se detallarán líneas abajo.

2.2.3.1 Experimental

En lo que respecta al diseño experimental se contará con datos actuales, mediante la realización de ensayos en campo, calicatas y densidad de campo con el cono de arena, y para la comprobación de la resistencia al cortante de las capas del pavimento en el proyecto de la carretera Vía Evitamiento de la ciudad de Piura. Con estos se podrá evaluar si cumplen con las especificaciones técnicas necesarias para el proyecto. En caso no cumplan ver la manera de estabilizar los suelos mediante sistemas de estabilización.

2.2.3.2 Transversal

Se utilizarán datos de proyectos pasados y experiencias en las que se realizaron estudios previos o de igual similitud para con la densidad de los suelos limo arcillosos y el diseño del pavimento rígido aplicando la metodología AASHTO-1993 para tener así una base sobre la cual se aplicará la investigación. En este sentido, se tendrán datos confiables con los que se formularán las hipótesis y posibles soluciones al problema.

2.2.4 Variables de estudio y operacionalización

Para la presente investigación se tiene como variables independientes; capacidad de soporte de la subrasante arena limosa al 95%MDS y la capacidad de soporte de la subrasante arena limosa a densidad natural. Analizando de manera cuantitativa las variables se obtendrá el resultado de la variable dependiente que es el diseño de pavimento rígido aplicando la metodología AASHTO-1993 para el proyecto Vía de Evitamiento de Bajo Piura.

2.2.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para el buen desarrollo de la investigación es de vital importancia la etapa de recopilación documental. Para ello se tiene que realizar revisiones bibliográficas en torno a los antecedentes de la investigación como, por ejemplo, las investigaciones realizadas por Ordoñez y Minaya presentadas en el congreso ibero americano de asfalto con cuyo título "C.B.R. de subrasantes arenosas y limo-arcillosas". También, buscar información referente a

los temas relacionados al marco teórico como la metodología de diseño propuestas por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes en la versión 1993 y de manera complementaria las versiones recientes. Además, se tiene que investigar los procesos constructivos que involucra el pavimento rígido, las variables implicadas para el diseño de pavimentos rígidos, normas nacionales e internacionales vigentes, entre otras.

Para estructurar y documentar el análisis de datos es necesario buscar proyectos ejecutados en áreas aledañas a la ubicación del proyecto para tener una referencia del comportamiento real que puede presentar la vía a lo largo del ciclo de su vida útil. A partir de ello investigar las características geomorfológicas, realizar exploración del terreno mediante calicatas, ensayos en campo y procesar el material obtenido mediante ensayos de laboratorio.

2.2.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se usa la técnica de análisis de contenido e interpretación que permite evaluar de manera objetiva y cuantitativa los datos obtenidos. Para ello, se necesita ordenar los datos de laboratorio y de campo obtenido del proyecto Vía de Evitamiento de bajo Piura. Luego organizar los resultados de los ensayos de cono de arena, clasificación del suelo, Proctor Modificado, límites de consistencias y CBR. Después, proceder a diseñar el pavimento rígido para la Vía de Evitamiento de Bajo Piura a partir de los resultados de los ensayos bajo perspectivas de diseño que es con la influencia de la densidad natural y la densidad al 95% de la MDS de laboratorio. Finalmente, se procede a interpretar los resultados para concluir la hipótesis planteada.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo se describe las características del proyecto en el cual se aplica la presente investigación.

3.1 Localización

El proyecto se localiza entre la Zona Norte de Piura y la Zona del Bajo Piura. Este será una Vía de Evitamiento que descongestionará el tráfico en la Zona del Bajo Piura (Vice y Piura) y favorecerá el comercio entre Paita y Bayovar.

El alcance del proyecto es una vía de circunvalación alterna a la Panamericana Norte de 26 km de longitud, y está conformado por la Ruta Vecinal PI-737 (7.43 km) y Ruta Vecinal PI-735 (18.57 km). El tramo de intervención es la ruta Vice-Piura donde, el cual inicia en el km 111+400, PE-1NK y concluye en el km 7+100, PE-02. La nueva Vía será una carretera de dos carriles (uno de ida y otro de vuelta) para la zona denominada Bajo Piura. En la *figura 18* se muestra la delimitación del proyecto en el mapa de Piura.

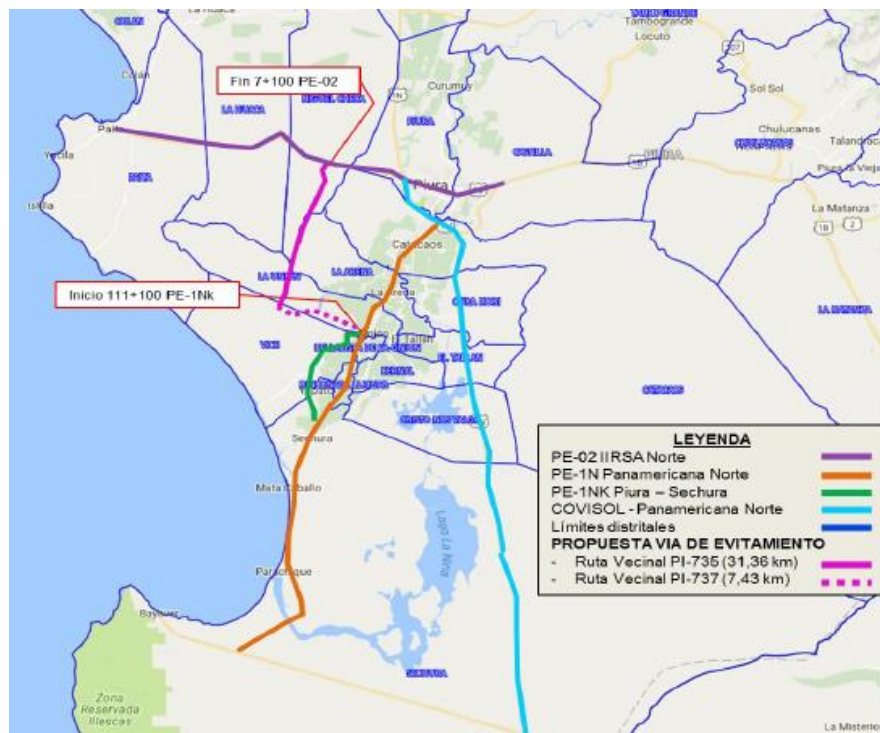


Figura 18. Ubicación y delimitación del proyecto, por fuente propia, 2018.

3.2 Topografía

La topografía de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura que es objeto de estudio se puede observar en la *figura 19*.

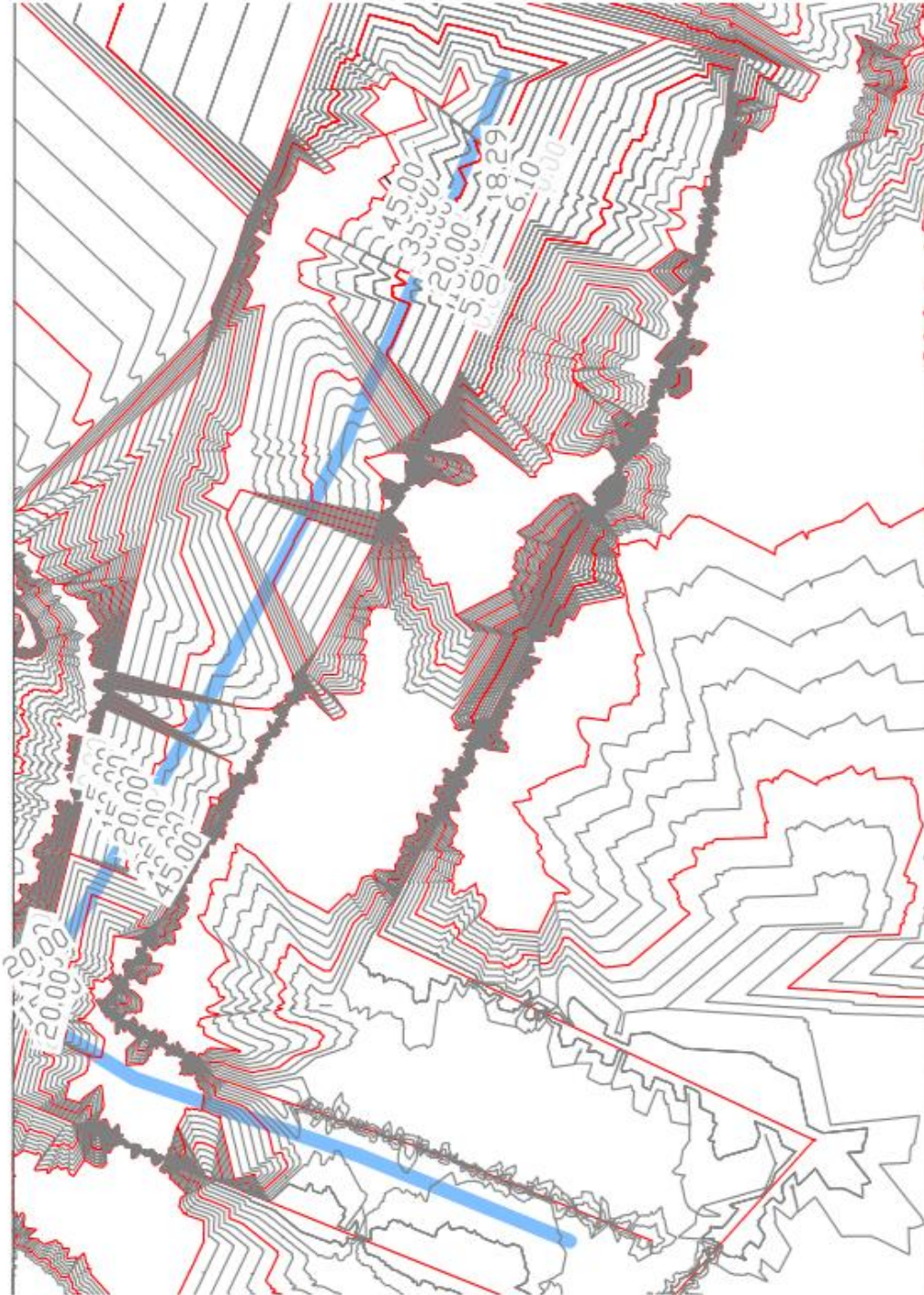


Figura 19. Plano topográfico entre La Unión y Miguel Checa, las cuotas se pueden observar a mayor detalle en el Anexo 11, por fuente propia, 2020.

3.3 Geología general

En la región Piura se ha reconocido rocas con edades que van desde el macizo precámbrico hasta el reciente. Las rocas más antiguas corresponden a dos bloques levantados que limitan cuencas sedimentarias. Estos son el Macizo de los Amotapes y el macizo de Olmos. Para entender mejor las unidades estratigráficas geológicas del área de estudio, se describirán por cuencas los siguientes: Talara (Cenozoico), Lancones (Cretácico), Sechura (Cenozoico),

Progreso (Cenozoico) y Oriental (Rodríguez & Huanacuni, 2011). En la *figura 20* se puede visualizar en un mapa lo mencionado anteriormente.

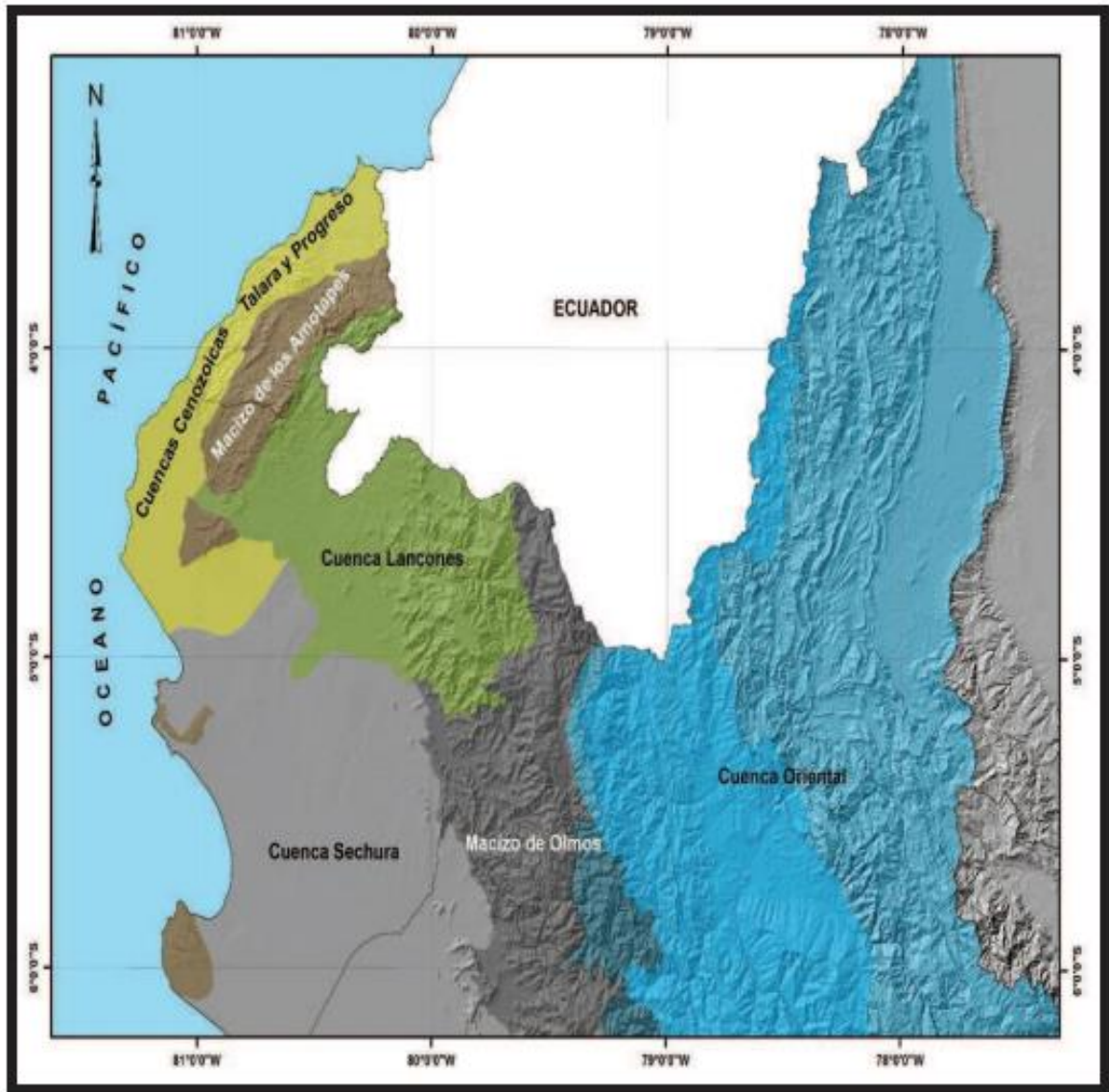


Figura 20. Cuenca Sedimentaria del Noroeste Peruano, por Rodríguez & Huanacuni, 2011.

3.4 Sismicidad

Teniendo en cuenta la ubicación y la norma sismo resistente E030 del Perú la zona en investigación del Bajo Piura posee los siguientes parámetros sísmicos que se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Resumen de Parámetros Sismo Resistentes.

Tipo de material	Parámetros de diseño sismo resistente				
	Factor de zona (Z)	Z	Perfil tipo de suelo	T (p)	s
SM	4	0,45	S3	1,0	1,10

Nota: Parámetros de diseño sismo resistente por tipo de material. Adaptado de la “Norma Sismo Resistente E030”, por RNE, 2016.

3.5 Aspecto geomorfológico

La región Piura tiene una geografía diversa que es producto de agentes estructurales y tectónicos que surgen por la acción erosiva aluvial. Por ello, presenta las siguientes tres unidades geomorfológicas:

3.5.1 Estribaciones Andinas

Está constituida por los cerros de Peña Blanca, Rincón Seco, Totoral, El Faique, Huabal, Piedra Liza y El Carrizo. Las estribaciones andinas se caracterizan por presentar elevaciones y colinas erosionables, así como colinas continuas y discontinuas. Aquí se presentan procesos de morfo dinámica como el escurrimiento difuso, la disección de laderas y el desprendimiento de rocas en taludes inestables debido al diaclasamiento de la roca debido al agudo intemperismo (Rodríguez & Huanacuni, 2011).

3.5.2 Pampa costanera

Está constituida por una llanura costera emergida con escasa vegetación, debido a la disminución de la precipitación y a las altas temperaturas propias de un clima ecuatorial. Las planicies son atravesadas por arenas transportadas por el viento desde el sur. Aquellas explanadas tienen inclinaciones muy pequeñas llegando hasta una cota máxima de 29 m.s.n.m. (Rodríguez & Huanacuni, 2011).

El suelo predominante en la provincia de Piura es bastante arenoso diferenciándose de los terrenos irrigados por el río Piura. También, se encuentran, en las zonas urbanas de la ciudad, los suelos expansivos que contienen arcillas muy plásticas, que se contraen cuando se secan y se expanden cuando se humedecen.

Existen zonas en la ciudad de Piura en el cual abundan los suelos del tipo arena limosa convirtiéndose en una zona latente de sufrir la licuefacción de arenas. Asimismo, se pueden presentar los procesos de hinchamiento y contracción de suelos que son imperceptibles en sectores donde se presentan suelos del tipo arcillosos (CL).

3.5.3 Valle amplio e intermedio

Está definido por la cuenca del río Piura y sus afluentes y por río Chipillico, en la cuenca del Chira. Los cursos de agua son sinuosos debido a la baja pendiente. Así mismo poseen suelos fértiles con presencia de arena. El valle, en la zona suroeste, se encuentra atravesado por una serie de canales de irrigación (Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica de Piura, 2007).

Las aguas del río Chipillico son embalsadas para formar la represa de San Lorenzo y ampliar la frontera agrícola en dicha zona. Su embalse ha posibilitado el desarrollo de fondo de valle del río Chipillico.

Este valle es surcado por quebradas que se activan únicamente en periodos lluviosos excepcionales tal como el Fenómeno de El Niño. Muchos de estos cauces intermitentes están orientados hacia los fondos de valle, pero en el sector oriental, centro oriental y occidental,

estas quebradas no tienen un destino definido, formando pequeñas cuencas que terminan en el desierto.

3.6 Aspecto climático

La región Piura se caracteriza por tener un clima tropical y seco, con una temperatura anual promedio de 24°C, que en el verano supera los 35°C, pudiendo llegar hasta 40°C cuando se presenta el Fenómeno El Niño extraordinario. La época de lluvias intensas ocurre entre enero y marzo. En las zonas andinas, el clima presenta noches frías y mañanas templadas (Banco Central de Reserva Sucursal Piura (BCRP), 2016).

Las precipitaciones acumuladas en el primer trimestre (diciembre, enero y febrero) suelen variar entre 33 y 500 mm. Durante el segundo trimestre (marzo, abril y mayo) se registran las lluvias más intensas del año las cuales oscilan entre 73 y 700 mm. En el tercer trimestre (junio, julio y agosto) se presenta ausentismo de lluvia en la región alcanzando en las zonas alto andinas valores por debajo de los 200 mm. En el cuarto trimestre (septiembre, octubre y noviembre) continúa la ausencia de lluvia en la zona costera, con un valor acumulado de 206 mm en las zonas alto andinas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 2016).

La *figura 21* corresponde a las precipitaciones promedios diarias ocurridas durante el año 2017. Como se puede notar en el primer trimestre los valores son muy altos y es debido al fenómeno del niño, ya que en esta zona del Perú este tipo de fenómenos naturales ocurre periódicamente.

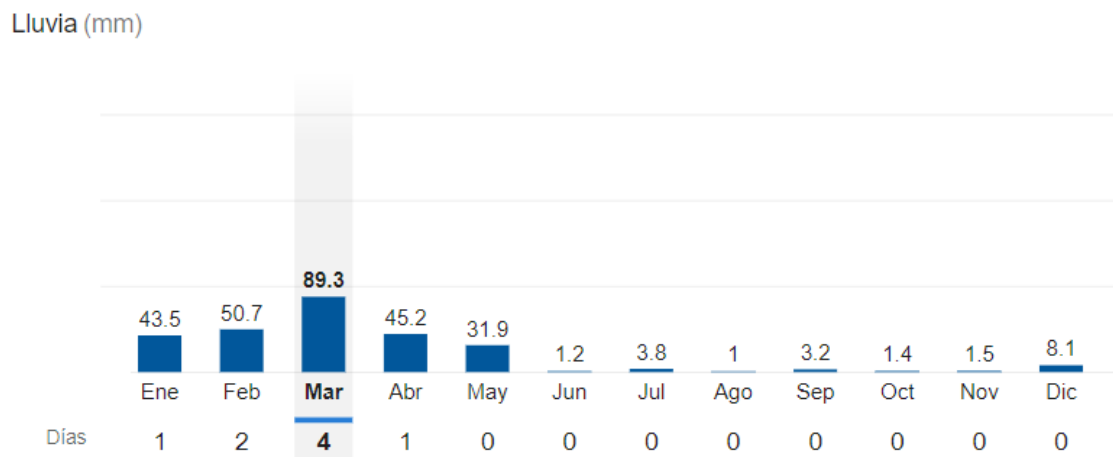


Figura 21. Promedio de datos meteorológicos de la Ciudad de Piura, por SENAMHI, 2017.

4. FUNDAMENTO DEL TIPO DE CONTRATO

El presente capítulo presenta los fundamentos de los componentes contractuales con el que está sujeto el proyecto.

4.1 Modalidad Obras por Impuesto

La modalidad de Obras por Impuesto es una oportunidad para que el sector público y el sector privado se junten en el marco de la responsabilidad empresarial y así intentar reducir la brecha de infraestructuras existentes en el país. Mediante esta modalidad las empresas privadas con los gobiernos subnacionales y con las universidades públicas firman un convenio para realizar un proyecto, en la que las empresas privadas adelantan el pago de su impuesto a la renta para financiar y ejecutar directamente, y así agilizar y reducir los procesos de la gestión de los proyectos de inversión pública.

4.1.1 Marco legal

La modalidad de obras por impuestos inicia a base de dos proyectos de ley presentados en el año 2007. El proyecto de Ley 1398/2006-CR, que fue presentado por el grupo de la Unidad Nacional con la finalidad de impulsar la inversión pública regional y local con la colaboración del sector privado en convenio con las autoridades. El proyecto de Ley 1572/2007-PE, que fue presentado por el Poder Ejecutivo con la finalidad de promover la inversión mediante la suscripción de convenios de cooperación con empresas privadas bajo la modalidad Construye y Transfiere de acuerdo a la normativa del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP). Además, el Ministerio de Economía y Finanzas tenía que emitir Certificados Construye y Transfiere – Tesoro Público (CCYT) con el propósito de regularizar los impuestos a la renta de tercera categoría por parte del privado. El dictamen de estos proyectos fue analizado y emitido por la Comisión de Banca, Finanzas e Inteligencia financiera del Congreso de la República.

En el año 2008 entra en vigencia la Ley N° 29230, Ley que impulsa la inversión regional y local con participación del sector privado, mediante la suscripción de convenios con los gobiernos regionales y locales.

La *figura 22* muestra la evolución normativa de obras por impuesto, desde la Ley N° 29230 desde que entró en vigencia hasta la última modificación con el Decreto Supremo N° 036-2017-EF.

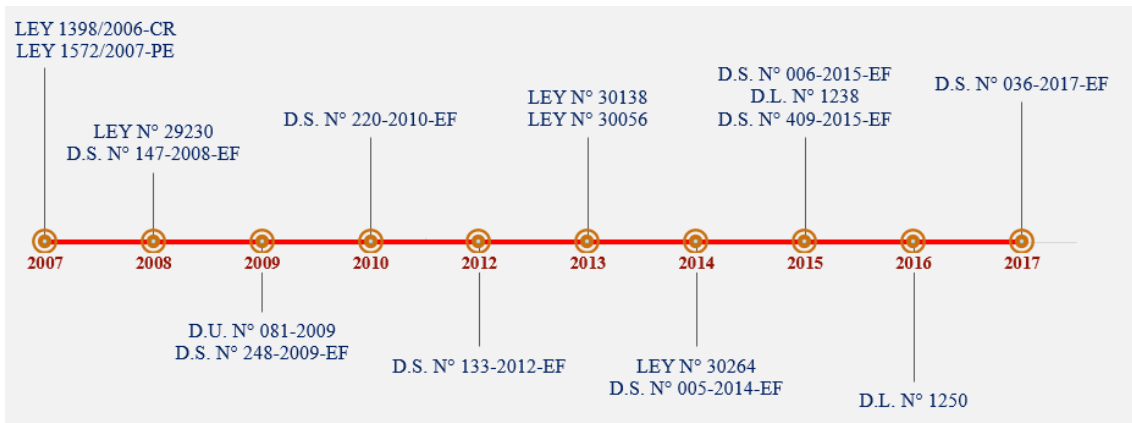


Figura 22. Línea de tiempo de la evolución de la modalidad obra por impuesto, por fuente propia, 2018.

4.1.2 Fases

En la figura 23 se muestra las cuatro fases que involucra el mecanismo de obra por impuesto, que son la fase de priorización, la fase de actos previos, la fase de proceso de selección, y la fase de ejecución con sus respectivos objetivos.

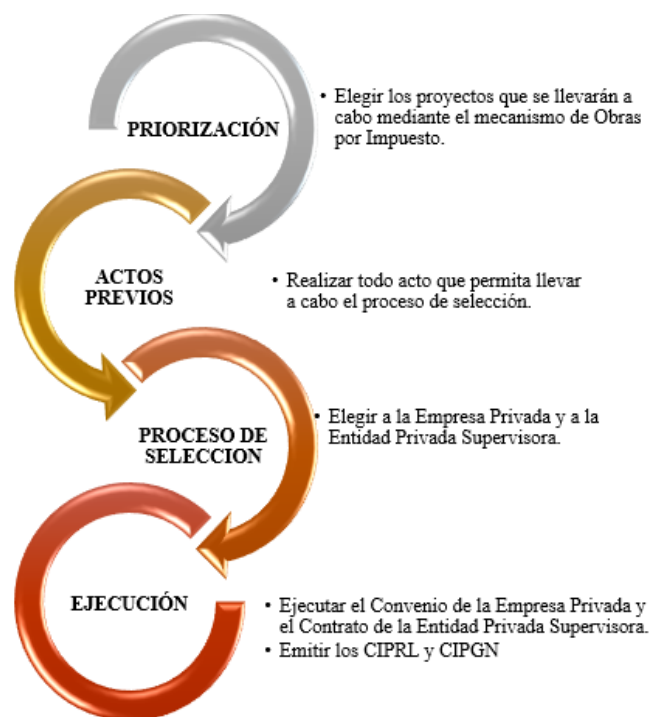


Figura 23. Las fases con sus respectivos objetivos de la modalidad obra por impuesto, por fuente propia, 2018.

En la fase de priorización de proyectos, la Entidad pública (Consejo Regional, Municipal y Universidades públicas) es la encargada de la elaboración y aprobación de la lista de proyectos priorizados. Luego se remite al Titular del gobierno central para su respectiva aprobación y de manera previa, la oficina de presupuesto de la Entidad Pública solicita a la DGPP la opinión favorable respecto a la Capacidad Presupuestal para el financiamiento del proyecto. Una vez aprobada la lista de proyectos priorizados se remite a Proinversión para que se publique en el portal institucional en un periodo de 3 días. Cabe resaltar que el Sector Privado puede solicitar

a la Entidad Pública la priorización de proyectos que se encuentren viables en el marco Invierte.pe, las cuales tienen el carácter de petición de gracia y los proyectos que incluyen mantenimiento y/o operación como los proyectos de saneamientos deben estar incluidas en la lista de proyectos priorizados (Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), 2017).

En la fase de actos previos el Titular de la entidad pública designa a 3 miembros titulares y suplentes del comité especial en un plazo de 4 días después de la presentación una carta simple de la empresa privada interesada en ejecutar el proyecto, mediante una resolución. El comité designado es autónomo en sus decisiones y tienen la misma jerarquía de poder de decisión. Este comité tiene al función de determinar el costo de la ficha técnica, solicitar a la oficina de presupuesto de la entidad pública que efectúe la certificación presupuestaria, elaborar las bases del proceso de selección, consolidar la documentación para la solicitud del informe previo a la contraloría general de la república, someter a las bases a la aprobación, absolver consultas y observaciones e integrar las bases, prorrogar las etapas del proceso de selección hasta el perfeccionamiento del convenio, evaluar la propuesta, otorgar la buena pro y consolidar la información para el perfeccionamiento del convenio (MEF,2017).

4.1.3 Proceso de implementación

En líneas generales el proceso de la modalidad de obras por impuesto consiste en primer lugar, la entidad pública se encarga de la elaboración o adecuación del perfil del proyecto a ejecutar y de la priorización de los proyectos. Segundo lugar, la empresa y entidad pública firman un convenio de inversión, para luego la empresa se encargue de financiar y ejecutar el proyecto de inversión pública, cabe resaltar que para la elección de la empresa ejecutora y supervisora está a cargo de un comité especial conformado por tres representantes de la entidad pública. Tercer lugar, al finalizar la ejecución del proyecto, la empresa financista y la entidad pública proceden a realizar la conformidad y la recepción de la obra. Finalmente, el Ministerio de Economía y Finanzas emite el Certificado de Inversión Pública Regional y Local (CIPRL) con el monto invertido, con este certificado la empresa podrá presentarse ante la SUNAT y canjear el pago del impuesto a la renta. En la *figura 24* se esquematiza el resumen del proceso de implementación de Obras por Impuesto.

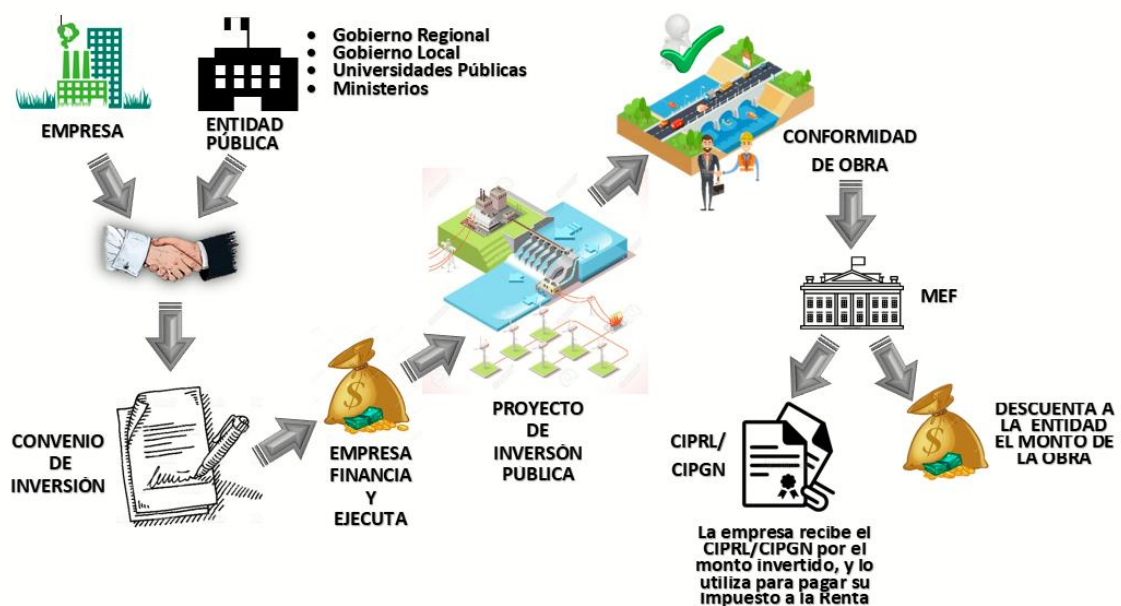


Figura 24. Proceso de implementación de Obras por Impuesto, por fuente propia, 2017.

4.1.4 Obras adjudicadas

La ejecución de proyectos mediante la modalidad de obras por impuesto contribuye al cierre de brechas sociales del Perú, ya que esta modalidad agiliza la ejecución de proyectos de inversión pública con participación de la empresa privada en beneficio de la población y permite a los gobiernos regionales, gobiernos locales y universidades públicas construir una obra y pagarla sin interés hasta en 10 años. Además, la empresa privada se hace cargo de los estudios previos, expedientes técnicos y ejecución de la obra reduciendo los plazos burocráticos. Por otro, la modalidad de obras por impuesto cuenta con la ayuda de Pro inversión, quien se encarga de articular, facilitar y brindar asesoría técnica durante todo el proceso a las entidades públicas y a la empresa financista.

Hasta el 2015, el sector público ha adjudicado a empresas privadas, el desarrollo de estudios y la ejecución de 159 proyectos de inversión pública por más de S/ 1,505 millones. Beneficiando así millones de personas, principalmente a través de la ejecución de proyectos de salud (establecimientos y centros de salud), saneamiento (agua potable, desagüe y residuos sólidos), educación (colegios y centros educativos), seguridad (servicios policiales, seguridad ciudadana y video vigilancias) y transporte (vías departamentales, vías urbanas, vías vecinales y puentes). En la tabla 18 se pueden observar algunos de los proyectos emblemáticos realizados en el periodo del 2009 al 2015.

Tabla 18. Lista de proyectos realizados mediante la modalidad obras por impuesto

Obra	Actores	Ubicación
Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y construcción del alcantarillado del centro poblado La Encantada	Pro inversión, Banco de Crédito del Perú y Gobierno Regional de Piura.	La Encantada, Chulucanas, Piura.
Construcción y equipamiento del colegio Jorge Portocarrero	Pro inversión, Compañía Minera Volcán y Gobierno Regional del callao.	Distrito de Ventanilla, Callao-Lima
Mejoramiento del servicio de agua potable y construcción del sistema integral de alcantarillado del distrito de Chavín	Pro inversión, Compañía Minera Milpo y Municipalidad Distrital de Chavín.	Distrito de Chavín, provincia de Chincha, Ica.
Construcción y mejoramiento de calles de Huarmey	Pro inversión, Compañía Minera Antamina y Municipalidad de Huarmey	Ciudad de Huarmey, Ancash.
Construcción del Centro de Gestión de Seguridad Ciudadana del Cusco.	Pro inversión, telefónica del Perú y Municipalidad Provincial del Cusco	Cusco
Instalación de sistemas de agua potable y desagüe en Ciudad Majes y Villa Industrial	Pro inversión, Banco de Crédito del Perú y Municipalidad Distrital de Majes.	Ciudad Majes y Villa Industrial, provincia de Caylloma, Arequipa.
Construcción de vía troncal interconectora entre los distritos	Pro inversión,	Ciudad de Arequipa

Obra	Actores	Ubicación
de Miraflores, Alto Selva Alegre, Yanahuara, Cayma y Cerro Colorado-Arequipa	Consortio Interbank, Backus, Southern Copper Corporation y Gobierno Regional de Arequipa.	

Nota: Obras mas relevantes ejecutadas a largo de los ultimos años mediante la modalidad obra por impuesto. Adaptado de “Reporte de obras publicadas en Pro inversión”, por Pro inversión, 2017.

4.1.4 Implementación de Obras por Impuesto en la Vía de Evitamiento del Bajo Piura

El proyecto de la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura se implementará mediante la modalidad de Obras por Impuesto. Para ello, se tiene como la empresa financista a Cementos Pacasmayo quien a través de un convenio con el gobierno regional de Piura acordarán la ejecución del proyecto de aproximadamente 26 kilómetros de la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura, ya que se encuentra inmerso dentro de la cartera de los proyectos de emergencia de la región Piura. La empresa encargada de realizar la ingeniería y la construcción de pavimentos rígidos en esta nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura será COSAPI.

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación de acuerdo a los objetivos planteados.

5.1 Cargas de tráfico

El primer objetivo es determinar las cargas del tráfico para pavimentos rígidos correspondientes a la Vía de Evitamiento del Bajo Piura de acuerdo al manual de carreteras actualizada del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se realizó el estudio de tráfico a nivel de perfil para la Av. Sánchez Cerro para estimar la demanda esperada de una carretera nueva que busca descongestionar la ruta Vice-Piura. Este flujo está comprendido por el tráfico de vehículos pesados y livianos hacia Paita desde Bayovar-Sechura, y desde la panamericana al sur de Piura y viceversa. También incluye el tráfico de vehículos pesados y livianos desde Bayovar-Sechura hacia Piura y viceversa. Para ello se planteó el estudio mediante dos fases (recopilación de la información y desarrollo del resultado).

Fase 1: Recopilación de la información

El control se realizó por cada 15 min controlando los vehículos por tipo y número de ejes que circularon por los puntos asignados como se observa en la *Figura 25*. Los nodos identificados son los siguientes:

- **Nodo Desvío a Sechura**, de la Carretera de Bayovar que lleva hacia Sechura por la Carretera PE-1NK (Sechura – Piura). Este nodo fue seleccionado por generar el flujo de tránsito entre Bayovar y la ciudad de Piura de forma adicional proveniente del nodo desvío a Bayovar.
- **Nodo ex Peaje Salida hacia Paita**, este nodo fue seleccionado por ser el lugar que determinará el flujo potencial que pasará por la vía propuesta en el sentido Norte – Sur.
- **Nodo Desvío a Bayovar**, de la Carretera Panamericana Norte (COVISOL) y el desvío que lleva a Bayovar. Este nodo fue seleccionado por ser el punto geográfico por el cual deberá desviarse el tráfico en su sentido Sur – Norte para ingresar al proyecto.



Figura 25. Nodos de control de distribución de tráfico, por fuente propia, 2018.

Tabla 17. Horas de conteo en cada nodo.

Nota: Resumen de la cantidad de horas de conteo realizada en cada nodo. Por fuente propia,

	Puntos de control	Conteos Vehiculares	Encuestas de Origen y Destino con Preferencia Declarada
A	Nodo Desvío a Sechura	16 horas de control	16 horas de control
B	Nodo ex Peaje Salida hacia Paita	16 horas de control	16 horas de control
C	Nodo Desvío a Bayovar	24 horas de control	24 horas de control

2018.

En cada uno de los nodos se realizaron encuestas para caracterizar la demanda de viajes de usuarios potenciales, que podrían utilizar la Vía de Evitamiento del Bajo Piura. Para ello, se interceptó a los usuarios que circularon por el lugar.

Los resultados indican que la mayor cantidad total de vehículos se presentaron en el Nodo Ex Peaje a la salida de Paita en los tres días planificados de la semana. Esto se observa en la *figura 26*.

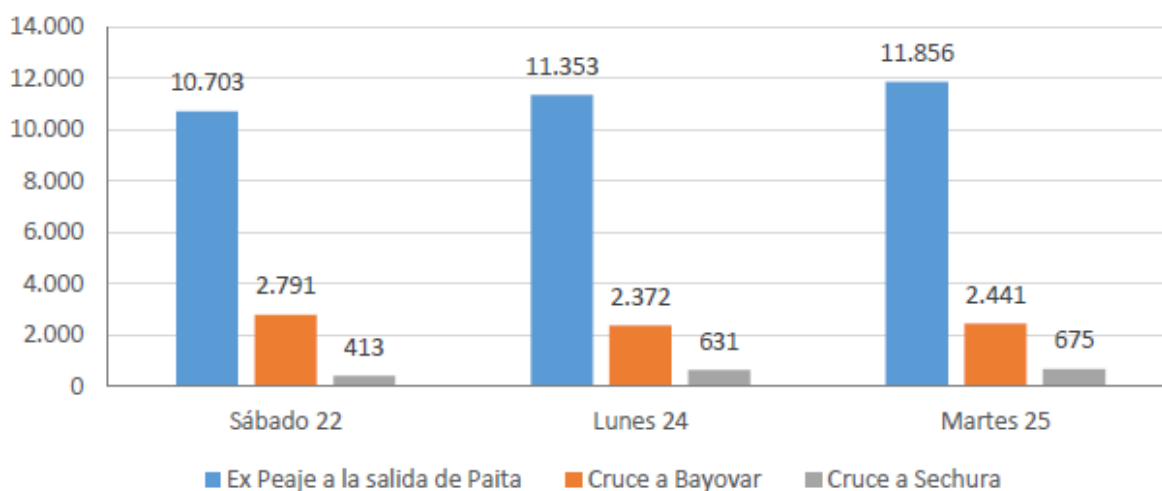


Figura 26. Flujo total en número de vehículos por día de control en el Nodo Desvío a Bayovar en ambos sentidos, por fuente propia, 2018.

Los resultados indican que la cantidad total de ejes fueron superiores en el Nodo Ex Peaje a la salida de Paita en los tres días planificados de la semana. Esto se observa en la *figura 27*.

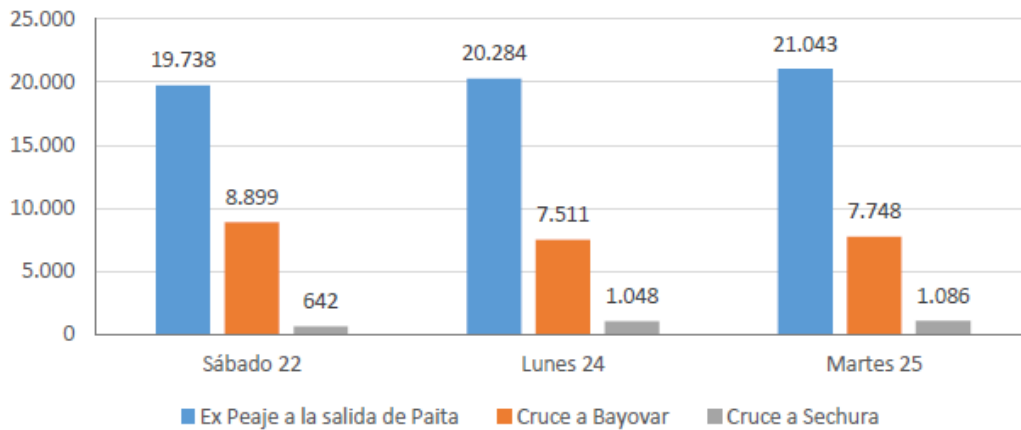


Figura 27. Flujo total en número de ejes por día de control en el nodo Desvió a Bayovar en ambos sentidos del tránsito, por fuente propia, 2018.

En la figura 28 se observa el flujo total de número de ejes que pasaron por los nodos en ambos sentidos del tránsito, identificando los 3 días de control.

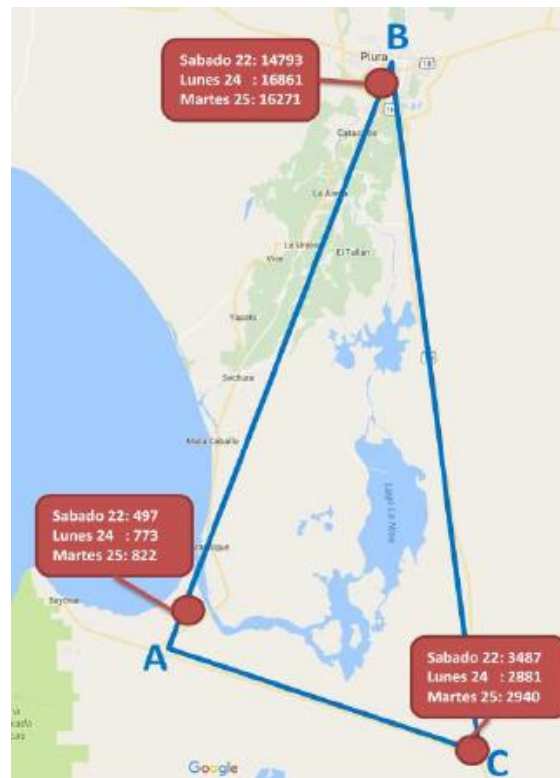


Figura 28. Flujo total en número de ejes en ambos sentidos del tránsito por día de control en los 3 Nodos seleccionados para las labores de campo, por fuente propia, 2018.

Resultados de encuestas origen destino:

En la encuesta de origen y destino con preferencia declarada se consideró la pregunta si el usuario estaría dispuesto a utilizar la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura, de lo cual el 83.2% del total de entrevistados declararon "Si" estar dispuestas a usarla. En la tabla 18 se observa la disposición de usar la nueva vía de acuerdo al nodo de control.

Tabla 18. Cuadro estadístico de la encuesta según nodo de control.

Esta dispuesto a utilizar la nueva vía de evitamiento del Bajo Piura	Lugar encuesta						Total	
	Nodo Ex Peaje Salida hacia Paita		Nodo Desvío a Bayovar		Nodo Desvío a Sechura			
	Muestra	%	Muestra	%	Muestra	%	Muestra	%
Si	1782	80,93%	690	84,46%	442	91,70%	2914	83,23%
No	377	17,12%	102	12,48%	40	8,30%	519	14,82%
No responde	43	1,95%	25	3,06%	0	0,00%	68	1,94%
Total							3501	100%

Nota: Disposición a utilizar la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura según nodo de control. Por fuente propia, 2018.

Fase 2: Desarrollo de estudio

Los resultados obtenidos en la fase 1, han sido tomados como base para la proyección de la demanda de los futuros vehículos pesados de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura durante un periodo de 20 años. Para lograr ello, Se tuvo que determinar como dato principal, el índice medio diario semanal (IMDS) y con la ayuda de un factor de corrección estacional (FC) se obtuvo el índice medio diario anual (IMDA), tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$IMDA = IMDS * FC \quad (9)$$

$$IMDS = \frac{5VDL+2VFS}{7} \quad (10)$$

Donde:

VDL: Volumen promedio en un día laboral

FS: Volumen promedio en un día de fin de semana (sábado o domingo)

Con los resultados anteriores se busca determinar el número de EE (ejes equivalentes) para un periodo de diseño de 20 años.

El cálculo futuro de EE propuesta por la metodología AASHTO 1993 incluye de manera implícita la suma del TE (tránsito existente), Tat (tránsito atraído), TG (tránsito generado), CNT (crecimiento normal del tránsito) y TD (tránsito desarrollado). Relacionado a esto es importante mencionar que en la nueva vía no existe transito existente, pero si transito atraído pesado de la Av. Sánchez Cerro. Esto es correspondiente, principalmente, a vehículos pesados que transitan de Bayovar a Paita. En las siguientes líneas se detallará los cálculos realizados para hallar el EE futuro.

Para calcular el número de EE se usa las siguientes formulas:

$$Nrep \text{ de } EE_{g,2 \text{ tn}} = \sum(EE_{\text{día-carril}}) \times Fca \times 365 \quad (12)$$

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times Fvpi \quad (13)$$

Uno de los elementos es el factor de vehículo pesado (Fvpi) que es calculado para cada modelo según su configuración. Este valor es calculado utilizando la formulas dadas para pavimento rígido siendo usadas en la tabla 19, tabla 20, tabla 21, tabla 22, tabla 23, tabla 24, tabla 25 y la tabla 26.

Tabla 19. *Fvpi para vehículo tipo C3.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	0	0.000
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	18	3.458
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	4.731

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo C3. Por fuente propia, 2018.

Tabla 20. *Fvpi para vehículo tipo C4.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	0	0.000
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	0	0.000
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	23	3.685
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	4.958

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo C4. Por fuente propia, 2018.

Tabla 21. *Fvpi para vehículo tipo T2S2.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	11	3.335
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	18	3.458
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	8.066

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo T2S2. Por fuente propia, 2018.

Tabla 22. *Fvpi para vehículo T2S3.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	11	3.335
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	0	0.000
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	25	4.165
			Fvpi	8.773

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo T2S3. Por fuente propia, 2018.

Tabla 23. Fvpi para vehículo tipo T3S2.

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs 1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	0	0.000
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	2	18	6.916
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	8.189

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo T3S2. Por fuente propia, 2018.

Tabla 24. Fvpi para vehículo tipo T3S3.

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs 1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	0	0.000
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	18	3.458
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	25	4.165
			Fvpi	8.896

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo T3S3. Por fuente propia, 2018.

Tabla 25. *Fvpi para vehículo tipo C3R2.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	2	11	6.670
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	1	18	3.458
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	11.400

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo C3R2. Por fuente propia, 2018.

Tabla 26. *Fvpi para vehículo tipo C3R3.*

Tipo de Eje	Descripción	Cantidad	Peso real por eje (Tn)	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
EEs1	Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	1	7	1.273
EEs2	Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	1	11	3.335
EETA1	Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	1	0	0.000
EETA2	Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	2	18	6.916
EETR1	Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	1	0	0.000
EETR2	Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	1	0	0.000
			Fvpi	11.524

Nota: Factor de vehículo pesado para vehículo tipo C3R3. Por fuente propia, 2018.

Los principales tipos de vehículos pesados de configuración vehicular son los siguientes: C3, C4, T2S2, T2S3, T3S2, T3S3, C3R2, C3R3. Estos son mostrados en la *figura 29*. Ahí se puede observar los tipos de configuración vehicular, los tipos de ejes, los pesos y su ubicación y el factor de vehículos pesado (Fvpi) para cada modelo.






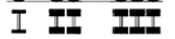

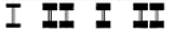
PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Eje delantero	Peso máximo (ton)				Peso Bruto máximo	Factor de vehículo pesado
				Conjuntos de ejes posteriores					
				1°	2°	3°	4°		
C3		13.2	7	18	-	-	-	25	4.731
C4		13.2	7	23	-	-	-	30	4.958
T2S2		20.5	7	11	18	-	-	36	8.066
T2S3		20.5	7	11	25	-	-	43	8.773
T3S2		20.5	7	18	18	-	-	43	8.189
T3S3		20.5	7	18	25	-	-	50	8.896
C3R2		23	7	18	11	11	-	47	11.400
C3R3		23	7	18	11	18	-	54	11.524

Figura 29. Formato de cálculo de Fvpi para cada vehículo pesado, por fuente propia, 2018.

Para obtener las proyecciones de demanda se ha evaluado un escenario moderado que considera la tasa de crecimiento promedio anual del PBI siendo este valor igual a 4.7%. Este valor es usado para calcular el factor de crecimiento Fca. En la *figura 30* se detalla la tasa de crecimiento desde el año 2008 hasta el 2016 del departamento de Piura.

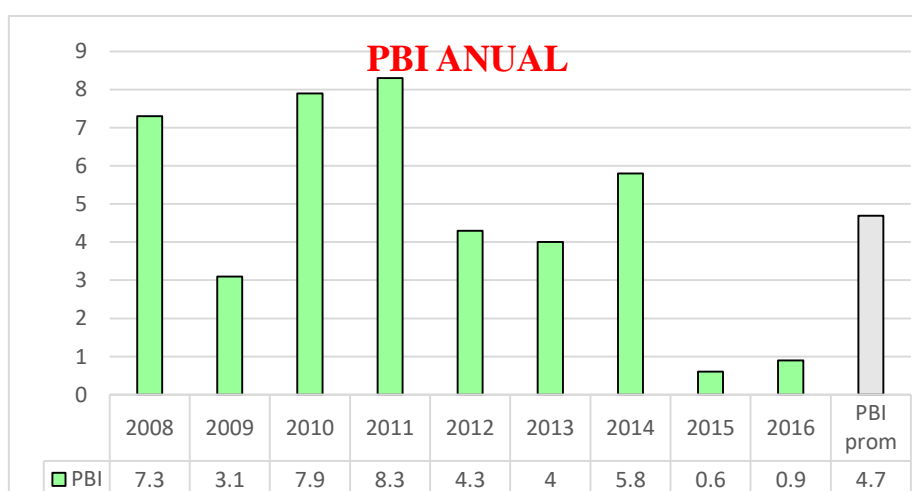


Figura 30. Tasa de crecimiento anual del PBI del departamento de Piura, por INEI –BCRP PIURA, 2017.

Los factores usados en pavimentos rígidos para el cálculo del número de EE son mostrados en la tabla 27. Estos valores han sido obtenidos del Manual de carreteras en la sección de suelos y pavimentos.

Tabla 27. Factores de cálculo de Nrep de EE 8.2 tn.

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente									
$N_{rep} \text{ de EE}_{8.2 \text{ tn}} = \sum (EE_{\text{día-carril}}) \times F_{ca} \times 365 \quad EE_{\text{día-carril}} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi}$									
t	4.7 %	Camiones		Semitrailers				Trailers	
Factores	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	3S3	3T2	3T3	
Fpi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Fvpi	4.73	4.96	8.07	8.77	8.19	8.90	11.40	11.52	
Fc	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
Fd	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
IMDpi 2018	283	58	21	50	49	129	25	1	
Nº días año	365	365	365	365	365	365	365	365	
Fca 2018	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Fca 2023	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	5.49	
Fca 2028	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	
Fca 2033	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10	
Fca 2038	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	

Nota: Cálculo de ejes equivalentes por cada tipo de vehículo. Por fuente propia, 2018. Las proyecciones de EE para pavimento rígido para los años 2018, 2023, 2028, 2033 y 2038 son mostrados en la tabla 28. Estos valores fueron calculados para cada de tipo de vehículo pesado tal como se observa en la tabla mencionada. Los ESAL anual se representaron en la figura 31 observando su gran incremento en el transcurso del tiempo.

Tabla 28. Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente.

Cálculo de los Ejes Standard de Carga Equivalente									
ESAL anual parcial			Semitraylers						ESAL anual
	3E	4E	2S1 / 2S2	2S3	3S1 / 3S2	≥ 3S3	3T2	3T3	
N rep de EE 8.2 tn to 2018	195469	41986	24729	64040	58583	167543	41612	1682.5	5.956E+05
N rep de EE 8.2 tn to 2023	1E+06	230612	135829	351747	321774	920249	228558	9241.1	3.272E+06
N rep de EE 8.2 tn to 2028	2E+06	520758	306722	794297	726614	2E+06	516118	20868	7.388E+06
N rep de EE 8.2 tn to 2033	4E+06	885806	521732	1E+06	1E+06	4E+06	877913	35496	1.257E+07
N rep de EE 8.2 tn to 2038	6E+06	1E+06	792247	2E+06	2E+06	5E+06	1E+06	53900	1.908E+07

Nota: Cálculo de ejes standard anuales de cargas equivalentes, por fuente propia, 2018.

