

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE MÉTODO DE DISEÑO DE AFIRMADO**  
**PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS EN LA REGIÓN**  
**LIMA-PROVINCIAS**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ANDAGUA MENDOZA MARÍA MERCEDES**

**Bach. RAMOS PARIÑO GEAN MARCO**

**Asesor: Mg. Ing. ARÉVALO LAY VÍCTOR**

**LIMA-PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIAS**

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Juana Mendoza y Antonio Andagua, por sus consejos, apoyo y amor incondicional en el camino de la superación. A mi hermano por ser ejemplo de lucha.

**María Mercedes Andagua Mendoza.**

A Dios por darme la vida cada día y guiarme por el buen camino, a mis padres Raquel Pariño y Cesar Ramos porque sin ellos no sería lo que soy ahora, a mis mamitas, a mis hermanos, familia y seres queridos por brindarme todo su apoyo. Éste logro se lo dedico a ellos.

**Gean Marco Ramos Pariño.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a todas las personas que nos apoyaron para lograr este objetivo. A nuestro asesor de tesis, Mg. Ing. Víctor Arévalo Lay, por el tiempo, experiencia laboral y apoyo brindado durante toda la etapa de nuestra investigación. Compañeros, colegas y especialmente a la familia que siempre estuvo alentándonos en todo momento.





5.2.2. Variable Suelo.....	133
5.2.3. Material de superficie de agregados .....	135
5.3. Método Peltier .....	137
5.3.1. Variable Tráfico .....	137
5.3.2. Variable Suelo.....	138
5.4. Método AASHTO.....	139
5.4.1. Variable Tráfico .....	139
5.4.2. Variable Clima .....	140
5.4.3. Variable Suelo.....	142
5.4.4. Material de superficie de agregados .....	143
5.5. Método TRRL.....	145
5.5.1. Variable Tráfico .....	145
5.5.2. Variable Suelo.....	146
5.6. Método AUSTRROADS .....	147
5.6.1. Variable Tráfico .....	147
5.6.2. Variable Suelo.....	148
5.6.3. Material Granular.....	149
5.7. Método NAASRA (MTC) .....	150
5.7.1. Variable Tráfico .....	151
5.7.2. Variable Suelo.....	152
5.7.3. Material de Afirmado.....	152
<b>CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE LOS MODELOS EN LA REGIÓN LIMA</b>	
<b>    PROVINCIAS CON EL MÉTODO NAASRA (AUSTRALIA).....</b>	
6.1. Muestra de datos .....	157
6.2. Estudio de Suelo .....	161
6.4. Estudio de Tráfico.....	181
6.5. Aplicación de Modelos .....	184
6.5.1. Método CBR .....	184
6.5.2. Método USACE .....	184
6.5.3. Método Peltier.....	186
6.5.4. Método AASHTO .....	186
6.5.5. Método TRRL.....	190
6.5.6. Método AUSTRROADS .....	190

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	193
7.1 Análisis de las normas y/o reglamentos.....	193
7.2 Análisis de variables .....	193
7.2.1. Variable Tráfico.....	194
7.2.2. Variable Suelo .....	194
7.2.3. Variable Clima.....	196
7.2.4. Material de afirmado .....	196
7.3. Análisis del diseño de espesor por provincias .....	200
7.3.1 Provincia de Barranca .....	204
7.3.2 Provincia de Huaura.....	205
7.3.3 Provincia de Cajatambo .....	206
7.3.4 Provincia de Oyón.....	207
7.3.5 Provincia de Huaral.....	210
7.3.6 Provincia de Canta .....	212
7.3.7 Provincia de Huarochirí .....	216
7.3.8 Provincia de Cañete .....	218
7.3.9 Provincia de Yauyos .....	223
7.4 Análisis del diseño de espesor por métodos de diseño .....	224
CAPÍTULO VIII: CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	228
8.1 Contrastación de hipótesis .....	228
8.1.1 Hipótesis general.....	228
8.1.2 Hipótesis específica 1 .....	229
8.1.3 Hipótesis específica 2 .....	232
8.1.4 Hipótesis específica 3 .....	234
CONCLUSIONES .....	244
RECOMENDACIONES.....	246
BIBLIOGRAFÍA .....	247
ANEXOS .....	250