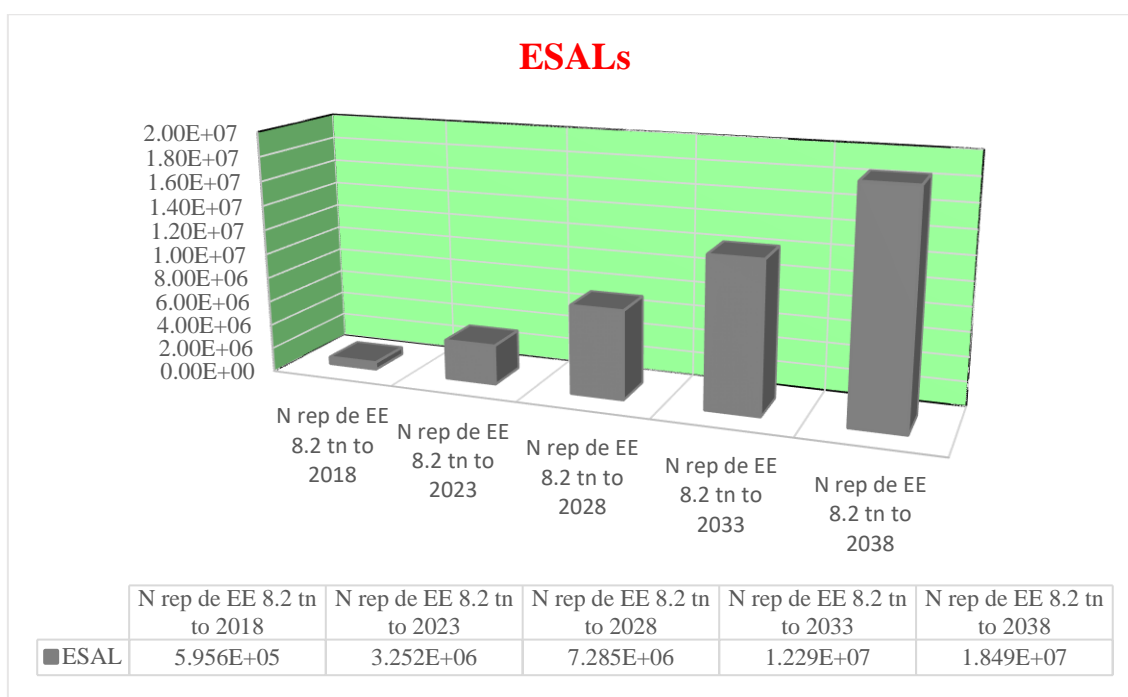


Figura 31. ESALs anual para pavimento rígido, por fuente propia, 2018.

5.2 Caracterización de los suelos de la subrasante

Para la caracterización de terreno de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura se realizaron exploraciones en campo (calicatas), ensayos de campo, ensayos de laboratorio y trabajos de gabinete.

5.2.1 Obtención del material

El punto inicial de referencia está ubicado entre Vice y Piura específicamente en el AA. HH Pablo de la Flor Belaunde. Desde esa posición, que corresponde a la nueva carretera, se

realizaron calicatas de 1 metro de largo, 0.50 metros de ancho y 1.50 metros de profundidad a cada 2km en dirección de Vice a Piura. Esta técnica se hizo en el lado derecho y en el lado izquierdo en forma alternada en el eje de la carretera para tomar muestras representativas. En la *figura 32* se puede observar al grupo de personas que realizaron el estudio de exploración, el eje de la carretera que está en condiciones de afirmado y el proceso de obtención de calicata.



Figura 32. Inicio de la exploración de la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

5.2.3 Ensayo de densidad de campo

Para determinar la densidad y el peso unitario del suelo en el lugar (in situ), la norma establece el método del cono de arena (MTC E 117). Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulgada y se utiliza un equipo denominado cono de arena como se puede observar en la *figura 33*.

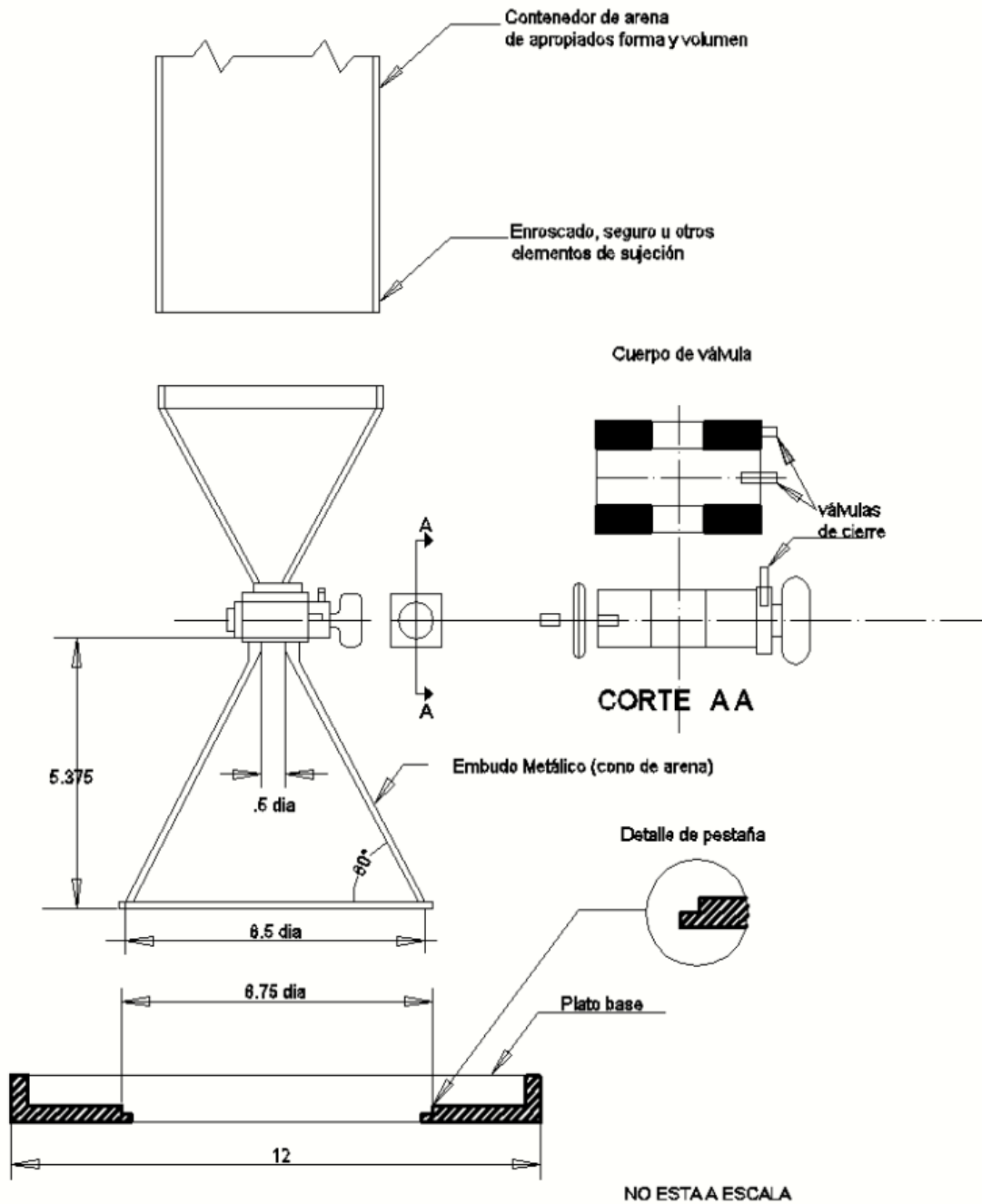


Figura 33. Aparato de densidad, por MTC E 117, 2016.

Primero, en cada uno de las calicatas se procedieron a realizar el ensayo de densidad de campo mediante el cono de arena. Antes de comenzar con el ensayo se tiene que inspeccionar el cono, llenar y pesar el contenedor con la arena de Ottawa (arena calibrada entre las mallas Nro.10 y No.60), y preparar la superficie de tal manera que sea un plano bien nivelado como se puede notar en la *figura 34*.



Figura 34. Pesado de la arena y perfilado de la superficie, por fuente propia, 2018.

Segundo, se coloca la base metálica con orificio sobre la superficie plana, se marca el contorno y se procede a excavar el hoyo de prueba a una profundidad de 15 centímetros. El suelo removido se coloca en un contenedor hermético y se pesa para luego obtener la humedad natural en el laboratorio. En la *figura 35* se puede ver el proceso descrito líneas arriba.



Figura 35. Extracción y pesaje del material dentro del círculo hueco en bolsas plásticas, por fuente propia, 2018.

Tercero, Se procede a colocar el cono de arena en la posición de la base metálica rebordeando el hoyo. Se abre la válvula y se deja hasta que la arena llene el orificio y el embudo, evitando o minimizando causar vibraciones. Después se retira el cono y se pesa la arena sobrante del cono inferior y del hoyo. A partir de ello se puede determinar el volumen del hoyo y la densidad natural del suelo investigado. En la *figura 36* se muestra los pasos seguidos para realizar el ensayo de densidad in situ.



Figura 36. Se observa el proceso para determinar la densidad natural del suelo del Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

Cuarto, se toman muestras del suelo de las calicatas realizadas sin considerar dentro de esta el suelo superficial contaminado. El material se coloca en dos sacos en una cantidad de 20kg cada uno. Esto servirá para realizar los ensayos correspondientes en el laboratorio. En la *figura 37* se muestra la toma del material para los ensayos en laboratorio.



Figura 37. Toma de muestras de suelo representativo que será ensayado en laboratorio, por fuente propia, 2018.

Finalmente, en gabinete se procede a realizar los cálculos correspondientes. Para ello se emplean las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$W_5 = W_2 - W_3 - W_4 \quad (14)$$

$$V = W_5 * \delta_s \quad (15)$$

$$\delta = \frac{W_1}{V} \quad (16)$$

Dónde:

W_1 = peso del material extraído dentro del agujero circunferencial (g)

W_2 = peso de la arena de Ottawa + peso del recipiente plástico antes de abrir la Válvula (g)

W_3 = peso de arena de Ottawa + peso del recipiente plástico después de abrir la válvula (g)

W_4 : peso de arena de Ottawa en el cono inferior (g)

W_5 : peso de arena de Ottawa dentro del agujero circunferencial (g)

δ_s : densidad volumétrica de la arena (g/cm^3)

δ : densidad del suelo investigado (g/cm^3)

V: volumen del hueco circunferencial a 15 cm de profundidad (cm^3)

En la tabla 29 se muestra el proceso empleado en la hoja de cálculo para obtener la densidad natural del suelo de cada calicata realizada. Visualmente se puede describir al suelo como arena arcillosa y limosa de baja plasticidad de color beige, húmedo, de consistencia compacta y con presencia de conchuelas.

Tabla 29. Cálculo de la densidad del suelo natural.

DENSIDAD IN SITU - MÉTODO CONO DE ARENA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE				FECHA :	18/03/2018
MATERIAL	TERRENO NATURAL				LADO :	DERECHO
PROFUNDIDAD	1.50M.				ELABORADO POR :	Díaz & Espinoza
CALICATA	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
FECHA DE ENSAYO	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018
CAPA N°	1	1	1	1	1	1
ESPESOR DE CAPA (m.)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 00+000	KM 02+000	KM 04+000	KM 06+000	KM 08+000	KM 10+000
LADO	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
Peso de Mat. + Recipiente (gr)	3250	3245	3266	3266	3120	3340
Peso del Recipiente (gr)	16	16	16	16	16	16
Peso Neto del Suelo + Grava (gr)	3234	3229	3250	3250	3104	3324
Peso arena + Frasco + cono(gr)	7550	7800	7540	7530	7850	7942
Peso arena restante + Frasco + cono (gr)	3200	3222	3150	2600	3108	3162
Peso arena en el cono (gr)	1737	1737	1737	1737	1737	1737
Peso Neto de la arena empleada en el hoyo(gr)	2613	2841	2653	3193	3005	3043
Densidad de la Arena (gr/cm ³)	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439
Volumen del hoyo (cm ³)	1816	1974	1844	2219	2088	2115
Peso del Suelo (gr)	3234	3229	3250	3250	3104	3324
Volumen del Suelo (cm ³)	1816	1974	1844	2219	2088	2115
Densidad del Suelo Húmedo (gr/cm ³)	1.781	1.636	1.763	1.465	1.486	1.572

Nota: Se muestra la densidad de campo aplicando el método del cono de arena para las primeras seis calicatas. Por fuente propia, 2018.

Los resultados del ensayo de densidad del cono de arena fueron obtenidos en cada calicata en su respectiva progresiva. Estos valores sirvieron para calcular la densidad seca del suelo ya que se conocía su humedad in-situ. El resumen de densidad in situ se puede observar en la tabla 30.

Tabla 30. Resumen de valores de densidad natural.

DENSIDAD NATURAL			
CALICATA	PROGRESIVA	γ_h	UNIDAD
C-01	km 00 + 000	1.78	g/cm ³
C-02	km 02 + 000	1.64	g/cm ³
C-03	km 04 + 000	1.76	g/cm ³
C-04	km 06 + 000	1.46	g/cm ³
C-05	km 08 + 000	1.49	g/cm ³
C-06	km 10 + 000	1.57	g/cm ³

DENSIDAD NATURAL			
CALICATA	PROGRESIVA	γ_h	UNIDAD
C-07	km 12 + 000	1.24	g/cm ³
C-08	km 14 + 000	1.59	g/cm ³
C-09	km 16 + 000	1.77	g/cm ³
C-10	km 18 + 000	1.19	g/cm ³
C-11	km 20 + 000	1.22	g/cm ³
C-12	km 22 + 000	1.52	g/cm ³
C-13	km 24 + 000	1.27	g/cm ³
C-14	km 26 + 000	1.22	g/cm ³

Nota: Se muestran los resultados de la densidad natural para los 26 kilómetros de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura. Por fuente propia, 2018.

5.2.4 Humedad natural

La humedad natural del suelo es la relación del peso de agua en una masa dada de suelo respecto al peso de las partículas sólidas y se expresa en porcentaje. Para determinar el contenido de humedad natural del suelo se acude a las referencias normativas (MTC E 108). Se toma una muestra representativa de 250 gramos luego de realizar el cuarteo, se registra la masa del contenedor y la muestra. Luego, colocar el contenedor con el material húmedo al horno, para secar a la mezcla hasta alcanzar una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y finalmente esperar el enfriamiento para proceder a pesar. La *figura 38* se muestra el proceso realizado para determinar la humedad natural del suelo del Bajo Piura.



Figura 38. Proceso a realizar para toma de datos y cálculo de la humedad natural del suelo, por fuente propia, 2018.

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la ecuación 17.

$$\%w = \frac{w_w}{w_s} * 100\% \quad (17)$$

Donde:

W_1 : peso tara + suelo humedo

W_2 : peso tara + suelo seco

w_w : peso del agua

w_s : peso del suelo seco

En la tabla 31 se muestra los procesos realizados en la hoja de cálculo para determinar los valores de humedad de acuerdo a la norma MTC E 108.

Tabla 31. Determinación de la humedad natural.

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL							
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216							
DATOS DE LA MUESTRA							
CONCEPTO : Estudio de terreno de fundación				PROFUNDIDAD: 0.90-1.50 m			
UBICACIÓN : Provinia de Piura-Región Piura				HECHO POR: DIAZ & ESPINOZA			
FECHA: 19/03/2018							
CALICATA	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 00+000	KM 02+000	KM 04+000	KM 06+000	KM 08+000	KM 10+000	KM 12+000
N° DE TARA	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	235.4	222.0	216.1	239.1	236.2	235.3	234.0
PESO DE LA TARA (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL AGUA (gr)	14.6	28.0	33.9	10.9	13.8	14.7	16.0
PESO DE L SUELO SECO (gr)	235.4	222.0	216.1	239.1	236.2	235.3	234.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.20	12.60	15.70	4.55	5.85	6.25	6.84
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO (%)	6.20	12.60	15.70	4.55	5.85	6.25	6.84

Nota: Se muestra la humedad promedio de los primeros 12 kilómetros. Por fuente propia, 2018.

Los resultados del ensayo de la humedad natural fueron obtenidos en cada calicata en su respectiva progresiva. El resumen de la humedad natural se puede observar en la tabla 32.

Tabla 32. Resumen de valores de humedad natural.

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL			
CALICATA	PROGRESIVA	W	UNIDAD
C-01	km 00 + 000	6.20	%
C-02	km 02 + 000	12.60	%
C-03	km 04 + 000	15.70	%
C-04	km 06 + 000	4.55	%
C-05	km 08 + 000	5.85	%
C-06	km 10 + 000	6.25	%
C-07	km 12 + 000	6.84	%
C-08	km 14 + 000	8.90	%

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL			
CALICATA	PROGRESIVA	W	UNIDAD
C-09	km 16 + 000	10.60	%
C-10	km 18 + 000	10.40	%
C-11	km 20 + 000	17.90	%
C-12	km 22 + 000	9.10	%
C-13	km 24 + 000	12.30	%
C-14	km 26 + 000	11.50	%

Nota: Se muestran los resultados de la humedad natural para los 26 kilómetros de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura. Por fuente propia, 2018.

5.2.5 Límites de consistencia

Los límites de consistencia de los suelos finos se realizan con la finalidad de caracterizar su comportamiento. En esta tesis se realiza con el fin de determinar la plasticidad del suelo, para ello se requiere de los ensayos de límite líquido y del límite plástico.

El Límite Líquido se determina de acuerdo a la referencia normativa MTC E 110 y se define como el contenido de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Este método de ensayo sirve como parte de la clasificación del suelo y para proceder a ensayar se utiliza el aparato manual como se puede ver en la *figura 39*.

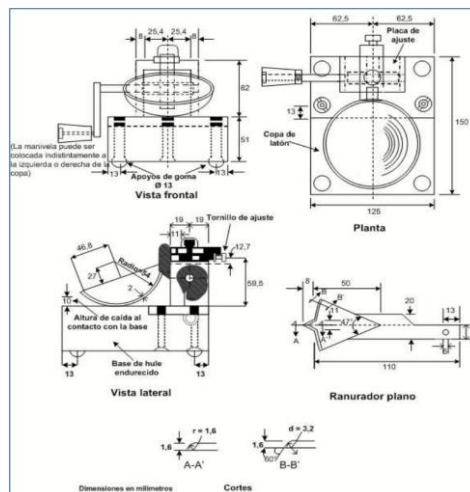


Figura 39. Aparato manual para límite líquido, por fuente MTC E 110, 2014.

A rasgos generales realizar el ensayo del límite líquido consiste en preparar la muestra hasta que se forme una consistencia suave y uniforme. Luego se coloca una porción de la mezcla en la copa Casagrande y utilizando el acanalador se divide la muestra en la copa. Para finalmente proceder a accionar mediante golpes, el cual se contabiliza hasta que la abertura se cierre y tomar la muestra para medir el contenido de humedad. Este proceso se puede observar en la *figura 40*.



Figura 40. Determinación del límite líquido, por fuente propia, 2018.

El límite líquido se obtiene a través de la ecuación 18 que se obtiene mediante la correlación de los números de golpe con los contenidos de humedad.

$$LL = a * \ln(N) + b \quad (18)$$

Donde:

LL: Límite Líquido

N: Número de golpes

a, b: Constantes de la correlación

El límite plástico se determina de acuerdo a la referencia normativa MTC E 111 y se define como la frontera entre el estado plástico y el estado semisólido del suelo. En términos simples se define como a la humedad más baja con la que se puede formar barritas de suelos sin llegar a desmoronar la barrita. Se determina mediante la ecuación 19.

$$LP = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo secado al horno}} * 100 \quad (19)$$

Donde:

LP: Límite Plástico

El índice de plasticidad de un suelo se puede determinar como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$IP = LL - LP \quad (20)$$

Donde:

IP: Índice de Plasticidad

LP: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

En la tabla 33 se muestra los procesos realizados en la hoja de cálculo para determinar los valores de los límites de consistencia de acuerdo a la norma MTC E 110 y MTC E 111.

Tabla 33. *Determinación de límites de consistencia.*

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90				
DATOS DE LA MUESTRA				
CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura			
TRAMO	: Km. 00+000		LADO	: L.D
UBICACIÓN	: Provinvia de Piura-Región Piura		PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
CALICATA	: C-01		HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
MUESTRA	: M - 01		FECHA	: 20/03/2018
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)				
N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	31.42	33.10	30.88
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	27.75	28.66	26.48
PESO DEL AGUA	(gr)	3.67	4.44	4.40
PESO DE LA TARA	(gr)	10.33	10.19	10.29
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	17.42	18.47	16.19
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.07	24.04	27.18
NÚMERO DE GOLPES		31	23	16
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	24.66	25.13	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.75	23.18	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.15	10.25	
PESO DEL AGUA	(gr)	1.91	1.95	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	12.60	12.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	15.16	15.08	15.1

Nota: Se nota los procesos para obtener el límite líquido y plástico para la muestra de la calita uno del kilómetro cero. Por fuente propia, 2018.

La *Figura 41* muestra la gráfica para obtener la ecuación que correlaciona el contenido de humedad con el número de golpes y se determinar el límite líquido a los 25 golpes.

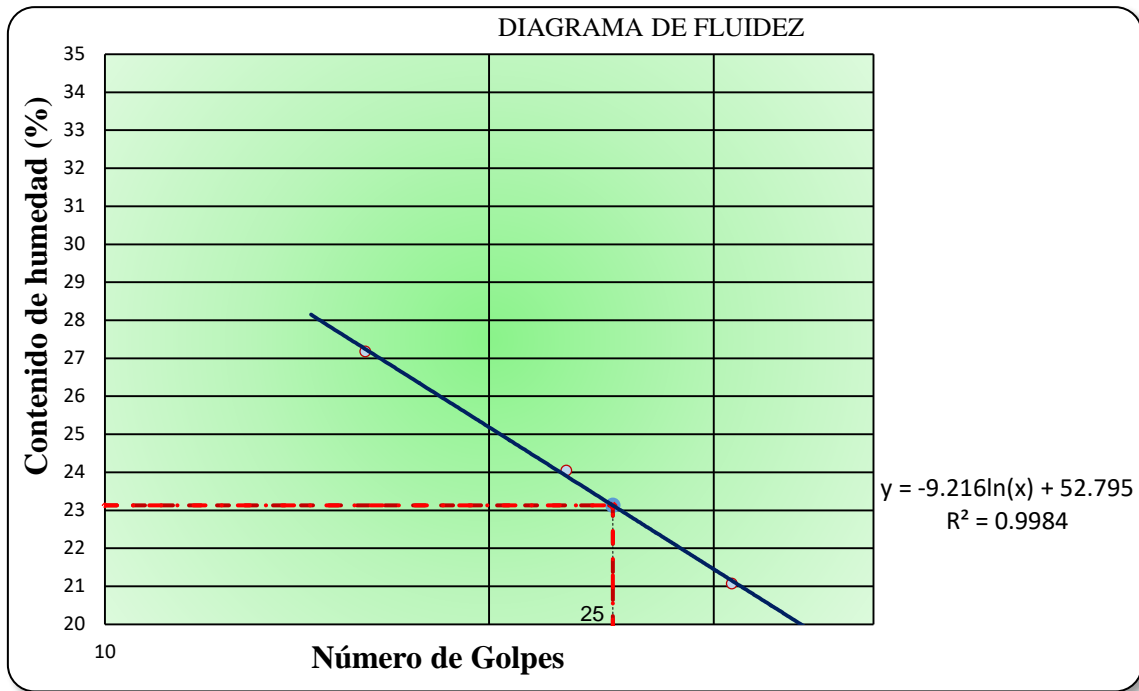


Figura 41. Diagrama de fluidez para la calicata (C-01) del kilómetro cero (km 00+000), por fuente propia, 2018.

Los resultados De los ensayos de límites de consistencia fueron obtenidos para cada calicata en su respectiva progresiva. El resumen de los límites de consistencia se puede observar en la tabla 34.

Tabla 34. Resumen de los límites de consistencia.

LÍMTES DE CONSISTENCIA					
CALICATA	PROGRESIVA	L.L	L.P	IP	UNIDAD
C-01	km 00 + 000	23.1	15.1	8.0	%
C-02	km 02 + 000	19.6	13.5	6.0	%
C-03	km 04 + 000	25.0	17.9	7.1	%
C-04	km 06 + 000	30.0	22.6	7.4	%
C-05	km 08 + 000	15.8	12.5	3.3	%
C-06	km 10 + 000	20.3	15.2	5.1	%
C-07	km 12 + 000	27.4	23.2	4.1	%
C-08	km 14 + 000	17.0	14.7	2.4	%
C-09	km 16 + 000	19.8	15.1	4.6	%
C-10	km 18 + 000	31.0	27.5	3.4	%
C-11	km 20 + 000	42.3	30.5	11.8	%

LÍMITES DE CONSISTENCIA					
CALICATA	PROGRESIVA	L.L	L.P	IP	UNIDAD
C-12	km 22 + 000	38.3	25.6	12.7	%
C-13	km 24 + 000	51.8	29.7	22.1	%
C-14	km 26 + 000	40.8	30.4	10.4	%

Nota: Se resumen en esta tabla el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad correspondiente a la Vía de Evitamiento del Bajo Piura. Por fuente propia, 2018.

5.2.6 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

El análisis granulométrico de suelos por tamizado se realiza de acuerdo a la referencia normativa MTC E 107 y tiene la finalidad de determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del suelo. Mediante este ensayo se determina los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. *Tamices de malla cuadrada.*

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	76.2
2 1/2"	63.5
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.525
1/4"	6.35
N°4	4.76
N°8	2.36
N°10	2
N°30	0.6
N°40	0.42
N°50	0.3
N°80	0.18
N°100	0.15
N°200	0.075

< N°200	FONDO
---------	-------

Nota: Serie de tamices a utilizar para cada muestra. Por MTC E 107, 2014.

Para realizar la granulometría del suelo se realiza previamente el muestreo del suelo, lo que comúnmente se denomina el cuarteo. Esta consiste en reducir las muestras del suelo a cantidades menores buscando formar muestras representativas. Para ello, primero se mezcla el suelo formando un cúmulo cónico. Después, se aplana homogéneamente la muestra en forma circular para luego dividir en 4 cuadrantes iguales usando una pala de punta cuadrada. Finalmente, se toma las partes opuestas de los cuadrantes para continuar con el mismo procedimiento descrito anteriormente hasta obtener muestras simbólicas de 30 kilogramos. En la *figura 42* se puede observar el procedimiento empleado para realizar el método del cuarteo para obtener muestras representativas.



Figura 42. Proceso para realizar la técnica del cuarteo, por fuente propia, 2018.

En la *figura 43* se muestra el proceso seguido en el laboratorio de suelos y pavimentos para separar las gravas de las arenas por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz N° 4.



Figura 43. Proceso realizado para separar el material fino del grueso usando la malla N°4, por fuente propia, 2018.

El material grueso se procede a tamizarlo y pesarlo por los tamices de N°4, ¼", 3/8", ½", ¾", 1", 1 ½", 2" y 3". Para después pesar y anotar los materiales retenidos en las mallas mencionadas.

Lo mismo se realiza para una fracción del material fino a diferencia que este suelo se tamiza por las mallas N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100 y N°200. En la *figura 44* se observa el proceso a realizar para la grava en cada uno de los tamices.



Figura 44. Proceso de tamizado para el material grueso, por fuente propia, 2018.

Del material fino se toma 2 muestras de masas superiores a 250 gramos para calcular el porcentaje de finos y para corregir la humedad del suelo analizado.

El porcentaje de finos se realiza lavando el suelo que pasa por la malla N°200. El criterio de lavado consiste en lavar hasta ver que el agua sea cristalina. Luego, el material lavado se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. En la *figura 45* se muestra el proceso de obtención de los finos.



Figura 45. Proceso para hallar el % de finos del suelo, por fuente propia, 2018.

Para determinar los valores del análisis por tamizado para la porción que pasa por tamiz N° 4 se hallan mediante las ecuaciones 21, 22 y 23.

$$\% \text{retenido parcial}_i = \frac{W_i}{W_T} \quad (21)$$

$$\% \text{Que pasa}_i = 100\% - \% \text{Retenido acumulado}_i \quad (22)$$

$$\% \text{Retenido acumulado}_i = \sum_{i=1}^{i=n} \% \text{retenido parcial}_i \quad (23)$$

Dónde:

W_i : peso retenido en cada tamiz (g)

W_T : suma de todos los pesos retenidos (g)

En la tabla 36 muestra todo el proceso desarrollado en la hoja de cálculo para determinar la granulometría del suelo.

Tabla 36. Análisis granulométrico por tamizado.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88							
DATOS DE LA MUESTRA							
CONCEPTO	LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE						
TRAMO	Km. 00+000			LADO : L.D			
UBICACIÓN	Bajo Piura			PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M			
CALICATA	C-01			HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA			
MUESTRA	M-01			FECHA : 20/03/2018			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso de la Muestra
2 1/2"	63.500						Peso Total de la Muestra (gr.): 288.10
2"	50.800						Peso lavado (gr.): 224.00
1 1/2"	38.100						Peso fino (gr.): 252.90
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 12.20
1/2"	12.700	6.2	2.2	2.2	97.8		% Arena (%): 65.50
3/8"	9.525	1.0	0.3	2.5	97.5		% Fino (%): 22.30
1/4"	6.350	0.0	0.0	2.5	97.5		
N 4	4.760	28.0	9.7	12.2	87.8		
N 8	2.360	16.3	5.7	17.9	82.1		
N 10	2.000	19.3	6.7	24.6	75.4		
N 30	0.600	49.7	17.3	41.8	58.2		
N 40	0.420	12.4	4.3	46.1	53.9		
N 50	0.300	6.3	2.2	48.3	51.7		
N 80	0.180	19.4	6.7	55.1	44.9		
N 100	0.150	11.3	3.9	59.0	41.0		
N 200	0.075	54.1	18.8	77.8	22.2		
< N 200	FONDO	64.1	22.2	100.0	0.0		
FINO		252.9					
TOTAL		288.1					

Nota: Hoja de cálculo de pesos retenidos parcial, porcentaje retenido parcial, porcentaje retenido acumulado y porcentaje que pasa correspondiente a la calicata C-01. Por fuente propia, 2018.

En la *figura 46* se puede observar la curva granulométrica característica del suelo del Bajo Piura. Donde esta curva refleja que el suelo es ligeramente graduado debido a la extensión que posee.

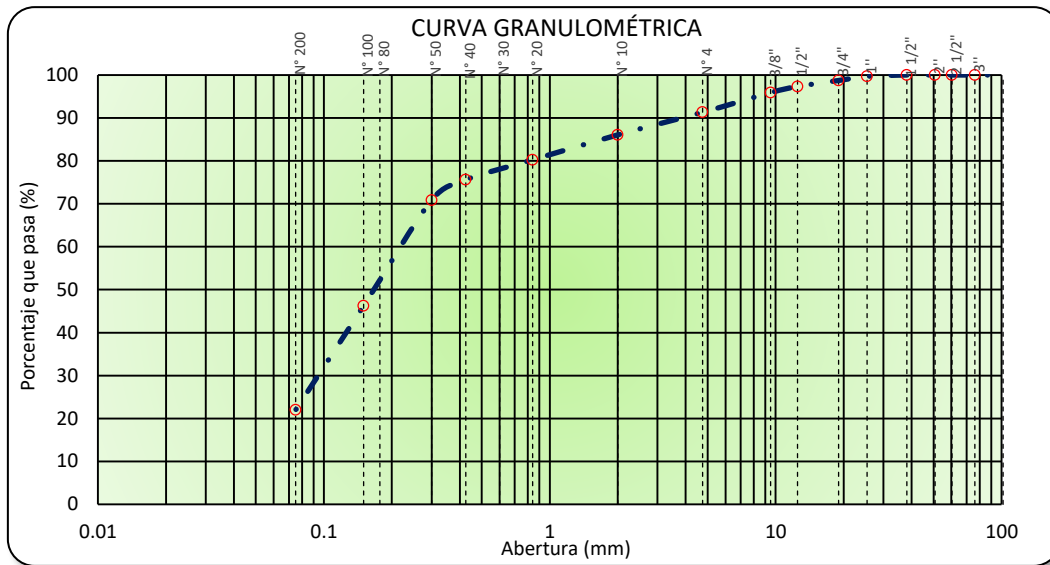


Figura 46. Curva granulométrica característica de suelo fino del Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

5.2.8 Clasificación SUCS

El sistema unificado de clasificación de suelos requiere del análisis granulométrico, del límite líquido y del límite plástico como datos fundamentales para poder clasificar a los suelos. El sistema unificado se utiliza los símbolos descritos en la tabla 37.

Tabla 37. *Símbolos SUCS.*

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	
Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduada
P	Mal graduada

Nota: Se denota los símbolos y su significado de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos. Por fuente propia, 2018.

Para clasificar de acuerdo al sistema unificado de clasificación se utiliza la tabla 38.

Tabla 38. *Clasificación SUCS.*

Símbolo	Características generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	

Nota: Se describe las características del suelo de acuerdo a los resultados obtenidos. Adaptado de ASTM: D 2487, por fuente propia, 2018.

Para determinar si son limos o arcillas se realiza mediante la carta de plasticidad, conocido como la carta de Casagrande como muestra la *figura 47*.

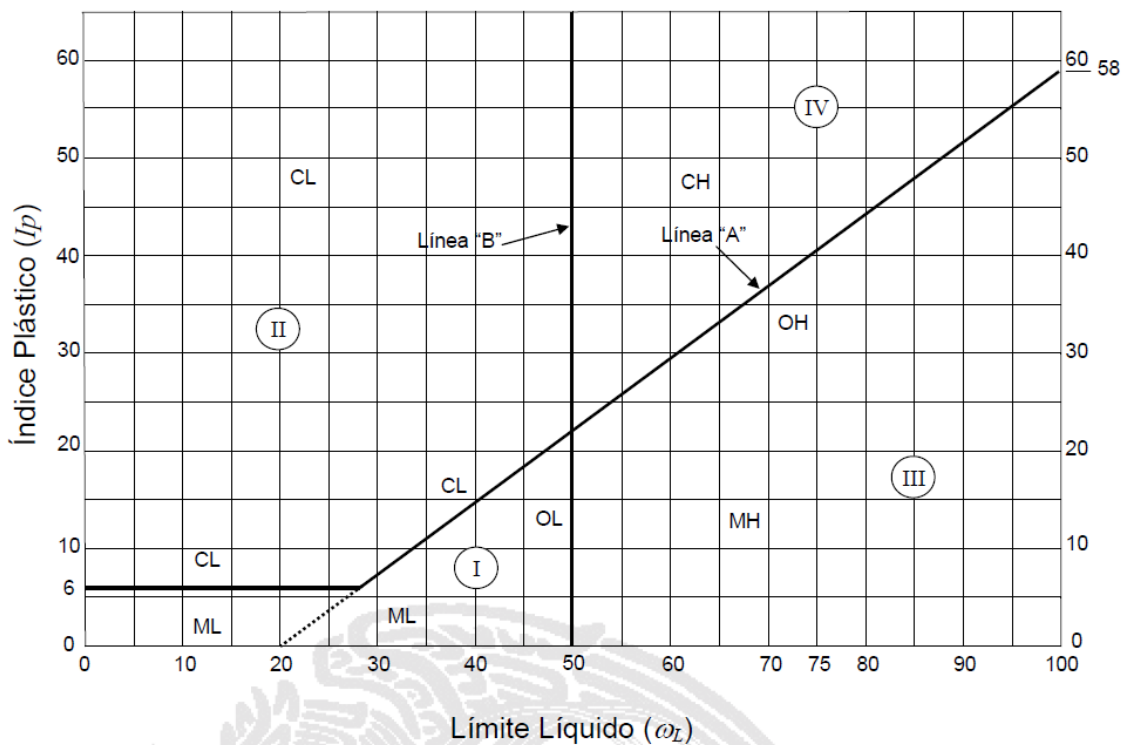


Figura 47. Carta de Casagrande, por ASTM: D 2487, 2018.

En la figura 48 se muestra la clasificación según el sistema unificado de clasificación del suelo para todas las calitas realizadas para el proyecto Vía de Evitamiento del Bajo Piura.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS		"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (SUCS) NORMAS TÉCNICAS: ASTM D 2487							
DATOS DE LA MUESTRA							
CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE				PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M			
UBICACIÓN : BAJO PIURA				HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA			
MUESTRA : M-01				FECHA : 25/03/2018			
CALICATA	TRAMO	% PASA TAMIZ N°4	% FINOS	LL	LP	IP	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
C-01	KM 00+000	87.8	22.3	23.1	15.1	8.0	SC-SM
C-02	KM 02+000	95.6	38.8	19.6	13.5	6.0	SC
C-03	KM 04+000	99.0	35.0	25.0	17.9	7.1	SM
C-04	KM 06+000	87.3	17.1	30.0	22.6	7.4	SC
C-05	KM 08+000	96.1	3.2	15.8	12.5	3.3	SP
C-06	KM 10+000	99.2	4.4	20.3	15.2	5.1	SP
C-07	KM 12+000	89.3	23.9	27.4	23.2	4.1	SM
C-08	KM 14+000	99.6	31.7	17.0	14.7	2.4	SM
C-09	KM 16+000	97.5	26.7	19.8	15.1	4.6	SC-SM
C-10	KM 18+000	95.1	30.1	31.0	27.5	3.4	SM
C-11	KM 20+000	86.7	36.0	42.3	30.5	11.8	SM
C-12	KM 22+000	98.7	52.5	38.3	25.6	12.7	ML
C-13	KM 24+000	91.0	46.8	51.8	29.7	22.1	SC
C-14	KM 26+000	86.6	32.0	40.8	30.4	10.4	SM

Figura 48. Clasificación del suelo según SUCS para los 26 kilómetros de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

5.2.9 Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para definir materiales destinados al diseño y construcción de vías, ya que estudia determinadas propiedades específicas del suelo a ser usado ya sea para terraplenes, subrasantes, subbases y bases de la vía.

Se considera los siguientes criterios para clasificar por este método:

- La clasificación se basa en la granulometría del suelo, límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.
- En función del porcentaje del suelo que pasa por el tamiz N° 200 se considera, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz N° 200) y suelos Limo- arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz N° 200).
- Los suelos granulares se dividen en 3 grupos (A-1, A-2 y A-3)
- Los suelos limo-arcillosos se dividen en 4 grupos (A-4, A-5, A-6 y A-7)
- El grupo A-1 se subdivide en 2 subgrupos (A-1-a y A-1-b)

- El grupo A-2 se subdivide en 4 subgrupos (A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7)
- El grupo A-7 se subdivide en 2 subgrupos (A-7-5 y A-7-6)

En la tabla 39 y en la tabla 40 se muestran la clasificación de los suelos por el método AASHTO.

Tabla 39. *Clasificación AASHTO – Suelos granulares.*

Clasificación general	Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A – 2			
	A - 1 - a	A – 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Limite liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Nota: Se muestra la clasificación de suelos por método AASHTO para materiales granulares, por ASTM, 2003.

Tabla 40. *Clasificación AASHTO – Suelos limo-arcilloso.*

Clasificación general	Material limo- arcilloso (más del 35% del total pasa No.200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 (a) A-7-6 (b)
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa No. 40				
Límite líquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valoración general del subgrupo	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, $IP < LL - 30$				
(b) Para A-7-6, $IP > LL - 30$				

Nota: Se muestra la clasificación de suelos por método AASHTO para materiales limo-arcilloso, por ASTM, 2003.

La *gráfica 49* se usa para definir a los suelos de grupos A-4 a A-7 del método AASHTO.

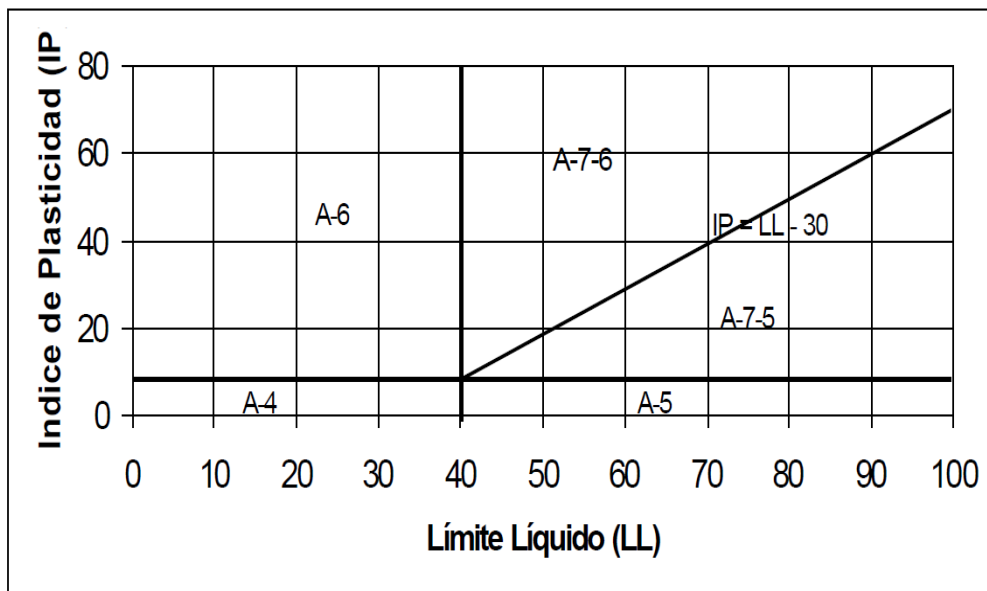


Figura 49. Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, Por ASTM, 2003.

El índice de grupo es un valor que complementa la clasificación y caracteriza mejor cada suelo dentro de los grupos. El índice de grupo es expresado como un número y se determina mediante la ecuación 24.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad (24)$$

Donde:

F= Porcentaje que pasa la malla N°200 (Considerando en la granulometría solo el material que pasa la malla 3")

LL= Límite líquido

IP= Índice de plasticidad

En la *Figura 50* se muestra la clasificación del suelo por método AASHTO para todas las calitas realizadas para el proyecto Vía de Evitamiento del Bajo Piura.


		"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"						
CLASIFICACIÓN AASHTO NORMAS TÉCNICAS: ASTM D 3282								
DATOS DE LA MUESTRA								
CONCEPTO :		LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE				PROFUNDIDAD :		0.90-1.50 M
UBICACIÓN :		BAJO PIURA				HECHO POR :		DIAZ & ESPINOZA
MUESTRA :		M-01				FECHA :		25/03/2018
CALICATA	TRAMO	% PASA TAMIZ N°4	% FINOS	LL	LP	IP	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
C-01	KM 00+000	87.8	22.3	23.1	15.1	8.0	A-2-4 (0)	
C-02	KM 02+000	95.6	38.8	19.6	13.5	6.0	A-6 (2)	
C-03	KM 04+000	99.0	35.0	25.0	17.9	7.1	A-2-4 (0)	
C-04	KM 06+000	87.3	17.1	30.0	22.6	7.4	A-2-4 (0)	
C-05	KM 08+000	96.1	3.2	15.8	12.5	3.3	A-3 (0)	
C-06	KM 10+000	99.2	4.4	20.3	15.2	5.1	A-3 (0)	
C-07	KM 12+000	89.3	23.9	27.4	23.2	4.1	A-2-4 (0)	
C-08	KM 14+000	99.6	31.7	17.0	14.7	2.4	A-2-4 (0)	
C-09	KM 16+000	97.5	26.7	19.8	15.1	4.6	A-2-4 (0)	
C-10	KM 18+000	95.1	30.1	31.0	27.5	3.4	A-2-4 (0)	
C-11	KM 20+000	86.7	36.0	42.3	30.5	11.8	A-7-5 (2)	
C-12	KM 22+000	98.7	52.5	38.3	25.6	12.7	A-6 (5)	
C-13	KM 24+000	91.0	46.8	51.8	29.7	22.1	A-7-6 (6)	
C-14	KM 26+000	86.6	32.0	40.8	30.4	10.4	A-2-7 (1)	

Figura 50. Clasificación del suelo según AASHTO para los 26 kilómetros de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

5.3 Capacidad de soporte de la subrasante

5.3.1 Ensayo Proctor Modificado

Este ensayo de Proctor Modificado es realizado con el objetivo de determinar la humedad óptima para el cual el suelo analizado alcanza la máxima densidad seca. En las siguientes líneas se describirá el procedimiento seguido a la muestra obtenida en la progresiva Km 00+000.

Después de haber extraído el material de las calicatas y posteriormente realizado el muestreo, se pasó por el tamiz N°4 para obtener una muestra mayor a 30 kg. Esto se hizo ya que al realizar el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino se pudo determinar que el tamiz retuvo menos del 20% en peso del suelo analizado, siendo correspondiente el uso del método A. Por ello, se separó 4 bolsas de plástico de 3090 g (3kg + 90 g) para el ensayo de Proctor Modificado, representando 90 g el 3% de 3kg. El valor de 3% permite corregir la humedad del suelo que fue obtenido anteriormente en la granulometría.

Se preparó cuatro especímenes con contenidos de agua muy cercanos al óptimo. Los porcentajes de humedad fueron 4%, 6%, 8% y 10% que permitieron definir exactamente la curva de compactación. Estos valores de porcentaje en peso en agua se añadieron poco a poco a las muestras durante la mezcla. Para finalizar, el suelo homogéneo obtenido se compactó en 5 capas dando 25 golpes/capa por minuto en forma circular. En la *figura 51* se muestra todos los pasos seguidos en el laboratorio para compactar el suelo a una determinada humedad.



Figura 51. Proceso de preparación del espécimen a compactar a una determinada humedad, por fuente propia, 2018.

Se obtuvo una muestra representativa del suelo compactado en un recipiente de una masa mayor a 500 g. Este fue llevado al horno para mezclarlo de forma homogénea con la ayuda de una espátula. De esta manera se pudo hallar el contenido de humedad del suelo analizado. En la *figura 52* se observa los materiales y equipos empleados para determinar la humedad del suelo.



Figura 52. Proceso seguido en el laboratorio para determinar el contenido de humedad, por fuente propia, 2018.

Después de haber hecho la parte experimental en campo y laboratorio se pasa a realizar el trabajo de gabinete. Para ello, se emplearon las siguientes ecuaciones que permitieron realizar los cálculos necesarios para determinar el objetivo. Algunas de ellas no son mostradas líneas abajo ya que fueron presentadas en el Ensayo del Cono de Arena. Se denotan en las ecuaciones 25 y 26.

$$\delta_d = \frac{\delta_h}{1+w} \quad (25)$$

$$\delta_h = \frac{W_3}{V} \quad (26)$$

Dónde:

W_1 : peso de suelo humedo + molde

W_2 : peso molde + base

W_3 : peso de suelo humedo compactado

V : volumen del molde

δ_h : peso volumetrico humedo

δ_d : peso volumetrico seco

w : contenido de humedad

Las fórmulas se usaron para toda la información obtenida en campo y en laboratorio en las 14 calicatas realizadas en el Bajo Piura. Los resultados son presentados en la tabla 41 el cual muestra el resumen del cálculo del contenido de humedad, peso volumétrico seco y húmedo.

Tabla 41. Proctor Modificado.

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
PROCTOR MODIFICADO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura				LADO L.D	
TRAMO	Km. 00+000				PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura				HECHO POR G.E.M	
CALICATA					FECHA : 06/06/2018	
MUESTRA	M - 01					
Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6224	6314	6369	6354	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1951	2041	2096	2081	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.071	2.167	2.225	2.209	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	235.4	231.2	227.1	222.9	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	14.6	18.9	23.0	27.1	
Peso del suelo seco	gr.	235.4	231.2	227.1	222.9	
Contenido de agua	%	6.20	8.15	10.11	12.16	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.950	2.003	2.021	1.970	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	2.022
					Humedad óptima (%)	9.78

Nota: Formato de cálculo del peso volumétrico húmedo, contenido de agua y peso volumétrico seco. Por fuente propia, 2018.

Con los resultados anteriores a 56 golpes/capa, 25 golpes/capa y 12 golpes/capa es posible definir la curva de compactación o curva de Proctor. Esta es mostrada en la figura 53. En ella se puede observar que para un contenido de humedad óptimo igual a 9.78%, le corresponde una densidad máxima seca igual a 2.022 g/cm²

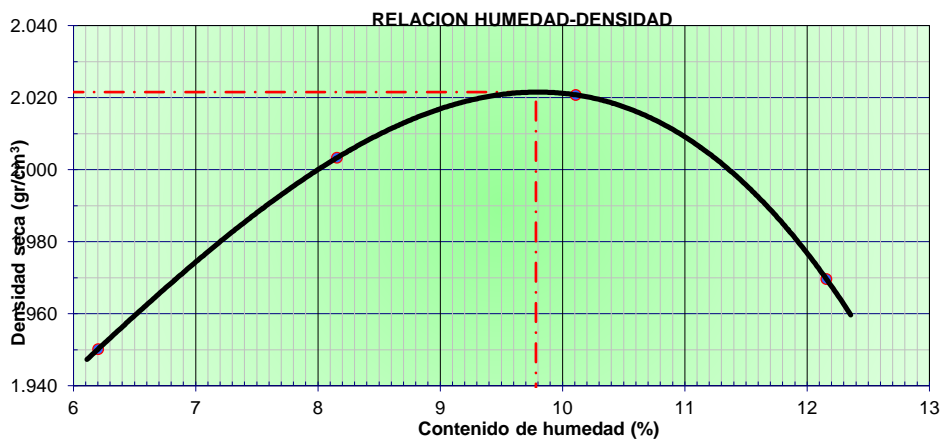


Figura 53. Curva de relación humedad y densidad, por fuente propia, 2018.

Todo lo realizado y explicado líneas atrás se han realizado cada 2km desde la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 26+000. En la tabla 42 se muestra el resumen de todos los

resultados del contenido de humedad óptima y la máxima densidad seca para cada progresiva analizada.

Tabla 42. Valores de contenido humedad óptimo y máxima densidad seca.

Calicata	Lado	Progresiva (km.)	Optimo contenido de Humedad	Máxima Densidad Seca
			(%)	(g/cm ³)
C - 01	Der	00+000	9.78	2.022
C - 02	Izq	02+000	15.14	1.838
C - 03	Der	04+000	10.47	1.959
C - 04	Izq	06+000	11.82	1.806
C - 05	Der	08+000	4.65	1.748
C - 06	Izq	10+000	9.30	1.848
C - 07	Der	12+000	15.30	1.476
C - 08	Izq	14+000	6.05	1.803
C - 09	Der	16+000	8.50	1.994
C - 10	Izq	18+000	32.21	1.384
C - 11	Der	20+000	23.20	1.351
C - 12	Izq	22+000	18.83	1.707
C - 13	Der	24+000	24.46	1.478
C - 14	Izq	26+000	21.52	1.407

Nota: se describe los valores del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca para los 26 kilómetros de la vía. Por fuente propia, 2018.

5.3.2 Ensayo de Soporte de California

Este Ensayo de Soporte de California es realizado con el objetivo de determinar la capacidad de soporte o resistencia al corte del suelo analizado al 95% de la MDS (máxima densidad seca). En las siguientes líneas se describirá el procedimiento seguido a la muestra obtenida en la progresiva Km 00+000.

Del material que pasa la malla N°4 se toman muestras de 6kg en tres bolsas de plástico. En cada una de estas se adiciona la cantidad de agua necesaria para llegar a la humedad óptima, que facilita la compactación. Luego, se toma una porción del material para hallar su contenido de humedad. En la *figura 54* se muestran el proceso de homogenización del suelo y la toma del mismo para hallar el contenido de humedad.



Figura 54. Proceso seguido previa a la compactación del suelo, por fuente propia, 2018.

En seguida las muestras son divididas en 5 partes iguales para compactarlo en 5 capas del mismo espesor. Se procede a compactar el suelo a razón de 56 golpes/capa, 25 golpes/capa y 12 golpes/capa en forma circular. Después de compactar se saca el collarín para enraizar la parte superior del espécimen y tomar lectura de su peso. Luego, La muestra es colocada sobre una base que contiene papel filtro, material que también es colocado sobre el espécimen. Además, se ponen los contrapesos sobre la parte superior que simulan las cargas del tráfico o el peso del pavimento. En la *figura 55* se muestra el proceso de compactación y cargas empleadas para simular el tráfico.

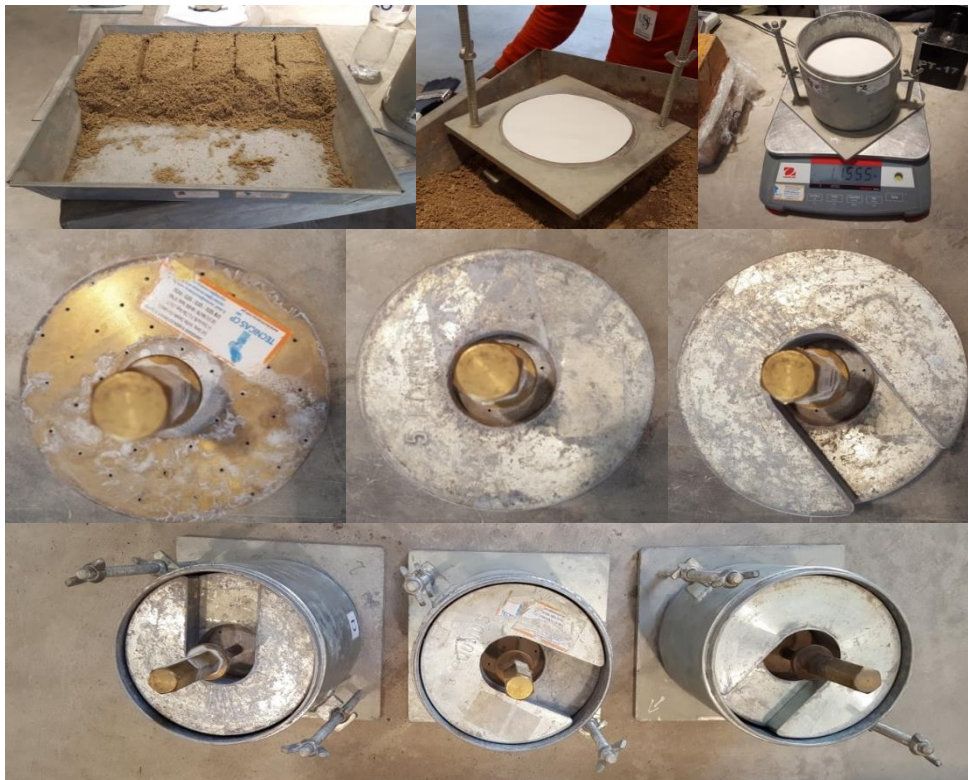


Figura 55. Proceso seguido para compactar el suelo a la humedad óptima y sumergir el suelo en la cámara de curado, por fuente propia, 2018.