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	: Región Lima: Superficie, región natural y número de distritos por provincia.....	6
Tabla N°2	: Matriz de consistencia.....	16
Tabla N°3	: Clasificación territorial según el índice de diseño .....	23
Tabla N°4	: Longitud de la Red Vial .....	31
Tabla N°5	: Resumen de espesores de afirmado.....	48
Tabla N°6	: Gradación del material de afirmado según AASHTO M 147.....	51
Tabla N°7	: Gradación del material de afirmado según FHWA.....	52
Tabla N°8	: Banda Granulométrica de afirmados.....	55
Tabla N°9	: Ensayos y Frecuencias .....	60
Tabla N°10	: Tráfico proyectado .....	62
Tabla N°11	: Granulometría de material de afirmado .....	68
Tabla N°12	: Criterio para la selección de la superficie de rodadura .....	74
Tabla N°13	: Índice de diseño para vehículos con neumáticos .....	75
Tabla N°14	: Comparación de espesores de pavimentos flexibles .....	81
Tabla N°15	: Periodo de diseños.....	82
Tabla N°16	: Duración sugerida (en meses) de las estaciones del año para las 6 regiones climáticas .....	84
Tabla N°17	: Módulo resiliente del suelo de fundación, M, (PSI), en función de la calidad relativa del material .....	85
Tabla N°18	: Valores del módulo resiliente efectivo del suelo de fundación, M, (PSI). Valores sugeridos en función de la región climática y de la calidad relativa del suelo de fundación .....	85
Tabla N°19	: Gráfico para calcular el daño total del pavimento (tanto para los criterios de servicio como para los criterios de Ahuellamiento) basado en un espesor de la base del agregado de ensayo.....	86
Tabla N°20	: Espesor del material granular para tráfico de diseño de $10^5$ ESA .....	94
Tabla N°21	: Espesor (mm) de material granular obtenido a partir de la guía LT de 1998, tabla de 90% y figura 8.4 de la Guía de Austroads de 2004 .....	95

Tabla N°22 : Volúmenes de tráfico y espesor de capa de base estimado para varios tipos de carreteras (basado en 10 años de vida de diseño, crecimiento nulo) .....	96
Tabla N°23 : Sistema de clasificación de vehículos Austroads .....	98
Tabla N°24 : Factor de crecimiento acumulativo (CGF).....	101
Tabla N°25 : Factor de distribución de carril .....	102
Tabla N°26 : Factor de índice de daño .....	103
Tabla N°27 : Niveles de confianza sugeridos para diferentes ubicaciones y propósitos .....	104
Tabla N°28 : Factor direccional y Factor carril .....	107
Tabla N°29 : Factor de crecimiento acumulado Fca.....	108
Tabla N°30 : Factor de ajuste por presión de neumático .....	109
Tabla N°31 : Niveles de confianza sugeridos para diferentes usos .....	125
Tabla N°32 : Valores máximos permisibles para subbases y materiales selectos .....	135
Tabla N°33 : Granulometría de materiales para superficies de agregados (aggregate-surfaced).....	136
Tabla N°34 : Graduación ideal de piedra triturada, gravas y escorias y graduación de agregados arenosos y cascajosos no triturados para las capas de base.....	137
Tabla N°35 : Duración sugerida (en meses) de las estaciones para las 6 regiones climáticas.....	142
Tabla N°36 : Materiales de subbases, bases y superficie de agregados (aggregate-surfaced).....	145
Tabla N°37 : Banda granulométrica de Australia .....	149
Tabla N°38 : Banda granulométricas con materiales de roca triturada y grava natural.....	150
Tabla N°39 : Índice de plasticidad para materiales no estandarizados.....	150
Tabla N°40 : Bandas granulométricas .....	153
Tabla N°41 : Bandas granulométricas AASHTO M147 .....	154
Tabla N°42 : Bandas granulométricas FHWA .....	154
Tabla N°43 : Tabla comparativa de las variables .....	155
Tabla N°44 : Cantidad de kilómetros en Lima Provincias .....	157
Tabla N°45 : Cálculo del tamaño de la muestra por niveles de confianza .....	158

Tabla N°46 : Cantidad de kilómetros por expediente.....	159
Tabla N°47 : Valores típicos de CBR.....	162
Tabla N°48 : Categorías de la subrasante.....	162
Tabla N°49 : Resumen de categoría de la subrasante.....	164
Tabla N°50 : Porcentaje del tipo de suelo según clasificación SUCS en Lima provincias.....	171
Tabla N°51 : CBR predominante en la subrasante de Lima provincias.....	172
Tabla N°52 : Resumen del material de Cantera para afirmado, subbase y base.....	174
Tabla N°53 : CBR de afirmado, base y subbase.....	181
Tabla N°54 : Resumen de tráfico en Lima provincias.....	181
Tabla N°55 : Tráfico en Lima provincias.....	184
Tabla N°56 : Criterio para la selección de la superficie rodadura.....	185
Tabla N°57 : Valores del índice de daño.....	191
Tabla N°58 : Comparación de variables.....	194
Tabla N°59 : Valores típicos de CBR según Austroads.....	195
Tabla N°60 : Resumen del material de afirmado del método AASHTO.....	196
Tabla N°61 : Resumen del material de afirmado del método NAASRA (MTC).....	198
Tabla N°62 : Resumen del material de afirmado del método USACE, AASHTO y AUSTROADS.....	199
Tabla N°63 : Diseño de espesores en afirmados.....	201
Tabla N°64 : Tabla comparativa de las metodologías.....	229
Tabla N°65 : Tabla comparativa de las metodologías.....	230
Tabla N°66 : Principio de diseño expresada tácitamente mediante la fórmula USACE.....	233
Tabla N°67 : Cuadro comparativo del material de afirmado del método USACE, AASHTO y AUSTROADS.....	240

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	: Camino Vecinal del centro poblado de Puruchuco, distrito de Huamantanga, provincia de Canta .....	3
Figura N°2	: Manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones donde aparece el diseño de afirmado.....	5
Figura N°3	: Provincias de Lima .....	6
Figura N°4	: Porcentaje versus sección transversal del departamento de Lima .....	7
Figura N°5	: Porcentaje versus índice medio diario del departamento de Lima .....	8
Figura N°6	: Carretera Quipán – Apán – Puruchuco .....	9
Figura N°7	: Métodos de evaluación del desempeño de carreteras .....	19
Figura N°8	: Tipos de subrasante (a) y CBR (b) Indiana.....	21
Figura N°9	: Clasificación territorial según las heladas .....	22
Figura N°10	: Selección de volumen de tráfico .....	22
Figura N°11	: Diseños típicos de agregados (a) y flexibles (b).....	23
Figura N°12	: Diseño típico según Indiana.....	24
Figura N°13	: Modos de ahuellamiento .....	25
Figura N°14	: Deformación permanente para suelo de arena limosa .....	26
Figura N°15	: Deformación del contacto del suelo y presión de llanta .....	26
Figura N°16	: Evolución del ahuellamiento para suelo de arena limosa .....	27
Figura N°17	: Ahuellamiento teórico vs experimental SW-SM.....	28
Figura N°18	: Ahuellamiento teórico vs experimental SM .....	28
Figura N°19	: Curvas de Wohler para carreteras de bajo volumen .....	29
Figura N°20	: Tipos de pavimentos según el tipo de superficie de rodadura .....	30
Figura N°21	: Suelo natural, gravoso, Rímac .....	31
Figura N°22	: Suelo natural, gravoso, Santiago de Tuna.....	32
Figura N°23	: Suelo seleccionado, gravoso, Canta.....	32
Figura N°24	: Suelo natural, fino, Ingenio.....	33
Figura N°25	: Suelo natural, pedregoso, Yauyos.....	33
Figura N°26	: Suelo natural, fino, Huamantanga.....	34
Figura N°27	: Ubicación del experimento vial AASHO .....	35
Figura N°28	: Características de las secciones de pruebas .....	36
Figura N°29	: Misiones realizadas por ingenieros durante la Guerra de Corea .....	38

Figura N°30	: Ingeniero rociando el polvo en la nueva carretera durante la Guerra de Corea .....	38
Figura N°31	: Componentes claves de la metodología mecanicista .....	40
Figura N°32	: Métodos de diseño estructural de pavimentos .....	41
Figura N°33	: Carretera de tierra, Occobamba .....	44
Figura N°34	: Carretera de tierra, Ingenio .....	44
Figura N°35	: Carretera afirmada, Obrajillo .....	45
Figura N°36	: Carretera afirmada, Canta .....	45
Figura N°37	: Carretera de gravas, Oyón .....	46
Figura N°38	: Espesor de Capa de revestimiento granular .....	49
Figura N°39	: Copa de casa grande, Límite Líquido .....	56
Figura N°40	: Muestra para sacar porcentaje de humedad .....	56
Figura N°41	: Muestra para el límite plástico .....	57
Figura N°42	: Ensayo del límite plástico .....	57
Figura N°43	: Peso del espécimen .....	58
Figura N°44	: Peso del espécimen ya preparado .....	59
Figura N°45	: Equipo de compresión de soporte California CBR.....	59
Figura N°46	: Compactación de un camino de afirmado.....	61
Figura N°47	: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular .....	63
Figura N°48	: Catálogo de capas de revestimiento granular Tráfico T0 .....	64
Figura N°49	: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T1 .....	65
Figura N°50	: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T2 .....	66
Figura N°51	: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T3 .....	67
Figura N°52	: Evolución de los métodos de diseño .....	69
Figura N°53	: Gráfico para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles.....	70
Figura N°54	: Curvas para el cálculo de espesores en pavimento flexibles .....	71
Figura N°55	: Curvas de diseño para caminos de superficie de agregados (aggregate-surfaced) .....	76
Figura N°56	: Diseño típico en caminos no pavimentados según USACE .....	78
Figura N°57	: Curvas de proyecto para aplicación de la fórmula logarítmica (modificada) de Peltier.....	80
Figura N°58	: Las 6 Regiones climáticas del Perú .....	84

Figura N°59	: Gráfico de diseño para carreteras de superficie de agregados considerando la pérdida de serviciabilidad.....	87
Figura N°60	: Gráfico de diseño para carreteras de superficie de agregados considerando ahuellamiento .....	88
Figura N°61	: Curvas de diseño para carreteras tratadas superficialmente .....	92
Figura N°62	: Origen de la fórmula Austroads a partir de un CBR de subrasante al 5% .....	95
Figura N°63	: Vehículos dominantes en cada clase de Austroads.....	99
Figura N°64	: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 80% .....	104
Figura N°65	: Diseño de espesores para pavimentos granulares (80% confiabilidad) .....	105
Figura N°66	: Factor de ajuste por presión de llantas (70psi) .....	109
Figura N°67	: Ahuellamiento por fallas en la Subrasante .....	113
Figura N°68	: Curva típica esfuerzo-deformación de un ciclo de carga y descarga..	113
Figura N°69	: Influencia de la historia de esfuerzos.....	114
Figura N°70	: Carretera Quilmaná – Puerto Fiel, provincia de Cañete - Lima .....	117
Figura N°71	: Ahuellamiento en la superficie de rodadura .....	118
Figura N°72	: Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta.....	119
Figura N°73	: Estados de esfuerzos en una sección longitudinal .....	119
Figura N°74	: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 90%.....	126
Figura N°75	: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 95%.....	127
Figura N°76	: Clasificación de los vehículos según USACE .....	133
Figura N°77	: Capas de agregados según los valores de CBR establecidos por el método USACE .....	134
Figura N°78	: Las 6 regiones climatológicas en Estados Unidos .....	140
Figura N°79	: Módulo elástico del material de agregados (EBS) psi en relación al CBR del material diseñado .....	144
Figura N°80	: Diseño de espesores para superficie de agregados sin sellos.....	147
Figura N°81	: Rango de banda granulométrica .....	149
Figura N°82	: Tipo de suelo según la clasificación SUCS en Lima provincias .....	172