Antes de sumergir las muestras en la cámara de curado, se toman las primeras lecturas para medir el hinchamiento con la ayuda de un trípode de medida. Este equipo se instala sobre los

bordes del molde haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Después de realizado eso se anota el desplazamiento, la hora y el día en un formato y sobre las muestras. Las probetas se mantienen sumergidas durante 96 horas con el nivel de agua constante. Al final del lapso de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. En la *figura 56* se muestra proceso empleado para medir la expansión del suelo y determinar si es expansivo o no.



Figura 56. Proceso seguido antes, durante y después de medir el hinchamiento de la muestra, por fuente propia, 2018.

Las muestras sacadas de la cámara de curado se dejan escurrir en un intervalo de 15 min para luego tomar la lectura de su peso. Después, la probeta pasa a ser ensayada en la prensa CBR, para ello se alista un cronómetro para medir el tiempo en el cual el pisón penetra. La penetración se observa en el dial y comienza cuando el lector de la carga está en 0 o 0.5kgf. Para obtener valores correctos, la manivela tiene que girar a una velocidad de 1.27 mm/min. La lectura de la carga se hace a las penetraciones de 0.635 mm, 1.27 mm, 1.905 mm, 2.54 mm, 5.08 mm, 7.62 mm, 10.16 mm y 12.7 mm para finalizar el ensayo. En la *figura 57* se observa el proceso seguido en el ensayo de CBR.



Figura 57. Equipos y herramientas empleado en el ensayo CBR, por fuente propia, 2018.

Del suelo ensayado se toma una porción representativa de su masa para hallar el contenido de humedad. En la *figura 58* se observa a la probeta de suelo fisurada y a la fracción de peso tomada para calcular su humedad.



Figura 58. Suelo fisurado a 12 golpes/capa y a 56 golpes/capa y la toma de suelo para la hallar la humedad final, por fuente propia, 2018.

Después de haber hecho la parte experimental en laboratorio se pasa a realizar el trabajo de gabinete. Para ello, se emplearon las ecuaciones presentadas en el ensayo de Proctor Modificado que permitieron realizar los cálculos necesarios para determinar el objetivo.

Las fórmulas se usaron para toda la información obtenida en el laboratorio en las muestras de las 14 calicatas realizadas en el Bajo Piura. Los resultados son presentados en la tabla 43 el cual muestra el resumen del cálculo del contenido de humedad óptimo y la máxima densidad seca a una energía de compactación de 56 golpes/capa, 25 golpes/capa y 12 golpes/capa.

Tabla 43. Compactación.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO						
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura				LADO L.D	
TRAMO	Km. 00 +000				PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura				HECHO POR G.E.M	
CALICATA					FECHA : 06/06/2018	
MUESTRA	: M-001					
COMPACTACIÓN						
Molde Nº	12		11		10	
Capas Nº	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12975	12975	12510	12342	12320	12320
Peso de molde + base (g)	8281	8281	8040	8040	8095	8095
Peso del suelo húmedo (g)	4694	4694	4470	4302	4225	4225
Volumen del molde (cm ³)	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.216	2.216	2.108	2.029	1.996	1.996
Tara (Nº)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	273.40	273.4	272.96	Tc-273	273.05	273.1
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	26.60	26.6	27.04	Tc-27	26.95	27.0
Peso de suelo seco (g)	273.40	273.4	272.96	Tc-273	273.05	273.1
Contenido de humedad (%)	9.73	9.7	9.91	Tc-09.9	9.87	9.9
Densidad seca (g/cm ³)	2.020	2.0	1.918	1.8	1.816	1.8

Nota: Cálculo de la máxima densidad seca para distintos contenidos de humedad y energías de compactación. Por fuente propia, 2018.

En el aspecto de saber si el suelo es expansivo los resultados de la lectura de expansión del suelo a las 96 h son mostrados en tabla 44. Estos valores indican que el suelo tiene la característica de expandirse.

Tabla 44. Registro de la expansión del suelo.

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

Nota: se muestra los valores de expansión del suelo. Por fuente propia, 2018.

Con los resultados del ensayo CBR se elaboró las gráficas cargas vs penetración para corregir los valores que muestran irregularidades del ensayo, tal como se observa en figura 59, figura 60 y figura 61. En ellas se muestra la ecuación que define dicha curva y si esta necesita o no corrección. En caso necesite se halla el punto de inflexión a partir del cual se pueda corregir, pero en los casos presentados ninguna curva necesitó corrección.

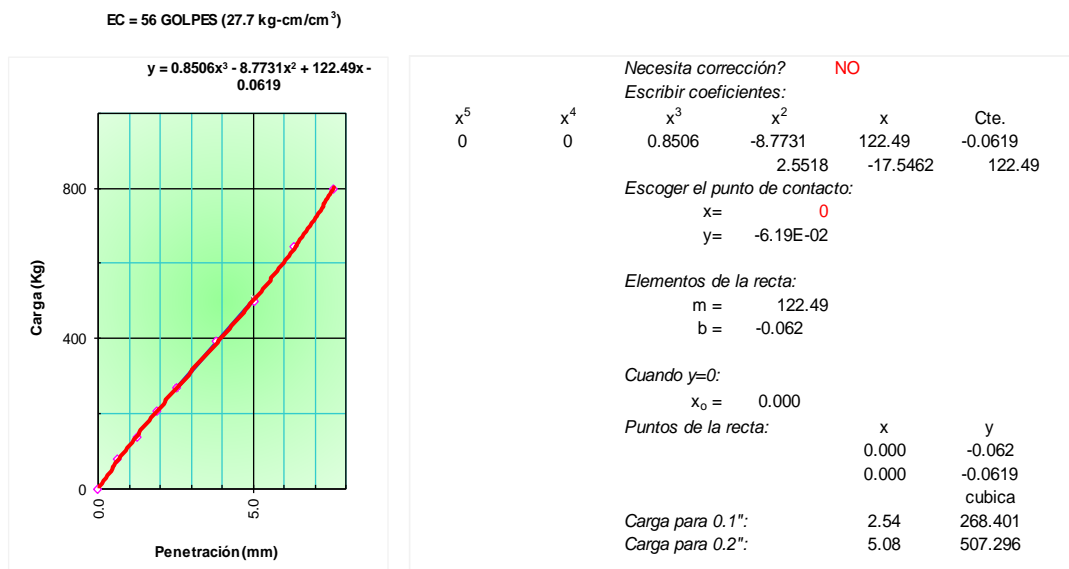


Figura 59. Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 56 golpes/capa, por fuente propia, 2018.

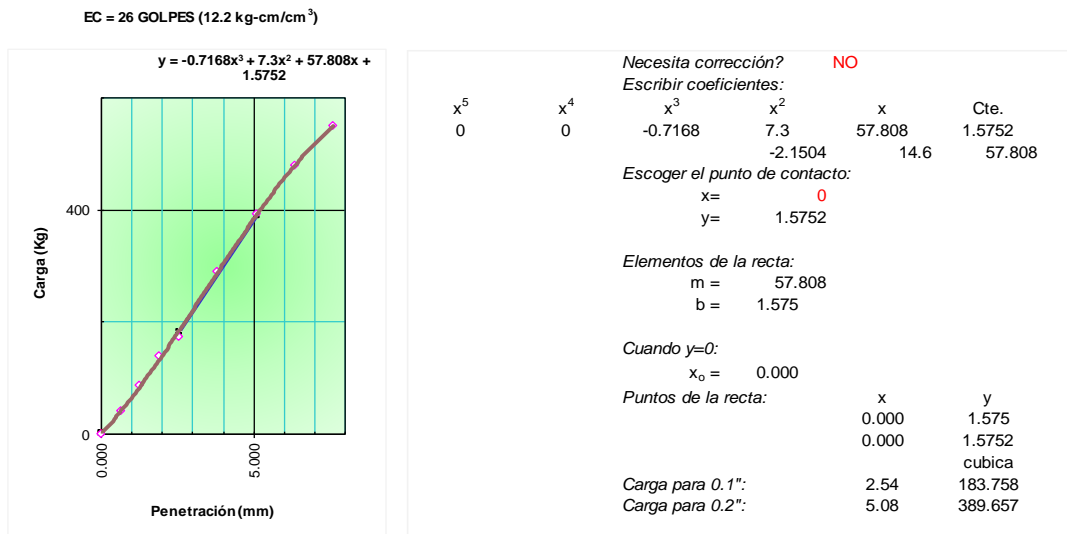


Figura 60. Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 25 golpes/capa por fuente propia, 2018.

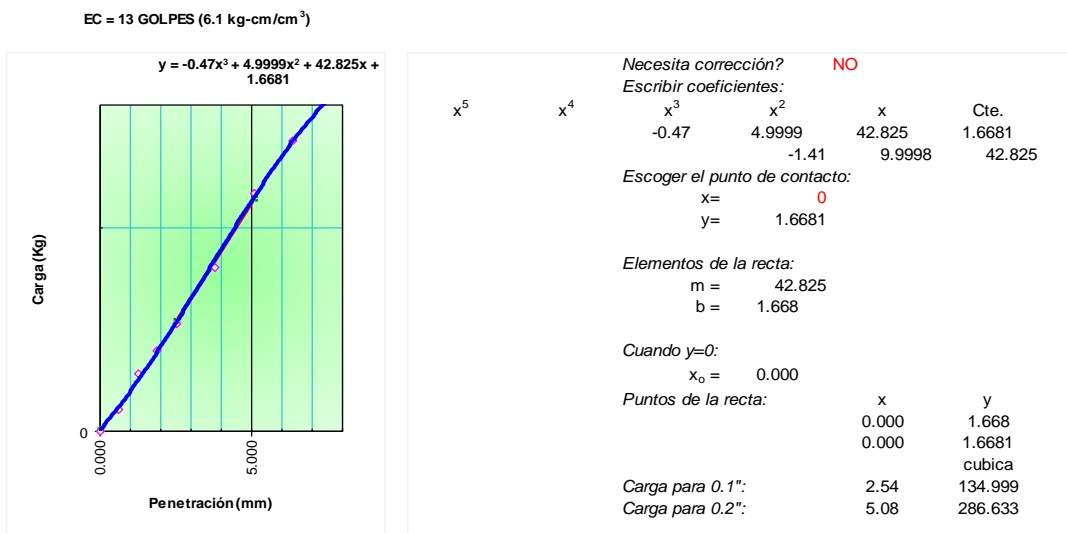


Figura 61. Corrección de grafica carga vs penetración a una energía de compactación de 12 golpes/capa, por fuente propia, 2018.

A partir de ahí se pueden calcular los valores de CBR corregidos a 0.1" y a 0.2" de penetración para tres valores de densidades máximas secas obtenidas a una energía de compactación de 56 golpes/capa, 25 golpes/capa y 12 golpes/capa, tal como se aprecia en la tabla 45.

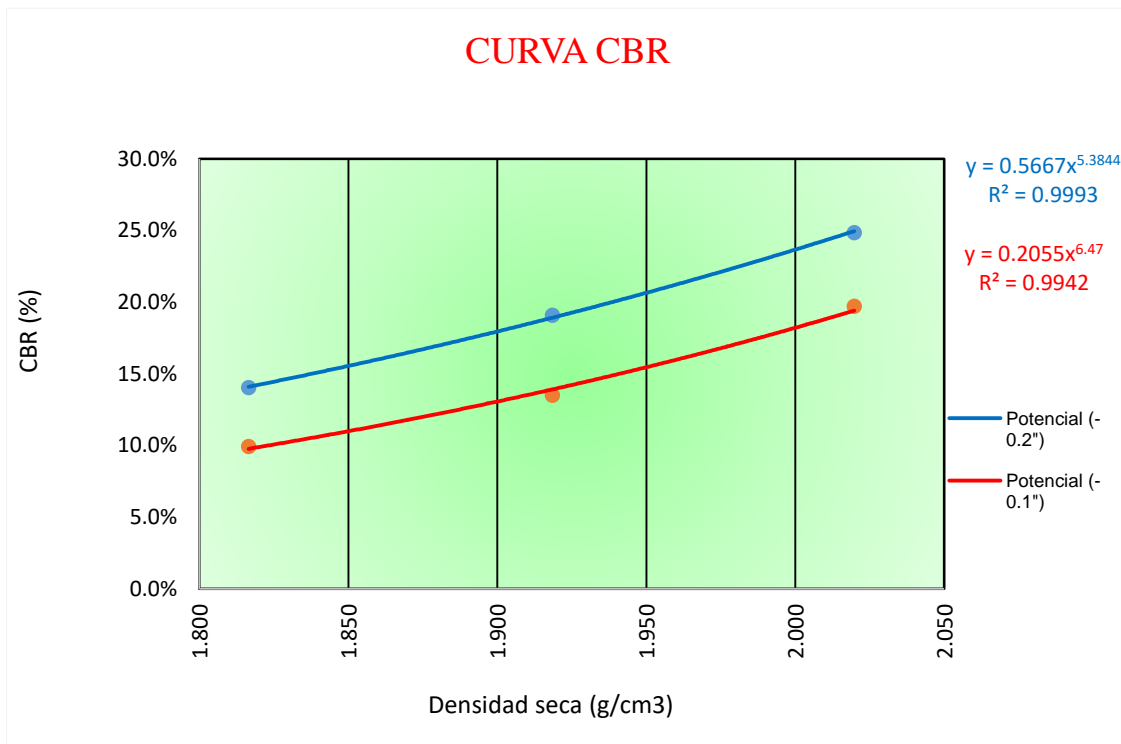
Tabla 45. Penetración.

PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	78			42	42			23	28		
1.270		164	137			97	87			71	71		
1.905		242	207			149	139			100	100		
2.540	70.5	330	269	268.4	19.7	184	174	183.8	13.5	133	133	135.0	9.9
3.810		471	394			305	290			202	202		
5.080	105.7	569	499	507.3	24.8	412	392	389.7	19.1	273	293	286.6	14.0
6.350		704	645			498	478			314	356		
7.620		876	800			569	549			350	409		
10.160		1074	1055			745	738			415	505		
12.700		1285	1271			861	879			469	599		

Nota: Valores de carga estándar y cargas encontradas del ensayo de CBR permiten calcular el CBR a 0.1", por fuente propia, 2018.

Finalmente, se obtiene con los valores corregidos de CBR a 0.1" y a 0.2" y con los valores de densidad máxima seca para los tres puntos analizados en laboratorio, la curva Densidad Máxima Seca vs CBR, tal como se observa en la *figura 62*. Además, son mostradas las funciones potenciales que mejor representan a los resultados determinados anteriormente.

Figura 62. Curva de definición de CBR para 0.1" y 0.2" de penetración, por fuente propia, 2018.



A partir de la curva CBR se determinó los valores de capacidad de soporte al 95% de la MDS (máxima densidad seca) y a la densidad natural determinada en campo. En la *figura 63* se muestra los valores de CBR al 100% de la MDS, el CBR al 95% de la MDS y el CBR a la densidad natural. Además, se muestra la caída significativa de CBR que experimenta el suelo a la densidad natural.

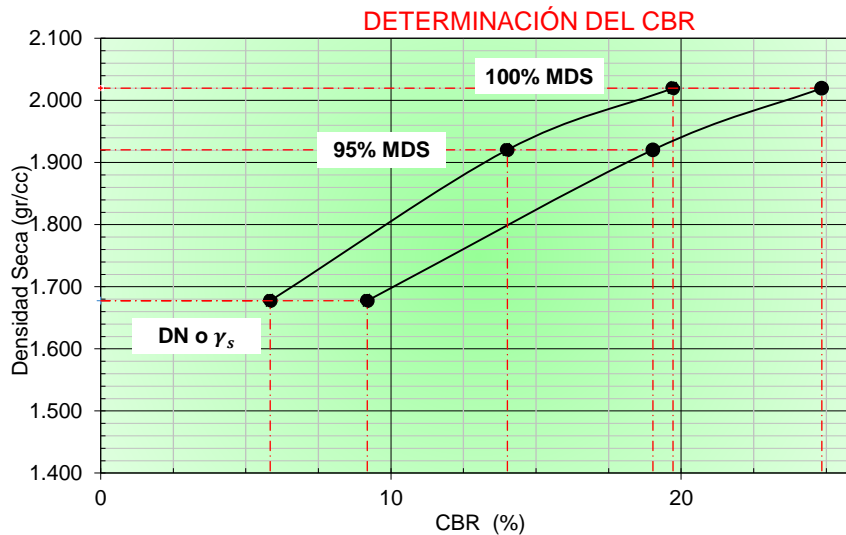


Figura 63. Curva de CBR obtenida en la progresiva km. 00+000.

Todo lo realizado y explicado líneas atrás se han realizado a cada 2km desde la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 26+000. En la tabla 46 se muestra el resumen de todos los resultados del ensayo CBR al 95% de la máxima densidad seca para cada progresiva analizada.

Tabla 46. Densidad máxima seca.

PROGRESIVA	100% MDS	%w _{óptimo}	95% MDS	CBR 0.1" (%)
km 00 + 000	2.022	9.85	1.921	14.0
km 02 + 000	1.838	15.14	1.746	13.1
km 04 + 000	1.959	10.47	1.861	12.2
km 06 + 000	1.806	11.82	1.716	15.7
km 08 + 000	1.748	4.65	1.661	14.7
km 10 + 000	1.848	9.30	1.756	14.9
km 12 + 000	1.476	20.98	1.402	10.3
km 14 + 000	1.803	6.05	1.713	13.9
km 16 + 000	1.994	8.50	1.894	12.3
km 18 + 000	1.384	32.32	1.315	12.6
km 20 + 000	1.351	23.10	1.283	9.8
km 22 + 000	1.707	18.83	1.622	7.1
km 24 + 000	1.478	24.46	1.404	13.1
km 26 + 000	1.407	21.52	1.337	9.8

Nota: Resumen de valores de CBR a 0.1" al 95% de la MDS, por fuente propia, 2018.

En la tabla 47 se muestra el resumen de todos los valores de CBR obtenidas a la densidad natural a partir de la curva CBR para cada progresiva analizada.

Tabla 47. Densidad natural.

PROGRESIVA	γ_h	%w	γ_s	CBR 0.1" (%)
km 00 + 000	1.781	6.20	1.677	5.8
km 02 + 000	1.636	12.60	1.453	3.1
km 04 + 000	1.763	15.70	1.524	3.3
km 06 + 000	1.465	4.55	1.401	2.9
km 08 + 000	1.486	5.85	1.404	5.4
km 10 + 000	1.572	6.25	1.479	4.7
km 12 + 000	1.530	32.20	1.157	2.2
km 14 + 000	1.592	8.90	1.462	3.5
km 16 + 000	1.773	10.60	1.603	3.4
km 18 + 000	1.190	10.40	1.078	4.3
km 20 + 000	1.216	17.90	1.031	1.8
km 22 + 000	1.519	9.10	1.393	2.0
km 24 + 000	1.271	12.30	1.132	3.2
km 26 + 000	1.224	11.50	1.098	1.9

Nota: Resumen de valores de CBR a 0.1" a la densidad natural. Por fuente propia, 2018.

Es necesario resaltar que los valores de CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) y a la densidad natural fueron trabajados de manera comparativa en gráficas en las que se puede observar cómo se reduce el valor de CBR al trabajar en esa condición extrema. En la *figura 64* se muestra en la plantilla la forma en cómo se obtuvo los valores CBR al 100% de la MDS, al 95% de la MDS y a la densidad natural, tanto para 0.1" como para 0.2".

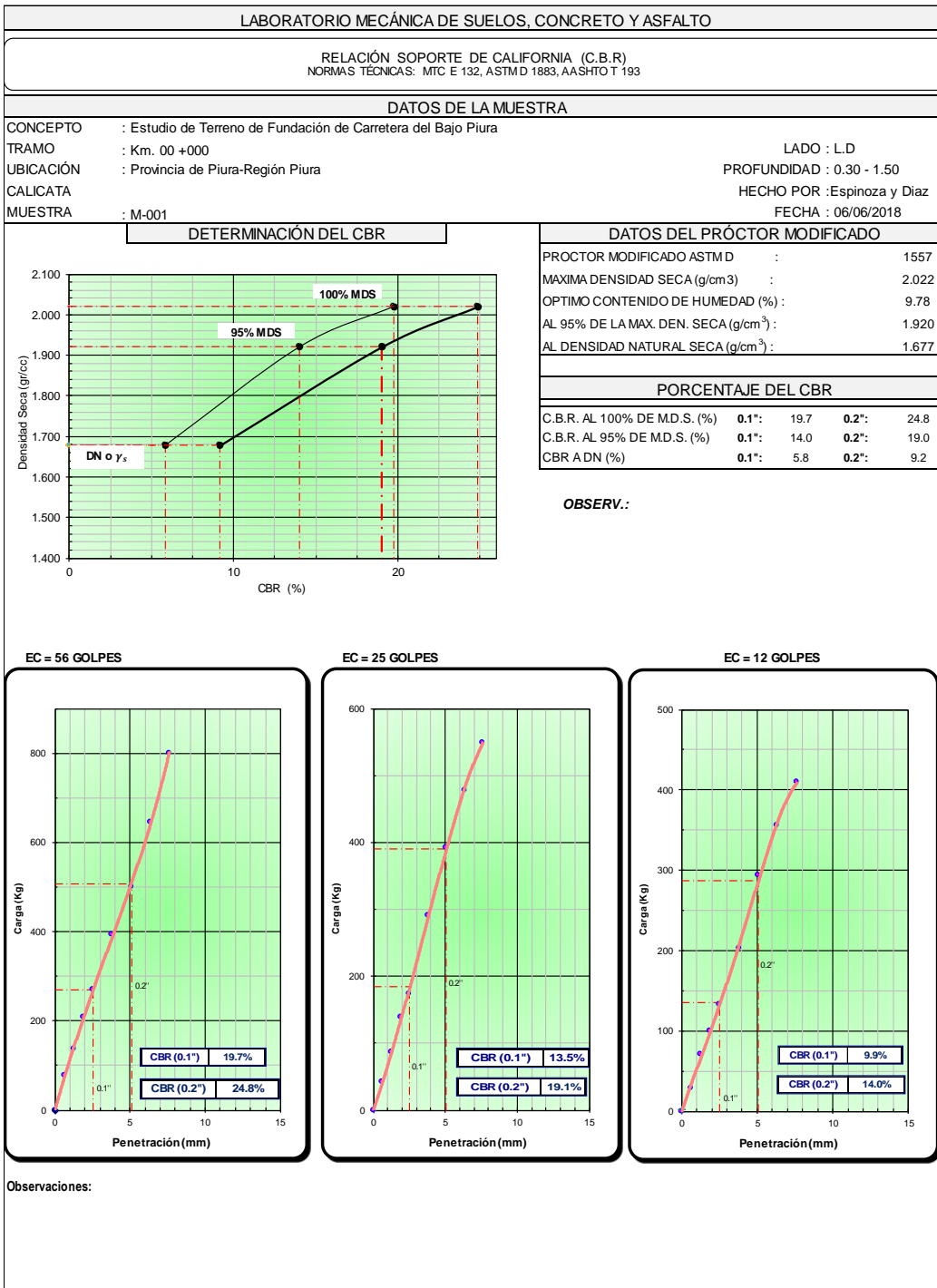


Figura 64. Plantilla de cálculo del CBR a 0.1" y 0.2" al 100% MDS, al 95% MDS y a la densidad natural, por fuente propia, 2018.

Los ensayos realizados, tanto en campo como en laboratorio, de caracterización geotecnia del Bajo Piura fueron representados en la tabla 48 de resumen. Esta muestra valores obtenidas en los ensayos de granulometría, humedad natural, límites de consistencia, ensayo de Proctor Modificado y en el Ensayo de Soporte de California.

Tabla 48. Resumen de ensayos de laboratorio y campo.

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO																										
PROGRESIVA	CALICATA	DATOS DE LA CALICATA														CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR MODIFI.		%CBR		SALES SOLUBLES
		MUESTRA	PROFUND M.	Nº3/4	Nº1/2	Nº3/8	Nº4	Nº8	Nº10	Nº30	Nº40	Nº50	Nº80	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO		MDS (g/cm³)	H OPT. (%)	A la DN de 0.1"	A195% de 0.1"	
Km. 00+000	C-01	M-02	0.30-1.50	100.0	97.9	97.5	87.8	82.1	75.4	58.2	53.9	51.7	45.0	41.0	22.3	19.6	13.6	6.1	SC-SM	A-2-4(0)	6.20	2.022	9.9	5.8	14.0	0.254
Km. 01+000	C-02	M-02	0.60-1.50	100.0	99.3	98.0	95.6	93.4	91.2	83.4	81.2	80.3	74.6	66.5	38.8	33.2	18.4	14.8	SC	A-6(2)	12.60	1.838	15.1	3.1	13.1	0.209
Km. 02+000	C-03	M-02	1.00-1.50		100.0	99.9	99.1	97.1	95.5	91.6	90.2	89.5	82.7	66.7	35.0	19.6	16.1	3.5	SM	A-2-4(0)	15.70	1.959	10.5	3.3	12.2	0.407
Km. 03+000	C-04	M-02	0.90-1.50	100.0	96.8	93.6	87.3	82.3	79.0	72.9	71.3	70.5	63.3	38.8	17.1	30.0	22.6	7.4	SC	A-2-4(0)	4.55	1.806	11.8	2.9	15.7	0.432
Km. 04+000	C-05	M-02	0.30-1.50		100.0	99.1	96.1	93.7	91.4	81.6	77.4	75.1	59.3	28.7	3.2	15.8	NP	NP	SP	A-3(0)	5.85	1.748	4.7	5.4	14.7	0.153
Km. 05+000	C-06	M-02	0.30-1.50		100.0	99.9	99.2	98.7	98.0	93.3	85.1	77.9	45.1	23.3	4.4	16.9	NP	NP	SP	A-3(0)	6.25	1.848	9.3	4.7	14.9	0.147
Km. 06+000	C-07	M-02	0.30-0.75		100.0	97.9	93.6	90.4	88.0	75.4	69.3	66.9	56.5	45.1	27.3	27.4	23.2	4.2	SM	A-2-4(0)	32.20	1.476	15.3	2.2	10.3	0.223
Km. 07+000	C-08	M-03	0.20-0.80		100.0	99.9	99.1	97.6	96.4	90.2	88.1	87.0	75.5	44.9	11.6	19.3	17.1	2.2	SP-SM	A-2-4(0)	8.90	1.803	6.1	3.5	13.9	0.255
Km. 08+000	C-09	M-02	0.20-1.10	100.0	96.9	95.2	91.4	89.7	88.5	81.2	75.3	71.4	55.8	39.8	24.3	19.8	15.1	4.7	SC-SM	A-2-4(0)	10.60	1.994	8.5	3.4	12.3	0.219
Km. 09+000	C-10	M-01	0.00-1.50		100.0	99.3	95.1	91.3	87.0	71.9	67.3	65.7	55.1	43.3	30.1	31.0	27.5	3.5	SM	A-2-4(0)	10.40	1.384	32.3	4.3	12.6	0.209
Km. 10+000	C-11	M-01	0.00-1.50		100.0	99.9	86.7	80.9	75.4	57.3	52.5	50.7	45.7	42.8	36.0	42.3	30.5	11.8	SM	A-7-5(2)	17.90	1.351	23.1	1.8	9.8	0.190
Km. 11+000	C-12	M-01	0.15-1.50		100.0	99.9	98.7	97.6	96.6	91.9	88.3	87.3	83.1	80.1	52.5	38.3	25.6	12.7	ML	A-6(5)	9.10	1.707	18.8	2.0	7.1	0.184
Km. 12+000	C-13	M-02	0.20-1.50		100.0	99.9	91.0	89.0	87.0	77.4	70.6	68.1	59.0	53.7	46.8	45.2	25.3	19.9	SC	A-7-6(6)	12.30	1.478	24.5	3.2	13.1	0.293
Km. 13+000	C-14	M-02	0.20-1.50		100.0	97.9	86.6	81.6	78.4	60.7	55.0	52.5	44.8	36.4	32.0	44.1	32.6	11.5	SM	A-2-7(1)	11.50	1.407	21.5	1.9	9.8	0.360

Nota: Resumen de la caracterización geotécnica de la Vía de Evitamiento de Bajo Piura, por fuente propia, 2018.

5.4 Diseño de pavimento rígido

A continuación, se desarrollarán dos diseños de pavimentos rígidos de acuerdo a lo indicado en la normativa vigente y de acuerdo a la condición natural o crítica del suelo de subrasante.

5.4.1 Diseño de pavimento rígido considerando subrasante al 95% de la MDS

El objetivo es determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico considerando, por un lado, las propiedades físicas-mecánicas de los suelos de subrasante arena limosa y de los suelos granulares de subbase de la cantera Pampa Bonita. Por otro lado, es también considerar la resistencia de la losa de concreto, las componentes características de un pavimento de concreto simple, las condiciones climáticas del lugar, el confort y la demanda de tráfico futuro. En las siguientes líneas se mostrará la ecuación fundamental de diseño de pavimento rígido y las variables que han sido calculadas y obtenidas del manual de carreteras en la sección de suelos y pavimentos para las condiciones esperadas en el proyecto. En la tabla 49 se muestra los valores determinados.

Tabla 49. Valores de las variables de diseño.

W ₁₈	1.85E+07
Z _R	-1.28
S ₀	0.35
P _i	4.50
P _t	3.00
S' _c	640.05
J	2.80
C _d	1.00
E _c	4.02E+06

Nota: Se resume los valores de las variables de diseño. Por fuente propia, 2018.

Para poder calcular el espesor de la losa de concreto es necesario determinar la variable de diseño k . Para ello es necesario tener los valores de CBR de subrasante arena limosa y los valores de CBR de subbase de la cantera Pampa Bonita, ambos obtenidos en laboratorio. Estos valores convertidos en módulo resiliente y elástico, respectivamente, serán ingresados en un nomograma que permite calcular el valor de k .

Los CBR de subrasante arena limosa obtenidas al 95% de la MDS son mostrados en la *figura 65* en 26 kilómetros de carreteras.

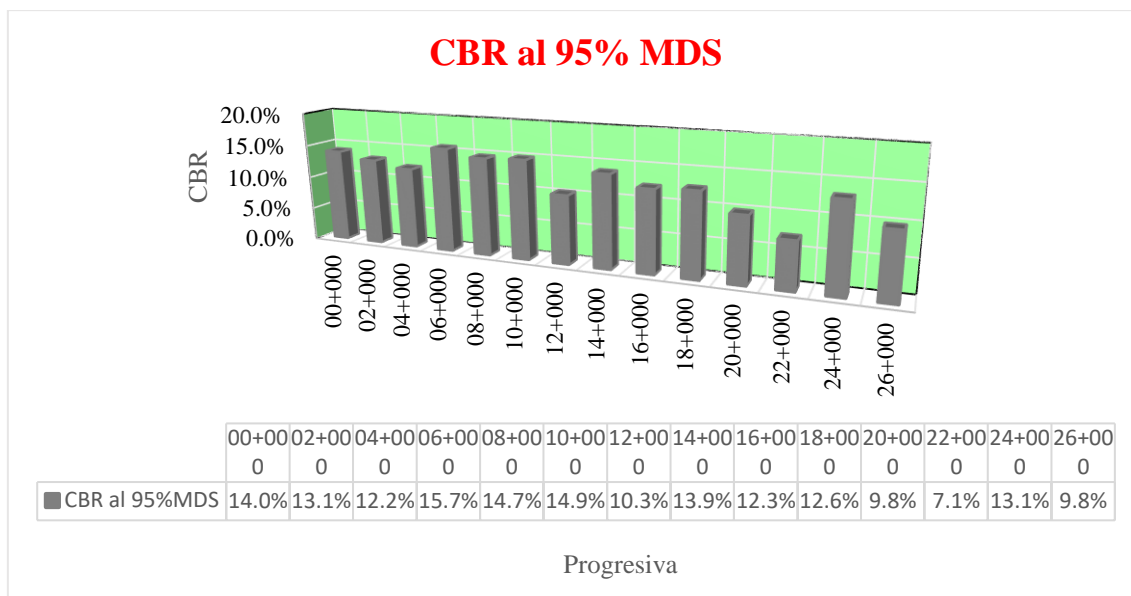


Figura 65. Valores de CBR de sub-rasante arena limosa obtenidas al 95% de la MDS, por fuente propia, 2018.

Los CBR obtenidos son usados para determinar valores representativos de estos en distintos intervalos de kilómetros de carretera. Para ello, se usa el método de las diferencias acumuladas sugerido por AASHTO 1993. En la tabla 50 se muestra los valores de Zx para cada punto de progresiva en la que se tomaron las muestras.

Tabla 50. Método de las Diferencias Acumuladas.

Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre intervalo	Dist. Acumulada entre intervalos	Intervalo promedio	Área del intervalo	Área acumulada	Zx
00+000	14.0%	1	2000	2000	14.011	28022.630	28022.630	2959.96
02+000	13.1%	2	2000	4000	13.536	27072.764	55095.393	4970.06
04+000	12.2%	3	2000	6000	12.611	25221.524	80316.918	5128.92
06+000	15.7%	4	2000	8000	13.928	27856.871	108173.789	7923.12
08+000	14.7%	5	2000	10000	15.197	30394.809	138568.598	13255.26
10+000	14.9%	6	2000	12000	14.819	29638.926	168207.524	17831.52
12+000	10.3%	7	2000	14000	12.614	25227.732	193435.256	17996.59
14+000	13.9%	8	2000	16000	12.077	24153.277	217588.533	17087.20
16+000	12.3%	9	2000	18000	13.064	26128.294	243716.827	18152.83
18+000	12.6%	10	2000	20000	12.423	24845.735	268562.562	17935.89
20+000	9.8%	11	2000	22000	11.215	22430.167	290992.729	15303.39
22+000	7.1%	12	2000	24000	8.450	16900.293	307893.022	7141.02
24+000	13.1%	13	2000	26000	10.063	20126.978	328020.001	2205.33
26+000	9.8%	14	2000	28000	11.429	22857.336	350877.336	0.00
						At	350877.3361	
						Lp	28000	
						F	12.53133343	

Nota: Se detalla los procedimientos para obtener los tramos de la vía a diseñar. Por fuente propia, 2018.

El parámetro Zx permite crear zonas homogéneas. Para ello, Los valores obtenidos son dibujados vs las progresivas y para determinar dichos sectores se trazaron rectas que tomen la mayor cantidad de puntos analizados. Esto es mostrado en la figura 66 a través de cuatro sectores.

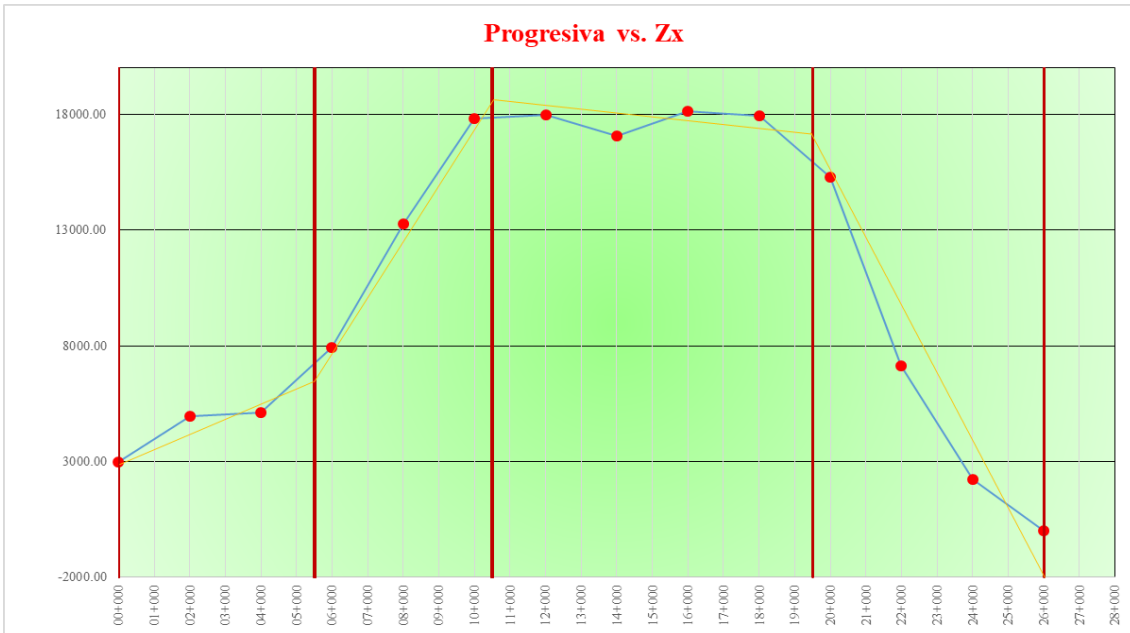


Figura 66. Tramos homogéneos obtenidos trazando rectas que contengan la mayor cantidad de puntos analizados, por fuente propia, 2018.

En cada uno de los cuatro tramos homogéneos se determina el valor de CBR promedio de los puntos analizados. Esto es mostrado en la figura 67 con valores que son mayores a 9.5% y menos a 15.5%.

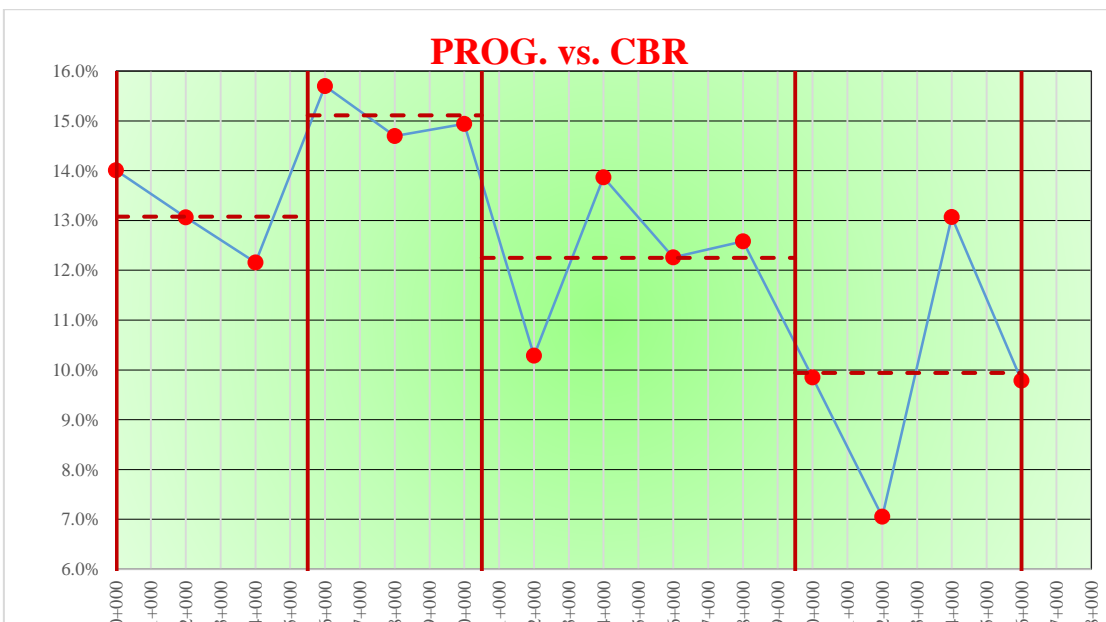


Figura 67. Determinación de CBR representativo para cada intervalo, por fuente propia, 2018.

Al ser cuatro intervalos homogéneos se obtendrán cuatro valores de k y cuatro valores de espesores de losa de concreto hidráulico. La figura 68 muestra el valor k considerando una sub-rasante de CBR igual a 13.08% y de 20 cm y una sub-base de CBR igual 105% de 20 cm. Esto se hizo para todos los tramos definidos.

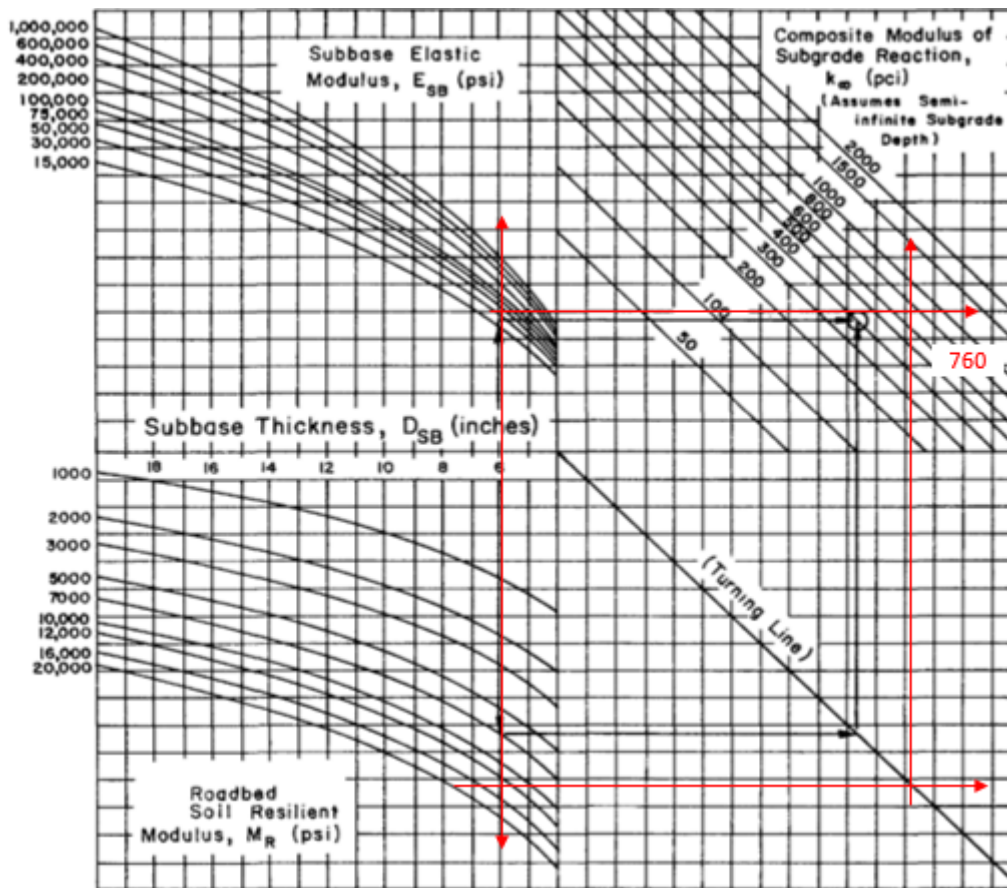


Figura 68. Nomograma que permite calcular el valor k. Adaptado de AASHTO 1993, por fuente propia, 2018.

Los valores de k son mostrados en la tabla 51 para los cuatro sectores homogéneos. Estos fueron hallados usando el nomograma anterior.

Tabla 51. Valores del aporte combinado k.

Tramo	Del Km.	Al Km.	Km.	CBR Sub-rasante (%)	CBR Sub-base (%)	e subbase (cm)	k (pci)
I	00+000	05+500	02+750	13.08	105	15	760.00
II	05+500	10+500	08+000	15.11	105	15	810.00
III	10+500	19+500	15+000	12.25	105	15	740.00
IV	19+500	26+000	22+750	9.94	105	15	650.00

Nota: Se determina el aporte combinado del valor de k. Por fuente propia, 2018.

Conociendo los valores k y los restantes parámetros de diseño se puede determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico para cada intervalo definido. Para ello se ingresan los valores a la plantilla de cálculo mostrada en la figura 69.



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO			
CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido			
TRAMO:	Km. 00 + 000	-	Km. 05 + 500
			HECHO POR: Espinoza y Diaz
UBICACIÓN:	Bajo Piura		FECHA: 12/06/2018
RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO			Diseñar
Tráfico de diseño (W18)	<input style="width: 100%;" type="text" value="1.91E+07"/>		
Espesor de losa D (in)	<input style="width: 100%;" type="text" value="9.91"/>		
Espesor de subbase D (in)	<input style="width: 100%;" type="text" value="6"/>		
ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:			
$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J (D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}})} \right)$			
VARIABLES DE DISEÑO:			
Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in)	<input style="width: 100%;" type="text" value="760.00"/>		
Módulo de elasticidad del concreto - E _c (psi)	<input style="width: 100%;" type="text" value="4.02E+06"/>		
Módulo de rotura del concreto - S' _c (psi)	<input style="width: 100%;" type="text" value="640.05"/>		
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input style="width: 100%;" type="text" value="2.80"/>		
Coefficiente de drenaje - C _d	<input style="width: 100%;" type="text" value="1.00"/>		
Confiabilidad - R	<input style="width: 100%;" type="text" value="90.00"/>		
Desviación estandar normal - Z _R	<input style="width: 100%;" type="text" value="-1.282"/>		
desviación estándar - S ₀	<input style="width: 100%;" type="text" value="0.35"/>		
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input style="width: 100%;" type="text" value="4.50"/>		
Serviciabilidad final - PSI final	<input style="width: 100%;" type="text" value="3.00"/>		
Tráfico de diseño - W ₁₈	<input style="width: 100%;" type="text" value="1.91E+07"/>		

Figura 69. Calculo del espesor del pavimento en la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 05+500, por fuente propia, 2018.

Los resultados de los espesores de losa de concreto hidráulico para cada intervalo homogéneo son mostrados en la *figura 70*. Este valor varió ligeramente en unidades de pulgadas, pero en unidades de centímetros se consideró un valor redondeado al entero igual a 25 cm. El resumen de los cálculos realizados para el diseño del pavimento rígido de concreto simple (JPCP) son mostrados en la tabla 52.

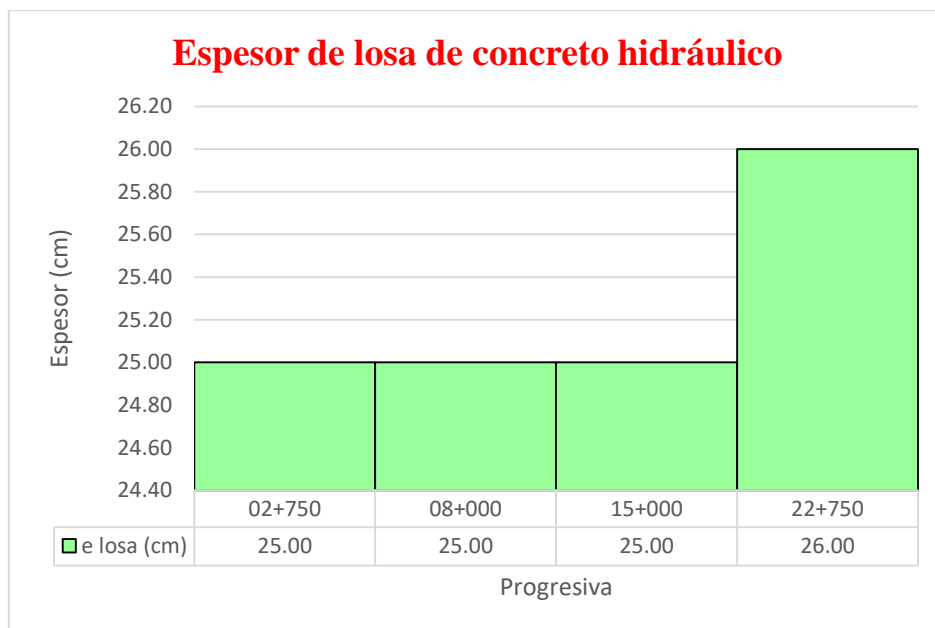


Figura 70. Resumen de espesores de losa de concreto para cada intervalo homogéneo, por fuente propia, 2018.

Tabla 52. Resultados de diseño del pavimento rígido tipo JPCP para los 4 intervalos definidos.

Tramo	Del Km.	Al Km.	Km.	CBR Sub-rasante (%)	CBR Sub-base (%)	k (pci)	e losa (in)	e losa (cm)	e losa (cm)	e subbase (cm)
I	00+000	05+500	02+750	13.08%	105	760.00	9.91	24.78	25.00	15
II	05+500	10+500	08+000	15.11%	105	810.00	9.85	24.63	25.00	15
III	10+500	19+500	15+000	12.25%	105	740.00	9.94	24.84	25.00	15
IV	19+500	26+000	22+750	9.94%	105	650.00	10.05	25.12	26.00	15

Nota: Procedimiento para los cuatro tramos hasta obtener el espesor en cada tramo, por fuente propia, 2018.

5.4.2 Diseño de pavimento rígido considerando suelo de sub-rasante a la Densidad Natural

Para el diseño del pavimento rígido considerando subrasante arena limosa de capacidad de soporte medida a la densidad natural se ha considerado los mismos valores de los parámetros de diseño para un pavimento rígido de tipo JPCP mas no los valores correspondientes a su CBR. En la figura 71 se muestran los valores de resistencia al corte de dicho suelo.

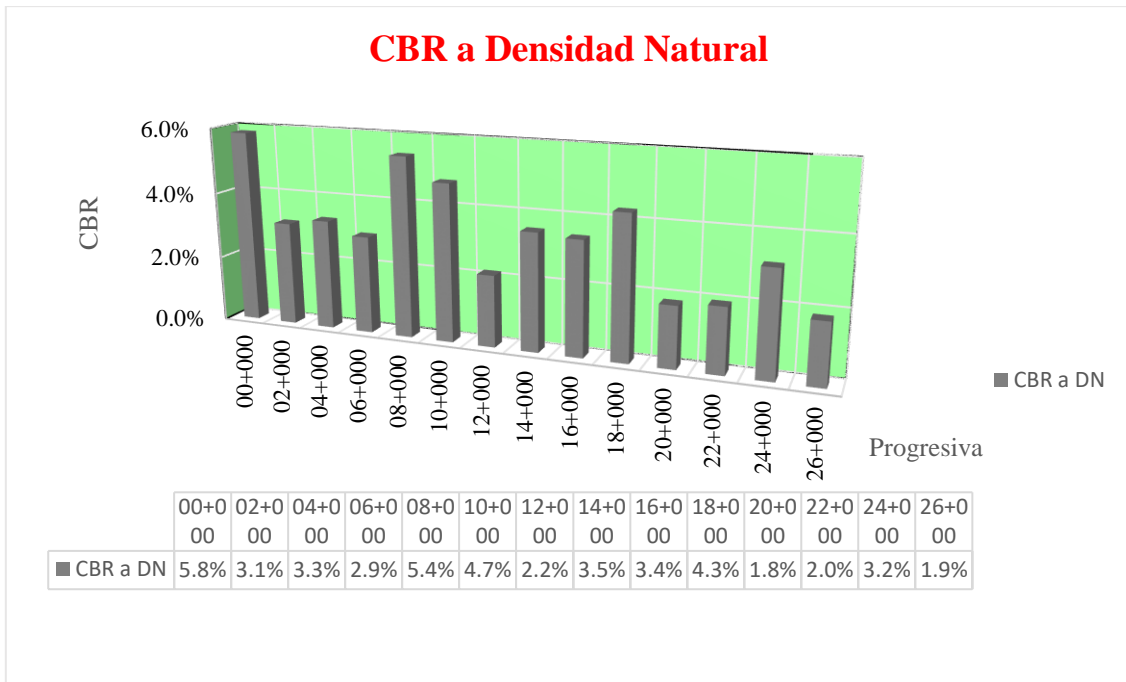


Figura 71. CBR a la densidad natural de suelos arena limosa, por fuente propia, 2018

Los CBR obtenidos son usados para determinar valores representativos de estos en distintos intervalos de kilómetros de carretera. Para ello, se usa el método de las diferencias acumuladas sugerido por AASHTO 1993. En la tabla 53 se muestra los valores de Z_x para cada punto de progresiva en la que se tomaron las muestras.

Tabla 53. Método de las Diferencias Acumuladas para valores de CBR a la Densidad Natural.

Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre intervalo	Dist. Acumulada entre intervalos	Intervalo promedio	Área del intervalo	Área acumulada	Zx
00+000	5.8%	1	2000	2000	5.839	11678.506	11678.506	4577.03
02+000	3.1%	2	2000	4000	4.490	8979.684	20658.191	6455.24
04+000	3.3%	3	2000	6000	3.232	6464.455	27122.646	5818.22
06+000	2.9%	4	2000	8000	3.137	6273.485	33396.131	4990.23
08+000	5.4%	5	2000	10000	4.195	8389.206	41785.337	6277.96
10+000	4.7%	6	2000	12000	5.094	10187.666	51973.003	9364.15
12+000	2.2%	7	2000	14000	3.456	6912.019	58885.021	9174.69
14+000	3.5%	8	2000	16000	2.853	5706.202	64591.223	7779.42
16+000	3.4%	9	2000	18000	3.495	6989.397	71580.620	7667.34
18+000	4.3%	10	2000	20000	3.877	7754.735	79335.355	8320.60
20+000	1.8%	11	2000	22000	3.075	6150.787	85486.142	7369.91
22+000	2.0%	12	2000	24000	1.901	3801.755	89287.897	4070.19
24+000	3.2%	13	2000	26000	2.559	5118.371	94406.268	2087.08
26+000	1.9%	14	2000	28000	2.507	5014.393	99420.661	0.00
At							99420.66079	
Lp							28000	
F							3.550737885	

Nota: Resultados para los cuatro tramos hasta obtener el espesor en cada tramo, por fuente propia, 2018.

El parámetro Zx permite crear zonas homogéneas. Para ello, Los valores obtenidos son dibujados vs las progresivas y para determinar dichos sectores se trazaron rectas que tomen la mayor cantidad de puntos analizados. Esto es mostrado en la *figura 72* a través de cinco sectores.