Figura N°83	: CBR predominante en la subrasante de Lima provincias .....	173
Figura N°84	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Barranca.	204
Figura N°85	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaura, proyecto 1 .....	205
Figura N°86	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaura, proyecto 2 .....	206
Figura N°87	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cajatambo .....	207
Figura N°88	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 1 .....	208
Figura N°89	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 2 .....	209
Figura N°90	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 3 .....	210
Figura N°91	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaral, proyecto 1 .....	211
Figura N°92	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaral, proyecto 2 .....	212
Figura N°93	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 1 .....	213
Figura N°94	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 2 .....	214
Figura N°95	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 3 .....	215
Figura N°96	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 4 .....	216
Figura N°97	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huarochirí, proyecto 1 .....	217
Figura N°98	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huarochirí, proyecto 2 .....	218
Figura N°99	: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 1 .....	219

Figura N°100 : Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 2 .....	220
Figura N°101 : Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 3 .....	221
Figura N°102 : Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 4 .....	222
Figura N°103 : Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 5 .....	223
Figura N°104 : Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Yauyos...	224
Figura N°105 : Ábaco de material de afirmado .....	242
Figura N°106 : Ábaco de pavimento granular con superficie bituminosa Austroads 1998 .....	242
Figura N°107 : Ábaco de pavimento granular Austroads 1998.....	243

## **RESUMEN**

La “Propuesta de método de diseño de afirmado para caminos no pavimentados en la región Lima provincias” consistió en una investigación explorativa, descriptiva, explicativa y correlacional que tuvo como objetivo determinar el método de diseño de afirmado y su relación con el método NAASRA (MTC) para proponer un estándar en la región Lima provincias. Para el desarrollo de esta investigación se analizó el proceso de metodología, principios y variables de cada método para luego ser aplicado en 21 muestras de carreteras de Lima provincias. Finalmente, la investigación determinó que todas las metodologías, principios y variables son similares y propone a la metodología USACE como método de diseño de afirmado para la región Lima provincias.

**Palabras claves:** Metodología, Principios, Variables.

## **ABSTRACT**

The "Proposal of a design method for unpaved roads in the Lima provinces region" consisted of exploratory, descriptive, explanatory and correlational research that aimed to determine the design method of affirmed and its relation with the NAASRA (MTC) method to propose a standard in the Lima province region. For the development of this research, the process of methodology, principles and variables of each method was analyzed and then applied in 21 road samples from Lima provinces. Finally, the research determined that all the methodologies, principles and variables are similar and proposes to the USACE methodology as a design method for the Lima provinces region.

**Key words:** Methodology, Beginning, Variables.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito determinar la metodología, variables y principios en base al análisis comparativo de los métodos de amplio uso en el Perú entre los años 1970 y 2005 que se inicia con las aplicaciones del método CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC), a fin de proponer un método de diseño de afirmado para caminos no pavimentados en la región Lima provincias.

En el capítulo 1 se desarrolló la descripción de la problemática y justificación de la investigación, el cual dio origen a la tesis, donde el objetivo general fue determinar el método de diseño de afirmado y su relación con el método NAASRA (MTC) para proponer un estándar en la región Lima provincias, de igual manera los objetivos específicos consistieron en investigar los métodos de diseño de afirmado, principios y variables en caminos no pavimentados.

En el capítulo 2 se realizó el marco teórico donde se recopiló información bibliográfica de diversos manuales, libros, tesis y artículos relacionados con el tema, asimismo se desarrolló las bases teóricas a fin de obtener un marco conceptual que ayude en la determinación de la hipótesis.

En el capítulo 3 se investigó la metodología del diseño de afirmado del método CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC)

En el capítulo 4 se investigó los principios de ahuellamiento y pérdida de agregados de cada método de diseño de afirmado

En el capítulo 5 se investigó las variables de tráfico, clima, suelos y material de afirmado que propone cada método.

En el capítulo 6 se realizó la aplicación de las metodologías del diseño de afirmado en 21 muestras de carreteras en Lima provincias mediante los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC)

En el capítulo 7 se realizó el análisis de las variables y resultados de diseño obtenidos mediante el diseño de afirmado de cada metodología.