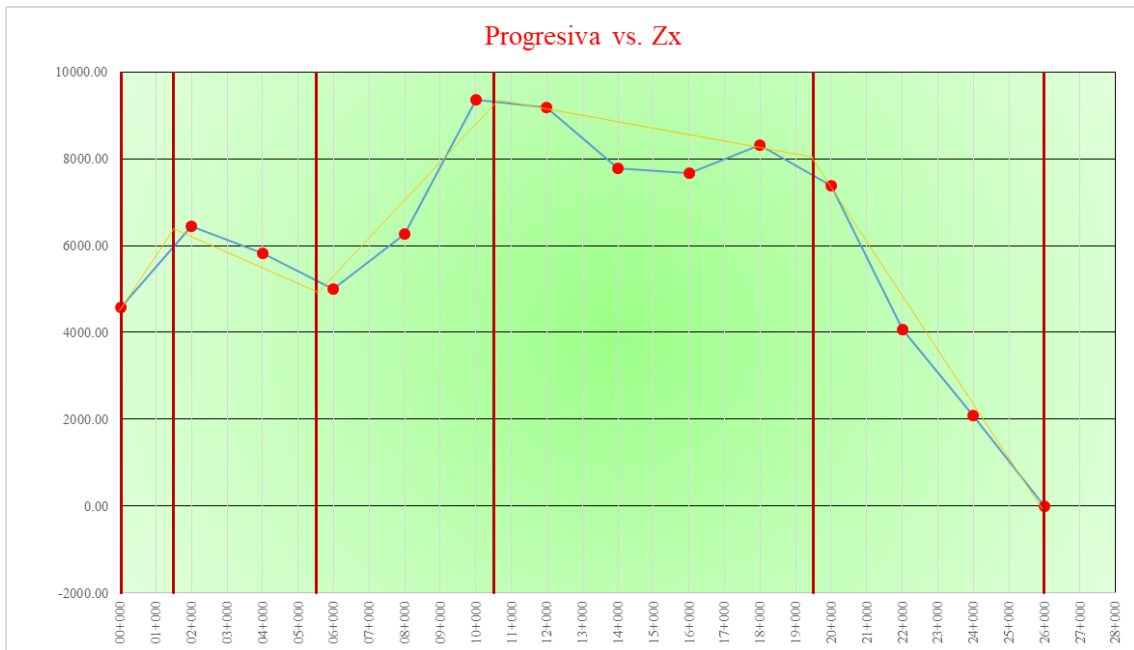


Figura 72. Determinación de los sectores homogéneos que tendrán las mismas características, por fuente propia, 2018.

En cada uno de los cinco tramos homogéneos se determina el valor de CBR promedio de los puntos analizados. Esto es mostrado en la *figura 73* con valores que son mayores a 2% y menos a 6%.

PROG. vs. CBR

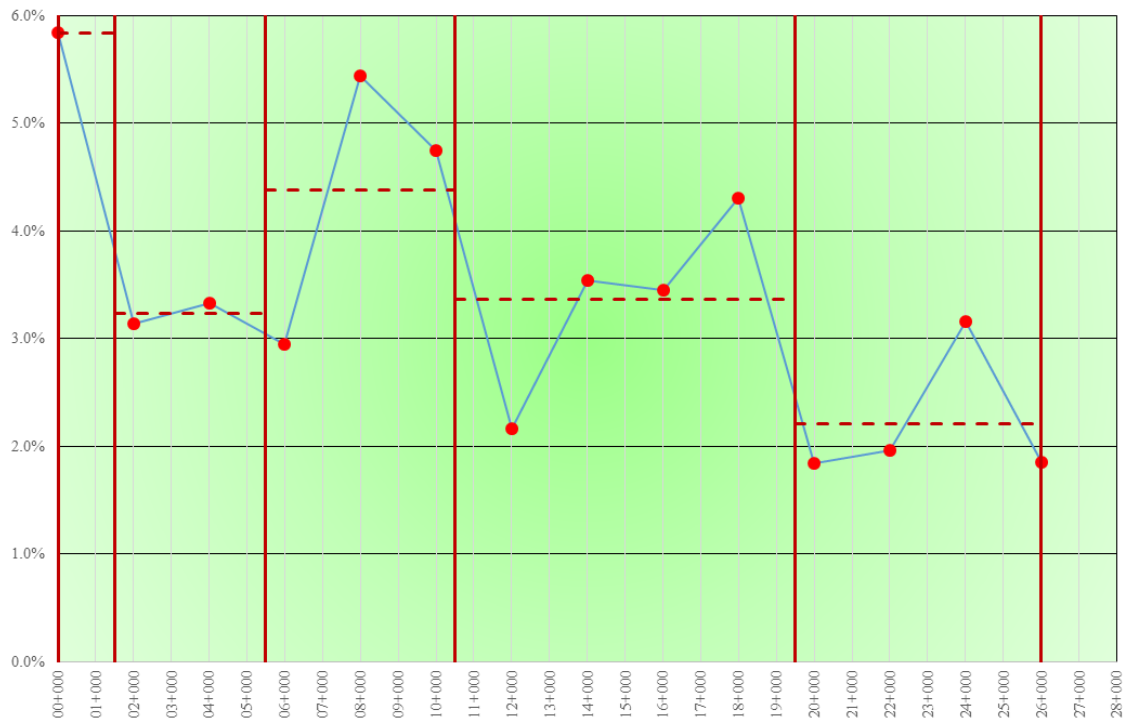


Figura 73. Determinación de los valores de CBR representativos, por fuente propia, 2018.

Al ser cinco intervalos homogéneos se obtendrán cinco valores de k y cinco valores de espesores de losa de concreto hidráulico. La *figura 74* muestra el valor k considerando una sub-rasante de CBR igual a 5.84% y de 20 cm y una sub-base de CBR igual 105% de 20 cm. Esto se hizo para todos los tramos definidos.

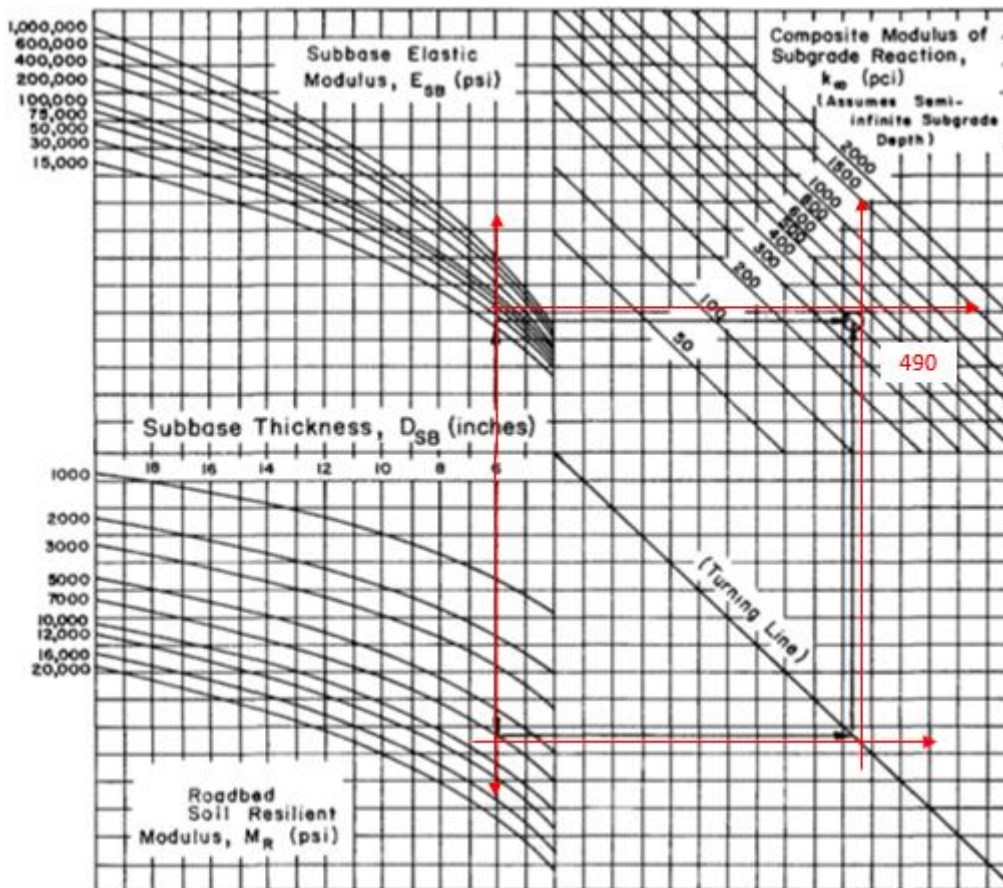


Figura 74. Nomograma que permite calcular el valor de k, adaptado de AASHTO 1993, por fuente propia, 2018.

Los valores de k son mostrados en la tabla 54 para los cinco sectores homogéneos. Estos fueron hallados usando el nomograma anterior.

Tabla 54. Valores del aporte combinado k.

Tramo	Del Km.	Al Km.	Km.	CBR Sub-rasante (%)	CBR Sub-base (%)	e subbase (cm)	k (pci)
I	00+000	01+500	00+750	5.84	105	15	490
II	01+500	05+500	03+500	3.23	105	15	365
III	05+500	10+500	08+000	4.38	105	15	420
IV	10+500	19+500	15+000	3.37	105	15	390
V	19+500	26+000	22+750	2.20	105	15	280

Nota: Se determina el aporte combinado del valor de k. Por fuente propia, 2018

Conociendo los valores k y los restantes parámetros de diseño se puede determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico para cada intervalo definido. Para ello se ingresan los valores a la plantilla de cálculo mostrada en la figura 75.



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 00 + 000 - Km. 01 + 500

HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura

FECHA: 12/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{0.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="490.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>

Figura 75. Calculo del espesor del pavimento en la progresiva km. 00+000 hasta la progresiva km. 01+500, por fuente propia, 2018.

Los resultados de los espesores de losa para cada intervalo homogéneo son mostrados en la figura 76. Este valor vario ligeramente en unidades de pulgadas, pero en unidades de

centímetros se consideró un valor redondeado al entero igual a 26 cm en un tramo y en el último tramo igual a 27 cm. El resumen de los cálculos realizados para el diseño del pavimento rígido tipo JPCP son mostrados en la tabla 55.

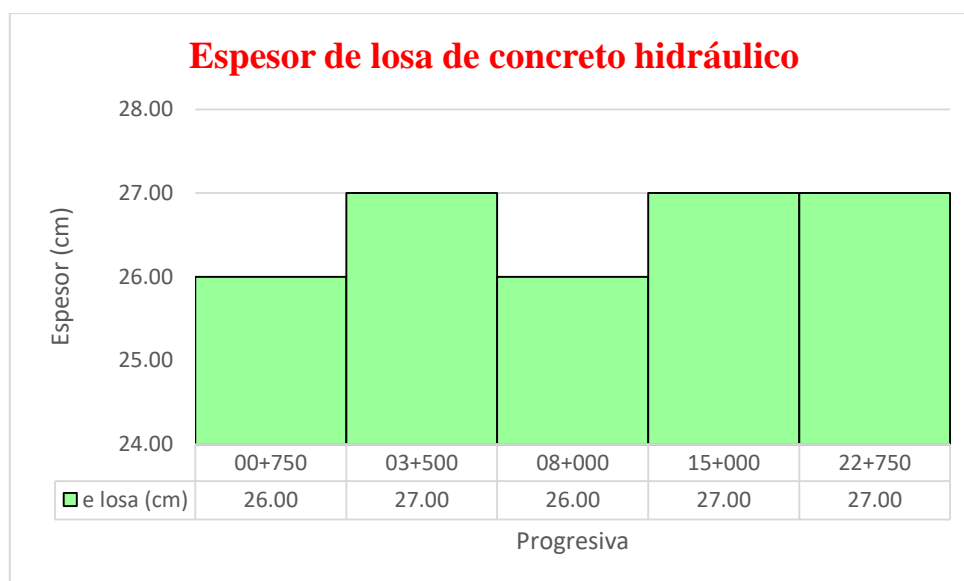


Figura 76. Resumen de espesores de losa de concreto para cada intervalo homogéneo, por fuente propia, 2018.

Tabla 55. Resultados de diseño de pavimento rígido tipo JPCP para los cinco intervalos definidos.

Tramo	Del Km.	Al Km.	Km.	CBR Sub-rasante (%)	CBR Sub-base (%)	k (pci)	e losa (in)	e losa (cm)	e losa (cm)	e subbase (cm)
I	00+000	01+500	00+750	5.84%	105%	490	10.26	25.66	26.00	15
II	01+500	05+500	03+500	3.23%	105%	365	10.46	26.15	27.00	15
III	05+500	10+500	08+000	4.38%	105%	420	10.37	25.93	26.00	15
IV	10+500	19+500	15+000	3.37%	105%	390	10.42	26.05	27.00	15
V	19+500	26+000	22+750	2.20%	105%	280	10.62	26.54	27.00	15

Nota: Se detallan los espesores para los cuatros tramos. Por fuente propia, 2018

5.4.3 Influencia del CBR del terreno de fundación en el diseño de pavimentos rígidos

Para entender la influencia de los espesores en el diseño de pavimentos rígidos con suelos arenas limosas es necesario entender como estos suelos susceptibles pierden su capacidad de soporte al erosionarse. En la figura 77 se muestra como los valores de CBR del suelo de subrasante caen bruscamente a valores bajos al erosionarse, registrándose un valor mínimo de 1.8%.

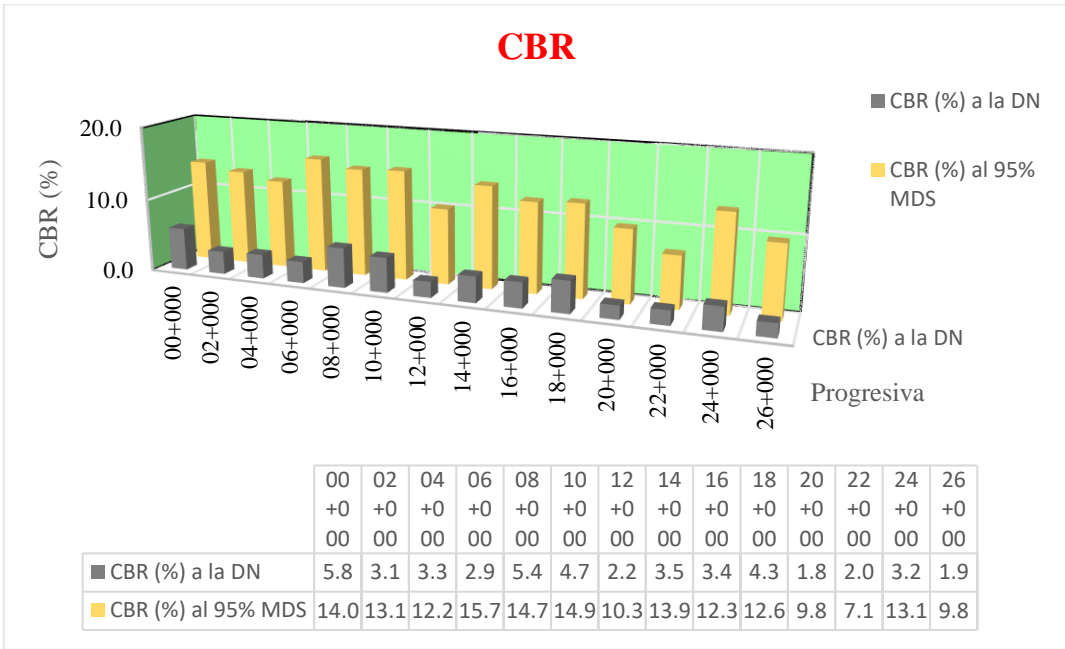


Figura 77. CBR a la DN y al 95% de la MDS, por fuentes propia, 2018.

Los valores de CBR en los intervalos homogéneos son analizados para los dos escenarios propuestos en el Proyecto de Tesis. En la figura 78 se muestra la relación entre los valores de CBR a la DN y al 95% de la MDS, donde se puede apreciar que los valores de resistencia al corte han sufrido pérdidas sustanciales en su capacidad de soporte.

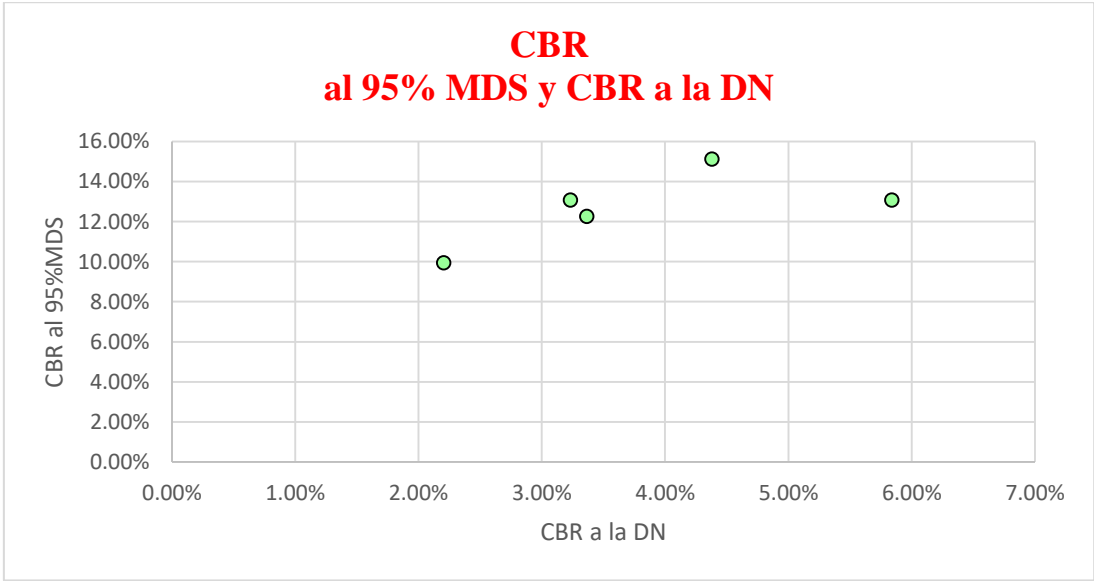


Figura 78. Relación de valores de CBR a la DN y al 95 de la MDS, por fuente propia, 2018.

Los valores de k en los intervalos homogéneos son analizados para los dos escenarios propuestos en el Proyecto de Tesis. En la figura 79 se muestra la relación entre los valores de k a la DN y al 95% de la MDS, donde se puede apreciar que los valores del aporte combinado de la sub-base y sub-rasante han sufrido caídas sustanciales.

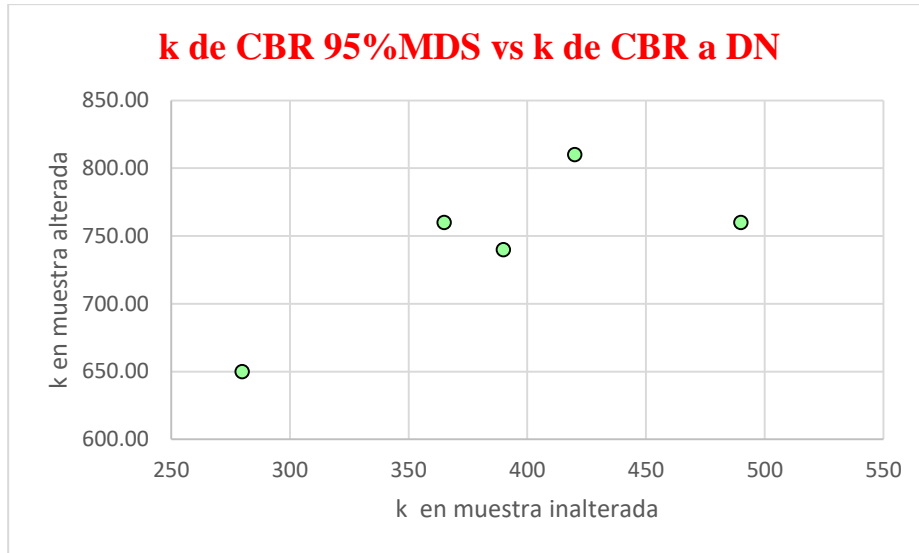


Figura 79. Relación de los valores de k a la DN y al 95% de MDS, por fuente propia, 2018.

Los valores de k y sus espesores de losa de concreto hidráulico correspondientes son mostrados en figura 80 y 81. En estas se puede observar que a pesar de existir diferencias en los valores k, la losa es indiferente a esta variación.

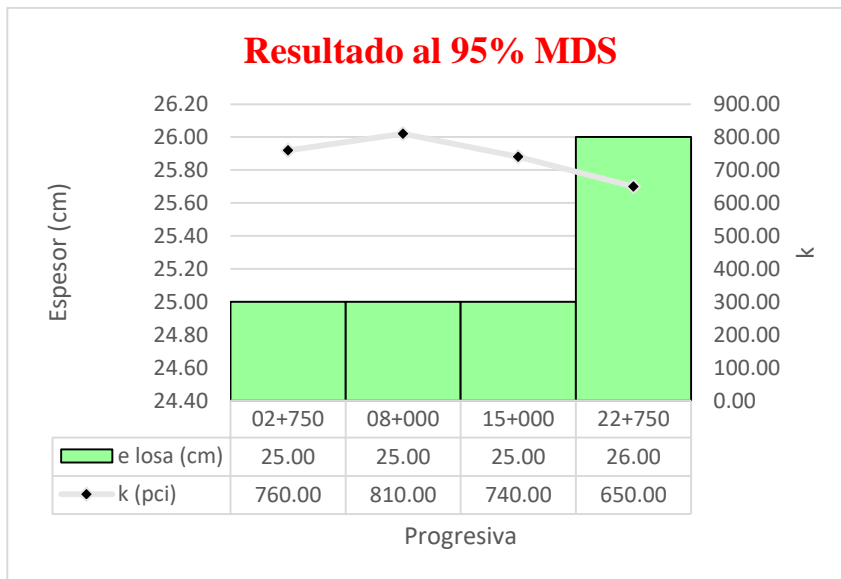


Figura 80. Relación de los valores de k respecto al espesor al 95% de MDS, por fuente propia, 2018.

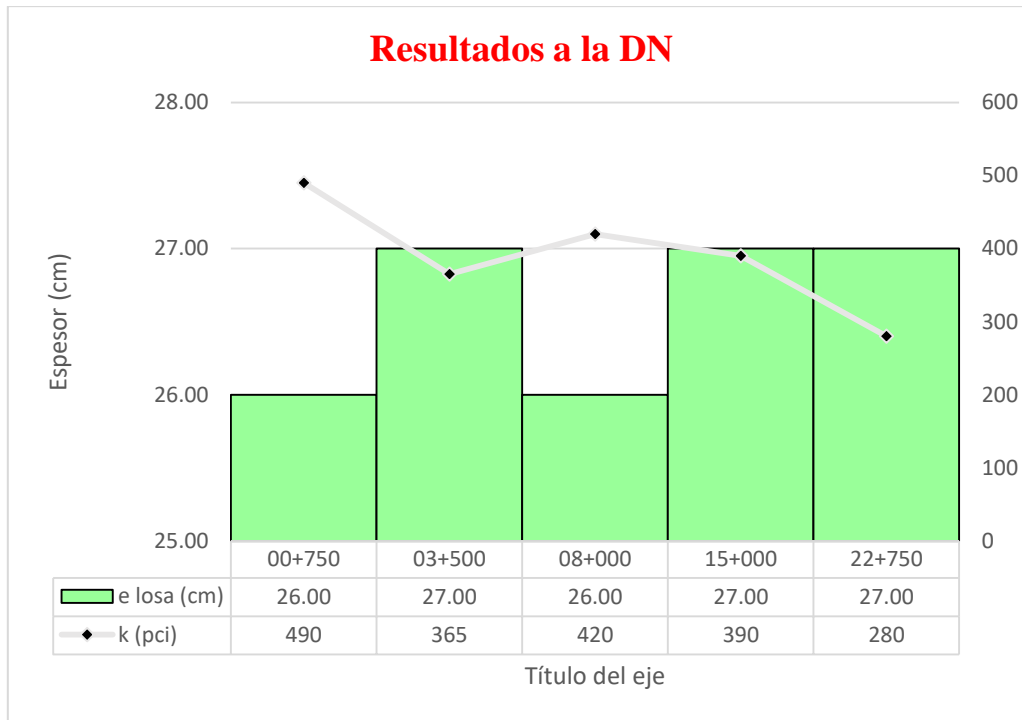


Figura 81. Relación de los valores de k respecto al espesor a la DN, por fuente propia, 2018.

Los espesores obtenidos en el diseño del pavimento rígido tipo JPCP, considerando ambos escenarios anteriormente descritos, son mostrados en la *figura 82*. Ahí se puede observar que los resultados varían en un centímetro desde el km 00+000 hasta el km 19+500 y desde esta progresiva hasta el km 26+000 varía en 2cm.

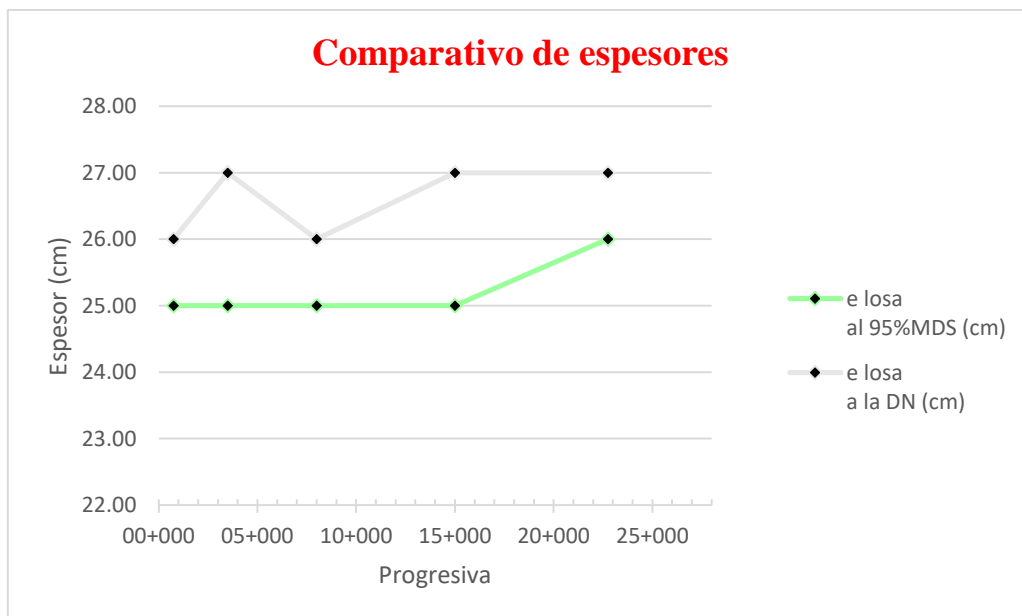


Figura 82. Comparación de los espesores de diseño en pavimento rígido, por fuente propia, 2018.

5.4.4 Sistema de drenaje

De acuerdo a las amenazas frecuentes de la corriente del niño se realiza la propuesta de construcción de un sistema de drenaje Urbano Mayor y con las Normas de Saneamiento OS.060 de Drenaje Pluvial Urbano del Reglamento Nacional de Edificaciones que pueda atender la exigencia hidrológica e hidrodinámica del área del Proyecto Vial para garantizar la vida útil del pavimento.

5.4.2.1. Información Hidrometeorológica

La escorrentía existente y producida en el área del estudio proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas de la zona.

Cercana a la zona de estudio se encuentra una Estación Meteorológica y Pluviométrica, cuyas características son las que se indican a continuación en la siguiente tabla 56:

Tabla 56. Estación Pluviométrica disponible en la zona de estudio.

Nombre de la Estación	Entidad Operadora	Ubicación Política			Ubicación Geográfica		Altitud (msnm)	Periodo de registro
		Dpto.	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud		
Miraflores	SENAMHI	Piura	Piura	Castilla	5°10' S	80°37' W	30	1987-1992 1995-2009

Nota: Referida a las series de precipitación máxima en 24 horas. Por Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 2018.

5.4.2.2. Precipitación Máxima

En la Tabla N° 57, se presenta la serie histórica de Precipitación Máxima de 24 horas,

Tabla 57. Precipitación Máxima en 24 horas – Estación Miraflores.

Nº	Año	Pmax. (mm)	Nº	Año	Pmax. (mm)
1	1987	34.90	13	1999	16.00
2	1988	4.60	14	2000	12.80
3	1989	10.10	15	2001	61.50
4	1990	2.40	16	2002	91.50
5	1991	3.50	17	2003	16.00
6	1992	107.10	18	2004	4.10
7	(*)1993	19.40	19	2005	9.50
8	(*)1994	19.50	20	2006	13.00
9	1995	6.80	21	2007	6.20
10	1996	1.80	22	2008	33.00
11	1997	49.50	23	2009	18.30
12	1998	173.60			

Nota: Valores recopilados. Por Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 2018.

5.4.2.3. Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia se basa en las diferentes funciones de distribución de probabilidad teórica, se ha seleccionado las funciones de distribución Log-Normal, Pearson tipo III, y Gumbel, por ser las más usadas en Hidrología para caso de eventos máximos.

Tabla 58. *Distribución Log-Normal.*

First Moment (mean) = 20.6857
 Second Moment = 5.099e02
 Skew = 1.719e+00

Numero	Weibull Probabilidad	Valor Actual	Valor Previsto	Desviación Standard
1	0.0455	1.80	3.1242	11.7521
2	0.0909	2.40	4.281	10.8763
3	0.1364	3.50	5.2883	10.1218
4	0.1818	4.10	6.2493	9.4109
5	0.2273	4.60	7.2056	8.7142
6	0.2727	6.20	8.1814	8.0172
7	0.3182	6.80	9.1951	7.3123
8	0.3636	9.50	10.2632	6.5977
9	0.4091	10.10	11.4024	5.8787
10	0.4545	12.80	12.6314	5.1741
11	0.5	13.00	13.9728	4.5288
12	0.5455	16.00	15.4565	4.0381
13	0.5909	16.00	17.1226	3.8721
14	0.6364	18.30	19.0231	4.2304
15	0.6818	19.40	21.2328	5.2123
16	0.7273	19.50	23.8636	6.8173
17	0.7727	33.00	27.0954	9.0827
18	0.8182	34.90	31.2415	12.1887
19	0.8636	49.50	36.9188	16.5906
20	0.9091	61.50	45.6053	23.4539
21	0.9545	91.50	62.4911	36.9421

Nota: Análisis de Frecuencia de Distribución Log-Normal. Por fuente propia, 2018.

Tabla 59. *Distribución Pearson Tipo III.*

First Moment (mean) = 20.6857
 Second Moment = 5.099e02
 Skew = 1.719e+00

Numero	Weibull Probabilidad	Valor Actual	Valor Previsto	Desviación Standard
1	0.0455	1.80	4.569	14.5308
2	0.0909	2.40	4.6328	13.1228
3	0.1364	3.50	4.8848	10.7465
4	0.1818	4.10	5.3062	8.3201
5	0.2273	4.60	5.8747	6.042
6	0.2727	6.20	6.5796	4.0492
7	0.3182	6.80	7.4185	2.6957
8	0.3636	9.50	8.3951	2.737
9	0.4091	10.10	9.5189	3.9465
10	0.4545	12.80	10.8043	5.4908
11	0.5	13.00	12.2726	7.0655
12	0.5455	16.00	13.9547	8.5819
13	0.5909	16.00	15.8947	10.0035
14	0.6364	18.30	18.1508	11.3031
15	0.6818	19.40	20.8065	12.4537
16	0.7273	19.50	23.9867	13.4231
17	0.7727	33.00	27.8883	14.1742
18	0.8182	34.90	32.8465	14.6789
19	0.8636	49.50	39.5015	15.0033
20	0.9091	61.50	49.3219	15.7894
21	0.9545	91.50	67.1344	21.3504

Nota: Análisis de Frecuencia de Distribución Log-Normal. Por fuente propia, 2018.

Tabla 60. Distribución Gumbel.

First Moment (mean) = 20.6857
 Second Moment = 5.099e02
 Skew = 1.719e+00

Numero	Weibull Probabilidad	Valor Actual	Valor Previsto	Desviación Standard
1	0.0455	1.80	-11.9696	5.92
2	0.0909	2.40	-6.9556	5.1763
3	0.1364	3.50	-3.2979	4.7206
4	0.1818	4.10	-0.2187	4.4131
5	0.2273	4.60	2.5516	4.2096
6	0.2727	6.20	5.1446	4.0914
7	0.3182	6.80	7.6384	4.0498
8	0.3636	9.50	10.0867	4.0797
9	0.4091	10.10	12.531	4.178
10	0.4545	12.80	15.0077	4.3428
11	0.5	13.00	17.5517	4.5727
12	0.5455	16.00	20.2005	4.8681
13	0.5909	16.00	22.9971	5.2315
14	0.6364	18.30	25.9952	5.6684
15	0.6818	19.40	29.2659	6.1888
16	0.7273	19.5	32.9098	6.81
17	0.7727	33	37.0799	7.561
18	0.8182	34.9	42.029	8.4928
19	0.8636	49.5	48.228	9.7033
20	0.9091	61.5	56.7308	11.4157
21	0.9545	91.5	70.894	14.3473

Nota: Análisis de Frecuencia de Distribución Gumbel. Por fuente propia, 2018.

5.4.2.4. Prueba de Bondad de ajuste

Luego de obtener las alturas de precipitación para diferentes períodos de retorno, se procede a efectuar la prueba de Smirnov – Kolgomorov para determinar la distribución de probabilidad que se ajusta satisfactoriamente a los datos de la muestra. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada Fo(Xm) y la estimada F(Xm).

$$D = \max |F_0(X_m) - F(X_m)| \tag{27}$$

Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y del nivel de significación seleccionado.

Si D < d, se acepta la hipótesis nula.

Los valores del nivel de significación α que se usan normalmente son del 10%, 5% y 1%. Para un nivel de significación de 5%, y para una muestra de n= 21, el valor de “d” crítico es 0.2968.

El valor de α, en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(X_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \tag{28}$$

Donde “m” es el número de orden del dato X_m en una lista de mayor a menor y “n” es el número total de datos.

De acuerdo a esta prueba de ajuste, todos los datos observados se ajustan a las distribuciones Log-Normal, Pearson tipo III y Gumbel, sin embargo, se ajustan mejor a la distribución Log-Normal por tener el menor valor de D.

Para la formulación del presente Estudio, se ha elegido los resultados de la distribución Log-Normal, dado que según la prueba de bondad Smirnov - Kolmogorov dicha distribución de probabilidad se ajusta satisfactoriamente a los datos de la muestra. Para el diseño de las estructuras de drenaje los valores de la P_{max} están siendo compensadas por un factor de seguridad de 1.13 de acuerdo a la recomendación que realiza la Organización Meteorológica Mundial, que toma en cuenta el número de lecturas en pluviómetro, que asume por seguridad en una vez por día.

Tabla 61. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

T (años)	Log Normal	Pearson Tipo III	Gumbel	Diseño
50	86.21	89.66	87.36	97.41
25	65.91	70.55	73.47	74.48
20	60.01	64.62	68.97	67.81
10	43.49	46.97	54.75	49.14
5	29.44	30.71	39.93	33.27
Maximo Registrado:		91.50 mm	N° Datos: 21	

Nota: Se puede apreciar los valores obtenidos para cada tipo de distribución. Por fuente propia, 2018.

5.4.2.5. Intensidad de lluvia.

Existen varios modelos para estimar la intensidad a partir de la precipitación máxima en 24 horas. Uno de ellos es el modelo de Frederick Bell que permite calcular la lluvia máxima en función del período de retorno, la duración de la tormenta en minutos y la precipitación máxima de una hora de duración y periodo de retorno de 10 años. La expresión es la siguiente:

$$P_t^T = (0.21 \log_e T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{25} \quad (29)$$

Dónde:

t = duración en minutos

T = periodo de retorno en años

P_t^T = precipitación caída en t minutos con periodo de retorno de T años

P_{60}^{25} =precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno de 25 años.

El valor de P_{60}^{25} , puede ser calculado a partir del modelo de Yance Tueros, que estima la intensidad máxima horaria a partir de la precipitación máxima en 24 horas.

$$I = aP_{24}^b$$

Dónde:

I= intensidad máxima en mm/h

a, b= parámetros del modelo; 0.4602, 0.876, respectivamente.

P24= precipitación máxima en 24 horas

Para un período de retorno de 25 años y P24 igual a 74.48 mm (obtenido de la distribución Log-Normal), se tiene una altura de lluvia de 20.08 mm, correspondiente a una duración de 60 minutos.

Las alturas de lluvia máxima para diferentes períodos de retorno, aplicando el Modelo de Bell, se muestran en la Tabla 62:

Tabla 62. *Lluvias máximas (mm)-Estación Miraflores.*

T (años)	P.Max 24 horas	Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60
50	97.41	8.28	12.40	15.16	17.30	20.58	27.02
25	74.48	7.39	11.06	13.52	15.42	18.35	20.08
20	67.81	7.10	10.62	12.99	14.81	17.63	23.14
10	49.14	6.20	9.28	11.34	12.94	15.39	20.21
5	33.27	5.30	7.93	9.70	11.06	13.16	17.28

Nota: Resultados mediante aplicación de Modelo Bell. Por fuente propia, 2018.

Debido a que la intensidad de la lluvia disminuye con la duración de la tormenta, el tiempo crítico de duración (d) será el Tiempo de Concentración.

Las intensidades máximas calculadas para estas alturas de lluvia máxima y diferentes duraciones de lluvia, se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63. *Intensidades máximas (mm/hora)-Estación Miraflores.*

T (años)	P.Max 24 horas	Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60

50	97.41	99.40	74.40	60.60	51.90	41.20	27.00
25	74.48	88.60	66.30	54.10	46.30	36.70	20.10
20	67.81	85.20	63.70	51.90	44.40	35.30	23.10
10	49.14	74.40	55.70	45.40	38.80	30.80	20.20
5	33.27	63.60	47.60	38.80	33.20	26.30	17.30

Nota: Resultados mediante aplicación de Modelo Bell. Por fuente propia, 2018.

5.4.2.6. Caudal de diseño.

La estimación del caudal de Diseño, se determina de acuerdo a la precipitación y a las características del área tributaria, considerando para su estimación el Método Racional.

El Método Racional por su funcionalidad, ya que permite utilizar datos más reales de campo y por ser más adecuado para cuencas con área menor de 13Km². Este método también es muy utilizado por el Servicio de Mantenimiento de Carreteras de EE.UU.

Para la aplicación de dicho Método Racional se ha utilizado la relación que a continuación se indica:

$$Q = (C * I * A) / 3.6 \quad (30)$$

Donde:

- Q = Caudal pico a obtenerse m³/s.
- C = Coeficiente de escorrentía.
- I = Intensidad de lluvia en mm/h.
- A = Área de la cuenca de influencia en Km².

El método asume que:

- La magnitud de una descarga originada por cualquier intensidad de precipitación alcanza su máximo cuando esta tiene un tiempo de duración igual o mayor que el tiempo de concentración.
- La frecuencia de ocurrencia de la descarga máxima es igual a la de la precipitación para el tiempo de concentración dado.
- La relación entre la descarga máxima y tamaño de la cuenca es para la misma que entre la duración e intensidad de la precipitación.
- El coeficiente de escorrentía es el mismo para todas las tormentas que se produzcan en una cuenca dada.

El coeficiente de escurrimiento es un parámetro que representa la porción de precipitación anual que escurre superficialmente. El coeficiente de escorrentía seleccionado de acuerdo a la superficie, tipo de área urbana, pendiente del terreno, intensidad de lluvia, y la condición futura dentro del horizonte de vida del proyecto es de 0.86. De acuerdo a la Tabla 64. La intensidad fue calculada para un periodo de retorno de 25 años el cual es el periodo de retorno adecuado para un Sistema de Drenaje Urbano Mayor.

Tabla 64. *Coefficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional.*

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00

Nota: Adaptado de la Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano. Por fuente propia, 2018.

5.4.2.7. Caudal de cunetas.

El control de las aguas superficiales, que discurren por la superficie de rodadura, así como por los taludes que bordean las vías, se realizará por estructuras denominadas cunetas, las cuales captarán las aguas de escorrentía superficial y las conducirán hasta las estructuras de evacuación o drenes naturales.

El caudal de diseño de las cunetas contempla las siguientes consideraciones:

- Longitud del Tramo; La longitud del tramo de cuneta que se ha adoptado para el estudio depende de la ubicación de los puntos bajos que presenta el perfil longitudinal de la vía además de considerar tramos donde es necesario juntar los caudales de dos a tres cunetas cortas uniendo sus ramales a través de canales para su evacuación. Se ha proyectado que las longitudes lleguen a un máximo de 280 m. aproximadamente, aunque el promedio de longitud es de 113 m.
- Pendiente longitudinal de la Avenida; De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carretera DG-2014, la pendiente longitudinal mínima será 0.5 %, evitándose los tramos horizontales, con el fin de facilitar el movimiento del agua de las cunetas hacia los canales de evacuación.
- Bombeo o Pendiente Transversal de la plataforma; En los tramos rectos, la sección transversal de la plataforma presentará inclinaciones transversales (bombeo) desde un extremo hacia cada uno de los bordes para facilitar el

ingreso de las aguas de escorrentía superficial que discurren sobre la superficie de rodadura hacia las cunetas.

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carretera (2014), se ha considerado, una pendiente mínima de 2.5% en el sentido transversal de la plataforma, que permitirá el escurrimiento hacia el lado de las cunetas aun para pendientes longitudinales de 0.3%.

- Caudal de la calzada y áreas colindantes; Para determinar el caudal de diseño se está considerando el aporte de 2 zonas bien diferenciadas: desde la plataforma y desde las áreas colindantes. En el cálculo del aporte realizado por la calzada se ha considerado el ancho de la plataforma del lado correspondiente a la cuneta por la longitud del tramo, en tanto para el aporte de las áreas colindantes, se ha considerado hasta un ancho de 10m por la longitud de influencia hacia la cuneta que varía para cada una de ellas.

Las aguas que vierten a las cunetas se desplazan en flujo difuso sobre el terreno, por lo que el tiempo de concentración se determina de manera distinta. Si el recorrido del agua sobre la superficie de la plataforma fuera menor de 30 m, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de diez (10) minutos. Para el cálculo del tiempo de concentración de las áreas colindantes se podrá hacer uso del ábaco de la figura 83, proveniente de la Norma Española 3.2-IC.

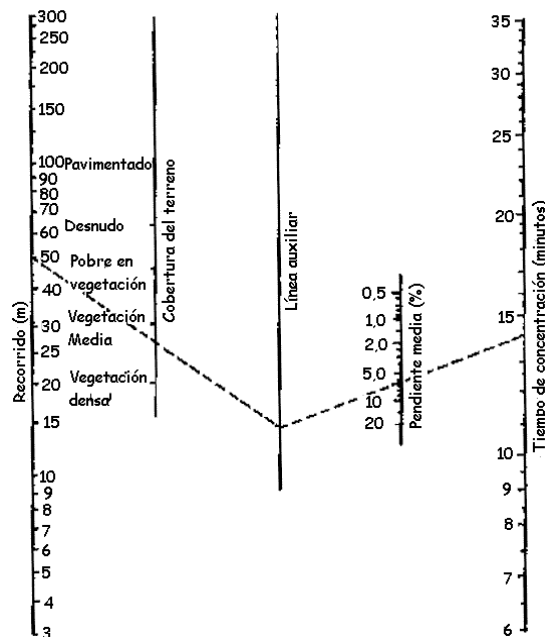


Figura 83. Ábaco para Cálculo de Tiempo de Concentración, adaptado de la Norma Española 3.2-IC. por fuente propia, 2018.

Para la determinación del caudal de aporte hacia la cuneta generada por la carretera se ha tomado la precipitación máxima diaria registrada en la estación Miraflores para un período de retorno de 25 años, valor con el cual se calculó el escurrimiento superficial aplicando el Método Racional.

Tabla 65. Modelo de obtención de caudal de diseño para un ramal de cuneta.

Descripción	Unid	Plataforma	Áreas colindantes	Total
Coeficiente de Escorrentía		0.86	0.86	
Ancho de área tributaria	m	7.2	10	
Longitud de área tributaria	m	113	113*	
Área	Km2	0.0008136	0.001	
Tiempo de concentración	min	10	10	
Período de retorno	año	25	25	
Intensidad	mm/h	66.30	66.30	
Caudal de Diseño	m3/s	0.0129	0.0179	0.031

Nota: Valor distinto para cuneta. Por fuente propia, 2018.

Este valor de caudal es obtenido netamente por las condiciones hidrológicas y por el área de influencia el cual va a drenar (Longitud de tramo y ancho de calzada), y caudal de aporte de aéreas colindantes. No obstante, el caudal de diseño definitivo de una cuneta en particular puede estar incrementado con caudales de dos o más cunetas adyacentes de tramos cortos.

5.4.2.8. Dimensionamiento de Cunetas.

De acuerdo al caudal de diseño para cada cuneta el cual fue definido anteriormente por el Método Racional y las consideraciones ya mencionadas, se fueron dimensionando las secciones hidráulicas triangulares las cuales irán variando de acuerdo a como varié la pendiente de cada tramo para finalmente contar con las cunetas Tipo I y Tipo II las cuales son diseñadas con (02) secciones típicas con las siguientes dimensiones mostradas en la figura 84.

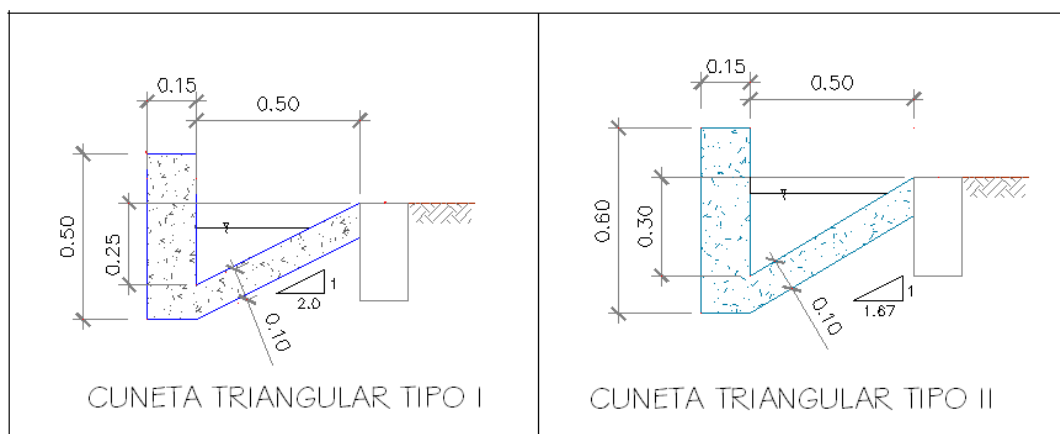


Figura 84. Dimensiones de las cunetas. por fuente propia, 2018.

Tabla 66. Resumen de dimensiones por tipo de cuneta.

CUNETA	DIMENSIONES		
	B	H	Z

TIPO I	0.5	0.25	2.00
TIPO II	0.5	0.3	1.67

Nota: Valor distinto para cuneta. Por fuente propia, 2018.

Las cunetas propuestas, serán revestidas de concreto y se verificó los parámetros de flujo crítico de acuerdo a las formulas:

$$\text{Tirante critico } Y_c = \sqrt[5]{\frac{2Q^2}{gZ^2}} \quad (31); \quad \text{y velocidad critica } V_c = \sqrt{\frac{gY_c}{2}} \quad (32)$$

Los cálculos de diseño de la sección de las cunetas son efectuados cuidando que se cubra el 95% de la sección y no rebalse.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se verifica y analiza los resultados obtenidos correspondientes al planteamiento de los objetivos.

6.1 Verificación de los resultados

La verificación de los resultados para validar la investigación se detallará por cada uno de los objetivos propuestos de la investigación.

6.1.1 Cargas de tráfico

Para cumplir con el objetivo de las cargas del tráfico se procedió a recopilar información, previa planificación estratégica. La recopilación de información consistió en tomar tres puntos estratégicos circundantes a la Vía de Evitamiento del Bajo Piura, en la que se realizó el conteo de los vehículos y la encuesta de origen-destino a 3504 usuarios. Este proceso se realizó bajo los lineamientos de la normativa impuesta por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Con los datos recolectados en el campo, se procedió a realizar los cálculos con la finalidad de determinar la demanda futura de los vehículos pesados que transitarán por la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura para determinar las cantidades de ejes equivalentes con el cual se procederá a diseñar. Al finalizar los procesos de cálculo siguiendo las normativas peruanas se determinó $1,908 \times 10^7$ ESALS.

La finalidad de este objetivo también consistía en examinar el comportamiento poblacional del entorno del proyecto. En la que se determinó que, en el caso del comercio, la mayoría está concentrada dentro de la ciudad de Piura, por lo que los vehículos de ejes dobles necesariamente tendrán que transitar por las vías de la ciudad y no se podrá atribuir a la nueva Vía de Evitamiento para el aporte de cargas de tráfico.

6.1.2 Caracterización de los suelos

La caracterización del suelo de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura se realizó con la finalidad de conocer sus características físicas y mecánicas. Esto debido, a las consideraciones de prevención que se debe tener en la etapa de diseño, dado a que el comportamiento del suelo independientemente de la resistencia que presente bajo la intervención del agua cambia drásticamente, más aún cuando hay presencia de partículas finas y las condiciones climatológicas de la zona favorecen negativamente.

Para la validación de este objetivo se realizaron exploraciones en campo, muestreo del suelo mediante calicatas siguiendo los procesos de la MTC E 101. En campo se realizó el ensayo de la densidad de suelo in situ mediante el método de cono de arena según MTC E 117. Los ensayos de laboratorio permitieron la determinación del contenido de humedad según MTC E 108, el análisis granulométrico de suelos por tamizado según MTC E 107, determinación del límite líquido del suelo de acuerdo a MTC E 110, determinación del límite plástico e índice de plasticidad según MTC E 111. Estos ensayos se requieren para poder caracterizar al terreno de acuerdo al método del sistema unificado de clasificación del suelo y por la AASHTO. En la que se determinó que el suelo predominante de la vía es un suelo arena limosa.

6.2.3 Densidad de suelos representativos

Para la obtención de densidades del suelo existen diferentes ensayos, regidos por las normativas actuales. En este caso se determinó la densidad natural del suelo mediante el Ensayo del Cono de Arena, en las que se determinó que para este tipo de suelos las densidades se encuentran entre un valor de 1.22 g/cm³ a 1.78 g/cm³ (valor mínimo y máximo encontrado en todo el tramo de la carretera proyectada).

6.1.4 Capacidad de soporte de la subrasante

Para determinar este objetivo se requiere como dato previo realizar los ensayos de análisis de granulometría y la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) que se rige según MTC E 115.

El ensayo de CBR de suelos en laboratorio según MTC E 132 se realiza con la finalidad de obtener la capacidad de soporte del suelo dado una densidad máxima seca y bajo condiciones de humedad óptima. El valor que se obtenga del gráfico CBR vs densidad seca se usará para determinar el módulo resiliente que se obtiene mediante una correlación de ecuación propuesta por la AASHTO 1993 y sirve para ingresar como una de las variables en el diseño del pavimento rígido.

6.1.5 Diseño de pavimentos rígidos

Manteniendo constante las variables de los pavimentos rígidos a excepción del módulo resiliente que se obtiene por medio del CBR obtenida al 95% de la máxima densidad seca del ensayo de Proctor Modificado se procede a diseñar. Para luego comparar el diseño considerando la capacidad de soporte de la subrasante a densidad natural con la finalidad de comparar la diferencia significativa de estos resultados bajo condiciones muy particulares.

Los diseños se realizan bajo la aplicación de la metodología AASHTO 1993. En la que se pudo determinar que las diferencias en el espesor de la losa de concreto hidráulico varían entre uno a dos centímetros.

6.2 Discusión

La discusión consiste en analizar e interpretar los resultados encontrados, por lo que se desarrollará y enfatizará los aspectos fundamentales de la investigación por cada uno de los objetivos planteados.

6.2.1 Cargas de tráfico

Una de las finalidades del diseño de pavimentos es asegurar que la vía cumpla su periodo de vida para el cual fue diseñada bajo la acción de las cargas de tráfico. Por ello es importante la intervención ingenieril en el cálculo del tráfico.

El estudio y cálculo del tráfico proyectado a 20 años resultaron relativamente elevadas, aproximadamente 19 millones de ESALS. Este resultado representa el 63.60% del valor límite considerado en el alcance del manual de suelos y pavimentos (3.00×10^7 ESALS), por lo que sí es posible diseñar el pavimento bajo las recomendaciones del Manual de Carreteras de la Sección suelos y pavimentos, además, dicho valor nos indica que la vía tiene que ser pavimentada con un tipo de pavimento que tenga una estructura capaz de absorber grandes cantidades de cargas de tráfico. Para este nivel de carga es posible diseñar pavimentos

flexibles, sin embargo, por las condiciones de entorno en el que está inmersa la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura, queda totalmente descartado este tipo de diseño de pavimento. Una de las condiciones de entorno es que la nueva vía conecta con el litoral del pacífico, ideal para la pesca ya que Piura es una de las principales zonas pesqueras del país con una participación del 28% en la producción del año 2015 y 30% del total de pescadores artesanales. Otra es que Piura está dentro de una zona agropecuaria en la que en los últimos años presentó un crecimiento de 6.2% de su producción. Por ello, es muy probable que se presente un incremento del flujo vehicular (vehículos pesados) de acuerdo a su crecimiento económico y además para el periodo de vida requerido de la Vía de Evitamiento lo más recomendable es que ejecute una vía de pavimento rígido.

6.2.2 Caracterización de los suelos

El suelo es el soporte principal de toda estructura por ello es importante conocer y definir sus características físicas, químicas y mecánicas para predecir el comportamiento de esta en el tiempo. Para el diseño de pavimentos rígidos la intervención de la subrasante es mínima, sin embargo, su intervención es vital a lo largo de su periodo de vida.

Los estudios de suelos para la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura determinaron que el suelo que predomina es de tipo arena limosa (SM) de baja plasticidad ($LL < 50$) con presencia de un suelo poco arcilloso ($IP_{\text{mín}} = 2.2$ y $IP_{\text{máx}} = 19.9$). Además, de acuerdo a la curva granulométrica característica del suelo, se puede afirmar que se trata de un suelo fino ligeramente graduado. Los suelos finos son muy susceptibles a erosionarse bajo la acción de un agente erosivo como el agua que separa las partículas del suelo haciéndolas menos densas, es decir, disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante.