Finalmente, en el capítulo 8 se presenta la confrontación de hipótesis, conclusiones y recomendaciones, los cuales permitirán dar un alcance mayor del tema para futuras investigaciones.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1. Antecedentes

Según el Informe Multianual de Inversiones en Asociaciones Público Privadas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2017) registra en el Perú un 69.33% de caminos vecinales en toda la red vial, por lo cual, el Perú tiene la mayor parte de vías de caminos no pavimentados. Según el manual de carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018) aprobado mediante Resolución Directoral N°03-2018 – MTC; establece que la clasificación por demanda para carreteras de tercera clase con índice medio diario  $IMD < 400$  veh/día pueden desempeñarse con soluciones básicas o económicas, la cual consiste en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura de tal manera que presten un mejor servicio y tengan mayor vida útil. Además, establece que las trochas carrozables con  $IMD < 200$  veh/día pueden ser afirmadas o sin afirmar como se puede observar en la Figura N°1.

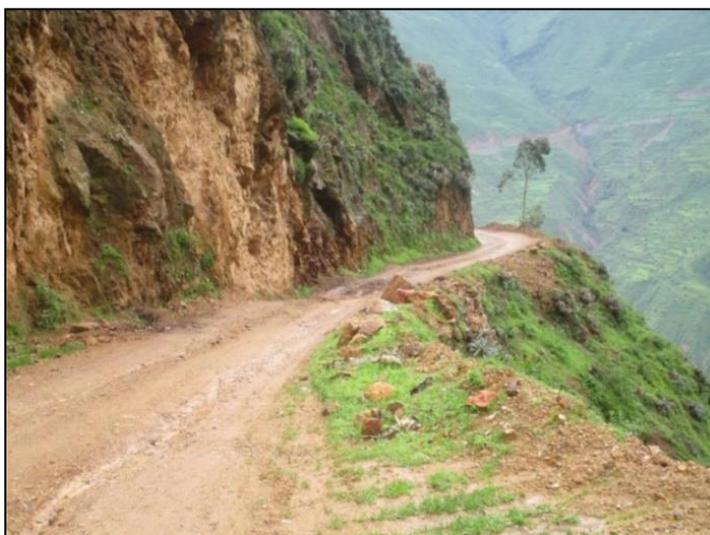


Figura N° 1: Camino Vecinal del centro poblado de Puruchuco, distrito de Huamantanga, provincia de Canta

Fuente: Elaboración propia (2017)

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó el método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) según el memorándum N°492-2005-MTC/14.04. Donde se publica la elaboración de los primeros catálogos de revestimiento granular en base a la ecuación del método NAASRA para cinco clases de tráficos proyectados: T0 (<15veh/día), T1 (16 - 50veh/día), T2 (51 -100veh/día), T3 (101 - 200veh/día), T4 (201 - 400veh/día). (Manual de diseño de carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2005, p.141-145)

En el año 2008, el manual de diseño de carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito es actualizado mediante Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02 el 04 de abril del 2008. Donde publica la elaboración de los catálogos de capas de revestimiento granular en base a la ecuación del método NAASRA para cuatro clases de tráficos proyectados teniendo así, una primera actualización donde elimina la última clase de tráfico proyectado T4 (201 - 400veh/día). (Manual de diseño de carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2008, p.141-144)

Ese mismo año mediante la Resolución Ministerial N° 240-2008-MTC/02 se aprueba el manual para conservación de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito asimismo mediante la Resolución Ministerial N° 305-2008-MTC/02 se aprueba el manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

Seis años después mediante la Resolución Ministerial N° 137-2014-MTC/02 el manual para el diseño de carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito queda sin efecto hasta la actualidad y se aprueba el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos aprobado mediante Resolución Directoral N°10-2014 – MTC.

El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014), establece como definición:

Las carreteras afirmadas están constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 milímetros. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado. (p118)

Se observa en la Figura N°2 los distintos manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) donde aparece el diseño de afirmado para caminos no pavimentados.

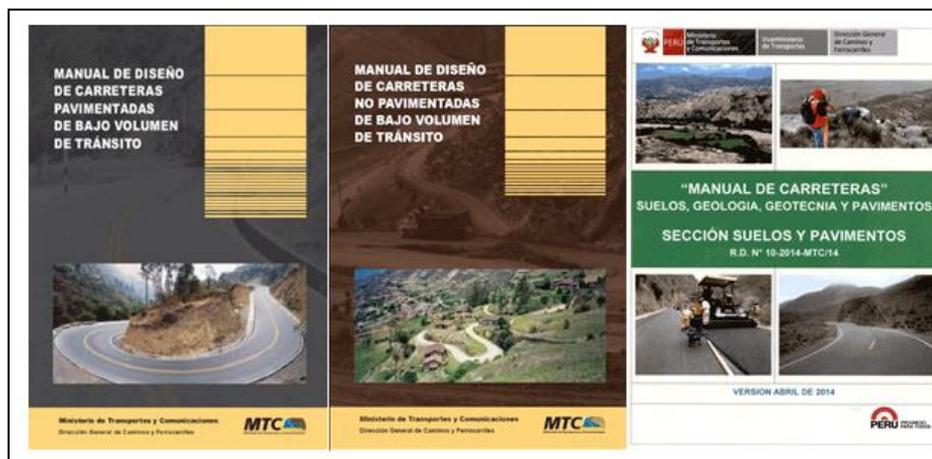


Figura N°2: Manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones donde aparece el diseño de afirmado

Fuente: Elaboración propia (2018)

El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos diseña el espesor de afirmado a través del método NAASRA (hoy AUSTROADS), metodología desarrollada en Australia. El manual considera tres variables de diseño: ensayo de relación de soporte de California (CBR) que cumple los ensayos de laboratorio MTC E132, ASTM D1883 o AASHTO T193, ejes equivalentes que es obtenida mediante el método AASHTO y material de superficie de agregados que cumpla las bandas granulométricas AASHTO M 147 o FHWA y cumpla los requisitos de  $CBR > 40\%$  durante la colocación del material de superficie de agregados.