6.2.3 Densidad de suelos representativos

La densidad del suelo in situ se encuentra en promedio a 1.35 g/cm^3 , este valor representa 17% menos del valor promedio encontrado en el laboratorio de densidad Proctor modificado al percentil 95% (ensayo de compactación), valor que normalmente se toma de forma indirecta (densidad que se considera para hallar el CBR y posteriormente hallar el M_r) en el diseño de pavimentos. Este resultado se asemeja al valor de densidad típico compactado de suelos finos de alta plasticidad y al de los suelos orgánicos. Por ello, podemos decir que es conveniente considerar el suelo en esta condición de entorno que se ha generado por diferentes embates o periodos climáticos erráticos extremos característicos de la zona de estudio. Además, el exceso de agua separa las partículas del suelo haciéndolas menos densas. Por lo tanto, el valor de la densidad natural del suelo nos muestra su capacidad real y el comportamiento que tendrá a lo largo del periodo de diseño de la subrasante.

6.2.4 Capacidad de soporte de la subrasante

A partir de la curva de CBR característica del suelo de subrasante del proyecto de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura, se evaluó la resistencia al esfuerzo cortante usando el método sugerido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Este consiste en evaluar las densidades de campo ingresando a la gráfica para hallar CBR puntual de una calicata en la condición de entorno del proyecto. Los resultados de la resistencia al corte de los suelos de subrasante considerando los valores encontrados a la densidad natural han llegado alcanzar un valor máximo igual a 5.8% y un valor mínimo de 1.8%. Por otra parte, se obtuvo el CBR usando las recomendaciones del Manual de Carreteras de la sección Suelos y Pavimentos

que consiste en evaluar la de densidad al 95% de la máxima densidad seca (MDS) del Ensayo de Proctor Modificado. Los resultados del CBR de los suelos de subrasante considerando los valores de densidad encontrados en laboratorio han llegado alcanzar un valor máximo igual a 15.7% y un valor mínimo de 7.1%.

El Manual de Carreteras de la sección Suelos y Pavimentos indica los valores de CBR que tiene que cumplir el suelo de subrasante para ser considerado un material apto. De acuerdo a ello, en el proyecto se clasifica la subrasante de categoría buena ($10 \leq \text{CBR} < 20$) y regular ($6 \leq \text{CBR} < 10$) que es contemplada como material adecuado. Sin embargo, al considerar el evento climático (fenómeno del niño costero) que podría suscitarse durante la vida útil del pavimento no se podrá alcanzar las densidades máximas halladas en el laboratorio, por la presencia de humedades mayores a la humedad optima, generando que la presión de poros cause una disminución del esfuerzo efectivo. Por lo tanto, el proceso de compactación del Proctor no se cumpliría ocasionando que el CBR del suelo de subrasante se clasifique de categoría pobre ($3 \leq \text{CBR} < 6$) o inadecuada ($\text{CBR} < 3\%$), resultados que no son aptos para todo material de subrasante.

De acuerdo a lo expuesto, no es adecuado considerar en el diseño la evaluación del C.B.R. al 95% de la máxima densidad seca (MDS) debido a que dicho valor no guarda correspondencia con la realidad. En el transcurso del tiempo los valores del CBR llegarán a alcanzar resultados inapropiados para las condiciones de entorno en el que estará inmerso el pavimento, por consiguiente, originaría un número estructural (SN) y una capa de pavimento inadecuado o infra dimensionada.

6.2.5 Diseño de pavimentos rígidos

Aplicando la metodología AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos rígidos de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura se analizaron dos escenarios, en el primero, se realizó un diseño que considera las propiedades mecánicas del suelo de subrasante para la condición natural del entorno y en el segundo, se realizó un diseño que considera las propiedades mecánicas del suelo analizadas en laboratorio con muestras de suelos representativos. En el primer escenario, se obtuvieron cinco sectores homogéneos de espesores iguales a 26cm (00+000 a 01+500; 05+500 a 10+500) y 27 cm (01+500 a 05+500; 10+500 a 19+500 y 19+500 a 26+000). En el segundo escenario, se obtuvieron cuatro sectores homogéneos de espesores iguales a 25cm (00+000 a 01+500; 01+500 a 05+500; 05+500 a 10+500; 10+500 a 19+500) y 26 cm (19+500 a 26+000). De estos resultados se puede decir que en las zonas donde el CBR ha experimentado caídas sustanciales en sus propiedades resistentes, los valores de los espesores resultaron de mayor dimensión. Asimismo, la diferencia del espesor del pavimento del concreto hidráulico resultó un valor igual a 2cm en promedio.

Existe la posibilidad de usar otras metodologías más actualizadas que la guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993 como son las versiones de AASHTO 2002 y AASHTO 2008 para obtener espesores más óptimos con un análisis más completo. Sin embargo, no se cuenta con la información de condiciones climáticas de la zona (velocidad del viento, humedad relativa, cubiertas de viento, entre otras), además no se cuenta con las herramientas que permitan modelar la temperatura y la humedad por hora dentro de las capas del pavimento, y finalmente no hay cultura de gestión de mantenimiento vial. Por lo que estas versiones no se pueden aplicar por las condiciones mencionadas.

7. CONCLUSIONES

Fue posible tomar como medida de solución diseñar el pavimento considerando las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en su condición natural de operación, dada la susceptibilidad que presenta el mismo a pérdidas de soporte por erosionabilidad ante presencia de agentes externos, como el agua, que actúa como disolvente de cementantes entre partículas, promoviendo cambios de volumen y pérdida de soporte. Se propuso un procedimiento analítico-experimental que prevé y cubre en el diseño estos mecanismos de erosionabilidad, previstos a suceder durante su vida útil.

En el caso de la nueva Vía de Evitamiento del Bajo Piura, para un periodo de diseño de 20 años resultaron 19 millones de EE (tipo Tp12) sin considerar en esta proyección los vehículos de configuración tipo C2, B2 y B31, ya que estos transitarán por la Av. Sánchez Cerro. Dado este tráfico previsto alto, se propone una solución plausible al tráfico intenso y suelos erosionables, en un diseño de la vía considerando un pavimento rígido, cuya sollicitación principal será absorbida por la losa de concreto hidráulico.

Se determinó que la fundación está conformada por un suelo fino de tipo areno limoso (SM) de baja plasticidad ($LL < 50$). Además, de acuerdo a la curva granulométrica característica del suelo, se puede afirmar que se trata de un suelo fino ligeramente graduado. Los suelos finos, en especial las arenas y los limos de baja plasticidad se tornan muy inestables cuando entran en contacto con el agua, es decir, son muy susceptibles a erosionarse.

Se tomaron medidas de la densidad en el suelo que conforma la fundación de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura en su condición natural, es decir, considerando esta condición como la del suelo que ya ha pasado por cualquier proceso previo, por lo tanto, previamente ya ha erosionado. Los valores de densidad natural arrojaron valores entre 1.22 gr/cm³ y 1.78 gr/cm³. Por consiguiente, se puede tomar este rango de densidades como medida de prevención en la etapa de diseño para evaluar la resistencia estructural para diseñar el pavimento.

Se han evaluado los resultados del ensayo de CBR al 95% de la MDS y a la densidad natural de operación, obteniendo una caída importante en los valores promedio, en el orden del 70% (CBR al 95% MDS=12.4% y CBR a la densidad natural =3.4%) pasando así de una categoría de subrasante buena a pobre. Se confirma que los resultados de CBR encontrados en el laboratorio muestran una realidad, obtenida en el confinamiento del suelo en un molde para el momento del ensayo, que, sin embargo, este material conformado y compactado en pista, en un primer tiempo será concordante con los resultados de laboratorio, pero que, sin embargo, ante cambios del entorno, como por ejemplo la humedad, muestra su naturaleza erosionable, perdiendo gran capacidad portante, cayendo los valores del CBR. Por consiguiente, considerar los valores de CBR medidos a la densidad natural constituye una mejor representatividad de las propiedades del suelo en proyección, por el tipo y por las condiciones de entorno existentes en Piura, como son los fenómenos hidráulicos que periódicamente se presentan en la región, como el niño costero, la niña y la corriente del niño.

Finalmente, en el diseño del pavimento rígido al evaluar el CBR al 95% de la MDS se obtuvo valores de espesor de losa de concreto hidráulico igual a 25 cm (tramo I, II y III) e igual a 26 cm (tramo IV). Y al evaluar el CBR a la densidad natural se obtuvo valores del espesor de losa de concreto hidráulico igual a 26 cm (tramo I y III) e igual a 27 cm (tramo II, IV y V). Los cambios se suscitan al medir el coeficiente de balasto (k) proveniente de haber correlacionado el CBR a la densidad al 95%MDS y luego a la densidad natural. Con esta medida, el diseño queda protegido de con el tiempo se susciten eventuales episodios de pérdidas de soporte por erosión en la subrasante, que conllevarían a des confinamientos en el apoyo y pérdida de empotramiento de la losa de concreto hidráulico a las capas inferiores. Se sabe que la losa por su elevado módulo de rigidez estará capacitada para absorber incidentemente las cargas del tráfico, dejando un saldo como aporte a la combinación de subbase granular-subrasante, limitando cualquier problema de estructura infradiseñada. De forma complementaria garantizando un adecuado funcionamiento del sistema del pavimento rígido, se ha considerado para la conexión entre carriles, en las juntas longitudinales, instalar barras de acero corrugado como anclajes ($l=84\text{cm}$; $\phi=5/8'' @91\text{cm}$) y en la conexión de las losas en las juntas transversales con dowels ($l=46\text{cm}$; $\phi=1\ 1/4'' @30\text{cm}$). Del mismo modo, sumamente importante es dotar a la carretera con un sistema de drenaje constituido por cunetas típicas triangulares tipo I ($B=0.5$; $H=0.25$ y $Z=2$) y cuneta triangular tipo II ($B=0.5$; $H=0.3$ y $Z=1.67$).

8. RECOMENDACIONES

Para el cálculo de las cargas del tráfico a futuro se debería realizar un estudio minucioso que contemple los posibles cambios en la configuración vehicular, referidos a vehículos que contengan cargas normativamente excesivas, asimismo regular la presión de inflado y el tipo de eje, a fin de evitar las ruedas “*super singles*”, recientemente normados, pero que tendrían que regularse para la vía de Evitamiento Bajo Piura, a fin de controlar los deterioros que ocasionan este tipo de ruedas especiales.

Generar un mapa de la caracterización geotécnica de los suelos recopilando los ensayos realizados en campo y laboratorio de los proyectos viales ejecutados en la región Piura.

Emplear la metodología de exploración en campo y de diseño de pavimentos expuesta en la presente investigación para corredores viales en los que se susciten lluvias intensas de forma errática y en la que se tengan estos tipos de suelos finos de forma predominante. E integrar la propuesta para consideración de futuras actualizaciones del manual de diseño de pavimentos nacional, que al momento no lo tiene en sus recomendaciones.

Para el desarrollo de la curva de definición CBR vs densidad máxima seca se sugiere trabajar con una función potencial que permita determinar valores de CBR para valores bajos de densidades secas en condición natural. Además, se recomienda usar el ensayo CBR IN-SITU para obtener valores de CBR de forma directa en suelos finos.

Se recomienda para futuros trabajos de investigación evaluar la involución del CBR en el pavimento para condiciones similares al proyecto de investigación, midiendo los valores de CBR desde la etapa de puesta en marcha, monitoreando el CBR de la fundación en el tiempo. Esto ayudará a examinar de mejor manera las propuestas de solución en la etapa de diseño, construcción y mantenimiento.

Las metodologías de diseño de pavimentos deberán adecuarse a la realidad de las zonas que atraviesa la carretera, de tal manera que incluya en sus componentes de diseño las diferentes altitudes, clima, precipitación, las particularidades de los suelos y las cargas de diseño, para lo cual son necesarios desarrollos masivos de estudios de condiciones de clima y entorno para los diversos corredores viales.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleksikov, S. V. (2016). Analysis of Design parameters of highway subgrade soils in southern Russia. *Procedia Engineering*, 150, 1729-1732. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.162
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures 1993*. Washington D.C.: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2008). *Mechanistic-empirical pavement design guide. A manual of practice*. Washington D.C.: AASHTO.
- Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM). (2015). *Ventajas Comparativas entre Pavimentos de Concreto y Pavimentos de Asfalto*. Lima: ASOCEM. Recuperado de <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/ventajas-comparativas-entre-pavimentos-de-concreto-y-pavimentos-de-asfalto>. [Consulta: 20 de septiembre de 2017].
- Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM). (2016). *Pavimentos de concreto: Estado de arte de los pavimentos en el Perú*. Lima: ASOCEM. Recuperado de <http://www.asocem.org.pe/productos-b/pavimentos-de-concreto-estado-de-arte-de-los-pavimentos-en-el-peru>. [Consulta: 12 de septiembre de 2017].
- Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira-Piura. (2007). *Plan de defensas ribereñas y encauzamiento de ríos. Resumen del diagnóstico situacional*. Piura: Comité Interinstitucional de Piura.
- Banco Central de Reserva del Perú Sucursal Piura (BCRP). (2016). *Caracterización del departamento de Piura*. Lima: BCRP. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/piura-caracterizacion.pdf>. [Consulta: 10 de marzo de 2018].
- Becerra, M. (2012). *Tópico de pavimentos de concreto. Diseño, construcción y supervisión*. Lima: Flujo Libre.
- Bedoya, D. (24 de diciembre de 2017). El Niño costero. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/nino-costero-fenomeno-brutal-golpeo-lima-noticia-482836> [Consulta: 02 de febrero de 2018].
- Cornejo, N. & Velásquez, W. (2009). *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. (Tesis de grado, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Facultad de Ingeniería. El Salvador).
- Cruz, W., & Quispe, W. (2014). *Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga – Ayacucho*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería. Huancavelica, Perú).
- Garnica, P., Gómez, A., & Sesma, J. A. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. Sanfandila: IMT.

- Gutiérrez, W. (2018). *Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte*. Lima: MACRO.
- Heitor, A., Indraratna, B. & Rujikiatkamjorn, C. (2016). Small strain behaviour of a compacted subgrade soil. *Procedia Engineering*, 143, 260-267. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.033
- Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA). (2013). *Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón*. Argentina: ICPA. Recuperado de <http://www.icpa.org.ar/index.php?IDM=40&IDN=36&mpal=3&alias=>. [Consulta: 03 de noviembre de 2017].
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Producto Bruto Interno Trimestral*. Lima: INEI. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/03-informe-tecnico-n03_producto-bruto-interno-trimestral-2017ii.pdf. [Consulta: 02 de febrero de 2018].
- Inciarte, C. (2012). *Análisis comparativo de métodos de diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico según normas aplicadas en México, Reino Unido y España*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México D.F.).
- Lazo, G. (2017). *Pavimentos rígidos* [Presentación para el curso de Ingeniería de Pavimentos]. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Leiva, F. (2012). *Nueva guía de diseño Mecánica- empírica para estructuras de pavimento. Vistazo a la guía 2002, proyecto NCHRP I 37A*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Ministerio de Transportes y Comunicación (MTC). (2014). *"Manual de carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Lima: MTC. Recuperado de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html. [Consulta: 14 de noviembre de 2017].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). *Red vial del sistema nacional de carreteras, por superficie de rodadura existente*. Lima: MTC. Recuperado de <https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/Resumen%20Ejecutivo%20Inventario%20Basico%20Red%20Vial%20Departamental.pdf>. [Consulta: 12 de octubre de 2017].
- Ministerio de Transportes y Comunicación (MTC). (2017). *Reporte del sistema nacional de carreteras, información vial, clasificación de rutas y registro nacional de carreteras*. Lima: MTC. Recuperado de <http://sijv.mtc.gob.pe/> [Consulta: 18 de septiembre de 2017].
- Montejo, A. F. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: UCC.
- Olarte, J. R. (2015). *Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo arcillosos aplicado en la carretera puente Raither- puente Paucartambo*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. Lima, Perú).
- Ordoñez, A., & Minaya, S. (2002). C.B.R de subrasantes arenosas y limo-arcillosas. *Diseño Moderno de Pavimentos*, (Anexo A), 212-217.
- Presidencia de la República del Perú. (01 de marzo de 2017). Reglamento de la Ley N° 29230, Ley que impulsa la inversión pública regional y local con participación del sector privado, y del artículo 17 de la Ley N° 30264, Ley que establece medidas para promover el

crecimiento económico. [Decreto Legislativo N° 1250]. Recuperado de <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/reglamento-de-la-ley-n-29230-ley-que-impulsa-la-inversion-decreto-supremo-n-036-2017-ef-1491544-2/> [Consulta: 20 de abril de 2018].


- Rico, A., & Castillo, H. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. 2a ed. México D.F.: Limusa.
- Rodríguez, I., & Huanacuni, D. (2011). *Síntesis geoeconómico de la región Piura. Programa de metalogenia*, Lima: INGEMMET.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2016). *Caracterización climática y escenarios climáticos de la región Piura. Para el proyecto: "Hacia un desarrollo bajo en carbono y resiliente al cambio climático en las regiones de Piura y Tumbes"*. Lima: SENAMHI.
- Salazar, A. (2015). *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. 2° ed. México: IMCyC.
- Vásquez, L. (2016). *Diseño y construcción de pavimentos* [Presentación para el curso de Ingeniería de Pavimentos]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Yang, J. M., Shin, H. O., & Yoo, D. Y. (2017). Benefits of using amorphous metallic fibers in concrete pavement for long-term performance. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17,750-760. doi:10.1016/j.acme.2017.02.010.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
TITULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	METODOLOGIA	INDICADORES
PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA	¿Qué medida debe tomarse en el diseño de pavimentos rígidos para el caso de suelos limo-arenosos erosionables en la nueva vía de Evitamiento del Bajo Piura?	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Determinar un diseño apropiado de pavimentos rígidos para el caso de suelos limo-arenosos susceptibles a erosión bajo la acción de fenómenos climáticos periódicos y extremos en la nueva vía de Evitamiento del Bajo Piura.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Determinar las cargas del tráfico para pavimentos rígidos correspondientes a la vía de Evitamiento del Bajo Piura de acuerdo al Manual de Carreteras (MTC/14).</p> <p>2. Realizar la caracterización de los suelos de las subrasantes de la vía de Evitamiento del Bajo Piura mediante ensayos de campo y laboratorio según las normativas vigentes.</p> <p>3. Encontrar valores de densidad representativos a la condición de entorno de las subrasantes susceptibles a erosión de la vía de Evitamiento del Bajo Piura según la NTP 339.143.</p> <p>4. Determinar y clasificar los valores de CBR de los suelos de subrasante vinculadas a las condiciones de entorno actual en la que se encuentra la Vía de Evitamiento del Bajo Piura.</p> <p>5. Diseñar el pavimento rígido para condiciones críticas de entorno según la metodología AASHTO 1993.</p>	Con un procedimiento analítico-comparativo basado en resultados obtenidos a partir de ensayos de laboratorio y exploraciones en campo se podrá determinar un diseño apropiado de pavimentos rígidos para el caso de suelos limo-arenosos susceptibles a erosión en la nueva vía de Evitamiento del Bajo Piura.	<p>1.1 Definición de pavimentos</p> <p>1.2 Pavimnto flexible</p> <p>1.3 Pavimnto rígido</p> <p>1.3.1 Pavimento de concreto simple</p> <p>1.3.2 Pavimento de concreto reforzado con conectores</p> <p>1.3.3 Pavimento de concreto reforzado con fibras de acero</p> <p>1.3.4 Pavimento de concreto continuamente reforzado</p> <p>1.4 Componentes estructurales</p> <p>1.4.1 Terreno de fundación</p> <p>1.4.2 Subrasante</p> <p>1.4.3 Subbase</p> <p>1.4.4 Losa de concreto hidráulico</p> <p>1.5 Comparativo entre pavimento rígido y flexible</p> <p>1.6 Proceso constructivo de pavimentos rígidos</p> <p>1.6.1 Capa subrasante</p> <p>1.6.2 Base y sub-base granular</p> <p>1.6.3 Drenaje y subdrenaje</p> <p>1.6.4 Construcción de losa de concreto</p> <p>1.6.5 Juntas de control</p> <p>1.7 Control de calidad</p> <p>1.8 Metodología AASHTO 1993</p> <p>1.9 Análisis de otras versiones de diseño de pavimentos rígidos</p> <p>1.9.1 Metodología AASHTO 2002</p> <p>1.9.2 Metodología AASHTO 2008</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>— Diseño de pavimentos rígidos aplicando la metodología AASHTO 1993</p> <p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>— Capacidad de soporte de la subrasante limo arenosa medidas a al 95% MDS del ensayo de Proctor Modificado</p> <p>— Capacidad de soporte de la subrasante limo arenosa medidas a la densidad natural</p>	<p>EXPERIMENTAL</p> <p>Ensayos en campo</p> <p>Densidad de los suelos en campo por el método del cono de arena ASTM D-1556, MTC E 117</p> <p>Ensayos en laboratorio</p> <p>Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107</p> <p>Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E 110</p> <p>Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E 111</p> <p>Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E 108</p> <p>Clasificación SUCS ASTM D-2487</p> <p>Clasificación AASHTO M-145</p> <p>California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132</p> <p>DESCRIPTIVO Y EXPLICATIVO</p> <p>Diseño de pavimentos rígidos AASHTO 1993</p>	<p>Espesor de la losa</p> <p>Valores de CBR al 95%MDS</p> <p>Valores de CBR a la densidad natural</p>

ANEXO N° 02: Densidad in situ – método Cono de Arena.

 Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"					
	DENSIDAD IN SITU - MÉTODO CONO DE ARENA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,					
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	: LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE				FECHA :	18/03/2018
MATERIAL	: TERRENO NATURAL				ELABORADO POR :	Díaz & Espinoza
PROFUNDIDAD	: 1.50M.					
CALICATA	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
FECHA DE ENSAYO	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018
CAPA N°	1	1	1	1	1	1
ESPESOR DE CAPA (m.)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 00+000	KM 02+000	KM 04+000	KM 06+000	KM 08+000	KM 10+000
LADO	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
Peso de Mat. + Recipiente (gr)	3250	3245	3266	3266	3120	3340
Peso del Recipiente (gr)	16	16	16	16	16	16
Peso Neto del Suelo + Grava (gr)	3234	3229	3250	3250	3104	3324
Peso arena + Frasco + cono(gr)	7550	7800	7540	7530	7850	7942
Peso arena restante + Frasco + cono (gr)	3200	3222	3150	2600	3108	3162
Peso arena en el cono (gr)	1737	1737	1737	1737	1737	1737
Peso Neto de la arena empleada en el hoyo(gr)	2613	2841	2653	3193	3005	3043
Densidad de la Arena (gr/cm ³)	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439
Volumen del hoyo (cm ³)	1816	1974	1844	2219	2088	2115
Peso del Suelo (gr)	3234	3229	3250	3250	3104	3324
Volumen del Suelo (cm ³)	1816	1974	1844	2219	2088	2115
Densidad del Suelo Húmedo (gr/cm ³)	1.781	1.636	1.763	1.465	1.486	1.572



Universidad
Peruana de
Ciencias
Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL
PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

**DENSIDAD IN SITU - MÉTODO CONO DE ARENA
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,**

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE **FECHA** : 18/03/2018
MATERIAL : TERRENO NATURAL **ELABORADO POR** : Diaz & Espinoza
PROFUNDIDAD : 1.50M.

CALICATA	C-07	C-08	C-09	C-10	C-11	C-12
FECHA DE ENSAYO	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018	18/03/2018
CAPA N°	1	1	1	1	1	1
ESPESOR DE CAPA (m.)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 12+000	KM 14+000	KM 16+000	KM 18+000	KM 20+000	KM 22+000
LADO	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
Peso de Mat. + Recipiente (gr)	3118	3225	3544	2986	3024	3245
Peso del Recipiente (gr)	16	16	16	16	16	16
Peso Neto del Suelo + Grava (gr)	3102	3209	3528	2970	3008	3229
Peso arena + Frasco + cono(gr)	7982	7864	7623	7985	7948	7860
Peso arena restante + Frasco + cono (gr)	2634	3226	3022	2658	2650	3064
Peso arena en el cono (gr)	1737	1737	1737	1737	1737	1737
Peso Neto de la arena empleada en el hoyo(gr)	3611	2901	2864	3590	3561	3059
Densidad de la Arena (gr/cm ³)	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439	1.439
Volumen del hoyo (cm ³)	2509	2016	1990	2495	2475	2126
Peso del Suelo (gr)	3102	3209	3528	2970	3008	3229
Volumen del Suelo (cm ³)	2509	2016	1990	2495	2475	2126
Densidad del Suelo Húmedo (gr/cm ³)	1.236	1.592	1.773	1.190	1.216	1.519



Universidad
Peruana de
Ciencias
Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN
EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**


**DENSIDAD IN SITU - MÉTODO CONO DE ARENA
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,**

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE **FECHA** : 18/03/2018
MATERIAL : TERRENO NATURAL **ELABORADO POR** : Diaz & Espinoza
PROFUNDIDAD : 1.50M.

CALICATA	C-13	C-14				
FECHA DE ENSAYO	18/03/2018	18/03/2018				
CAPA N°	1	1				
ESPESOR DE CAPA (m.)	0.13	0.13				
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 24+000	KM 26+000				
LADO	DER	IZQ				
Peso de Mat. + Recipiente (gr)	3220	3150				
Peso del Recipiente (gr)	16	16				
Peso Neto del Suelo + Grava (gr)	3204	3134				
Peso arena + Frasco + cono(gr)	7980	7940				
Peso arena restante + Frasco + cono (gr)	2615	2520				
Peso arena en el cono (gr)	1737	1737				
Peso Neto de la arena empleada en el hoyo(gr)	3628	3683				
Densidad de la Arena (gr/cm ³)	1.439	1.439				
Volumen del hoyo (cm ³)	2521	2559				
Peso del Suelo (gr)	3204	3134				
Volumen del Suelo (cm ³)	2521	2559				
Densidad del Suelo Húmedo (gr/cm ³)	1.271	1.224				

ANEXO N° 03: Contenido de humedad del suelo.

 Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"						
	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216						
DATOS DE LA MUESTRA							
CONCEPTO : Estudio de terreno de fundación				PROFUNDIDAD: 0.90-1.50 m			
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura				HECHO POR: DIAZ & ESPINOZA			
FECHA: 19/03/2018							
CALICATA	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 00+000	KM 02+000	KM 04+000	KM 06+000	KM 08+000	KM 10+000	KM 12+000
N° DE TARA	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	235.4	222.0	216.1	239.1	236.2	235.3	234.0
PESO DE LA TARA (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL AGUA (gr)	14.6	28.0	33.9	10.9	13.8	14.7	16.0
PESO DE L SUELO SECO (gr)	235.4	222.0	216.1	239.1	236.2	235.3	234.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.20	12.60	15.70	4.55	5.85	6.25	6.84
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO (%)	6.20	12.60	15.70	4.55	5.85	6.25	6.84



Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS
PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE
EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación **PROFUNDIDAD:** 0.90-1.50 m
UBICACIÓN : Provinvia de Piura-Región Piura **HECHO POR:** DIAZ & ESPINOZA
FECHA: 19/03/2018

CALICATA	C-08	C-09	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14
PROGRESIVA DE ENSAYO	KM 14+000	KM 16+000	KM 18+000	KM 20+000	KM 22+000	KM 24+000	KM 26+000
N° DE TARA	T-08	T-09	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	229.6	226.0	226.4	212.0	229.1	222.8	224.2
PESO DE LA TARA (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL AGUA (gr)	20.4	24.0	23.6	38.0	20.9	27.4	25.8
PESO DE L SUELO SECO (gr)	229.6	226.0	226.4	212.0	229.1	222.8	224.2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.90	10.60	10.40	17.90	9.10	12.30	11.50
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO (%)	8.90	10.60	10.40	17.90	9.10	12.30	11.50

ANEXO N° 04: Límites de consistencia.



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO	: L.D
TRAMO	: Km. 00+000	PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
UBICACIÓN	: Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
CALICATA	: C-01	FECHA	: 20/03/2018
MUESTRA	: M - 01		

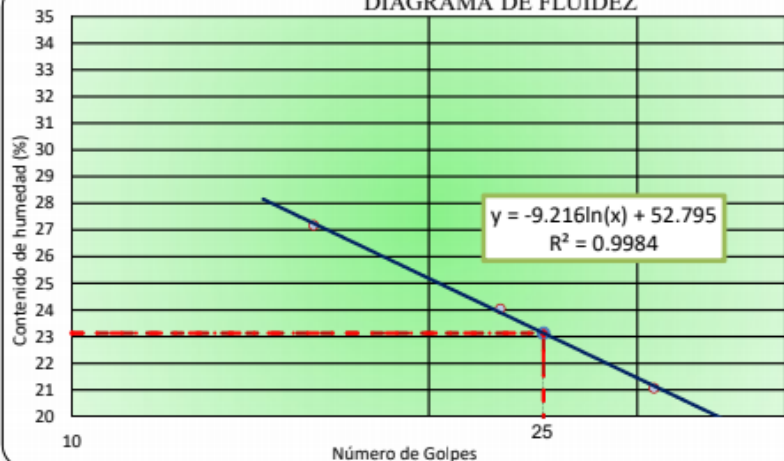
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	31.42	33.10	30.88
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	27.75	28.66	26.48
PESO DEL AGUA	(gr)	3.67	4.44	4.40
PESO DE LA TARA	(gr)	10.33	10.19	10.29
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	17.42	18.47	16.19
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.07	24.04	27.18
NÚMERO DE GOLPES		31	23	16

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	24.66	25.13	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.75	23.18	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.15	10.25	
PESO DEL AGUA	(gr)	1.91	1.95	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	12.60	12.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	15.16	15.08	15.1

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	23.1
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	15.1
DICE DE PLASTICIDAD	(%)	8.0



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

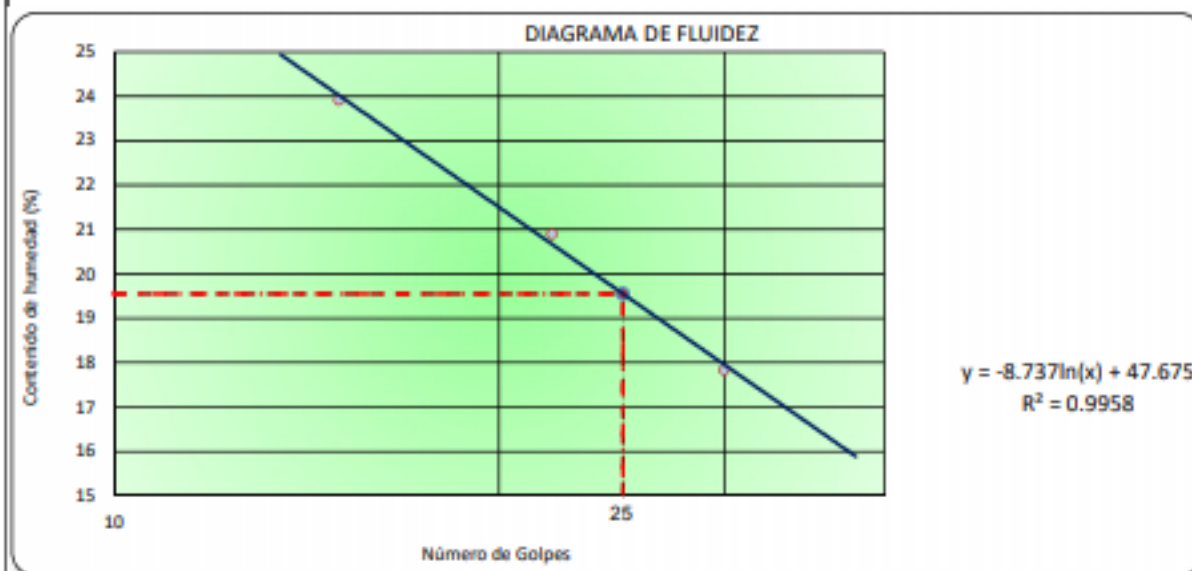
CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO	: L.I
TRAMO	: Km. 02+000		PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
UBICACIÓN	: Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
CALICATA	: C-02		FECHA	: 20/03/2018
MUESTRA	: M - 01			

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	29.44	31.49	30.11
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	26.51	27.80	26.26
PESO DEL AGUA	(gr)	2.93	3.69	3.85
PESO DE LA TARA	(gr)	10.08	10.14	10.16
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	16.43	17.66	16.10
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.83	20.89	23.91
NÚMERO DE GOLPES		30	22	15

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	26.31	25.21	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	24.30	23.50	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.19	10.16	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.01	1.71	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	14.11	13.34	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	14.25	12.82	13.5



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	19.6
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	13.5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	6.0

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO :	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO :	L.D
TRAMO :	Km. 04+000	PROFUNDIDAD :	0.90-1.50 m.
UBICACIÓN :	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR :	DIAZ & ESPINOZA
CALICATA :	C-03	FECHA :	20/03/2018
MUESTRA :	M - 01		

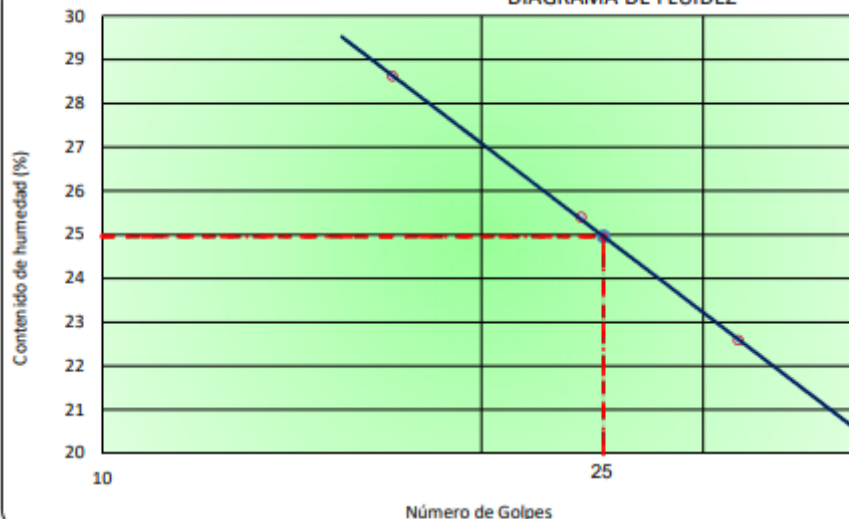
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA	T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	31.53	30.94	32.37
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	27.59	26.75	27.84
PESO DEL AGUA (gr)	3.94	4.19	4.53
PESO DE LA TARA (gr)	10.14	10.25	12.01
PESO DE L SUELO SECO (gr)	17.45	16.50	15.83
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	22.58	25.39	28.62
NÚMERO DE GOLPES	32	24	17

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA	T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	24.29	25.66	
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	22.60	23.50	
PESO DE LA TARA (gr)	12.46	12.22	
PESO DEL AGUA (gr)	1.69	2.16	
PESO DE L SUELO SECO (gr)	10.14	11.28	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.67	19.15	17.9

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



$$y = -9.539 \ln(x) + 55.663$$

$$R^2 = 0.9998$$

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO (%)	25.0
LÍMITE PLÁSTICO (%)	17.9
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	7.1

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A
EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL
BAJO PIURA"**

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO :	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO :	LJ
TRAMO :	Km. 06+000	PROFUNDIDAD :	0.90-1.50 m.
UBICACIÓN :	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR :	DÍAZ & ESPINOZA
CALICATA :	C-04	FECHA :	20/03/2018
MUESTRA :	M - 01		

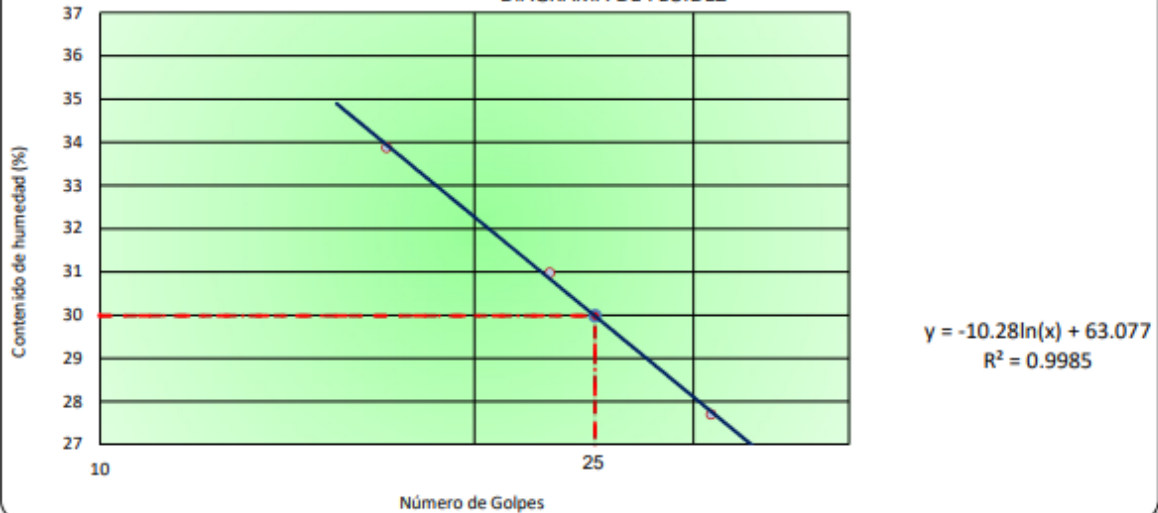
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	33.21	31.61	32.48
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	28.23	26.93	26.86
PESO DEL AGUA	(gr)	4.98	4.68	5.62
PESO DE LA TARA	(gr)	10.25	11.82	10.27
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	17.98	15.11	16.59
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.70	30.97	33.88
NÚMERO DE GOLPES		31	23	17

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	24.64	24.85	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.00	22.57	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.46	12.33	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.64	2.28	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	11.54	10.24	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.88	22.27	22.6

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	30.0
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	22.6
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	7.4

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO	: L.D
TRAMO	: Km. 08+000	PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
UBICACIÓN	: Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
CALICATA	: C-05	FECHA	: 20/03/2018
MUESTRA	: M - 01		

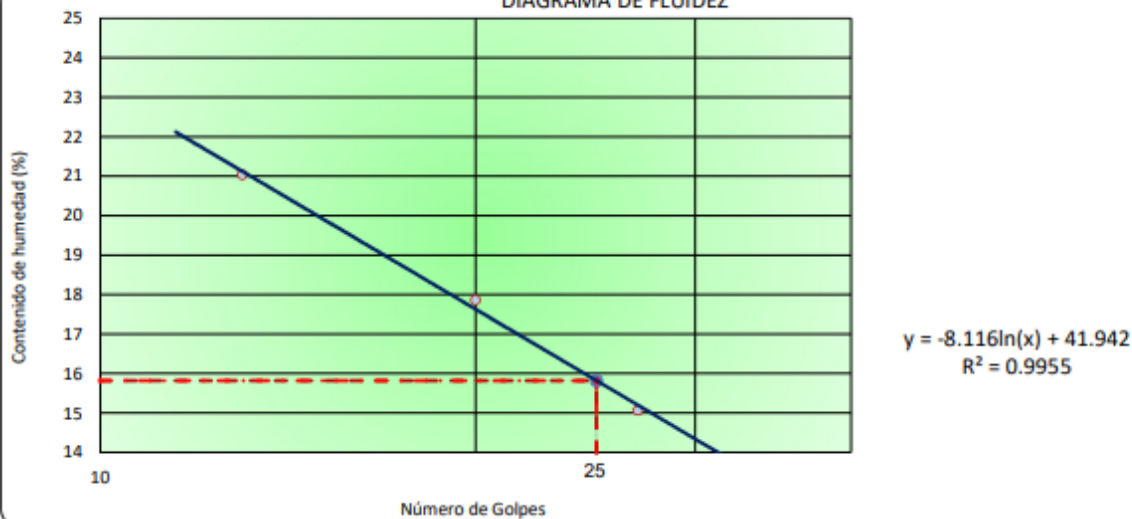
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	32.26	31.77	33.54
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	29.39	28.50	29.50
PESO DEL AGUA	(gr)	2.87	3.27	4.04
PESO DE LA TARA	(gr)	10.33	10.19	10.29
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	19.06	18.31	19.21
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	15.06	17.86	21.03
NÚMERO DE GOLPES		27	20	13

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	25.49	26.18	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	24.56	24.00	
PESO DE LA TARA	(gr)	11.84	11.72	
PESO DEL AGUA	(gr)	0.93	2.18	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	12.72	12.28	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	7.31	17.75	12.5

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	15.8
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	12.5
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	3.3

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 10+000
 UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
 CALICATA : C-06
 MUESTRA : M - 01

LADO : LI
 PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 m.
 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 FECHA : 20/03/2018

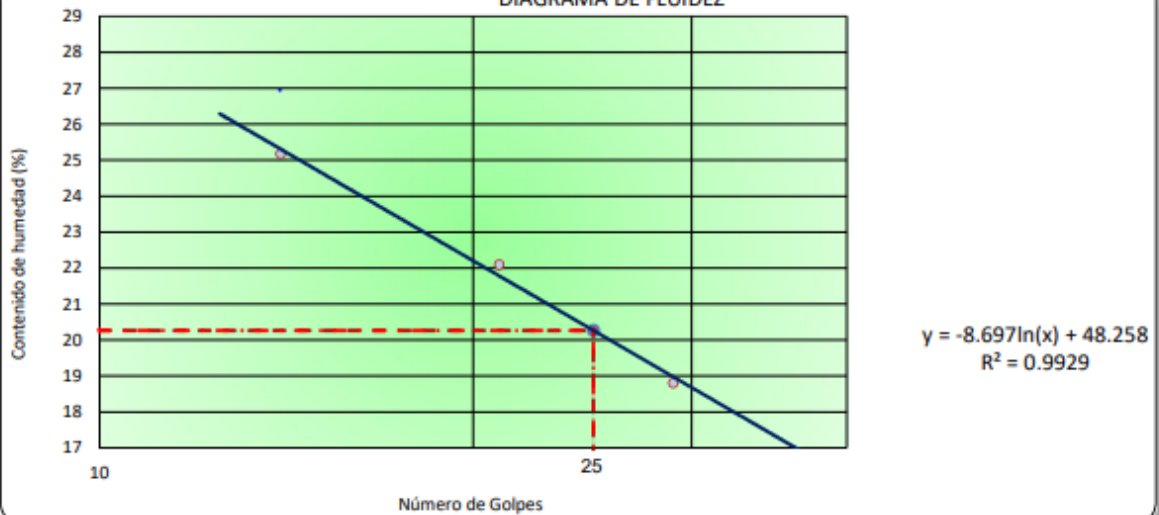
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	32.26	31.64	30.55
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	28.75	27.75	26.45
PESO DEL AGUA	(gr)	3.51	3.89	4.10
PESO DE LA TARA	(gr)	10.08	10.14	10.16
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	18.67	17.61	16.29
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.80	22.09	25.17
NÚMERO DE GOLPES		29	21	14

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	23.87	24.61	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.00	22.78	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.19	10.16	
PESO DEL AGUA	(gr)	1.87	1.83	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	11.81	12.62	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	15.83	14.50	15.2

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	20.3
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	15.2
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	5.1

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 12+000
 UBICACIÓN : Provinia de Piura-Región Piura
 CALICATA : C-07
 MUESTRA : M - 01

LADO : LD
 PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 m.
 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 FECHA : 20/03/2018

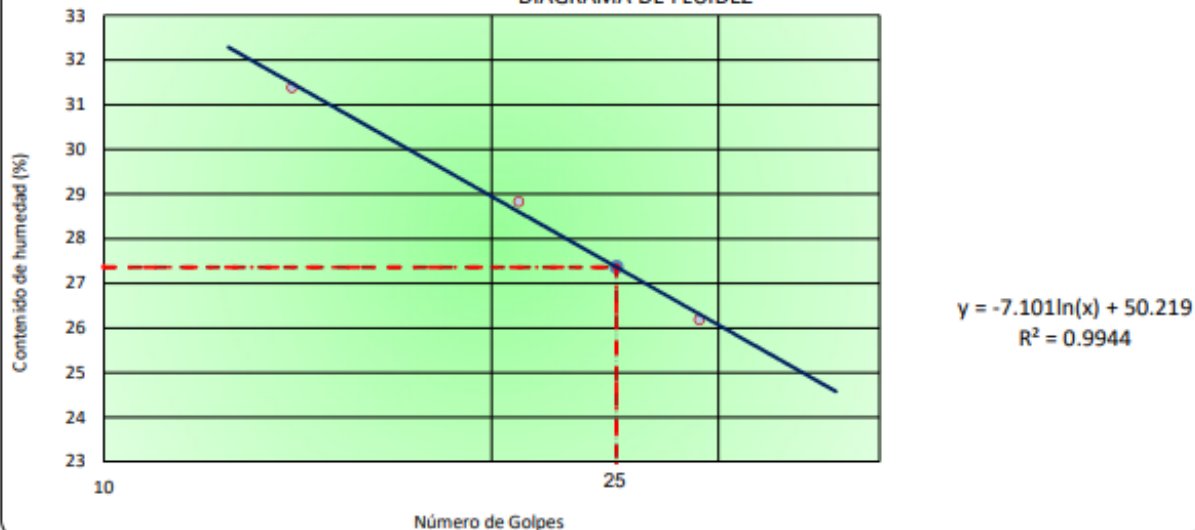
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	31.62	32.84	30.53
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	27.53	28.15	26.03
PESO DEL AGUA	(gr)	4.09	4.69	4.50
PESO DE LA TARA	(gr)	11.91	11.88	11.69
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	15.62	16.27	14.34
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.18	28.83	31.38
NÚMERO DE GOLPES		29	21	14

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	25.19	24.76	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.74	22.35	
PESO DE LA TARA	(gr)	12.26	11.92	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.45	2.41	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	10.48	10.43	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	23.38	23.11	23.2

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	27.4
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	23.2
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	4.1

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 14+000 LADO : L.I
 UBICACIÓN : Provinia de Piura-Región Piura PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 m.
 CALICATA : C-08 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 MUESTRA : M - 01 FECHA : 20/03/2018

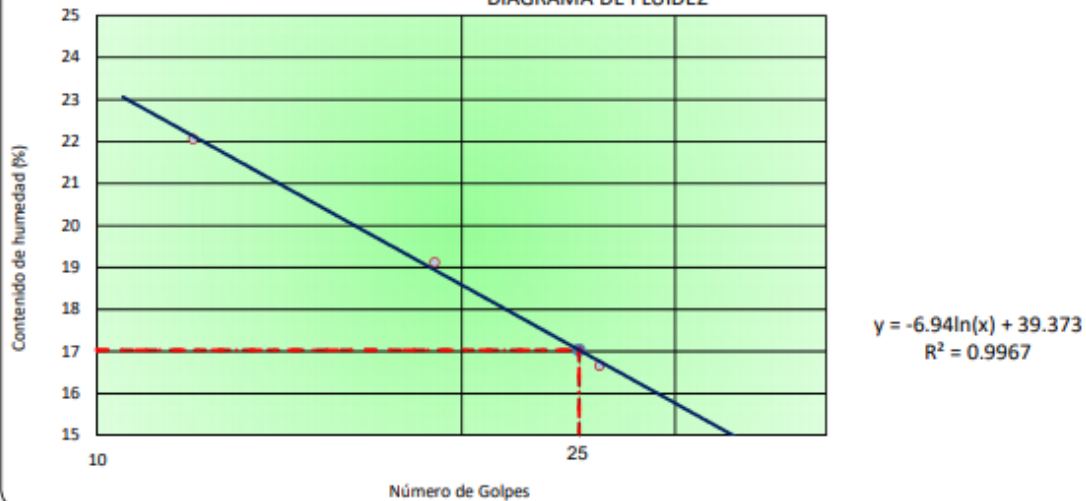
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA	T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	30.11	32.83	31.59
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	27.59	29.23	27.77
PESO DEL AGUA (gr)	2.52	3.60	3.82
PESO DE LA TARA (gr)	12.46	10.40	10.45
PESO DE L SUELO SECO (gr)	15.13	18.83	17.32
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.66	19.12	22.06
NÚMERO DE GOLPES	26	19	12

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA	T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	26.49	25.61	
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	24.70	23.90	
PESO DE LA TARA (gr)	12.31	12.43	
PESO DEL AGUA (gr)	1.79	1.71	
PESO DE L SUELO SECO (gr)	12.39	11.47	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.45	14.91	14.7

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO (%)	17.0
LÍMITE PLÁSTICO (%)	14.7
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	2.4

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 16+000
 UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
 CALICATA : C-09
 MUESTRA : M - 01

LADO : L.D
 PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 m.
 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 FECHA : 20/03/2018

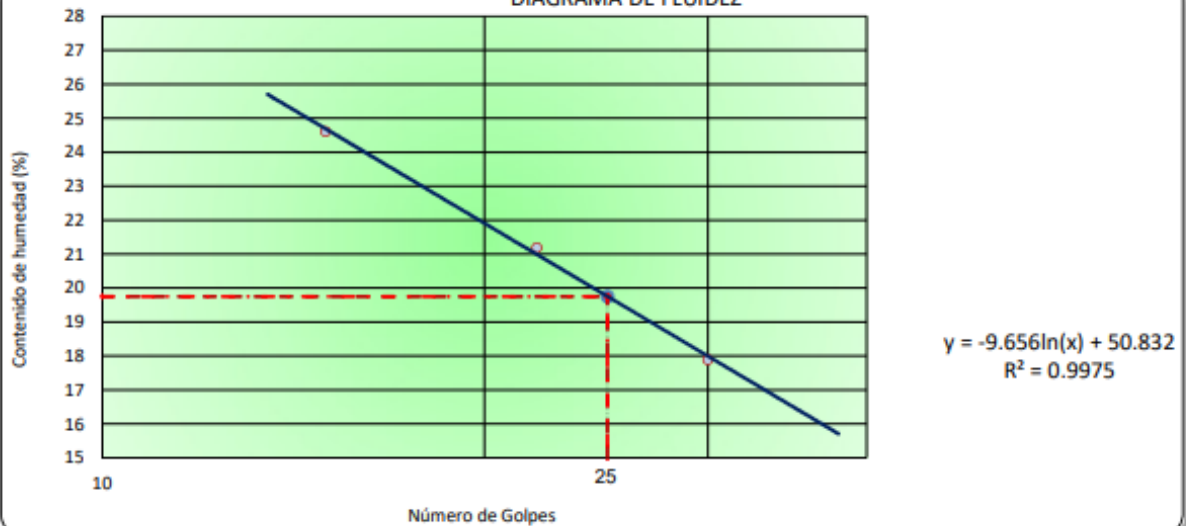
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)		32.88	31.46	30.23
PESO TARA + SUELO SECO (gr)		29.70	28.05	26.25
PESO DEL AGUA (gr)		3.18	3.41	3.98
PESO DE LA TARA (gr)		11.92	11.95	10.07
PESO DE L SUELO SECO (gr)		17.78	16.10	16.18
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		17.89	21.18	24.60
NÚMERO DE GOLPES		30	22	15

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)		25.19	24.48	
PESO TARA + SUELO SECO (gr)		23.40	22.84	
PESO DE LA TARA (gr)		11.84	11.72	
PESO DEL AGUA (gr)		1.79	1.64	
PESO DE L SUELO SECO (gr)		11.56	11.12	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		15.48	14.75	15.1

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO (%)	19.8
LÍMITE PLÁSTICO (%)	15.1
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	4.6

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 18+000
 UBICACIÓN : Provinvia de Piura-Región Piura
 CALICATA : C-10
 MUESTRA : M - 01

LADO : LI
 PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 m.
 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 FECHA : 20/03/2018

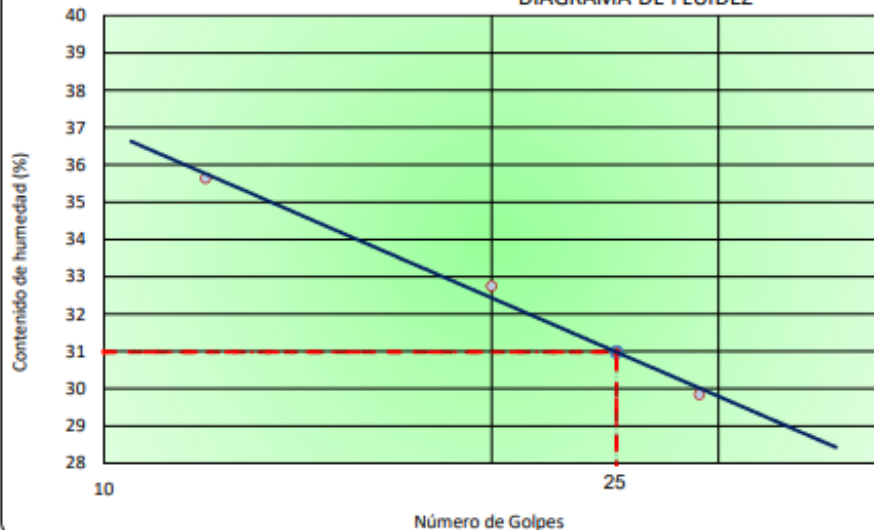
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	30.36	32.72	31.44
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	25.70	27.15	25.85
PESO DEL AGUA	(gr)	4.66	5.57	5.59
PESO DE LA TARA	(gr)	10.08	10.14	10.16
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	15.62	17.01	15.69
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29.83	32.75	35.63
NÚMERO DE GOLPES		29	20	12

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	25.52	24.49	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.25	21.36	
PESO DE LA TARA	(gr)	10.19	10.16	
PESO DEL AGUA	(gr)	3.27	3.13	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	12.06	11.20	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.11	27.95	27.5

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



$y = -6.511\ln(x) + 51.938$
 $R^2 = 0.9912$

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	31.0
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	27.5
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	3.4

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A
EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL
BAJO PIURA"**

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO	: L.D
TRAMO	: Km. 20+000	PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
UBICACIÓN	: Provinia de Piura-Región Piura	HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
CALICATA	: C-11	FECHA	: 20/03/2018
MUESTRA	: M - 01		

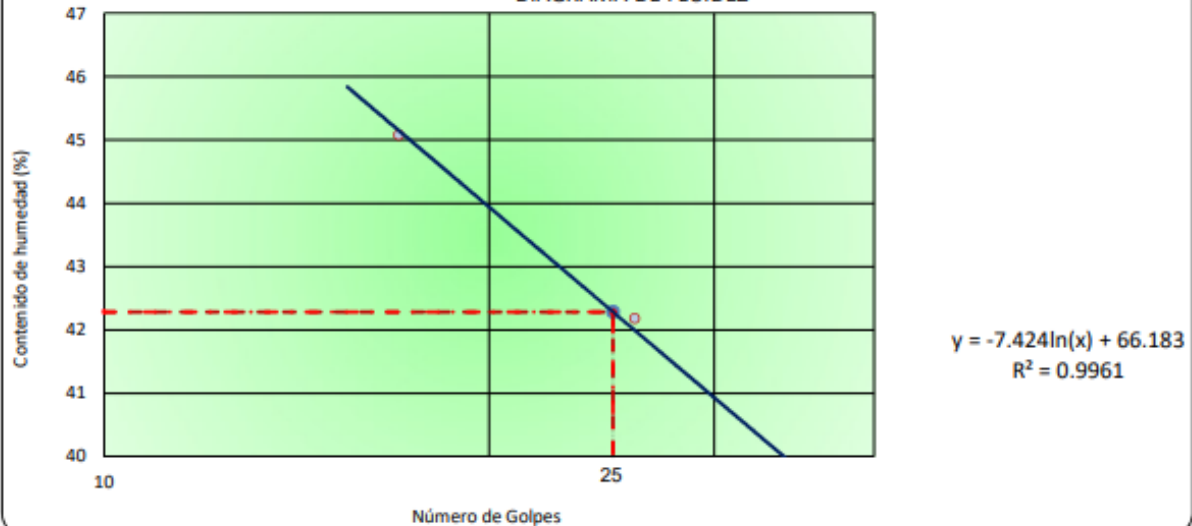
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	30.48	32.16	31.61
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	24.68	25.66	25.52
PESO DEL AGUA	(gr)	5.80	6.50	6.09
PESO DE LA TARA	(gr)	10.14	10.25	12.01
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	14.54	15.41	13.51
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	39.89	42.18	45.08
NÚMERO DE GOLPES		34	26	17

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	24.76	23.87	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	21.88	21.15	
PESO DE LA TARA	(gr)	12.46	12.22	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.88	2.72	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	9.42	8.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.57	30.46	30.5

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	42.3
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	30.5
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	11.8

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

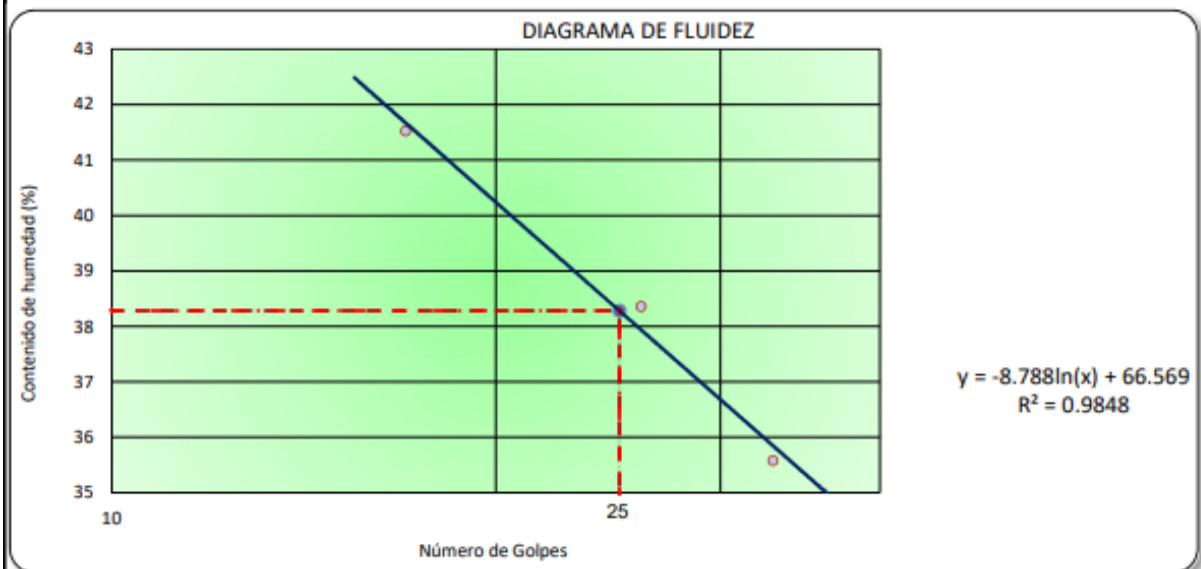
CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 22+000 **LADO** : LI
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura **PROFUNDIDAD** : 0.90-1.50 m.
CALICATA : C-12 **HECHO POR** : DIAZ & ESPINOZA
MUESTRA : M - 01 **FECHA** : 20/03/2018

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	30.47	32.73	31.80
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	25.60	26.95	25.90
PESO DEL AGUA	(gr)	4.87	5.78	5.90
PESO DE LA TARA	(gr)	11.91	11.88	11.69
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	13.69	15.07	14.21
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	35.57	38.35	41.52
NÚMERO DE GOLPES		33	26	17

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	25.43	24.35	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.80	21.77	
PESO DE LA TARA	(gr)	12.26	11.92	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.63	2.58	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	10.54	9.85	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.95	26.19	25.6



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	38.3
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	25.6
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	12.7

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

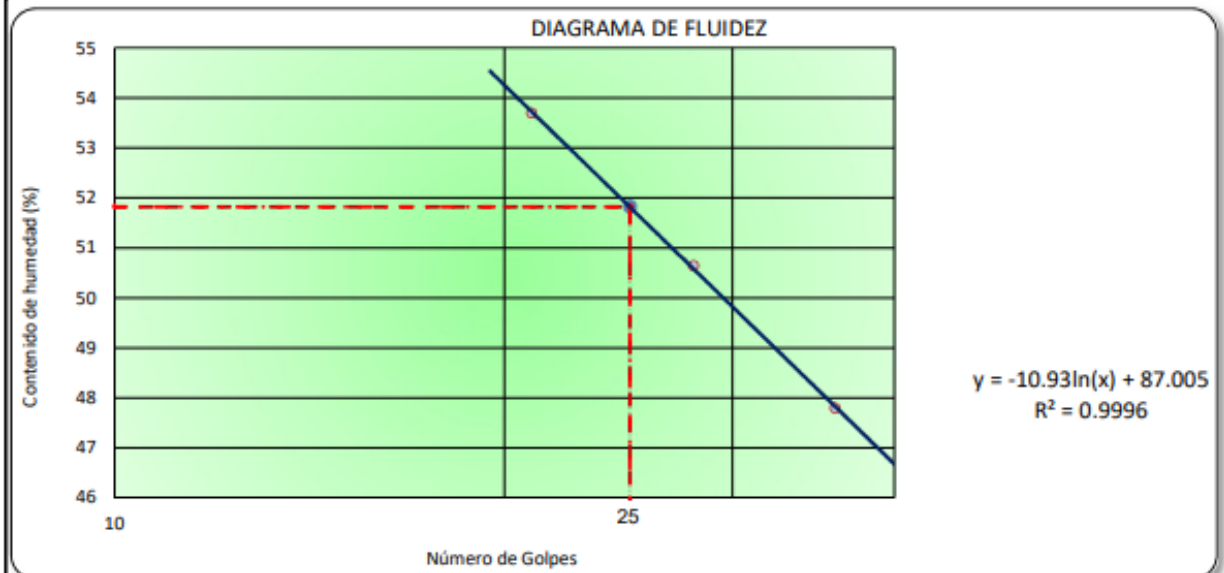
CONCEPTO :	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO :	L.D
TRAMO :	Km. 24+000	PROFUNDIDAD :	0.90-1.50 m.
UBICACIÓN :	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR :	DIAZ & ESPINOZA
CALICATA :	C-13	FECHA :	20/03/2018
MUESTRA :	M - 01		

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	32.77	31.34	30.79
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	26.05	24.64	24.10
PESO DEL AGUA	(gr)	6.72	6.70	6.69
PESO DE LA TARA	(gr)	11.99	11.41	11.64
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	14.06	13.23	12.46
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	47.80	50.64	53.69
NÚMERO DE GOLPES		36	28	21

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	24.68	23.92	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	21.75	21.14	
PESO DE LA TARA	(gr)	11.43	12.19	
PESO DEL AGUA	(gr)	2.93	2.78	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	10.32	8.95	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.39	31.06	29.7



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	(%)	51.8
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	29.7
INDICE DE PLASTICIDAD	(%)	22.1

OBSERVACIONES



Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A
EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL
BAJO PIURA"**

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	: Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO	: LI
TRAMO	: Km. 26+000	PROFUNDIDAD	: 0.90-1.50 m.
UBICACIÓN	: Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR	: DIAZ & ESPINOZA
CALICATA	: C-14	FECHA	: 20/03/2018
MUESTRA	: M - 01		

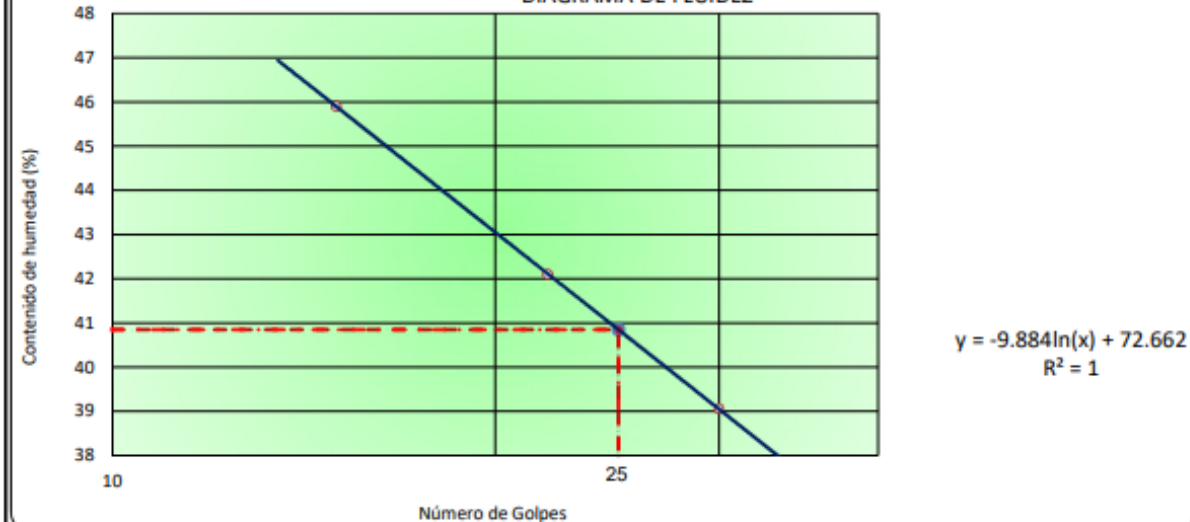
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA		T-36	T-37	T-38	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	33.15	32.40	31.62	
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	27.30	26.25	24.90	
PESO DEL AGUA	(gr)	5.85	6.15	6.72	
PESO DE LA TARA	(gr)	12.32	11.64	10.26	
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	14.98	14.61	14.64	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	39.05	42.09	45.90	
NÚMERO DE GOLPES		30	22	15	

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA		T-39	T-40		
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr)	25.31	26.12		
PSO TARA + SUELO SECO	(gr)	22.10	22.86		
PESO DE LA TARA	(gr)	11.61	12.08		
PESO DEL AGUA	(gr)	3.21	3.26		
PESO DE L SUELO SECO	(gr)	10.49	10.78		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.60	30.24		30.4

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	(%)	40.8
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	30.4
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	(%)	10.4

OBSERVACIONES

ANEXO N° 05: Análisis granulométrico de suelos por tamizado.



Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

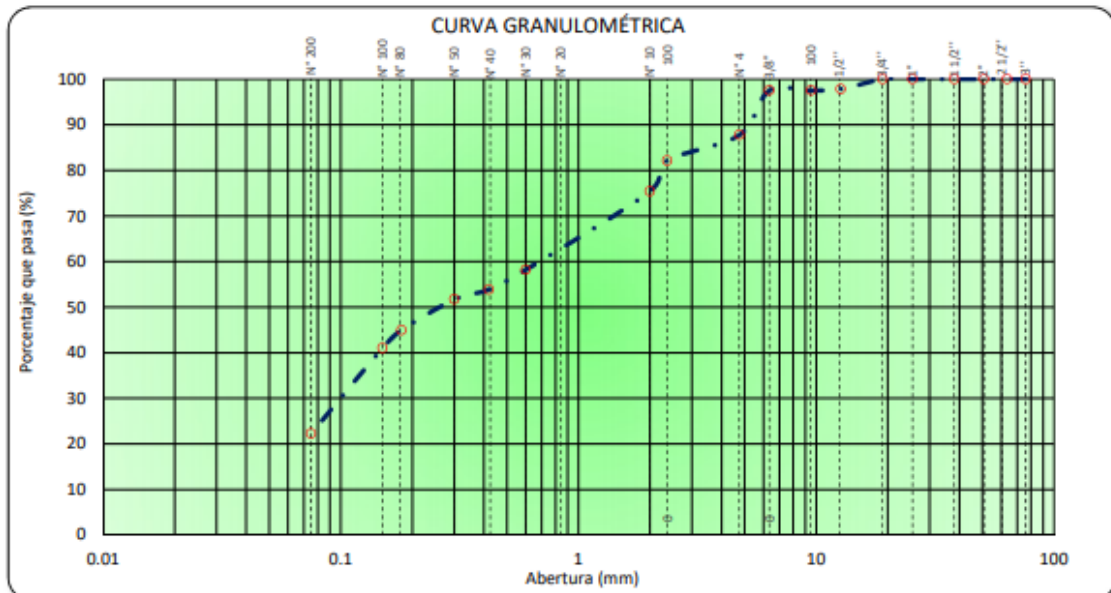
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 00+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-01
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
							Peso de la Muestra	
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 288.10	
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 224.00	
2"	50.800						Peso fino (gr.): 252.90	
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 12.20	
1/2"	12.700	6.2	2.2	2.2	97.8		% Arena (%): 65.50	
3/8"	9.525	1.0	0.3	2.5	97.5		% Fino (%): 22.30	
1/4"	6.350	0.0	0.0	2.5	97.5			
N°4	4.760	28.0	9.7	12.2	87.8			
N°8	2.360	16.3	5.7	17.9	82.1			
N°10	2.000	19.3	6.7	24.6	75.4			
N°30	0.600	49.7	17.3	41.8	58.2			
N°40	0.420	12.4	4.3	46.1	53.9			
N°50	0.300	6.3	2.2	48.3	51.7			
N°80	0.180	19.4	6.7	55.1	44.9			
N°100	0.150	11.3	3.9	59.0	41.0			
N°200	0.075	54.1	18.8	77.8	22.2			
< N°200	FONDO	64.1	22.2	100.0	0.0			
FINO		252.9						
TOTAL		288.1						





Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

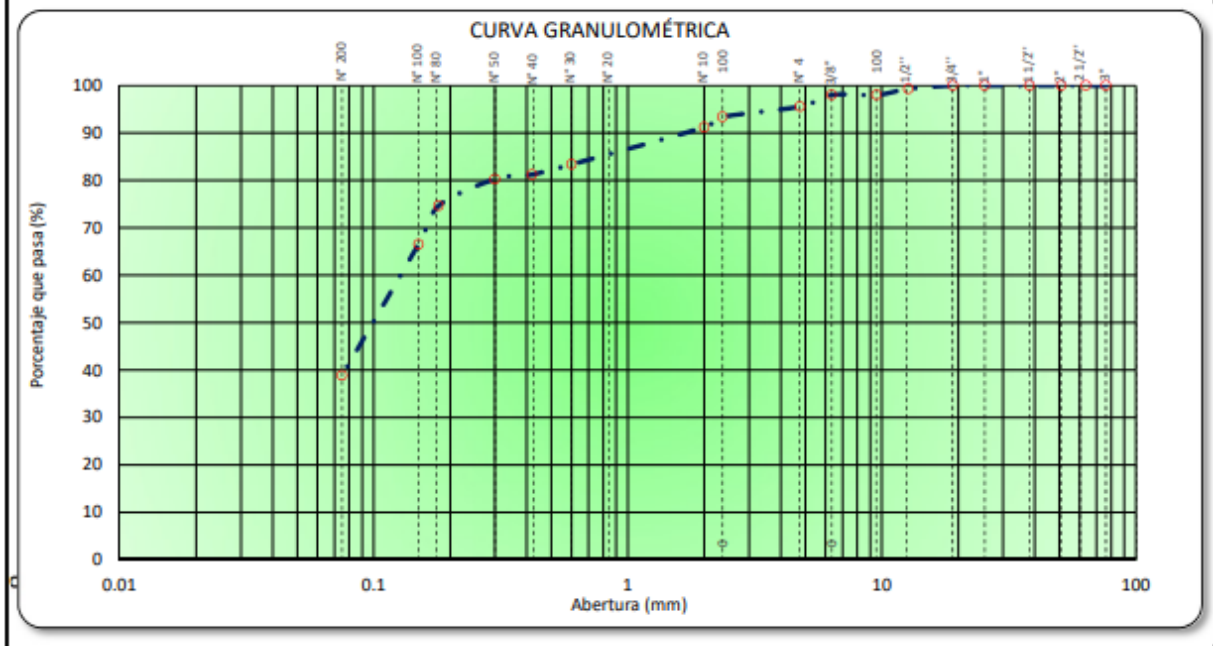
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 02+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-02
MUESTRA : M-01

LADO : L.I
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.) : 364.80
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.) : 223.10
2"	50.800						Peso fino (gr.) : 348.60
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%) : 4.40
1/2"	12.700	2.6	0.7	0.7	99.3		% Arena (%) : 56.70
3/8"	9.525	4.7	1.3	2.0	98.0		% Fino (%) : 38.80
1/4"	6.350	0.0	0.0	2.0	98.0		
N°4	4.760	8.9	2.4	4.4	95.6		
N°8	2.360	8.0	2.2	6.6	93.4		
N°10	2.000	7.9	2.2	8.8	91.2		
N°30	0.600	28.6	7.8	16.6	83.4		
N°40	0.420	7.8	2.1	18.8	81.2		
N°50	0.300	3.5	1.0	19.7	80.3		
N°80	0.180	20.5	5.6	25.4	74.6		
N°100	0.150	29.6	8.1	33.5	66.5		
N°200	0.075	101.0	27.7	61.2	38.8		
< N°200	FONDO	141.7	38.8	100.0	0.0		
FINO		348.6					
TOTAL		364.8					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

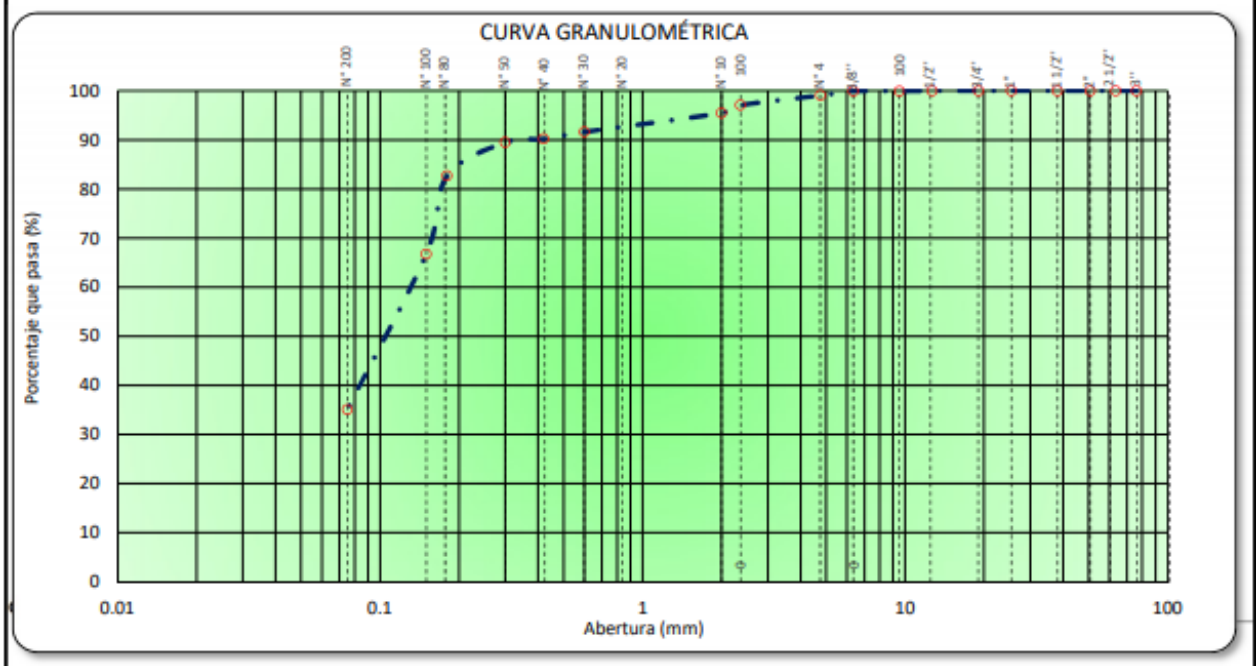
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 04+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-03
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
							Peso de la Muestra	
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.) : 377.50	
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.) : 245.20	
2"	50.800						Peso fino (gr.) : 373.90	
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%) : 1.00	
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0		% Arena (%) : 64.00	
3/8"	9.525	0.3	0.1	0.1	99.9		% Fino (%) : 35.00	
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9			
N°4	4.760	3.3	0.9	1.0	99.0			
N°8	2.360	7.5	2.0	2.9	97.1			
N°10	2.000	6.0	1.6	4.5	95.5			
N°30	0.600	14.6	3.9	8.4	91.6			
N°40	0.420	5.3	1.4	9.8	90.2			
N°50	0.300	2.7	0.7	10.5	89.5			
N°80	0.180	25.7	6.8	17.3	82.7			
N°100	0.150	60.2	15.9	33.3	66.7			
N°200	0.075	119.6	31.7	65.0	35.0			
< N°200	FONDO	132.3	35.0	100.0	0.0			
FINO		373.9						
TOTAL		377.5						





Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

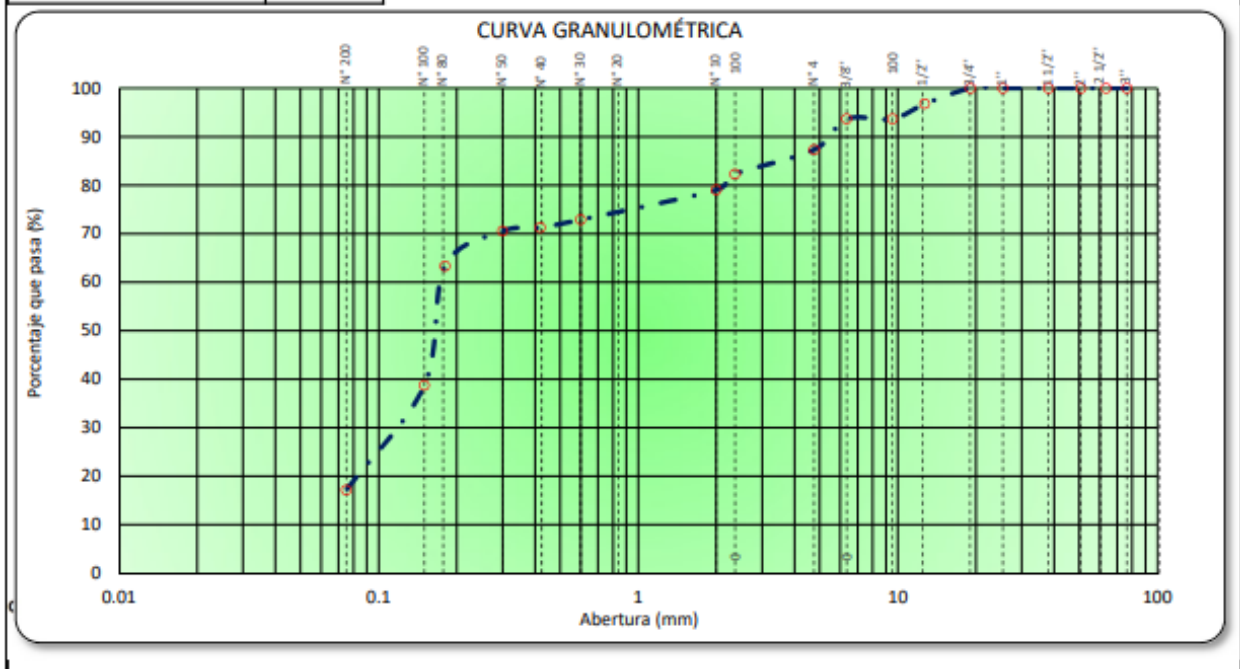
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 06+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-04
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 327.2
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 271
2"	50.800						Peso fino (gr.): 286
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 12.70
1/2"	12.700	10.6	3.2	3.2	96.8		% Arena (%): 70.20
3/8"	9.525	10.2	3.1	6.4	93.6		% Fino (%): 17.10
1/4"	6.350	0.0	0.0	6.4	93.6		
N°4	4.760	20.6	6.3	12.7	87.3		
N°8	2.360	16.5	5.0	17.7	82.3		
N°10	2.000	10.7	3.3	21.0	79.0		
N°30	0.600	20.1	6.1	27.1	72.9		
N°40	0.420	5.3	1.6	28.7	71.3		
N°50	0.300	2.5	0.8	29.5	70.5		
N°80	0.180	23.6	7.2	36.7	63.3		
N°100	0.150	80.3	24.5	61.2	38.8		
N°200	0.075	70.8	21.6	82.9	17.1		
< N°200	FONDO	56.0	17.1	100.0	0.0		
FINO		285.8					
TOTAL		327.2					





Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

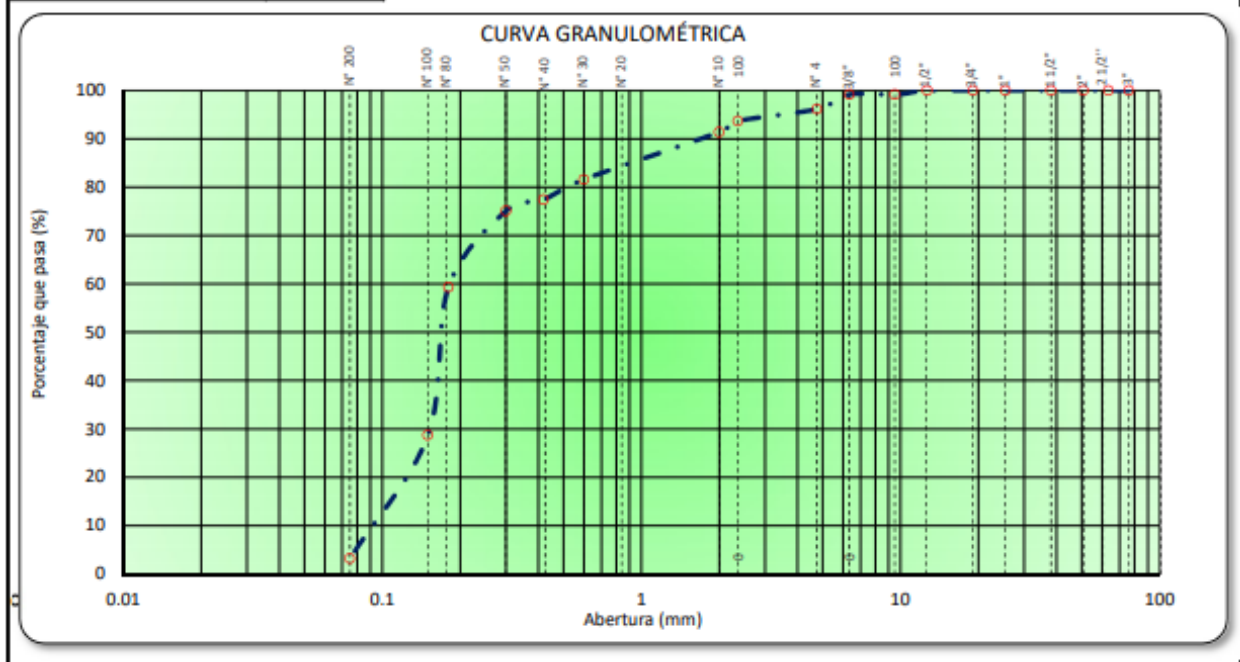
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 08+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-05
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 380.6
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 369
2"	50.800						Peso fino (gr.): 366
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 3.90
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 93.00
3/8"	9.525	3.3	0.9	0.9	99.1		% Fino (%): 3.20
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.9	99.1		
N°4	4.750	11.4	3.0	3.9	96.1		
N°8	2.360	9.4	2.5	6.3	93.7		
N°10	2.000	8.7	2.3	8.6	91.4		
N°30	0.600	37.3	9.8	18.4	81.6		
N°40	0.420	15.8	4.2	22.6	77.4		
N°50	0.300	9.0	2.4	24.9	75.1		
N°80	0.180	60.0	15.8	40.7	59.3		
N°100	0.150	116.5	30.6	71.3	28.7		
N°200	0.075	97.1	25.5	96.8	3.2		
< N°200	FONDO	12.1	3.2	100.0	0.0		
FINO		365.9					
TOTAL		380.6					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

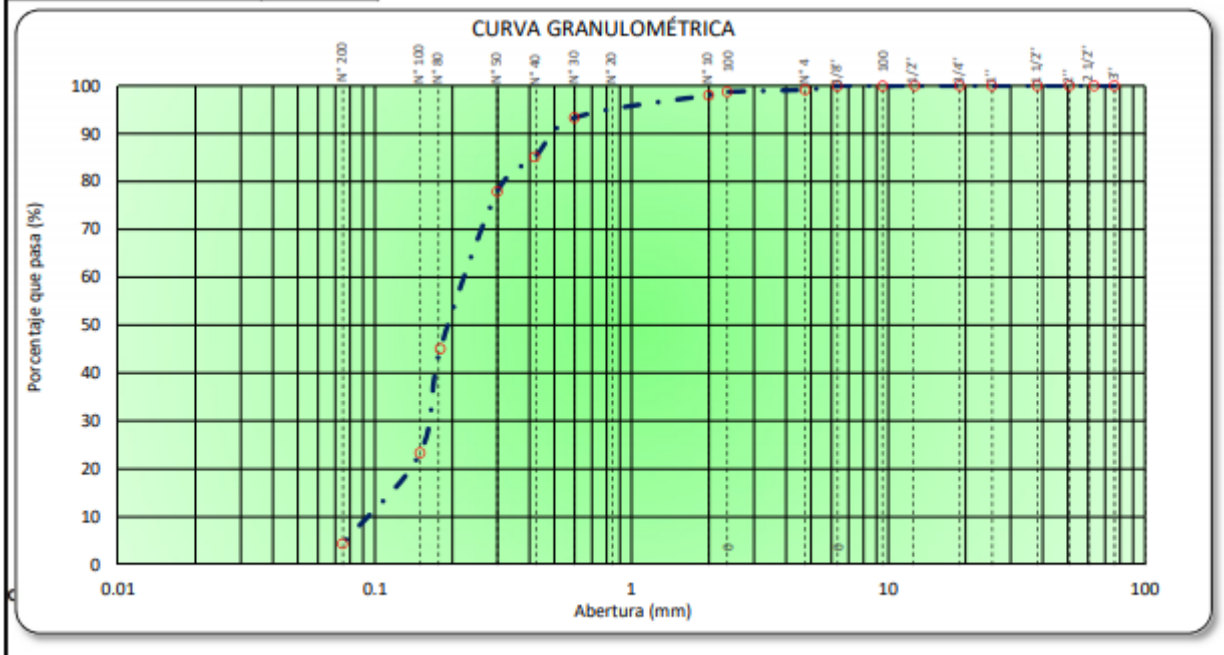
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 10+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-06
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 351.80
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 336.40
2"	50.800						Peso fino (gr.): 348.90
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 0.80
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 94.80
3/8"	9.525	0.2	0.1	0.1	99.9		% Fino (%): 4.40
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9		
N°4	4.760	2.7	0.8	0.8	99.2		
N°8	2.360	1.6	0.5	1.3	98.7		
N°10	2.000	2.4	0.7	2.0	98.0		
N°30	0.600	16.6	4.7	6.7	93.3		
N°40	0.420	28.8	8.2	14.9	85.1		
N°50	0.300	25.4	7.2	22.1	77.9		
N°80	0.180	115.6	32.9	54.9	45.1		
N°100	0.150	76.4	21.7	76.7	23.3		
N°200	0.075	66.7	19.0	95.6	4.4		
< N°200	FONDO	15.4	4.4	100.0	0.0		
FINO		348.9					
TOTAL		351.8					





Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

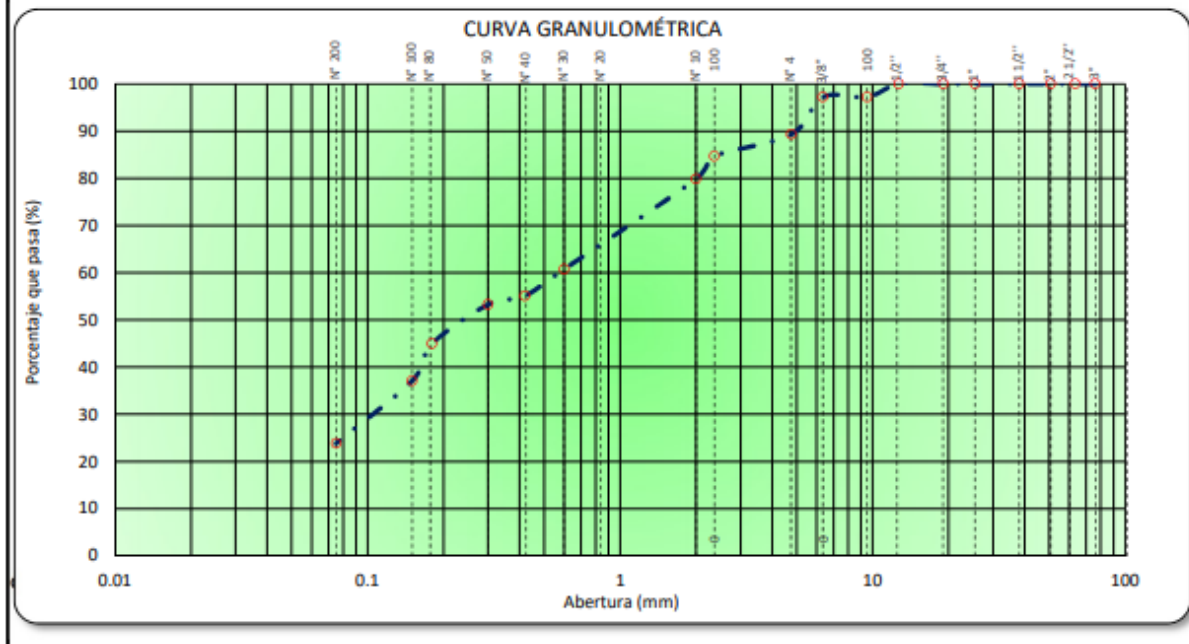
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
 TRAMO : Km. 12+000
 UBICACIÓN : Bajo Piura
 CALICATA : C-07
 MUESTRA : M-01

LADO : L.D
 PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
 HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
 FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 237.00
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 180.50
2"	50.800						Peso fino (gr.): 211.60
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 10.70
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 65.40
3/8"	9.525	6.6	2.8	2.8	97.2		% Fino (%): 23.90
1/4"	6.350	0.0	0.0	2.8	97.2		
N°4	4.760	18.8	7.9	10.7	89.3		
N°8	2.360	10.9	4.6	15.3	84.7		
N°10	2.000	11.4	4.8	20.1	79.9		
N°30	0.600	45.4	19.2	39.3	60.7		
N°40	0.420	13.4	5.7	44.9	55.1		
N°50	0.300	4.3	1.8	46.8	53.2		
N°80	0.180	19.7	8.3	55.1	44.9		
N°100	0.150	18.6	7.8	62.9	37.1		
N°200	0.075	31.4	13.2	76.2	23.8		
< N°200	FONDO	56.5	23.8	100.0	0.0		
FINO		211.6					
TOTAL		237.0					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

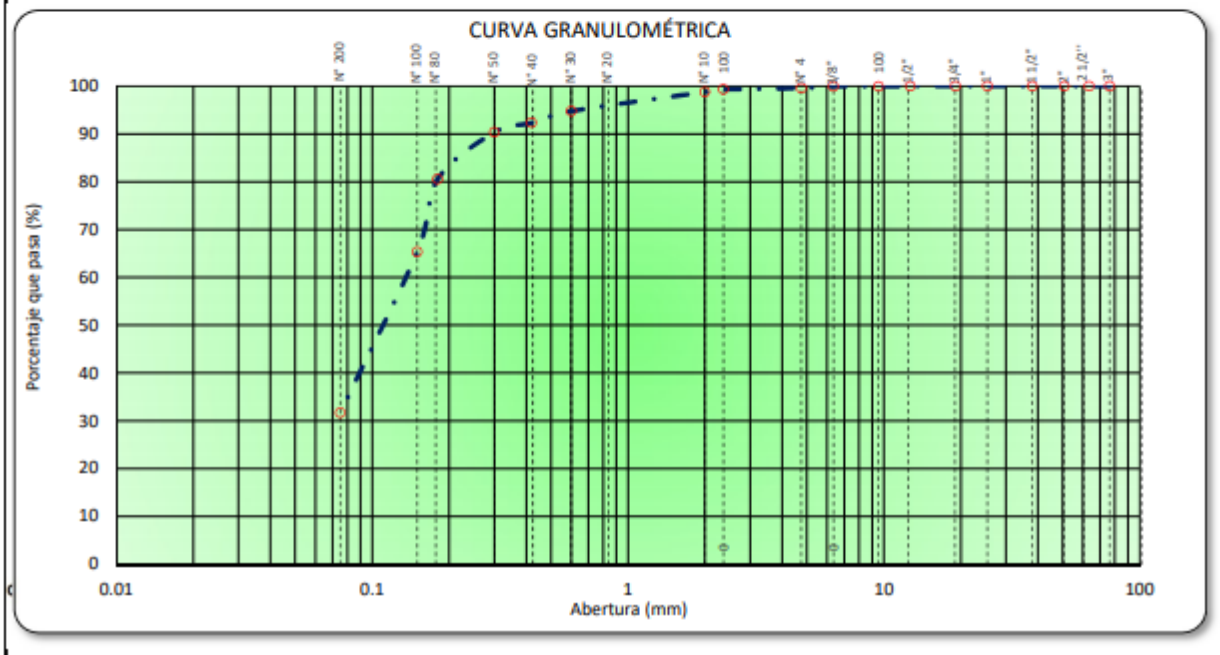
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 14+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-08
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 284.0
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 194
2"	50.800						Peso fino (gr.): 283
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 0.40
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 67.90
3/8"	9.525	0.2	0.1	0.1	99.9		% Fino (%): 31.70
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9		
N°4	4.760	1.0	0.4	0.4	99.6		
N°8	2.360	0.8	0.3	0.7	99.3		
N°10	2.000	1.5	0.5	1.2	98.8		
N°30	0.600	11.4	4.0	5.2	94.8		
N°40	0.420	6.9	2.4	7.7	92.3		
N°50	0.300	5.7	2.0	9.7	90.3		
N°80	0.180	27.8	9.8	19.5	80.5		
N°100	0.150	43.2	15.2	34.7	65.3		
N°200	0.075	95.6	33.7	68.3	31.7		
< N°200	FONDO	89.9	31.7	100.0	0.0		
FINO		282.8					
TOTAL		284.0					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

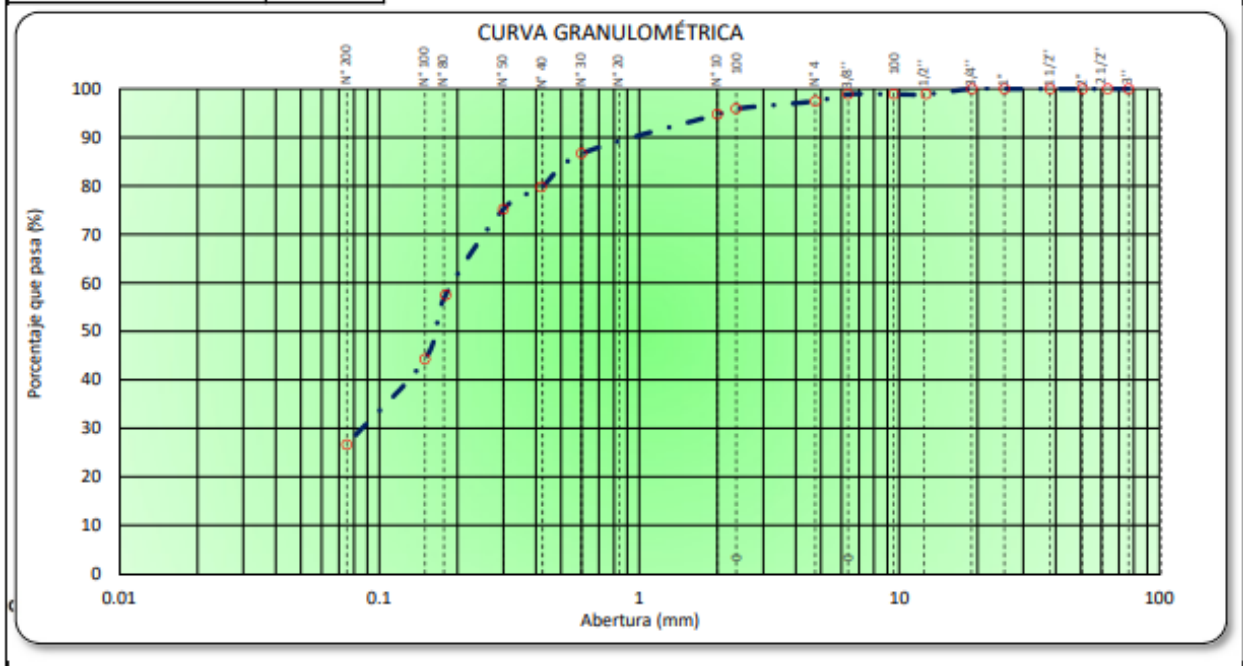
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 16+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-09
MUESTRA : M-01

LADO : LD
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
							Peso de la Muestra
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.) : 357.40
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.) : 262.10
2"	50.800						Peso fino (gr.) : 348.30
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%) : 2.60
1/2"	12.700	4.0	1.1	1.1	98.9		% Arena (%) : 70.80
3/8"	9.525	0.0	0.0	1.1	98.9		% Fino (%) : 26.70
1/4"	6.350	0.0	0.0	1.1	98.9		
N°4	4.760	5.1	1.4	2.5	97.5		
N°8	2.360	5.5	1.5	4.1	95.9		
N°10	2.000	4.2	1.2	5.3	94.7		
N°30	0.600	28.9	8.1	13.3	86.7		
N°40	0.420	24.7	6.9	20.3	79.7		
N°50	0.300	16.3	4.6	24.8	75.2		
N°80	0.180	63.2	17.7	42.5	57.5		
N°100	0.150	47.3	13.2	55.7	44.3		
N°200	0.075	62.9	17.6	73.3	26.7		
< N°200	FONDO	95.3	26.7	100.0	0.0		
FINO		348.3					
TOTAL		357.4					





Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

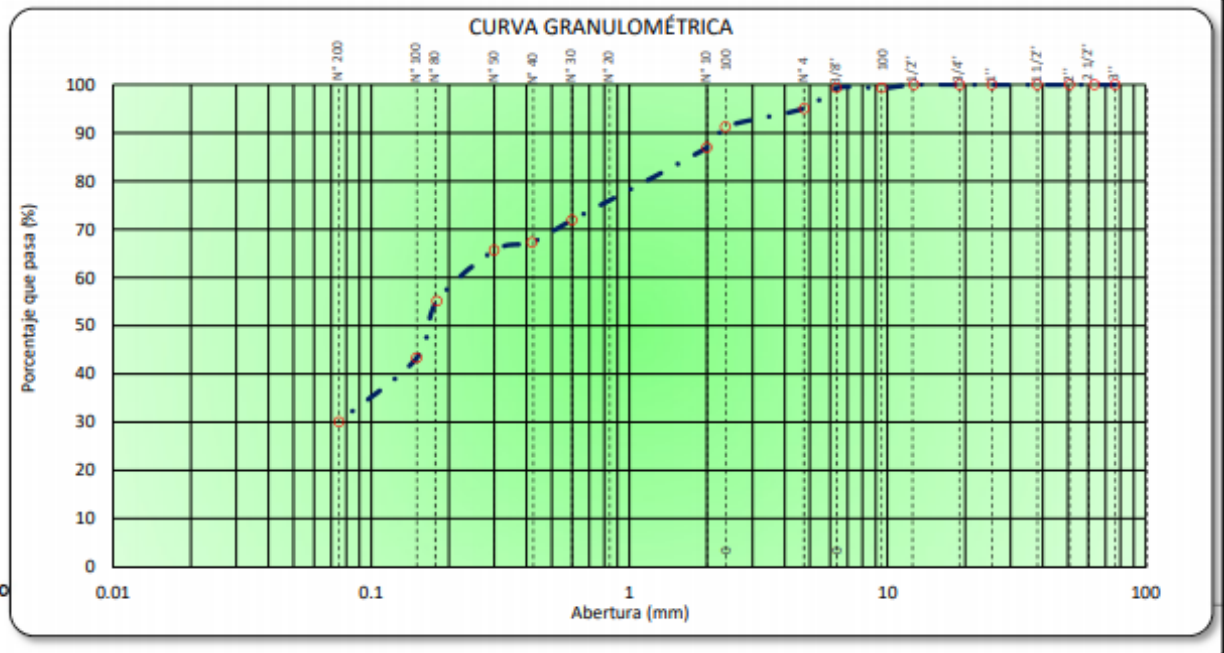
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 18+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-10
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 270.10
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 188.80
2"	50.800						Peso fino (gr.): 256.80
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 4.90
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 65.00
3/8"	9.525	1.9	0.7	0.7	99.3		% Fino (%): 30.10
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.7	99.3		
N°4	4.750	11.4	4.2	4.9	95.1		
N°8	2.360	10.3	3.8	8.7	91.3		
N°10	2.000	11.6	4.3	13.0	87.0		
N°30	0.600	40.7	15.1	28.1	71.9		
N°40	0.420	12.4	4.6	32.7	67.3		
N°50	0.300	4.5	1.7	34.4	65.6		
N°80	0.180	28.4	10.5	44.9	55.1		
N°100	0.150	31.9	11.8	56.7	43.3		
N°200	0.075	35.7	13.2	69.9	30.1		
< N°200	FONDO	81.3	30.1	100.0	0.0		
FINO		256.8					
TOTAL		270.1					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

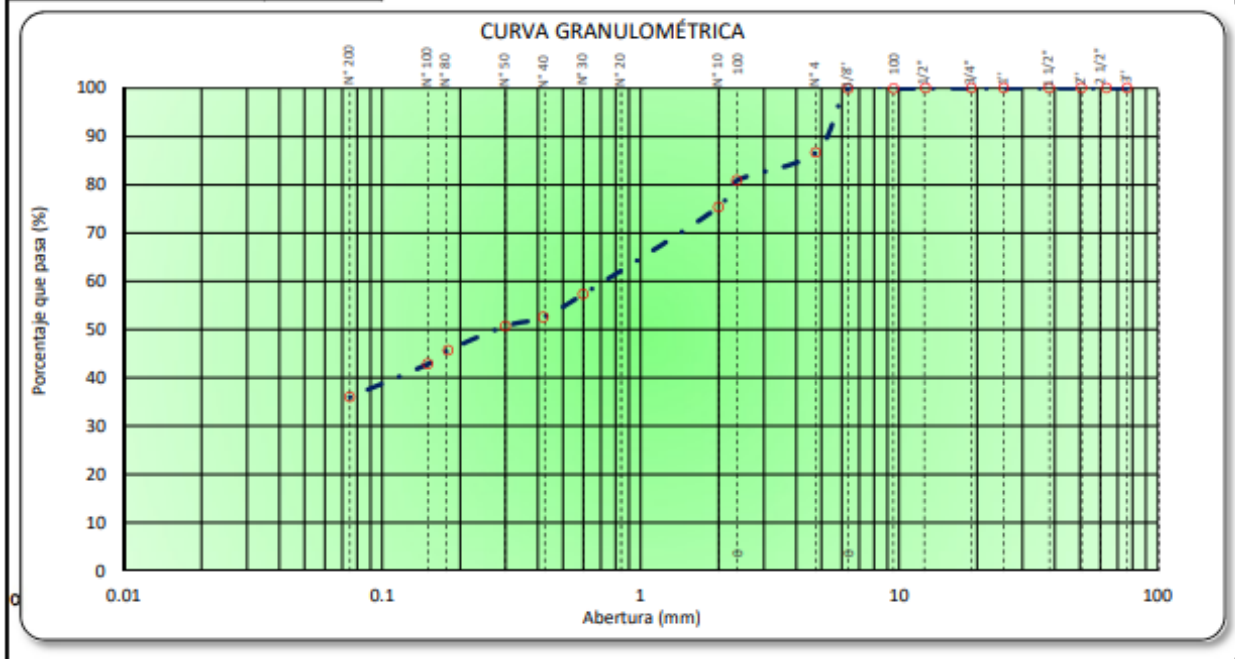
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 20+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-11
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 225.30
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 144.20
2"	50.800						Peso fino (gr.): 195.30
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 13.30
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 50.70
3/8"	9.525	0.2	0.1	0.1	99.9		% Fino (%): 36.00
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9		
N°4	4.760	29.8	13.2	13.3	86.7		
N°8	2.360	13.1	5.8	19.1	80.9		
N°10	2.000	12.4	5.5	24.6	75.4		
N°30	0.600	40.7	18.1	42.7	57.3		
N°40	0.420	10.8	4.8	47.5	52.5		
N°50	0.300	4.1	1.8	49.3	50.7		
N°80	0.180	11.3	5.0	54.3	45.7		
N°100	0.150	6.4	2.8	57.2	42.8		
N°200	0.075	15.4	6.8	64.0	36.0		
< N°200	FONDO	81.1	36.0	100.0	0.0		
FINO		195.3					
TOTAL		225.3					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

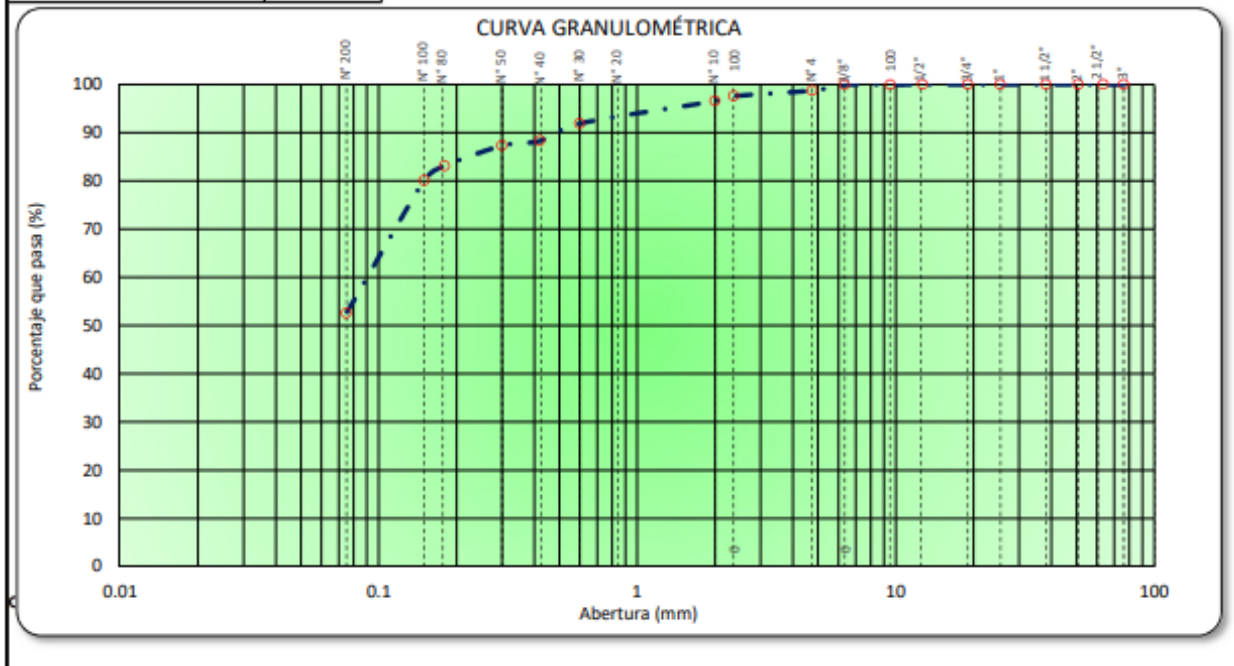
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 22+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-12
MUESTRA : M-01

LADO : L.I
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 301.3
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 143
2"	50.800						Peso fino (gr.): 298
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 1.30
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 46.20
3/8"	9.525	0.2	0.1	0.1	99.9		% Fino (%): 52.50
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9		
N°4	4.760	3.6	1.2	1.3	98.7		
N°8	2.360	3.5	1.2	2.4	97.6		
N°10	2.000	3.1	1.0	3.5	96.5		
N°30	0.600	14.0	4.6	8.1	91.9		
N°40	0.420	10.8	3.6	11.7	88.3		
N°50	0.300	3.1	1.0	12.7	87.3		
N°80	0.180	12.6	4.2	16.9	83.1		
N°100	0.150	9.1	3.0	19.9	80.1		
N°200	0.075	83.0	27.5	47.5	52.5		
< N°200	FONDO	158.3	52.5	100.0	0.0		
FINO		297.5					
TOTAL		301.3					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

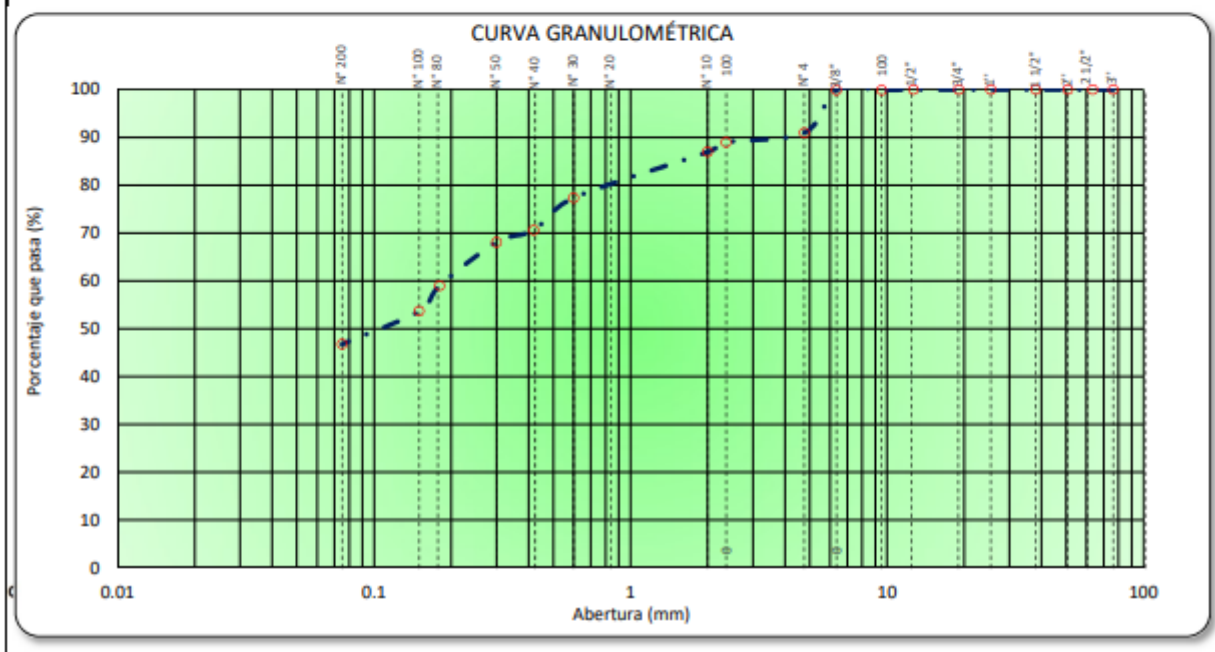
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 24+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-13
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 182.40
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.): 97.10
2"	50.800						Peso fino (gr.): 165.90
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%): 9.10
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%): 44.20
3/8"	9.525	0.2	0.1	0.1	99.9		% Fino (%): 46.80
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.1	99.9		
N°4	4.760	16.3	8.9	9.0	91.0		
N°8	2.360	3.6	2.0	11.0	89.0		
N°10	2.000	3.7	2.0	13.0	87.0		
N°30	0.600	17.5	9.6	22.6	77.4		
N°40	0.420	12.3	6.7	29.4	70.6		
N°50	0.300	4.6	2.5	31.9	68.1		
N°80	0.180	16.6	9.1	41.0	59.0		
N°100	0.150	9.7	5.3	46.3	53.7		
N°200	0.075	12.6	6.9	53.2	46.8		
< N°200	FONDO	85.3	46.8	100.0	0.0		
FINO		165.9					
TOTAL		182.4					





Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA
SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN
EN EL PROYECTO VÍA DE EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"**

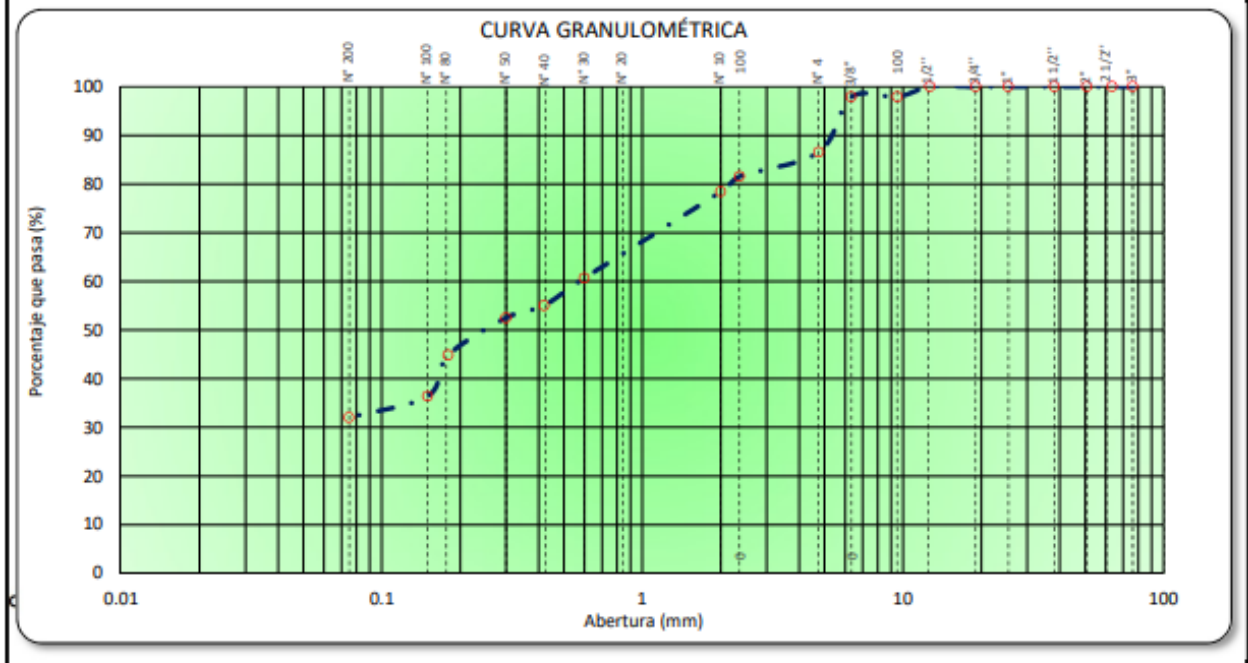
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA


CONCEPTO : LIBERACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE
TRAMO : Km. 26+000
UBICACIÓN : Bajo Piura
CALICATA : C-14
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD : 0.90-1.50 M
HECHO POR : DIAZ & ESPINOZA
FECHA : 20/03/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Peso de la Muestra							
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.) : 185.9
2 1/2"	63.500						Peso lavado (gr.) : 126
2"	50.800						Peso fino (gr.) : 161
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		% Grava (%) : 13.50
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0		% Arena (%) : 54.50
3/8"	9.525	3.9	2.1	2.1	97.9		% Fino (%) : 32.00
1/4"	6.350	0.0	0.0	2.1	97.9		
N°4	4.760	21.1	11.4	13.4	86.6		
N°8	2.360	9.3	5.0	18.5	81.5		
N°10	2.000	5.8	3.1	21.6	78.4		
N°30	0.600	33.0	17.8	39.3	60.7		
N°40	0.420	10.5	5.6	45.0	55.0		
N°50	0.300	4.7	2.5	47.5	52.5		
N°80	0.180	14.3	7.7	55.2	44.8		
N°100	0.150	15.6	8.4	63.6	36.4		
N°200	0.075	8.2	4.4	68.0	32.0		
< N°200	FONDO	59.5	32.0	100.0	0.0		
FINO		160.9					
TOTAL		185.9					



ANEXO N° 06: Determinación del Proctor Modificado.