La región Lima provincias está conformado por 9 provincias: Cañete, Huaura, Huaral, Cajatambo, Canta, Yauyos, Oyón, Huarochirí y Barranca como se muestra en la Figura N°3.

La Dirección Nacional de Estadística e Informática Departamental (1999) refiere que la región Lima provincias está dividido en superficies ( $km^2$ ) de Costa-Sierra 40.85%, Sierra 54.93% y Costa 4.22%, como se muestra en la Tabla N°1.

A partir de la información de la Dirección Nacional de Estadística e Informática Departamental consideramos que Lima provincias tiene costa y sierra, suelos, climas y

topografías diferentes, por lo cual nos preguntamos, ¿cuál es el factor determinante para que el Perú y particularmente la región Lima provincias tenga que emplear el método NAASRA de Australia para diseñar el espesor de afirmado, si las características geográficas y climáticas podrían ser diferentes?



Figura N°3: Provincias de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°1: Región Lima: Superficie, región natural y número de distritos por provincia

CONFIGURACION POLÍTICA			ALTITUD DE LA CAPITAL POLÍTICA (m.s.n.m.)	REGION NATURAL	SUPERFICIE		
PROVINCIAS	CAPITAL	DISTRITOS			km2	%	
1	BARRANCA	Barranca	5	49	Costa	1.355,87	4,22
2	CAJATAMBO	Cajatambo	5	3.376	Sierra	1.515,21	4,72
3	CANTA	Canta	7	2.819	Sierra	1.687,27	5,25
4	CAÑETE	San Vicente	16	30	Costa-Sierra	4.574,91	14,24
5	HUARAL	Huaral	12	188	Costa-Sierra	3.655,70	11,38
6	HUAROCHIRI	Matucana	32	2.378	Sierra	5.657,93	17,61
7	HUAURA	Huacho	12	30	Costa-Sierra	4.891,92	15,23
8	OYON	Oyon	6	3.620	Sierra	1.886,05	5,87
9	YAUYOS	Yauyos	33	2.874	Sierra	6.801,58	21,48
9			128			32.026,44	100,00

Fuente: INEI (2000)

Arevalo & Quintana (2017) presentan mediante el informe de clasificación de carreteras de bajo volumen adaptado a caminos vecinales: Realidad y normativa del Perú:

El 100% (3,816.26 km) de los caminos vecinales del departamento de Lima, el 72.78% (2,777.54 km) se clasifican como trocha (IMD indefinido) con sección transversal de 3.60 a 4.00 metros; el 16.73% (638.38 km) se clasifica como caminos vecinales CV3 (IMD hasta 30 veh/día) con sección transversal de 4.50 a 5.00 metros; el 8.41% (321.12 km) como caminos vecinales CV2 (IMD entre 30 y 100veh/día) con sección transversal de 5.50 a 7.00 metros ;y el 2.08% (79.22 km) como caminos vecinales CV1(IMD entre 100 y 200veh/día) con sección transversal de 6.00 a 7.50 metros, estos datos fueron establecidos mediante la clasificación de caminos vecinales del 1978 del Ministerios de Transportes y Comunicaciones, la cual se establece en la Figura N °4.

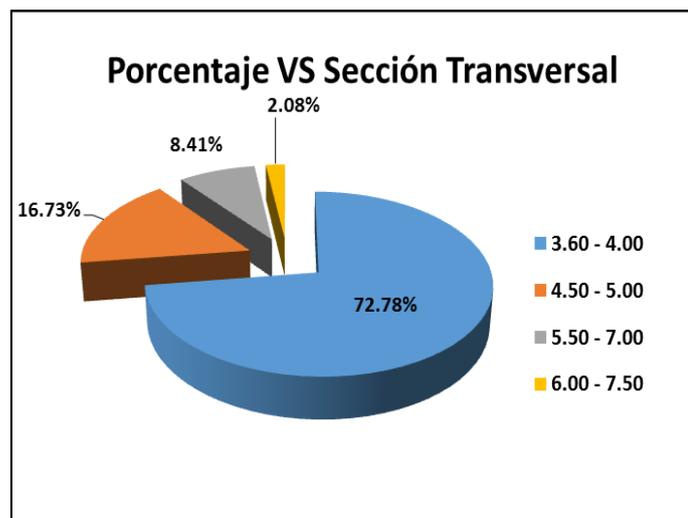


Figura N°4: Porcentaje versus sección transversal del departamento de Lima

Fuente: Caminos Vecinales: Realidad y Normativa del Perú (2017)