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

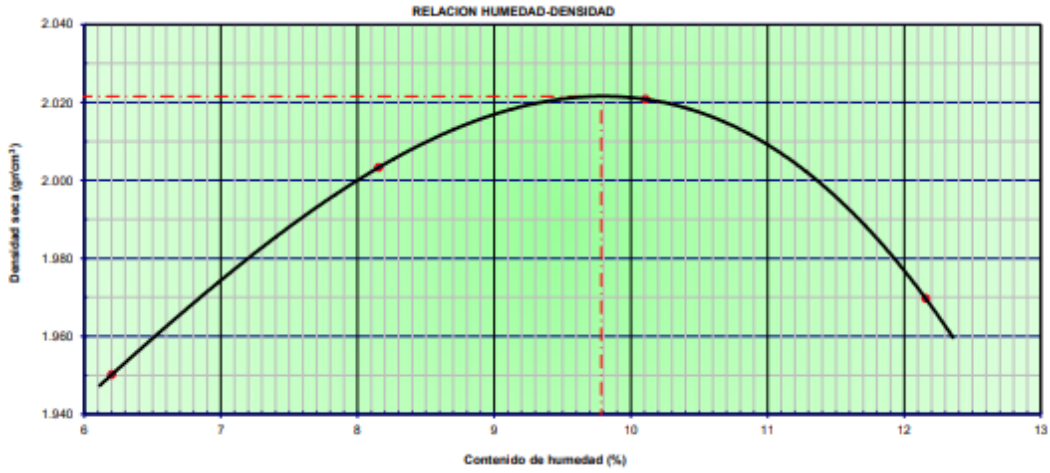
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		
TRAMO	Km. 00+000	LADO L.D	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	PROFUNDIDAD	0.90 - 1.50 m
CALICATA	C-01	HECHO POR	Espinoza&Diaz
MUESTRA	M - 01	FECHA	: 19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6224	6314	6369	6354	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1951	2041	2096	2081	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.071	2.167	2.225	2.209	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	235.4	231.2	227.1	222.9	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	14.6	18.9	23.0	27.1	
Peso del suelo seco	gr.	235.4	231.2	227.1	222.9	
Contenido de agua	%	6.20	8.15	10.11	12.16	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.950	2.003	2.021	1.970	
					<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	2.022
					<i>Humedad óptima (%)</i>	9.78

RELACION HUMEDAD-DENSIDAD



Observaciones: _____



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura

TRAMO Km. 02+000

UBICACIÓN Provincia de Piura-Región Piura

CALICATA C-02

MUESTRA M - 01

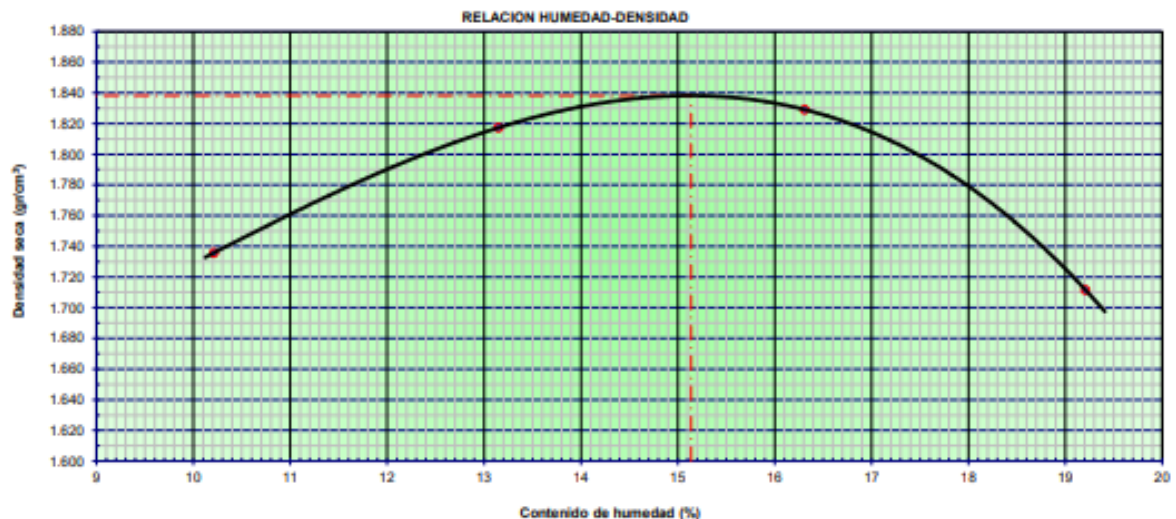
LADO L.I

PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m

HECHO POR Espinoza&Diaz

FECHA : 19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6075	6210	6277	6195	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1802	1937	2004	1922	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.913	2.056	2.127	2.040	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.4	250.4	250.3	250.1	
Peso del suelo seco + tara	gr.	227.2	221.3	215.2	209.8	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	23.2	29.1	35.1	40.3	
Peso del suelo seco	gr.	227.2	221.3	215.2	209.8	
Contenido de agua	%	10.21	13.15	16.31	19.21	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.736	1.817	1.829	1.712	
					<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	1.838
					<i>Humedad óptima (%)</i>	15.14



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

PROCTOR MODIFICADO

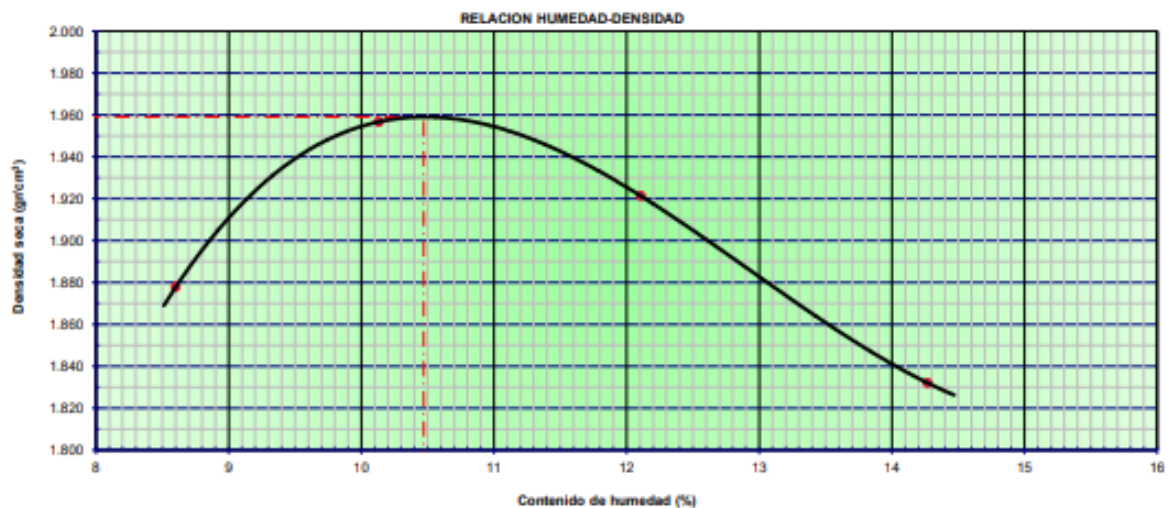
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO Km. 04+000
UBICACIÓN Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA C-03
MUESTRA M - 01

LADO L.D
PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
HECHO POR Espinoza&Diaz
FECHA : 19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6194	6303	6302	6245	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1921	2030	2029	1972	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.039	2.155	2.154	2.093	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	230.2	227.0	223.0	218.8	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	19.8	23.0	27.0	31.2	
Peso del suelo seco	gr.	230.2	227.0	223.0	218.8	
Contenido de agua	%	8.60	10.13	12.11	14.27	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.878	1.957	1.921	1.832	
					<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	1.959
					<i>Humedad óptima (%)</i>	10.47



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

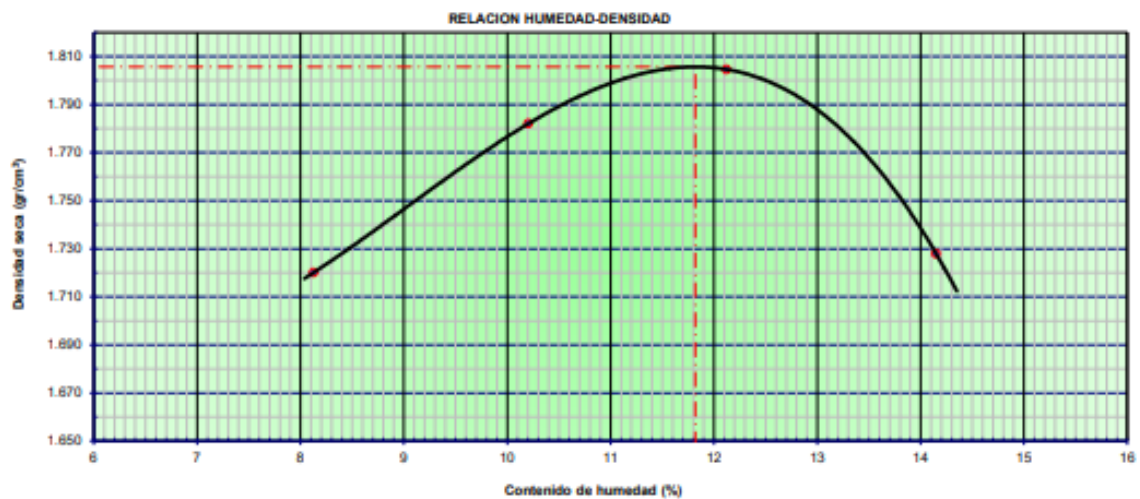
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO L.I
TRAMO	Km. 06+000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-04	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M - 01	

Ensayo N°		1	2	3	4
Número de Capas		5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6025	6123	6179	6131
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1752	1850	1906	1858
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.860	1.964	2.023	1.972
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0
Peso del suelo seco + tara	gr.	231.2	226.9	223.0	219.0
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	gr.	18.8	23.2	27.0	31.0
Peso del suelo seco	gr.	231.2	226.9	223.0	219.0
Contenido de agua	%	8.13	10.20	12.12	14.15
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.720	1.782	1.805	1.728

Densidad máxima (gr/cm³) **1.806**
Humedad óptima (%) **11.82**



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

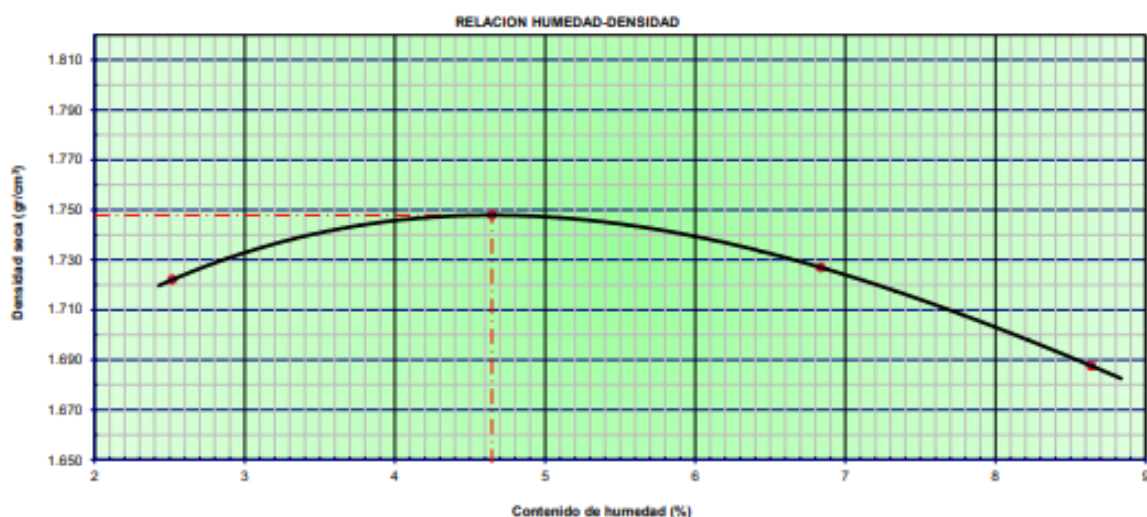
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		
TRAMO	Km. 08+000		
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	LADO L.D	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
CALICATA	C-05	HECHO POR	Esposito&Díaz
MUESTRA	M - 01	FECHA :	19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5936	5996	6011	6000	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1663	1723	1738	1727	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.765	1.829	1.845	1.833	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	243.9	238.9	234.0	230.1	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	6.1	11.1	16.0	19.9	
Peso del suelo seco	gr.	243.9	238.9	234.0	230.1	
Contenido de agua	%	2.52	4.65	6.84	8.64	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.722	1.748	1.727	1.688	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.748
					Humedad óptima (%)	4.65



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

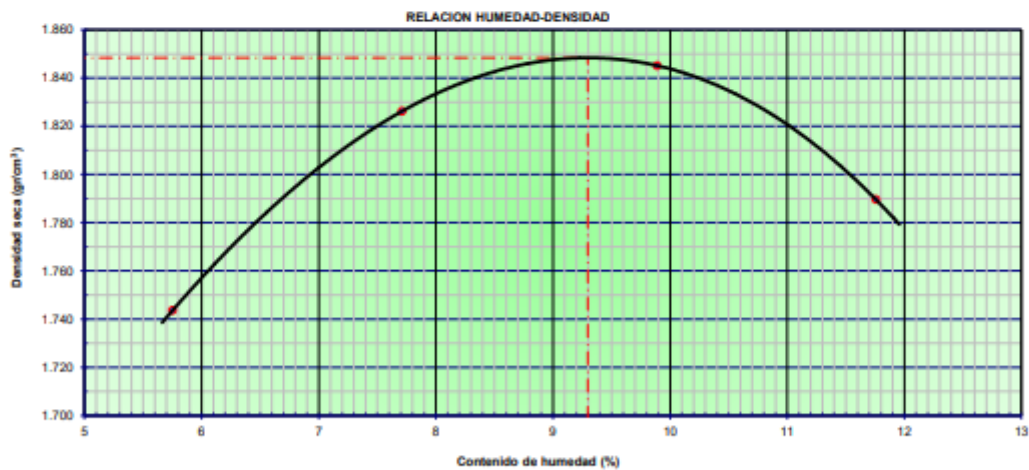
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	
TRAMO	Km. 10+000	LADO L.I
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
CALICATA	C-06	HECHO POR Espinoza&Díaz
MUESTRA	M - 01	FECHA : 19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6010	6126	6183	6157	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1737	1853	1910	1884	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.844	1.967	2.028	2.000	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	236.4	232.1	227.5	223.7	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	13.6	17.9	22.5	26.3	
Peso del suelo seco	gr.	236.4	232.1	227.5	223.7	
Contenido de agua	%	5.75	7.71	9.89	11.76	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.744	1.826	1.845	1.790	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.848
					Humedad óptima (%)	9.30



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

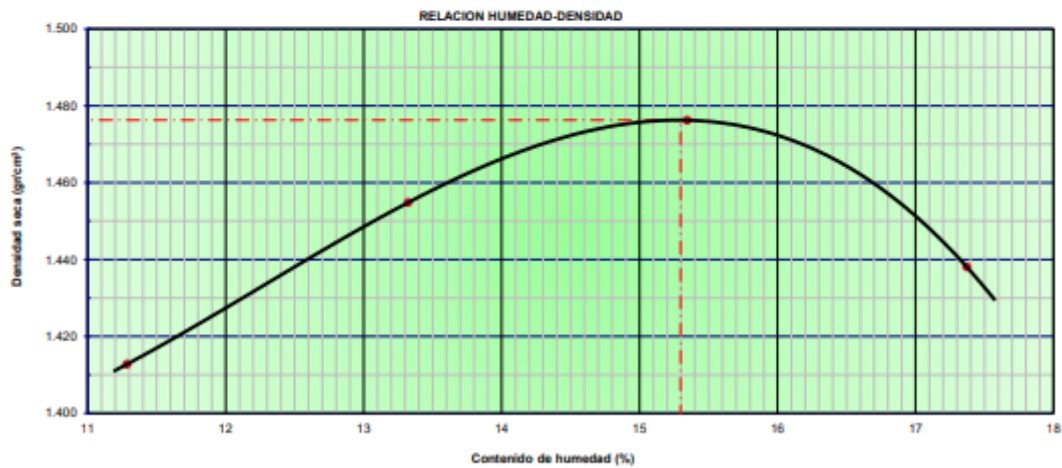
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura			LADO L.D	
TRAMO	Km. 12+000			PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura			HECHO POR Espinoza&Diaz	
CALICATA	C-07			FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M - 01				

Ensayo Nº		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5754	5826	5877	5863	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1481	1553	1604	1590	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.572	1.649	1.703	1.688	
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	224.7	220.6	216.7	213.0	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	25.4	29.4	33.3	37.0	
Peso del suelo seco	gr.	224.7	220.6	216.7	213.0	
Contenido de agua	%	11.28	13.32	15.35	17.37	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.413	1.455	1.476	1.438	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.476
					Humedad óptima (%)	15.30



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

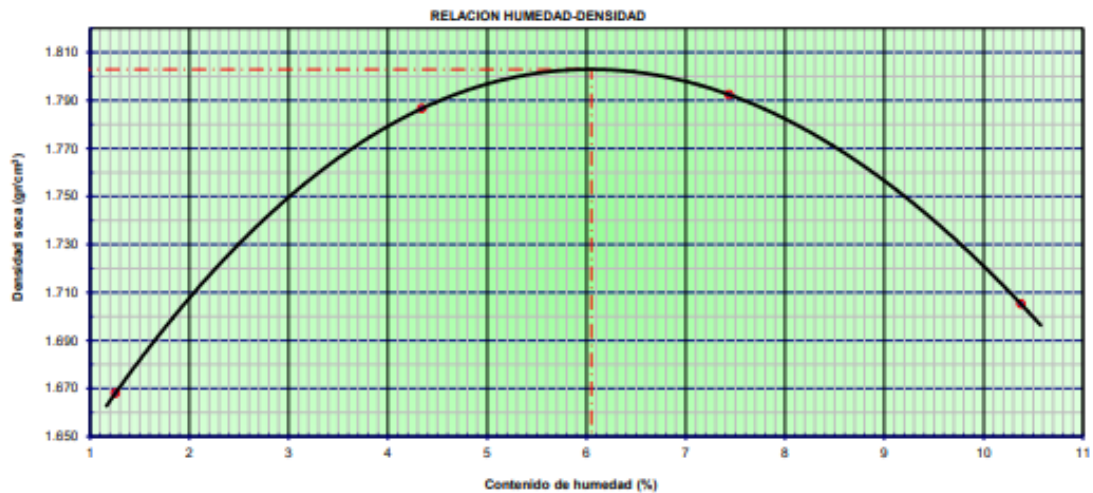
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	
TRAMO	Km. 14+000	LADO L.I
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
CALICATA	C-08	HECHO POR Espinoza&Díaz
MUESTRA	M - 01	FECHA : 19/03/2018

Ensayo N°		1	2	3	4
Número de Capas		5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5864	6029	6087	6046
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1591	1756	1814	1773
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.689	1.864	1.926	1.882
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0
Peso del suelo seco + tara	gr.	246.9	239.6	232.7	226.5
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	gr.	3.1	10.4	17.3	23.5
Peso del suelo seco	gr.	246.9	239.6	232.7	226.5
Contenido de agua	%	1.26	4.34	7.43	10.38
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.668	1.787	1.792	1.705

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.803
Humedad óptima (%)	6.05



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

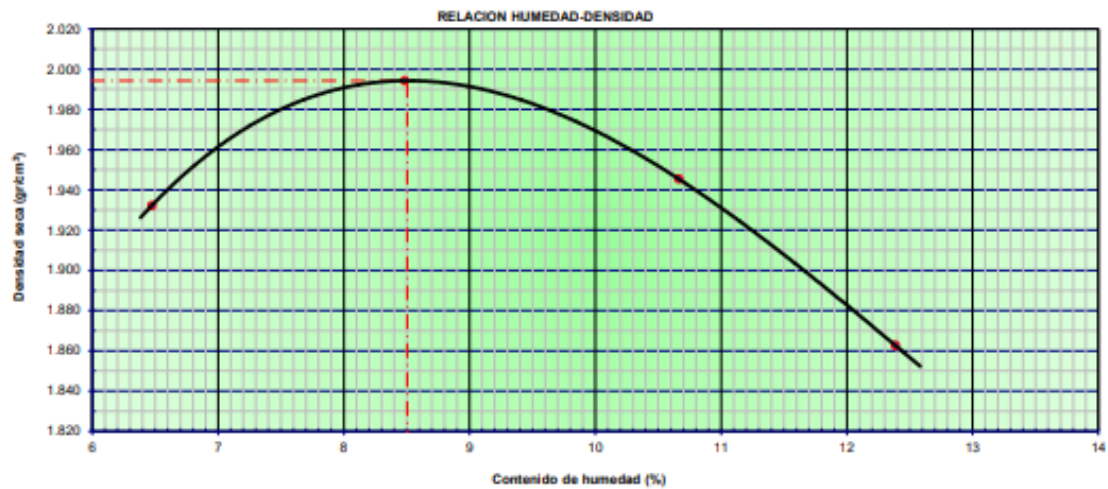
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO L.D
TRAMO	Km. 16+000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Díaz
CALICATA	C-09		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M - 01		

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	6211	6311	6301	6245	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1938	2038	2028	1972	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.057	2.163	2.153	2.093	
Recipiente N°		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	234.8	230.5	225.9	222.5	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	15.2	19.6	24.1	27.6	
Peso del suelo seco	gr.	234.8	230.5	225.9	222.5	
Contenido de agua	%	6.47	8.48	10.66	12.38	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.932	1.994	1.945	1.863	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.994
					Humedad óptima (%)	8.50



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

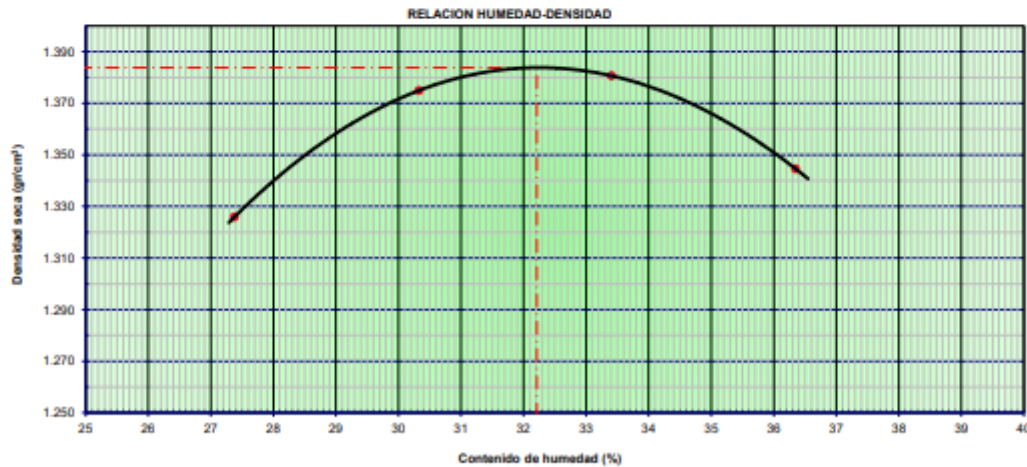
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI	
TRAMO	Km. 18+000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz	
CALICATA	C-10		FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M - 01			

Ensayo Nº		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5864	5961	6008	6000	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1591	1688	1735	1727	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.689	1.792	1.842	1.833	
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.3	250.1	250.4	250.2	
Peso del suelo seco + tara	gr.	196.5	191.9	187.7	183.5	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	53.8	58.2	62.7	66.7	
Peso del suelo seco	gr.	196.5	191.9	187.7	183.5	
Contenido de agua	%	27.38	30.33	33.40	36.35	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.326	1.375	1.381	1.345	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.384
					Humedad óptima (%)	32.21



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

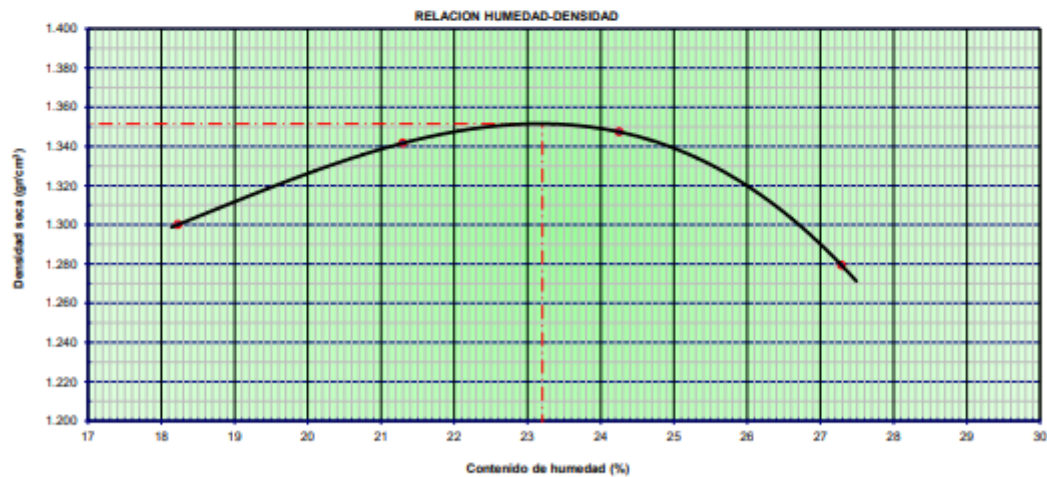
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura			LADO L.D
TRAMO	Km. 20+000			PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura			HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-11			FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01			

Ensayo Nº		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5721	5806	5850	5807	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1448	1533	1577	1534	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.537	1.627	1.674	1.628	
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	250.0	250.0	250.0	250.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	211.5	206.1	201.2	196.4	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	38.6	43.9	48.8	53.6	
Peso del suelo seco	gr.	211.5	206.1	201.2	196.4	
Contenido de agua	%	18.23	21.30	24.25	27.29	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.300	1.342	1.347	1.279	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.351
					Humedad óptima (%)	23.20



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

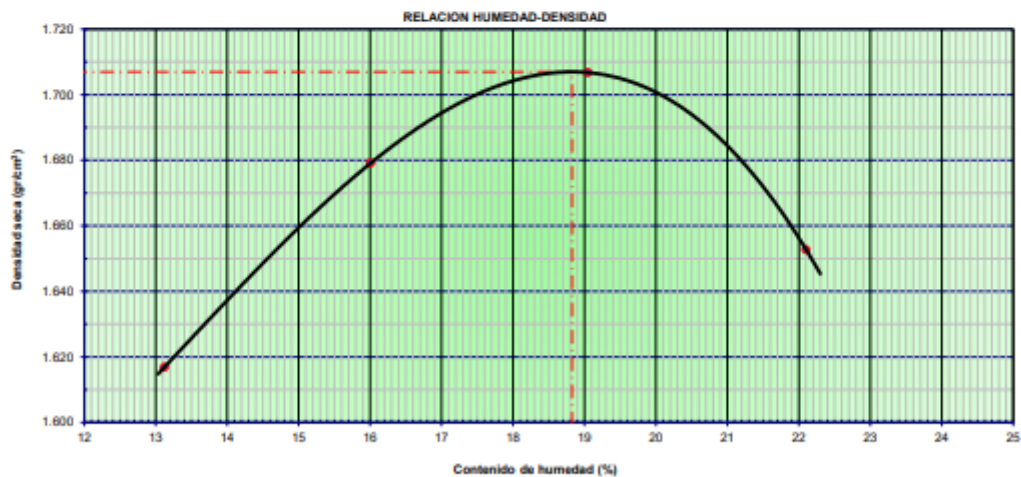
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI
TRAMO	Km. 22+000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Díaz
CALICATA	C-12		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M - 01		

Ensayo Nº		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5996	6108	6187	6174	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1723	1835	1914	1901	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.829	1.948	2.032	2.018	
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	200.0	200.0	200.0	200.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	176.8	172.4	168.0	163.8	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	23.2	27.6	32.0	36.2	
Peso del suelo seco	gr.	176.8	172.4	168.0	163.8	
Contenido de agua	%	13.12	16.01	19.05	22.10	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.617	1.679	1.707	1.653	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.707
					Humedad óptima (%)	18.83



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

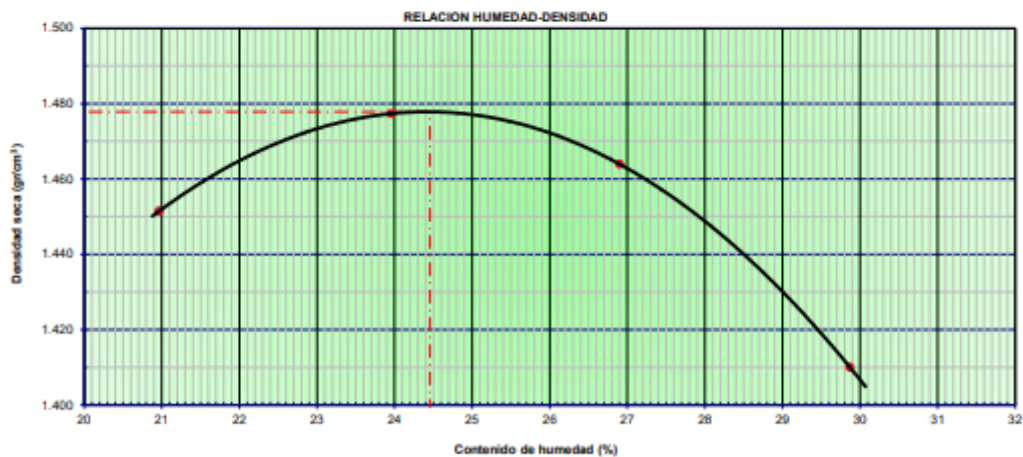
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura			LADO L.D
TRAMO	Km. 24+000			PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura			HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-13			FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M - 01			

Ensayo Nº		1	2	3	4
Número de Capas		5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5927	5998	6023	5998
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1654	1725	1750	1725
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.756	1.831	1.858	1.831
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	150.0	200.0	200.0	200.0
Peso del suelo seco + tara	gr.	124.0	161.4	157.6	154.0
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	gr.	26.0	38.7	42.4	46.0
Peso del suelo seco	gr.	124.0	161.4	157.6	154.0
Contenido de agua	%	20.97	23.95	26.90	29.87
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.451	1.477	1.464	1.410

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.478
Humedad óptima (%)	24.46



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

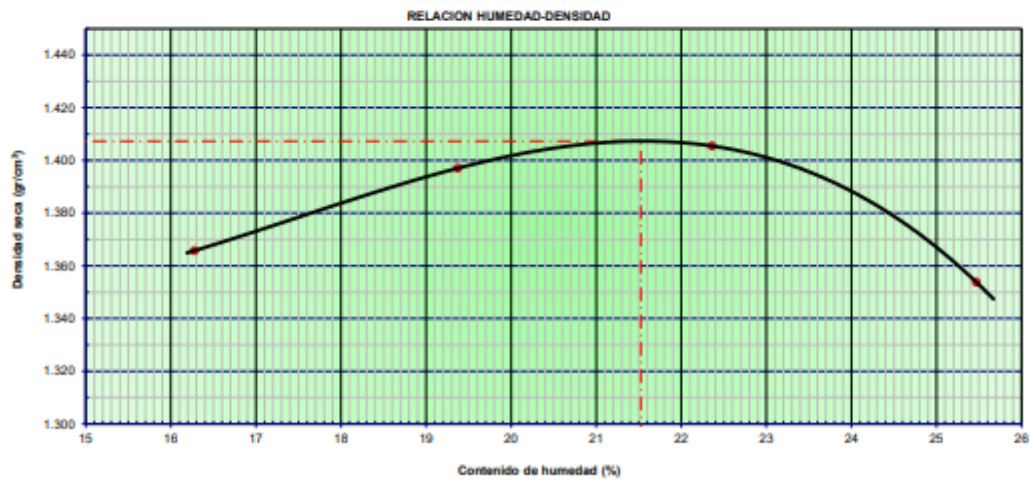
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI	
TRAMO	Km. 26+000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Díaz	
CALICATA	C-14		FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M - 01			

Ensayo Nº		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	5769	5844	5893	5873	
Peso molde + base	gr.	4273	4273	4273	4273	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	1496	1571	1620	1600	
Volumen del molde	cm ³	942	942	942	942	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	1.588	1.668	1.720	1.699	
Recipiente Nº		s/n	s/n	s/n	s/n	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	200.0	200.0	200.0	200.0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	172.0	167.5	163.5	159.4	
Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso de agua	gr.	28.0	32.5	36.6	40.6	
Peso del suelo seco	gr.	172.0	167.5	163.5	159.4	
Contenido de agua	%	16.28	19.37	22.36	25.47	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.366	1.397	1.405	1.354	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	1.407
					Humedad óptima (%)	21.52



Observaciones:

ANEXO N° 07: Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR).



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO LD
TRAMO	Km. 00 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-01	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACION

Condición de la muestra	12		11		10	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde Nº						
Capas Nº	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12975	12975	12510	12342	12320	12320
Peso de molde + base (g)	8281	8281	8040	8040	8095	8095
Peso del suelo húmedo (g)	4694	4694	4470	4302	4225	4225
Volumen del molde (cm ³)	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.216	2.216	2.108	2.029	1.996	1.996
Tara (Nº)	S/N		S/N		S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	273.40	273.4	272.96	Tc-273	273.05	273.1
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	26.60	26.6	27.04	Tc-27	26.95	27.0
Peso de suelo seco (g)	273.40	273.4	272.96	Tc-273	273.05	273.1
Contenido de humedad (%)	9.73	9.7	9.91	Tc-09.9	9.87	9.9
Densidad seca (g/cm ³)	2.020	2.0	1.918	1.8	1.816	1.8

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	78			42	42			23	28		
1.270		164	137			97	87			71	71		
1.905		242	207			149	139			100	100		
2.540	70.5	330	269	268.4	19.7	184	174	183.8	13.5	133	133	135.0	9.9
3.810		471	394			305	290			202	202		
5.080	105.7	569	499	507.3	24.8	412	392	389.7	19.1	273	293	286.6	14.0
6.350		704	645			498	478			314	356		
7.620		876	800			569	549			350	409		
10.160		1074	1055			745	738			415	505		
12.700		1285	1271			861	879			469	599		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

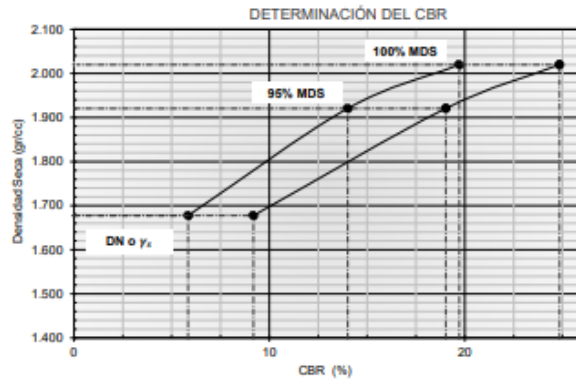
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 00 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-01
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza & Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

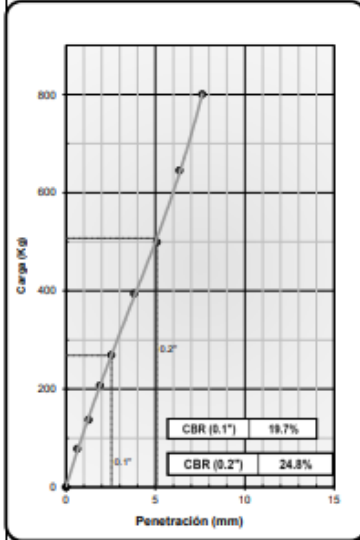
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	2.022
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	9.78
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.920
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.677

PORCENTAJE DEL CBR

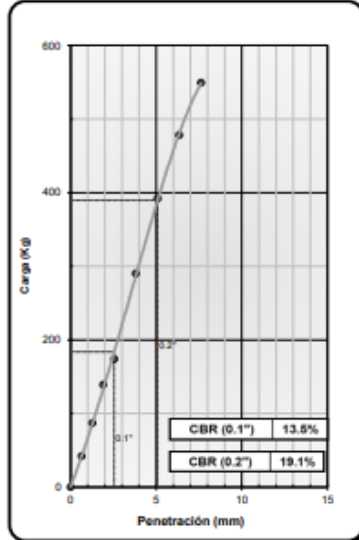
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	19.7	0.2":	24.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	14.0	0.2":	19.0
CBR A DN (%)	0.1":	5.8	0.2":	9.2

OBSERV.:

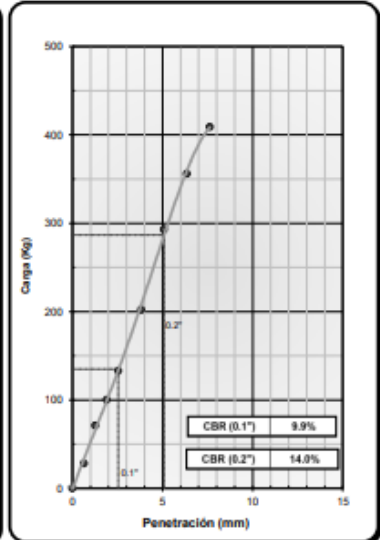
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI	
TRAMO	Km. 02 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz	
CALICATA	C-02		FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M-01			

COMPACTACIÓN

Molde N°	12		11		10	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12780	12780	12386	12342	12242	12242
Peso de molde + base (g)	8335	8335	8159	8159	8230	8230
Peso del suelo húmedo (g)	4445	4445	4227	4183	4012	4012
Volumen del molde (cm ³)	2107	2107	2108	2108	2110	2110
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.110	2.110	2.005	1.984	1.901	1.901
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	368.90	368.9	383.20	Tc-383	355.50	355.5
Peso suelo seco + tara (g)	320.70	320.7	332.90	Tc-333	308.90	308.9
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	48.20	48.2	50.30	Tc-50	46.60	46.6
Peso de suelo seco (g)	320.70	320.7	332.90	Tc-333	308.90	308.9
Contenido de humedad (%)	15.03	15.0	15.11	Tc-15.1	15.09	15.1
Densidad seca (g/cm ³)	1.834	1.8	1.742	1.7	1.652	1.7

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	58			42	40			23	3		
1.270		164	104			97	79			71	51		
1.905		242	182			149	119			100	80		
2.540	70.5	330	270	256.0	18.8	184	154	179.6	13.2	133	113	114.1	8.4
3.810		471	411			305	270			202	192		
5.080	105.7	569	509	524.4	25.7	412	372	383.1	18.8	273	233	236.9	11.6
6.350		704	664			498	458			314	274		
7.620		876	836			569	529			350	310		
10.160		1074	1074			745	705			415	375		
12.700		1285	1295			861	821			469	429		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

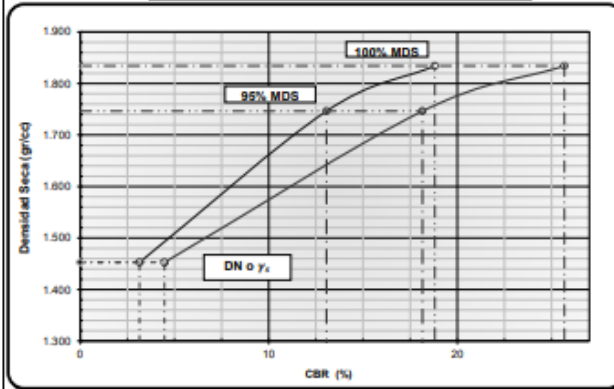
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 02 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-02
MUESTRA : M-01

LADO : L.I
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

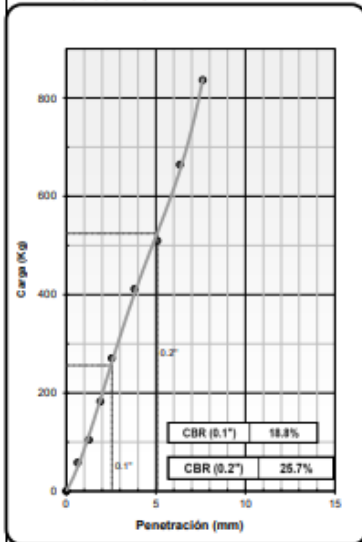
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.838
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	15.14
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.746
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.453

PORCENTAJE DEL CBR

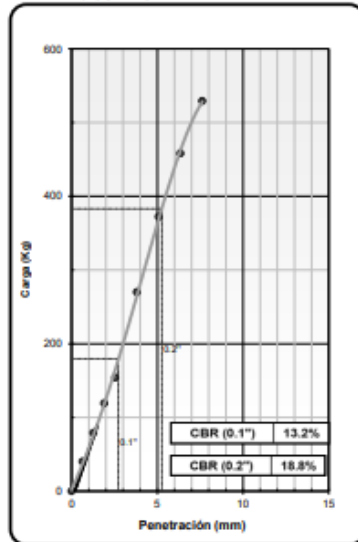
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	18.8	0.2":	25.7
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	13.1	0.2":	18.2
CBR A DN (%)	0.1":	3.1	0.2":	4.5

OBSERV.:

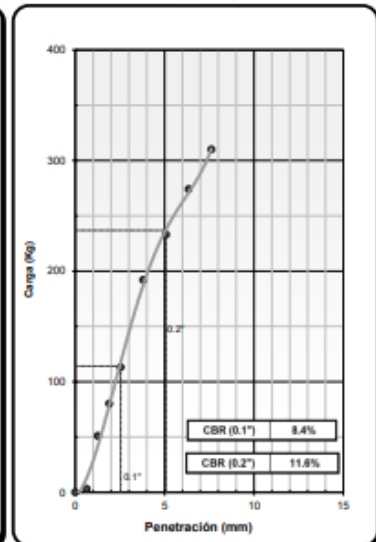
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO L/D
TRAMO	Km. 04 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-03	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACIÓN

Molde N°	12		11		10	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5	5	5	5	5	5
Golpes por capa N°	56	56	25	25	12	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12680	12680	12392	12342	12403	12403
Peso de molde + base (g)	8103	8103	8046	8046	8287	8287
Peso del suelo húmedo (g)	4577	4577	4346	4296	4116	4116
Volumen del molde (cm ³)	2117	2117	2120	2120	2118	2118
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.162	2.162	2.050	2.026	1.943	1.943
Tara (N°)	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	271.40	271.4	271.91	Tc-272	271.74	271.7
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	28.60	28.6	28.09	Tc-28	28.26	28.3
Peso de suelo seco (g)	271.40	271.4	271.91	Tc-272	271.74	271.7
Contenido de humedad (%)	10.54	10.5	10.33	Tc-10.3	10.40	10.4
Densidad seca (g/cm ³)	1.956	2.0	1.858	1.8	1.760	1.8

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		mm	kg/cm ²	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	46			42	40			23	30		
1.270		164	80			97	62			71	56		
1.905		242	148			149	108			100	90		
2.540	70.5	330	198	234.4	17.2	184	148	155.7	11.4	133	124	118.2	8.7
3.810		471	338			305	228			202	174		
5.080	105.7	569	455	494.3	24.2	412	312	330.5	16.2	273	238	240.4	11.8
6.350		704	586			498	418			314	314		
7.620		876	691			569	500			350	390		
10.160		1074	839			745	615			415	465		
12.700		1285	965			861	741			469	555		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

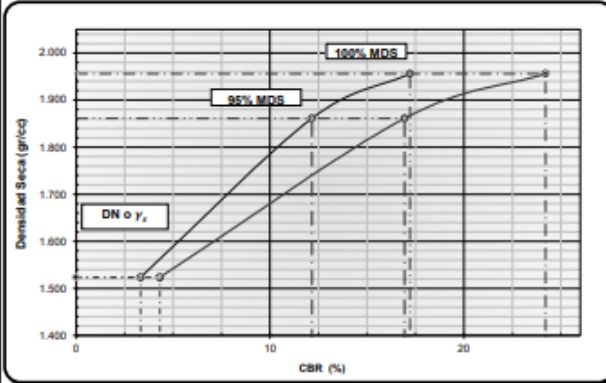
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 04 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-03
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Diaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

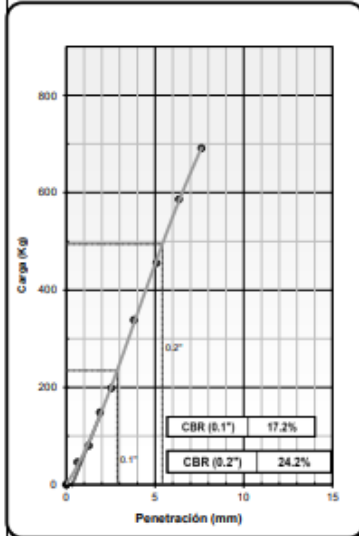
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.959
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	10.47
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.861
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.524

PORCENTAJE DEL CBR

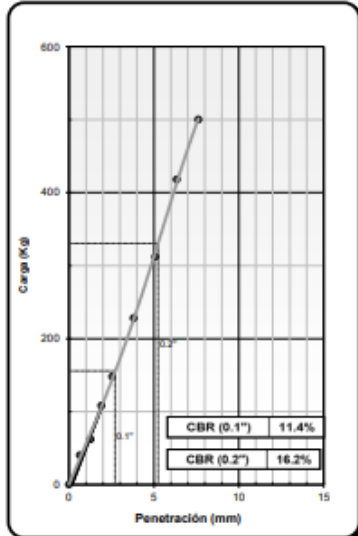
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	17.2	0.2":	24.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	12.2	0.2":	16.9
CBR A DN (%)	0.1":	3.3	0.2":	4.3

OBSERV.:

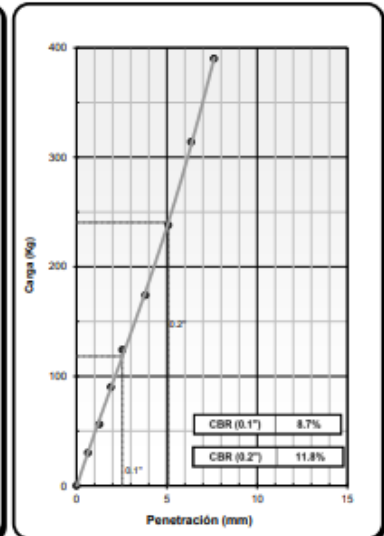
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI	
TRAMO	Km. 06 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz	
CALICATA	C-04		FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M-01			

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12346	12346	12055	12342	11981	11981
Peso de molde + base (g)	8012	8012	8035	8035	8030	8030
Peso del suelo húmedo (g)	4334	4334	4020	4307	3951	3951
Volumen del molde (cm ³)	2150	2150	2095	2095	2176	2176
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.016	2.016	1.919	2.056	1.816	1.816
Tara (N°)	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	268.55	268.6	267.98	Tc-268	268.34	268.3
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	31.45	31.5	32.02	Tc-32	31.66	31.7
Peso de suelo seco (g)	268.55	268.6	267.98	Tc-268	268.34	268.3
Contenido de humedad (%)	11.71	11.7	11.95	Tc-11.9	11.80	11.8
Densidad seca (g/cm ³)	1.804	1.8	1.714	1.8	1.624	1.6