El informe de clasificación de carreteras de bajo volumen adaptado a caminos vecinales: Realidad y normativa del Perú (2017) concluye de la Figura N°5 que el 89.51% (3,415.92 km) de la red vial vecinal tienen un IMD hasta 30 veh/ día, el 8.41% (321.12 km) tiene un IMD hasta 100 vehículos por día y el 2.08% (79.22 km) posee un IMD entre 100 y 200 vehículos por día. (p.2-3)

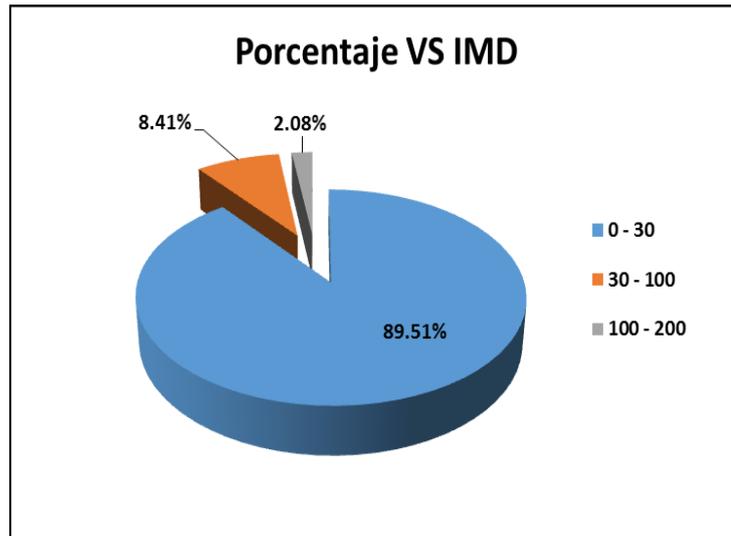


Figura N°5: Porcentaje versus índice medio diario del departamento de Lima

Fuente: Caminos Vecinales: Realidad y Normativa del Perú (2017)

En Lima provincias el 54.93% del territorio se encuentra en la sierra; por lo tanto, tiene una topografía accidentada, una geología conformada por una cordillera occidental; suelos conformados por rocas, gravas, finos y un clima lluvioso estacional. Por otro lado, el 45.07% del territorio pertenece a los centros poblados rurales que se articulan en la región costa que tienen en su mayoría caminos calificados como trochas con volúmenes de tráfico hasta 30 veh/día, y en su mayoría vías con superficies de rodadura afirmada, sin afirmar y tierra.

Tenemos el caso de la Carretera Quipán - Apán - Puruchuco como se muestra en la Figura N°6, donde el IMD de tráfico proyectado para la vida de diseño esperado de 10 años tiene un flujo menor de 50 vehículos diarios y la clasificación del suelo encontrado es GC, conformado por estratos de grava, arena y arcilla de plasticidad media y GM conformado por gravas, arena y limos como resultado de trituración de la roca donde el CBR del terreno natural obtenido en laboratorio es de 31%. Con estas características el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, propone colocar un afirmado con espesor mínimo de 15 centímetros o dejarlo sin afirmado; en cuyo caso debemos justificar esta última decisión.



Figura N°6: Carretera Quipán – Apán – Puruchuco

Fuente: Elaboración propia (2016)

Revisando los antecedentes del Perú se encontró que el método CBR, U.S. Army Corps of Engineers (USACE) y Transport and Road Research Laboratory (TRRL) fueron métodos empleados para calcular el espesor de afirmados entre los años 1970 y 2005, las cuales son anteriores al método Nacional Association of Australian State Authorities NAASRA (MTC); por lo cual nacen nuestras interrogantes que se indican a continuación:

## **1.2. Planteamiento del problema**

A lo largo del tiempo el Perú empleó métodos de diseño desde CBR, USACE, TRRL, y eventualmente el método Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), así como el método PELTIER en Europa. Las cuales consideran variables de diseño de tráfico, suelo, clima y material granular, asimismo, principios de ahuellamiento y pérdida de agregados. Ante la diversidad de métodos para determinar el espesor de afirmado que emplean las mismas variables y principios de diseño, nos preguntamos ¿Cuál es el método más apropiado para este fin? ¿El método NAASRA (MTC) es realmente un estándar que se puede aplicar en la región Lima provincias?

Frente a esta problemática se compararán los métodos de diseño de afirmado y su relación con el método NAASRA (MTC) para proponer un estándar en la región Lima provincias en base a los métodos aplicados en el Perú entre los años 1970 y 2005.

### **1.2.1. Formulación del Problema Principal**

¿Cuál método de diseño de afirmado y que relación tendría con el método NAASRA (MTC) para la región Lima provincias?

### **1.2.2. Problemas Secundarios**

1. ¿Cuáles son los **métodos de diseño de afirmado, los principios y variables** en caminos no pavimentados?
2. ¿En qué medida el **principio de diseño** de cada método guarda relación con el método NAASRA (MTC)?
3. ¿En qué medida las **variables** de cada método guardan relación con el método NAASRA (MTC)?

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

### **1.3.1. Objetivo Principal**

Determinar el método de diseño de afirmado y su relación con el método NAASRA (MTC) para proponer un estándar para la región Lima provincias.