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	85			42	42			23	23		
1.270		164	164			97	97			71	71		
1.905		242	242			149	149			100	100		
2.540	70.5	330	330	322.4	23.7	184	184	215.3	15.8	133	133	135.1	9.9
3.810		471	471			305	305			202	202		
5.080	105.7	569	569	577.5	28.3	412	412	426.2	20.9	273	273	267.6	13.1
6.350		704	704			498	498			314	314		
7.620		876	876			569	569			350	350		
10.160		1074	1074			745	745			415	415		
12.700		1285	1285			861	861			469	469		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO	L.D
TRAMO	Km. 08 +000	PROFUNDIDAD	0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR	Espinoza&Diaz
CALICATA	C-05	FECHA	19/03/2018
MUESTRA	M-01		

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12145	12145	11715	12342	11575	11575
Peso de molde + base (g)	8281	8281	8040	8040	8095	8095
Peso del suelo húmedo (g)	3864	3864	3675	4302	3480	3480
Volumen del molde (cm ³)	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.824	1.824	1.733	2.029	1.644	1.644
Tara (N°)	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	287.01	287.0	286.85	Tc-287	286.65	286.7
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	12.99	13.0	13.15	Tc-13	13.35	13.4
Peso de suelo seco (g)	287.01	287.0	286.85	Tc-287	286.65	286.7
Contenido de humedad (%)	4.53	4.5	4.58	Tc-04.6	4.66	4.7
Densidad seca (g/cm ³)	1.745	1.7	1.658	1.9	1.571	1.6

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION			
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	52			42	32			23	25		
1.270		164	146			97	79			71	51		
1.905		242	214			149	119			100	85		
2.540	70.5	330	285	276.1	20.3	184	166	187.6	13.8	133	128	147.8	10.9
3.810		471	396			305	260			202	217		
5.080	105.7	569	556	558.8	27.4	412	383	405.5	19.9	273	286	306.3	15.0
6.350		704	721			498	496			314	351		
7.620		876	851			569	602			350	425		
10.160		1074	1010			745	737			415	525		
12.700		1285	1198			861	874			469	587		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

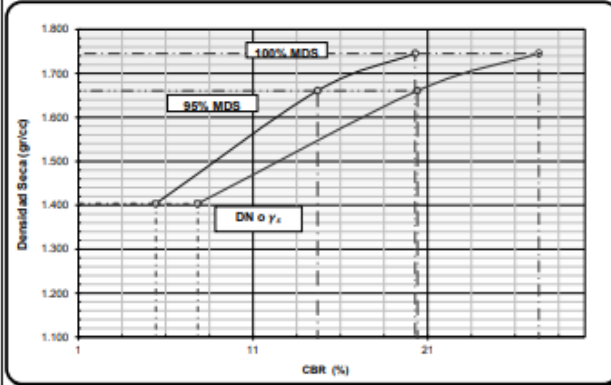
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 08 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-05
MUESTRA : M-01

LADO : LD
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

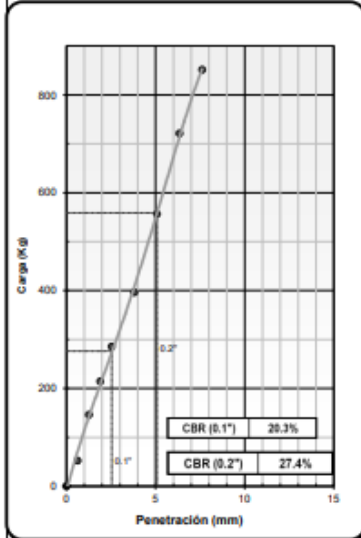
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.748
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	4.65
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.660
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.404

PORCENTAJE DEL CBR

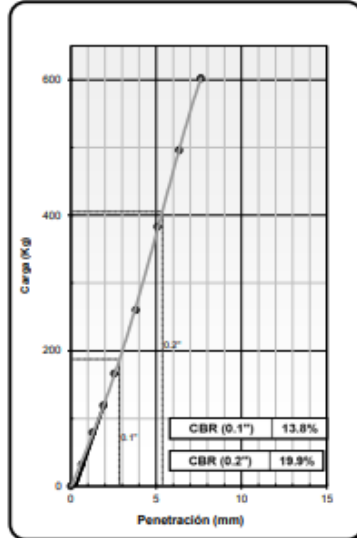
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	20.3	0.2":	27.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	14.7	0.2":	20.4
CBR A DN (%)	0.1":	5.4	0.2":	7.8

OBSERV.:

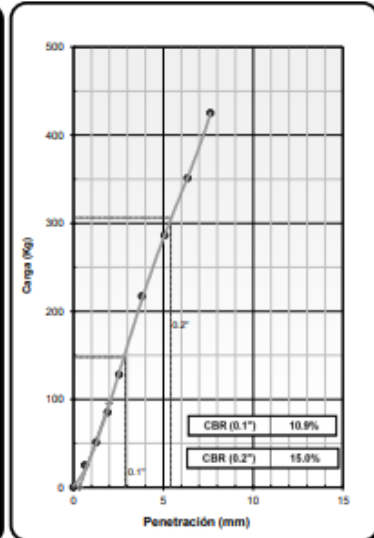
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI
TRAMO	Km. 10 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-06		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01		

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12366	12366	12105	12342	12131	12131
Peso de molde + base (g)	8103	8103	8046	8046	8287	8287
Peso del suelo húmedo (g)	4263	4263	4059	4296	3844	3844
Volumen del molde (cm ³)	2117	2117	2120	2120	2118	2118
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.014	2.014	1.915	2.026	1.815	1.815
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	275.00	275.0	274.80	Tc-275	274.60	274.6
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	25.00	25.0	25.20	Tc-25	25.40	25.4
Peso de suelo seco (g)	275.00	275.0	274.80	Tc-275	274.60	274.6
Contenido de humedad (%)	9.09	9.1	9.17	Tc-09.2	9.25	9.2
Densidad seca (g/cm ³)	1.846	1.8	1.754	1.9	1.661	1.7

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION			
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	63			42	41			23	24		
1.270		164	155			97	90			71	50		
1.905		242	225			149	128			100	74		
2.540	70.5	330	294	287.2	21.1	184	177	197.3	14.5	133	119	141.9	10.4
3.810		471	405			305	271			202	189		
5.080	105.7	569	567	567.9	27.8	412	393	412.3	20.2	273	271	297.6	14.6
6.350		704	730			498	505			314	341		
7.620		876	862			569	612			350	415		
10.160		1074	1019			745	748			415	515		
12.700		1285	1210			861	885			469	576		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

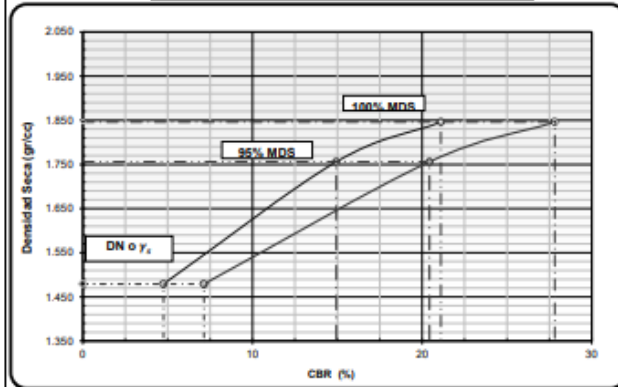
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 10 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-06
MUESTRA : M-01

LADO : L.I
PROFUNDIDAD : 0.90 - 1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Diaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

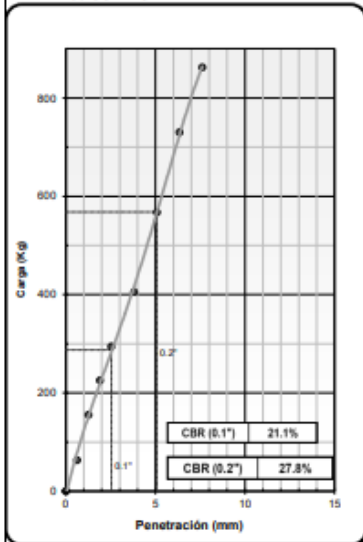
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.848
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	9.30
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.756
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.479

PORCENTAJE DEL CBR

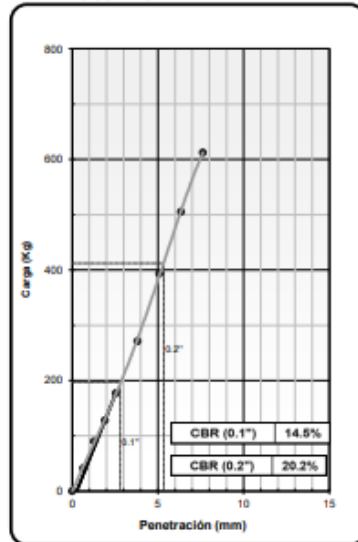
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	21.1	0.2":	27.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	14.9	0.2":	20.4
CBR A DN (%)	0.1":	4.7	0.2":	7.1

OBSERV.:

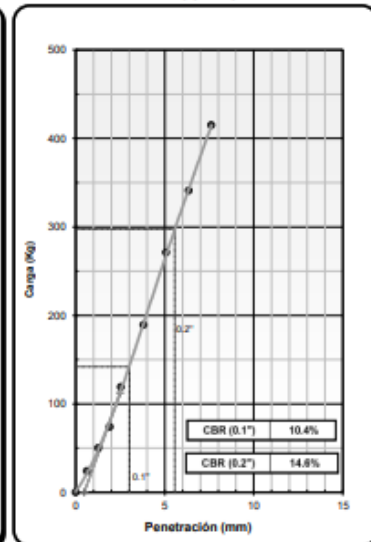
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO LD
TRAMO	Km. 12 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-07	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACION

Molde Nº	12		11		10	
Capas Nº	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11923	11923	11570	12342	11459	11459
Peso de molde + base (g)	8335	8335	8159	8159	8230	8230
Peso del suelo húmedo (g)	3588	3588	3411	4183	3229	3229
Volumen del molde (cm ³)	2107	2107	2108	2108	2110	2110
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.703	1.703	1.618	1.984	1.530	1.530
Tara (Nº)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	259.90	259.9	259.80	Tc-260	260.40	260.4
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	40.10	40.1	40.20	Tc-40	39.60	39.6
Peso de suelo seco (g)	259.90	259.9	259.80	Tc-260	260.40	260.4
Contenido de humedad (%)	15.43	15.4	15.47	Tc-15.5	15.21	15.2
Densidad seca (g/cm ³)	1.475	1.5	1.401	1.7	1.328	1.3

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	55			42	37			23	15		
1.270		164	116			97	65			71	30		
1.905		242	158			149	99			100	49		
2.540	70.5	330	221	214.1	15.7	184	141	135.2	9.9	133	68	91.4	6.7
3.810		471	305			305	201			202	113		
5.080	105.7	569	402	400.5	19.6	412	263	267.2	13.1	273	163	182.8	9.0
6.350		704	494			498	335			314	203		
7.620		876	595			569	391			350	232		
10.160		1074	715			745	489			415	291		
12.700		1285	821			861	579			469	327		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

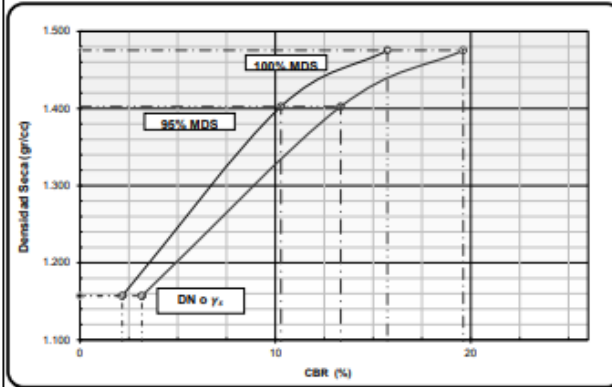
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 12 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-07
MUESTRA : M-01

LADO : L D
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

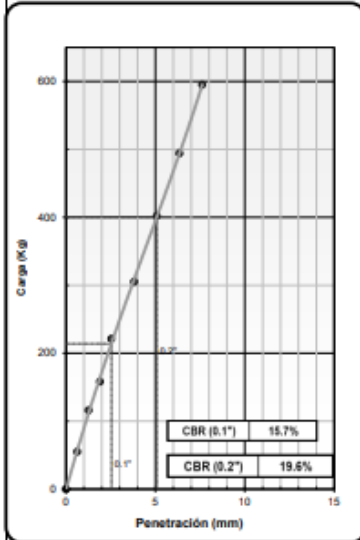
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.476
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	15.30
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.402
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.157

PORCENTAJE DEL CBR

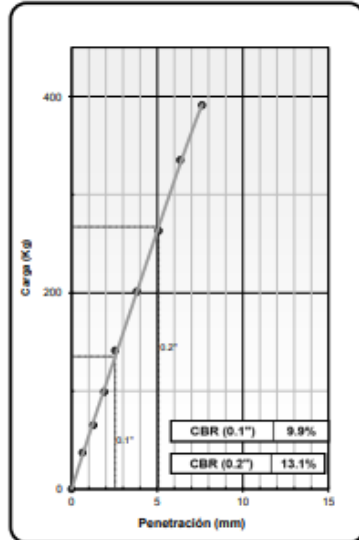
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	15.7	0.2":	19.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	10.3	0.2":	13.3
CBR A DN (%)	0.1":	2.2	0.2":	3.2

OBSERV.:

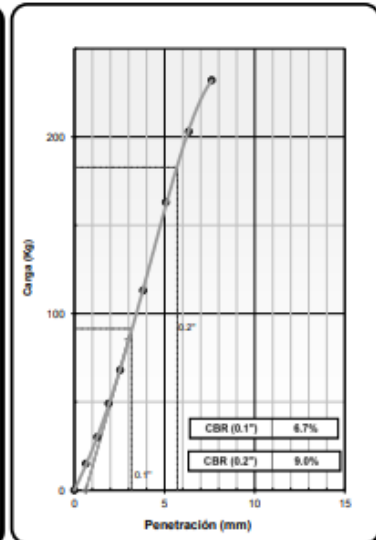
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO LI
TRAMO	Km. 14 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-08	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12114	12114	11837	12342	11766	11766
Peso de molde + base (g)	8012	8012	8035	8035	8030	8030
Peso del suelo húmedo (g)	4102	4102	3802	4307	3736	3736
Volumen del molde (cm ³)	2150	2150	2095	2095	2176	2176
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.908	1.908	1.815	2.056	1.717	1.717
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	283.00	283.0	282.70	Tc-283	282.96	283.0
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	17.00	17.0	17.30	Tc-17	17.04	17.0
Peso de suelo seco (g)	283.00	283.0	282.70	Tc-283	282.96	283.0
Contenido de humedad (%)	6.01	6.0	6.12	Tc-06.1	6.02	6.0
Densidad seca (g/cm ³)	1.800	1.8	1.710	1.9	1.619	1.6

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	88			42	43			23	28		
1.270		164	174			97	101			71	60		
1.905		242	234			149	142			100	94		
2.540	70.5	330	288	291.5	21.4	184	185	183.6	13.5	133	125	117.2	8.6
3.810		471	385			305	265			202	155		
5.080	105.7	569	488	485.8	23.8	412	310	325.9	16.0	273	225	220.5	10.8
6.350		704	578			498	402			314	275		
7.620		876	654			569	451			350	321		
10.160		1074	761			745	519			415	381		
12.700		1285	845			861	535			469	415		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

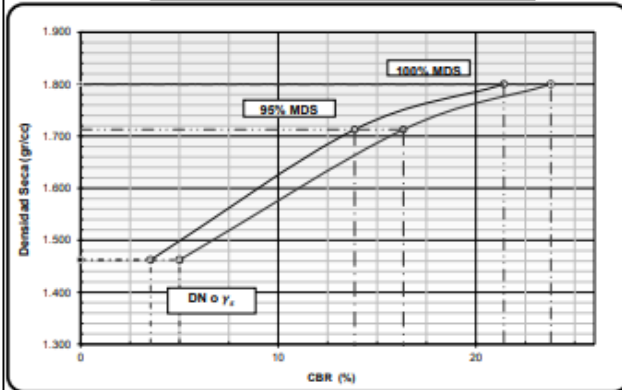
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
 TRAMO : Km. 14 +000
 UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
 CALICATA : C-08
 MUESTRA : M-01
 LADO : LI
 PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
 HECHO POR : Espinoza&Díaz
 FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

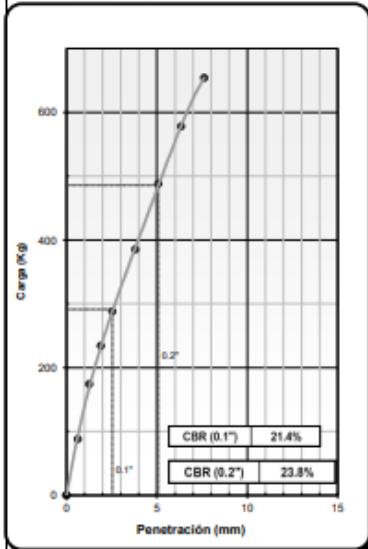
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.803
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	6.05
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.713
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.462

PORCENTAJE DEL CBR

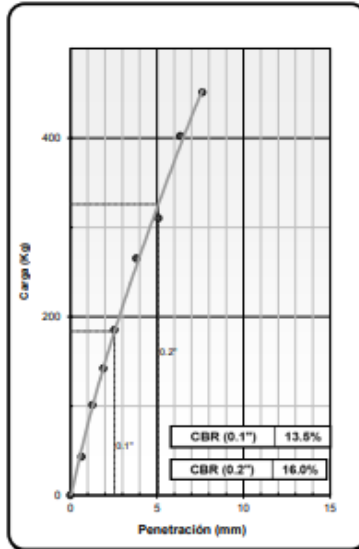
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	21.4	0.2":	23.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	13.9	0.2":	16.3
CBR A DN (%)	0.1":	3.5	0.2":	5.0

OBSERV.:

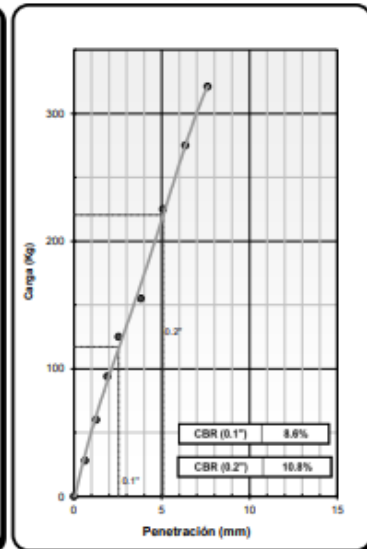
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LD	
TRAMO	Km. 16 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m	
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz	
CALICATA	C-09		FECHA : 19/03/2018	
MUESTRA	M-01			

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12853	12853	12396	12342	12216	12216
Peso de molde + base (g)	8281	8281	8040	8040	8095	8095
Peso del suelo húmedo (g)	4572	4572	4356	4302	4121	4121
Volumen del molde (cm ³)	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.159	2.159	2.055	2.029	1.947	1.947
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	276.77	276.8	276.25	Tc-276	276.30	276.3
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	23.23	23.2	23.75	Tc-24	23.70	23.7
Peso de suelo seco (g)	276.77	276.8	276.25	Tc-276	276.30	276.3
Contenido de humedad (%)	8.39	8.4	8.60	Tc-08.6	8.58	8.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.991	2.0	1.892	1.9	1.793	1.8

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	75			42	51			23	25		
1.270		164	130			97	88			71	49		
1.905		242	183			149	120			100	72		
2.540	70.5	330	251	243.8	17.9	184	165	165.1	12.1	133	93	109.9	8.1
3.810		471	348			305	246			202	152		
5.080	105.7	569	458	460.3	22.5	412	319	323.9	15.9	273	216	221.3	10.8
6.350		704	591			498	409			314	257		
7.620		876	745			569	480			350	301		
10.160		1074	1000			745	649			415	372		
12.700		1285	1207			861	769			469	452		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

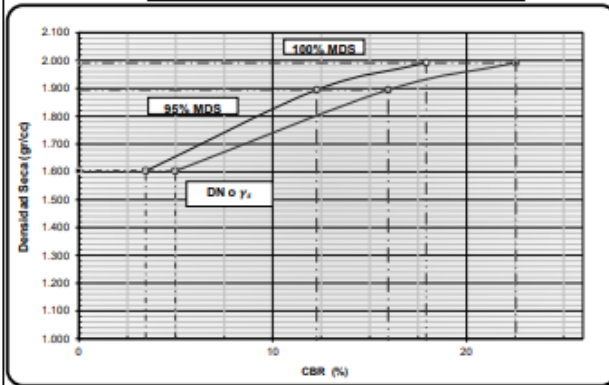
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 16 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-09
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

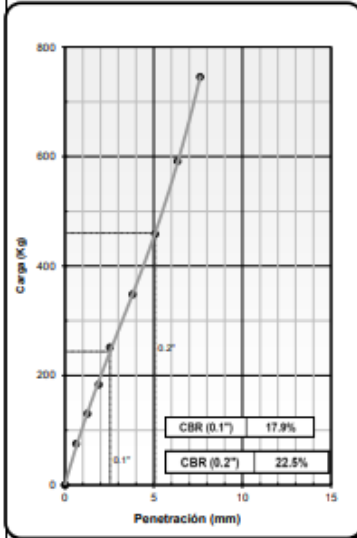
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.994
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	8.50
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.895
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.603

PORCENTAJE DEL CBR

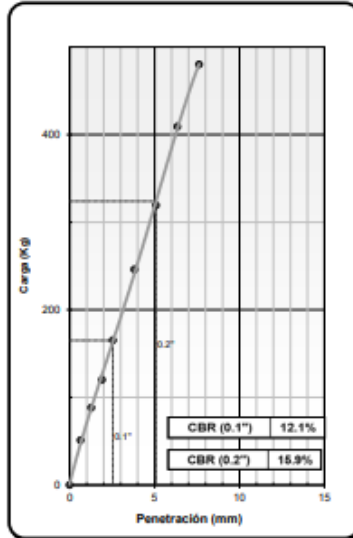
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	17.9	0.2":	22.5
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	12.3	0.2":	16.0
CBR A DN (%)	0.1":	3.4	0.2":	5.0

OBSERV.:

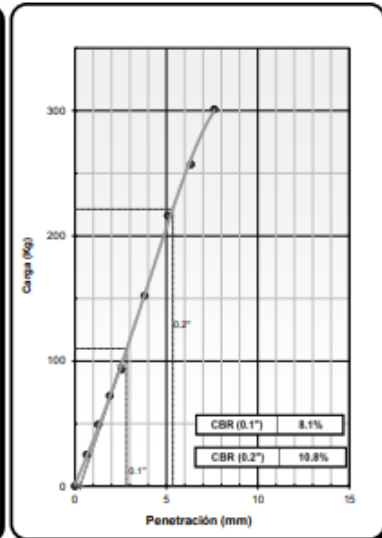
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI
TRAMO	Km. 18 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-10		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01		

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12000	12000	11750	12342	11793	11793
Peso de molde + base (g)	8103	8103	8046	8046	8287	8287
Peso del suelo húmedo (g)	3897	3897	3704	4296	3506	3506
Volumen del molde (cm ³)	2117	2117	2120	2120	2118	2118
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.841	1.841	1.747	2.026	1.655	1.655
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	225.10	225.1	225.25	Tc-225	225.38	225.4
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	74.90	74.9	74.75	Tc-75	74.62	74.6
Peso de suelo seco (g)	225.10	225.1	225.25	Tc-225	225.38	225.4
Contenido de humedad (%)	33.27	33.3	33.19	Tc-33.2	33.11	33.1
Densidad seca (g/cm ³)	1.381	1.4	1.312	1.5	1.244	1.2

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		STAND.	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	77			42	41			23	39		
1.270		164	109			97	73			71	67		
1.905		242	178			149	117			100	102		
2.540	70.5	330	229	230.0	16.9	184	159	160.5	11.8	133	135	130.3	9.6
3.810		471	337			305	237			202	183		
5.080	105.7	569	476	471.2	23.1	412	321	333.8	16.3	273	247	249.5	12.2
6.350		704	597			498	430			314	325		
7.620		876	702			569	512			350	401		
10.160		1074	881			745	631			415	478		
12.700		1285	1045			861	753			469	568		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

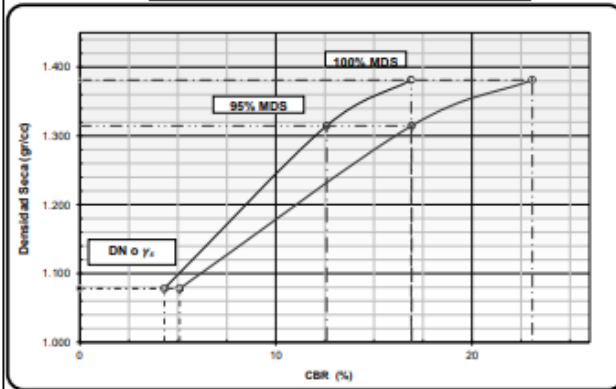
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 18 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-10
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD 0.90-1.50m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

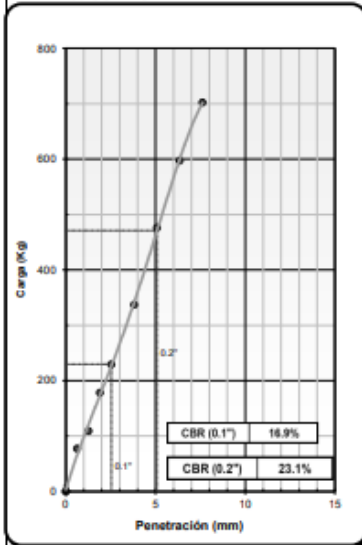
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.384
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	32.21
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.315
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.078

PORCENTAJE DEL CBR

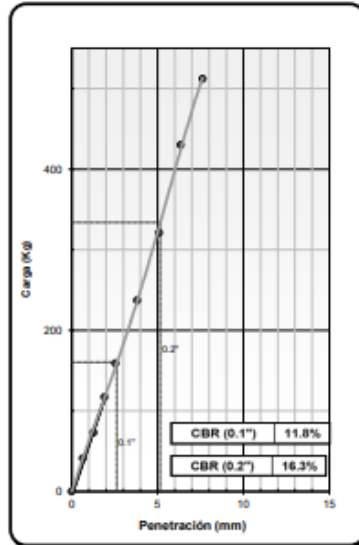
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	16.9	0.2":	23.1
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	12.6	0.2":	16.9
CBR A DN (%)	0.1":	4.3	0.2":	5.1

OBSERV.:

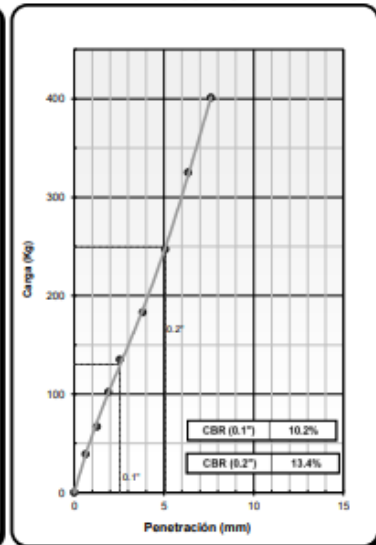
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO LD
TRAMO	Km. 20 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-11	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11835	11835	11483	12342	11378	11378
Peso de molde + base (g)	8335	8335	8159	8159	8230	8230
Peso del suelo húmedo (g)	3500	3500	3324	4183	3148	3148
Volumen del molde (cm ³)	2107	2107	2108	2108	2110	2110
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.661	1.661	1.577	1.984	1.492	1.492
Tara (N°)	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	243.50	243.5	243.65	Tc-244	243.80	243.8
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	56.50	56.5	56.35	Tc-56	56.20	56.2
Peso de suelo seco (g)	243.50	243.5	243.65	Tc-244	243.80	243.8
Contenido de humedad (%)	23.20	23.2	23.13	Tc-23.1	23.05	23.1
Densidad seca (g/cm ³)	1.348	1.3	1.281	1.6	1.212	1.2

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	41			42	27			23	15		
1.270		164	81			97	55			71	30		
1.905		242	123			149	89			100	48		
2.540	70.5	330	209	192.1	14.1	184	131	135.2	9.9	133	68	85.3	6.3
3.810		471	311			305	193			202	113		
5.080	105.7	569	392	399.8	19.6	412	263	276.2	13.5	273	168	179.1	8.8
6.350		704	494			498	335			314	203		
7.620		876	605			569	391			350	232		
10.160		1074	741			745	489			415	291		
12.700		1285	881			861	579			469	327		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

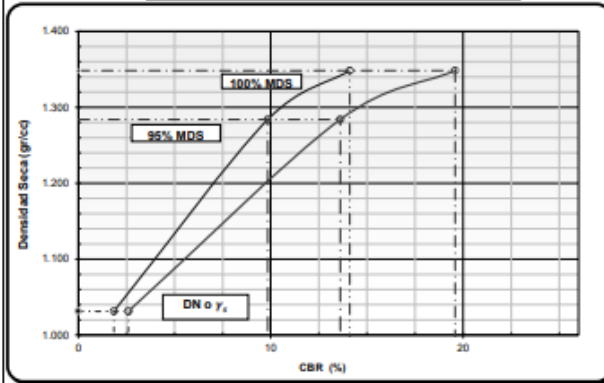
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 20 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-11
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO

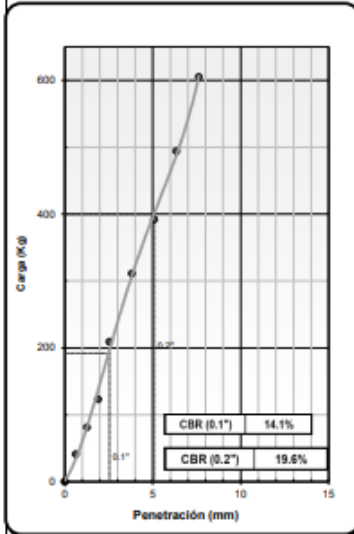
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.351
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	23.20
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.284
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.031

PORCENTAJE DEL CBR

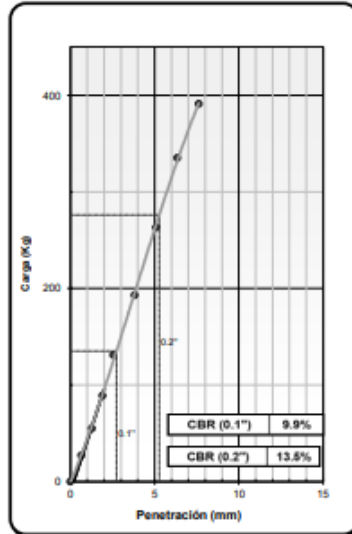
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	14.1	0.2":	19.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	9.8	0.2":	13.6
C.B.R. A DN (%)	0.1":	1.8	0.2":	2.6

OBSERV.:

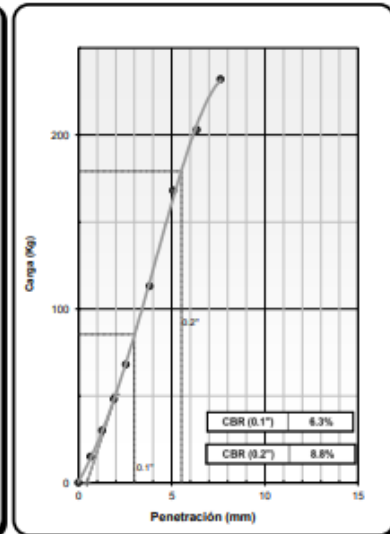
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura	LADO LI
TRAMO	Km. 22 +000	PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura	HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-12	FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01	

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12363	12363	12067	12342	12002	12002
Peso de molde + base (g)	8012	8012	8035	8035	8030	8030
Peso del suelo húmedo (g)	4351	4351	4032	4307	3972	3972
Volumen del molde (cm ³)	2150	2150	2095	2095	2176	2176
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.024	2.024	1.925	2.056	1.825	1.825
Tara (N°)	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	252.70	252.7	252.50	Tc-253	252.25	252.3
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	47.30	47.3	47.50	Tc-48	47.75	47.8
Peso de suelo seco (g)	252.70	252.7	252.50	Tc-253	252.25	252.3
Contenido de humedad (%)	18.72	18.7	18.81	Tc-18.8	18.93	18.9
Densidad seca (g/cm ³)	1.705	1.7	1.620	1.7	1.535	1.5

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION			
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	45			42	25			23	18		
1.270		164	80			97	47			71	30		
1.905		242	115			149	67			100	42		
2.540	70.5	330	149	147.9	10.9	184	99	92.9	6.8	133	66	61.1	4.5
3.810		471	201			305	133			202	91		
5.080	105.7	569	258	252.4	12.4	412	169	171.3	8.4	273	116	119.9	5.9
6.350		704	291			498	207			314	151		
7.620		876	335			569	235			350	172		
10.160		1074	401			745	287			415	208		
12.700		1285	442			861	323			469	236		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

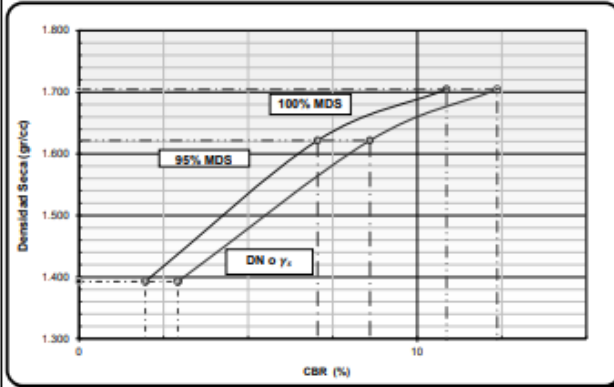
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 22 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-12
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

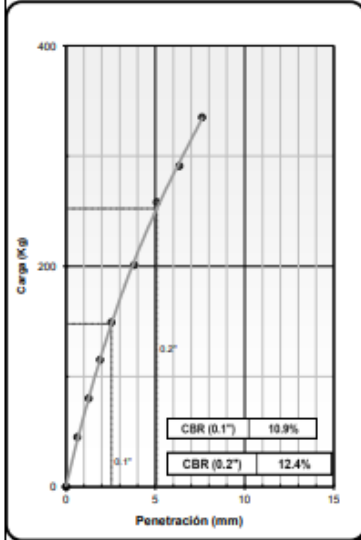
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.707
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	18.83
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.622
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.393

PORCENTAJE DEL CBR

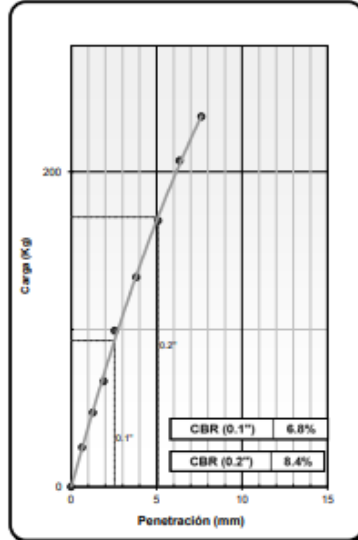
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	10.9	0.2":	12.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	7.1	0.2":	8.6
CBR A DN (%)	0.1":	2.0	0.2":	2.9

OBSERV.:

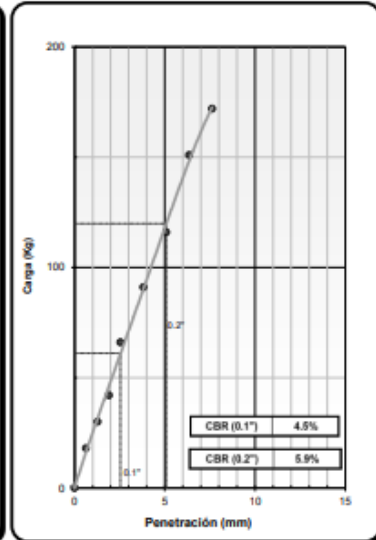
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LD
TRAMO	Km. 24 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-13		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01		

COMPACTACION

Molde N°	12		11		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12166	12166	11736	12342	11593	11593
Peso de molde + base (g)	8281	8281	8040	8040	8095	8095
Peso del suelo húmedo (g)	3885	3885	3696	4302	3498	3498
Volumen del molde (cm ³)	2118	2118	2120	2120	2117	2117
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.834	1.834	1.743	2.029	1.652	1.652
Tara (N°)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	241.30	241.3	241.11	Tc-241	240.95	241.0
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	58.70	58.7	58.89	Tc-59	59.05	59.1
Peso de suelo seco (g)	241.30	241.3	241.11	Tc-241	240.95	241.0
Contenido de humedad (%)	24.33	24.3	24.42	Tc-24.4	24.51	24.5
Densidad seca (g/cm ³)	1.475	1.5	1.401	1.6	1.327	1.3

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		STAND.	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	48			42	30			23	17		
1.270		164	94			97	69			71	36		
1.905		242	172			149	109			100	65		
2.540	70.5	330	250	239.5	17.6	184	144	186.3	13.7	133	98	119.3	8.8
3.810		471	391			305	260			202	162		
5.080	105.7	569	499	511.3	25.0	412	362	391.2	19.2	273	225	243.0	11.9
6.350		704	654			498	448			314	269		
7.620		876	826			569	519			350	305		
10.160		1074	1064			745	695			415	374		
12.700		1285	1285			861	811			469	424		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

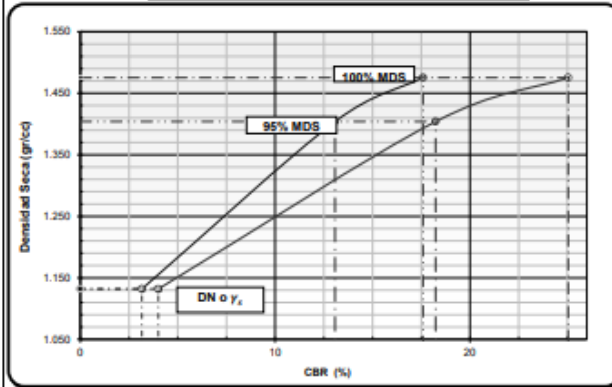
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 24 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-13
MUESTRA : M-01

LADO : L.D
PROFUNDIDAD 0.90-1.50 m
HECHO POR : Espinoza y Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

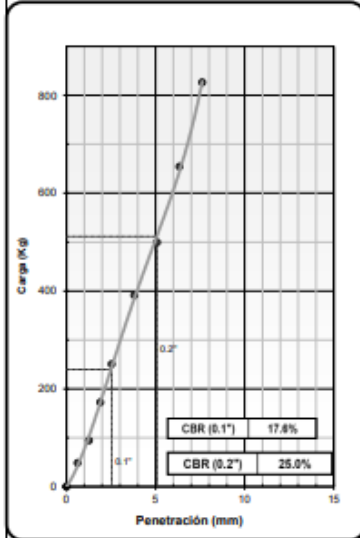
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.478
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	24.46
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.404
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.132

PORCENTAJE DEL CBR

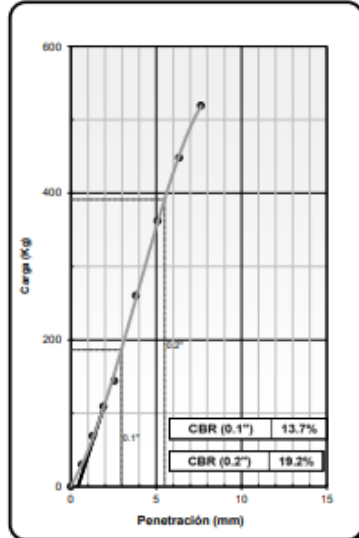
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	17.6	0.2":	25.0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	13.1	0.2":	18.2
CBR A DN (%)	0.1":	3.2	0.2":	4.0

OBSERV.:

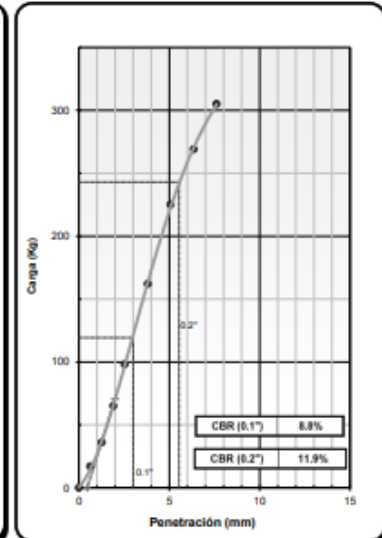
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO	Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura		LADO LI
TRAMO	Km. 26 +000		PROFUNDIDAD 0.90 - 1.50 m
UBICACIÓN	Provincia de Piura-Región Piura		HECHO POR Espinoza&Diaz
CALICATA	C-14		FECHA : 19/03/2018
MUESTRA	M-01		

COMPACTACION

Molde Nº	12		11		10	
Capas Nº	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11715	11715	11481	12342	11540	11540
Peso de molde + base (g)	8103	8103	8046	8046	8287	8287
Peso del suelo húmedo (g)	3612	3612	3435	4296	3253	3253
Volumen del molde (cm ³)	2117	2117	2120	2120	2118	2118
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.706	1.706	1.620	2.026	1.536	1.536
Tara (Nº)	S/N		S/N		S/N	
Peso suelo húmedo + tara (g)	300.00	300.0	300.00	Tc-300	300.00	300.0
Peso suelo seco + tara (g)	247.05	247.1	246.80	Tc-247	246.91	246.9
Peso de tara (g)	0.00	0.0	0.00	Tc-00	0.00	0.0
Peso de agua (g)	52.95	53.0	53.20	Tc-53	53.09	53.1
Peso de suelo seco (g)	247.05	247.1	246.80	Tc-247	246.91	246.9
Contenido de humedad (%)	21.43	21.4	21.56	Tc-21.6	21.50	21.5
Densidad seca (g/cm ³)	1.405	1.4	1.333	1.7	1.264	1.3

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
12-May-17	11:00	0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13-May-17	11:00	24	7.00	0.2	0.2	11.00	0.3	0.3	17.00	0.4	0.3
14-May-17	11:00	48	15.00	0.4	0.3	24.00	0.6	0.5	31.00	0.8	0.7
15-May-17	11:00	72	26.00	0.7	0.6	36.00	0.9	0.8	43.00	1.1	0.9
16-May-17	11:00	96	31.00	0.8	0.7	43.00	1.1	0.9	52.00	1.3	1.1

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		85	51			42	31			23	19		
1.270		164	101			97	56			71	35		
1.905		242	143			149	92			100	51		
2.540	70.5	330	210	205.0	15.1	184	134	126.8	9.3	133	72	84.0	6.2
3.810		471	316			305	193			202	118		
5.080	105.7	569	403	405.5	19.9	412	263	265.8	13.0	273	168	176.3	8.6
6.350		704	499			498	336			314	208		
7.620		876	609			569	391			350	242		
10.160		1074	746			745	487			415	304		
12.700		1285	867			861	581			469	352		

Observaciones:



Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS
SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

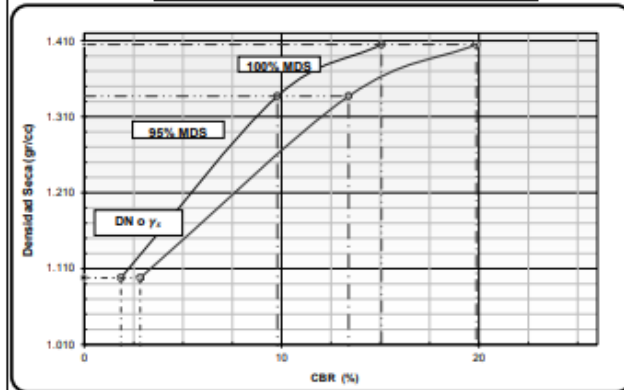
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : Estudio de Terreno de Fundación de Carretera del Bajo Piura
TRAMO : Km. 26 +000
UBICACIÓN : Provincia de Piura-Región Piura
CALICATA : C-14
MUESTRA : M-01

LADO : LI
PROFUNDIDAD 0.9-1.50m
HECHO POR : Espinoza&Díaz
FECHA : 19/03/2018

DETERMINACIÓN DEL CBR



DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO

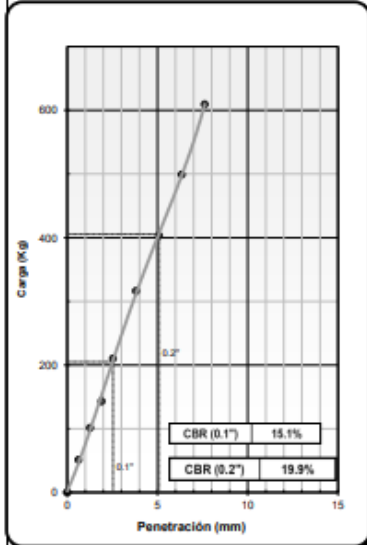
PROCTOR MODIFICADO ASTM D	:	1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	:	1.407
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	21.52
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³)	:	1.337
AL DENSIDAD NATURAL SECA (g/cm ³)	:	1.098

PORCENTAJE DEL CBR

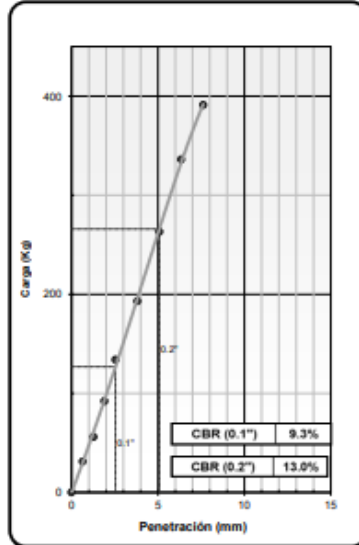
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	15.1	0.2":	19.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	9.8	0.2":	13.4
CBR A DN (%)	0.1":	1.9	0.2":	2.8

OBSERV.:

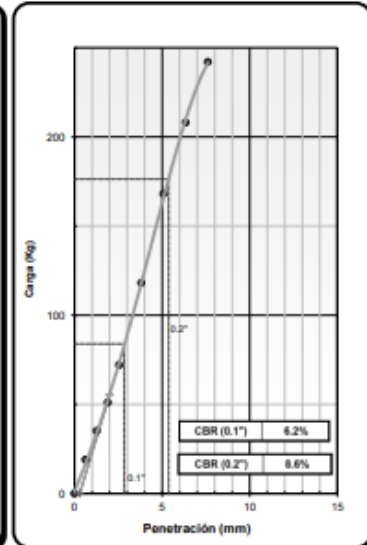
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES




EC = 12 GOLPES



Observaciones:

ANEXO N° 08: Resultado de diseño de pavimento rígido al 95% de la MDS.

 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993	
DATOS DEL PROYECTO	
CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido	
TRAMO: Km. 00 + 000 - Km. 05 + 500	HECHO POR: Espinoza y Diaz
UBICACIÓN: Bajo Piura	FECHA: 13/06/2018
RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO	
Tráfico de diseño (W18)	<input type="text" value="1.91E+07"/>
Espesor de losa D (in)	<input type="text" value="9.91"/>
Espesor de subbase D (in)	<input type="text" value="6"/>
ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:	
$\text{Log}_{10}W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35\text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P) \times \text{Log}_{10}\left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right)$	
VARIABLES DE DISEÑO:	
Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="760.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 05 + 500 - Km. 10 + 500 HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\text{Log}_{10}W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35\text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \text{Log}_{10}\left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="810.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 10 + 500 - Km. 19 + 500

HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura

FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="740.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 19 + 500 - Km. 26 + 000

HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura

FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)


ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="650.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>

ANEXO N° 09: Resultado de diseño de pavimento rígido a la Densidad Natural.

 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993	
DATOS DEL PROYECTO	
CONCEPTO:	Diseño de pavimento rígido
TRAMO:	Km. 00 + 000 - Km. 01 + 500 HECHO POR: Espinoza y Diaz
UBICACIÓN:	Bajo Piura FECHA: 13/06/2018
RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO Diseñar	
Tráfico de diseño (W18)	1.91E+07
Espesor de losa D (in)	10.26
Espesor de subbase D (in)	6
ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:	
$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$	
VARIABLES DE DISEÑO:	
Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	490.00
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	4.02E+06
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	640.05
Coefficiente de transmisión de carga - J	2.80
Coefficiente de drenaje - Cd	1.00
Confianza - R	90.00
Desviación estándar normal - ZR	-1.282
desviación estándar - So	0.35
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	4.50
Serviciabilidad final - PSI final	3.00
Tráfico de diseño - W18	1.91E+07



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido
TRAMO: 1500 - 5500 HECHO POR: Espinoza y Diaz
UBICACIÓN: Bajo Piura FECHA: 43264

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)
Espesor de losa D (in)
Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)
Coeficiente de transmisión de carga - J
Coeficiente de drenaje - Cd
Confiabilidad - R
Desviación estándar normal - ZR
desviación estándar - So
Serviciabilidad inicial - PSI inicial
Serviciabilidad final - PSI final
Tráfico de diseño - W18



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 05 + 500 - Km. 10 + 500

HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura

FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="420.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 10 + 500 - Km. 19 + 500 HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="390.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confiabilidad - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estandar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>



DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - METODOLOGÍA AASHTO, 1993

DATOS DEL PROYECTO

CONCEPTO: Diseño de pavimento rígido

TRAMO: Km. 19 + 500 - Km. 26 + 000

HECHO POR: Espinoza y Diaz

UBICACIÓN: Bajo Piura

FECHA: 13/06/2018

RESULTADOS DEL DISEÑO PARA UN NIVEL DE TRÁFICO

Diseñar

Tráfico de diseño (W18)

Espesor de losa D (in)

Espesor de subbase D (in)


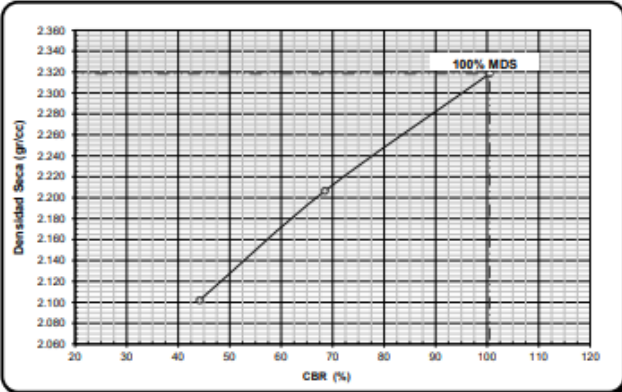
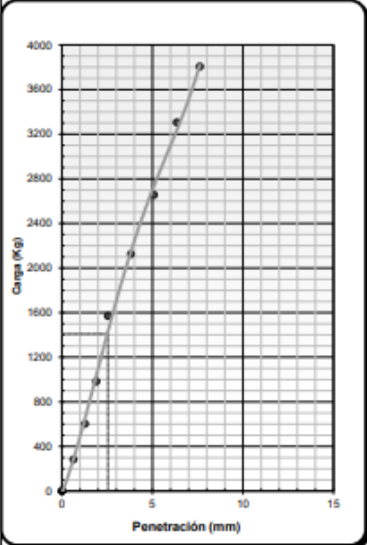
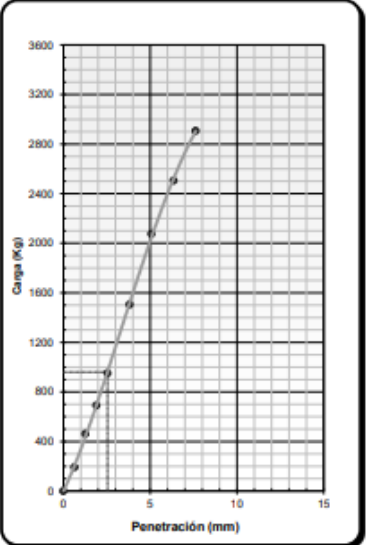
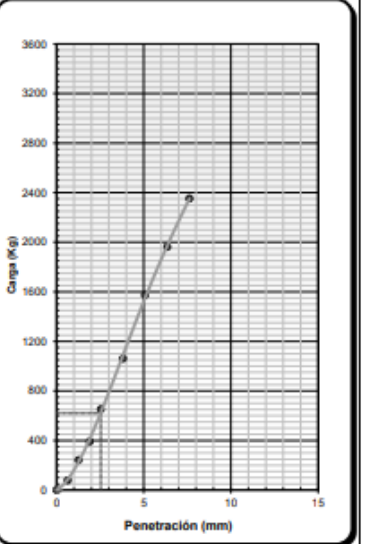
ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE DISEÑO:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

VARIABLES DE DISEÑO:

Módulo de reacción de la subrasante -k (psi/in)	<input type="text" value="280.00"/>
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text" value="4.02E+06"/>
Módulo de rotura del concreto - S'c (psi)	<input type="text" value="640.05"/>
Coefficiente de transmisión de carga - J	<input type="text" value="2.80"/>
Coefficiente de drenaje - Cd	<input type="text" value="1.00"/>
Confianza - R	<input type="text" value="90.00"/>
Desviación estándar normal - ZR	<input type="text" value="-1.282"/>
desviación estándar - So	<input type="text" value="0.35"/>
Serviciabilidad inicial - PSI inicial	<input type="text" value="4.50"/>
Serviciabilidad final - PSI final	<input type="text" value="3.00"/>
Tráfico de diseño - W18	<input type="text" value="1.91E+07"/>

ANEXO N° 10: CBR para Subbase.

 Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA SUBRASANTES LIMO-ARENOSAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN EN EL PROYECTO VÍA EVITAMIENTO DEL BAJO PIURA"		
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO : CALIDAD DE MATERIAL BASE GRANULAR PISTA CANTERA : PAMPA BONITA TRAMO : KM 02+500 AL KM 03+000 L. IZQ. MUESTRA : M-1 (KM 02+750 L.I)	FECHA: 43178 HECHO POR: spinoza&Diaz		
DETERMINACIÓN DEL CBR	DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO		
	PROCTOR MODIFICADO : 1557 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.32 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 6.4		
	PORCENTAJE DEL CBR		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)</td> <td style="width: 40%;">0.1": 100.47</td> </tr> </table>	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 100.47
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 100.47		
	OBSERVACIÓN: _____ _____ _____		
EC = 56 GOLPES	EC = 25 GOLPES	EC = 12 GOLPES	
			
Observaciones: <u>Ensayo realizado en presencia del personal de supervisión.</u>			

ANEXO N° 11: Topografía de la Vía de Evitamiento del Bajo Piura.