### **1.3.2. Objetivo Secundario**

1. Investigar los **métodos de diseño de afirmado, los principios y variables** en caminos no pavimentados.
2. Analizar el **principio de diseño** de cada método que guarda relación con el método NAASRA (MTC) para determinar su aplicación en la región Lima provincias.
3. Analizar las **variables** de cada método que guarda relación con el método NAASRA (MTC) para determinar su aplicación en la región Lima provincias.

## **1.4. Justificación e importancia**

Esta investigación es importante porque permite validar el método NAASRA (MTC) aplicado en el Perú, en base al análisis comparativo de los métodos de amplio uso en el Perú entre los años 1970 y 2005. La región Lima provincias nos ofrece geografía accidentada en un 54.93% y una costa de 45.07%, con características geotécnicas diferentes entre sierra (grava, rocas y arcilla) y costa (desiertos, arena, etc.), lo cual nos genera la interrogante si el método NAASRA (MTC) es válido para la región Lima provincias y si podría aplicarse complementariamente.

## **1.5. Limitaciones**

Esta investigación tiene como limitación: la escasa bibliografía sobre el diseño de afirmado para caminos no pavimentados en el Perú por el cual esta resume los métodos de cada diseño y la relación que tienen con el método NAASRA (MTC) a partir de los papers y artículos científicos extranjeros.

## **1.6. Viabilidad**

Esta investigación es viable, debido a que cuenta con la disponibilidad de tiempo y de información extranjera para el desarrollo de la misma. A partir de archivos físicos y digitales (tesis, libros, papers, noticias científicas y todo lo relacionado con el tema de investigación) que han sido extraídos de la web y biblioteca.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis Principal**

El método USACE de diseño de afirmado tiene relación con el método NAASRA (MTC), por lo tanto, es un estándar complementario para la región Lima provincias.

### **1.7.2. Hipótesis Secundarios**

1. Los **métodos, principios y variables de diseño** de afirmado en caminos no pavimentados son similares con el método NAASRA (MTC).

2. El **principio de diseño** de cada método tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.
3. Las **variables** de cada método tienen relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

## **1.8. Metodología**

### **1.8.1. Tipología**

#### **1.8.1.1. Tipo de Investigación**

La orientación de la investigación es aplicada no experimental, porque emplea las condiciones básicas para un problema en la realidad como es el cálculo del espesor de afirmado. La investigación tiene un enfoque cualitativo, porque describe las variables y principios de los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC).

#### **1.8.1.2. Nivel de Investigación**

**Explorativa**, porque emplea la bibliografía disponible en la biblioteca de la universidad, internet, entre otros. Así como la práctica existente en el Perú entre los años 1970 y 2005.

**Descriptivo**, porque describe los métodos de diseño, características del tráfico, clima, suelos, y características del material de afirmado en carreteras no pavimentadas de la región Lima provincias.

**Explicativa**, porque se va a explicar el principio y las variables de los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC)

**Correlacional**, porque se comparan todos los métodos con el método NAASRA, que es el método oficial en el Perú.

### **1.8.1.3. Diseño de Investigación**

**Observacional**, porque no se intervendrá sobre las variables independientes de tráfico, clima, suelos y características del material de afirmado.

**Retrospectivo**, porque vamos a estudiar las metodologías anteriores al método NAASRA (MTC) y obtendremos la recopilación de toda la información de proyectos ejecutados en la región Lima Provincias.

**Longitudinal**, porque se realizará el análisis de las variables y principios de estudio medidas en diferentes métodos de diseño de afirmado.

### **1.8.2. Variables**

La variable dependiente es el método de diseño del afirmado que depende de los principios y variables independientes de: tráfico, clima, suelos y material del afirmado. Las variables independientes son las unidades representativas: ejes equivalentes, número de vehículos, CBR de la subrasante, CBR del afirmado, bandas granulométricas entre otros.

### **1.8.3. Población y Muestra**

- **Población:**

Los caminos vecinales de Lima provincias, la cual cuenta con 4163.57 kilómetros.

- **Muestras:**

De los 21 estudios, 14 pertenecen a caminos vecinales y 7 pertenecen a caminos nacionales. Se tomó en cuenta los caminos nacionales para poder utilizar sus estudios de suelos y poder así uniformizar la clasificación de suelos por provincia.

1. Estudio de Suelos del Proyecto C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima.
2. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo.
3. Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado.
4. Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas.
5. Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón – Lima.

6. Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón – Lima.
7. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131.
8. Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000.
9. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado – Sayán.
10. Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima".
11. Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima.
12. Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta.
13. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish.
14. Estudios de Suelos del Proyecto de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima.
15. Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa.
16. Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla.
17. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete – Lunahuaná.
18. Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete.
19. Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete.
20. Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete – Lima.
21. Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos – Lima.

#### **1.8.4. Técnicas de investigación e instrumentación de recolección de datos**

En esta investigación nos basamos en una técnica observacional, teniendo como principal instrumento los estudios definitivos e investigaciones previas, fundamentadas en el diseño de caminos rurales o caminos no pavimentados.

### **1.8.5. Procedimientos para la recolección de datos**

Se recopilará toda la información existente del tema de investigación en la web y la biblioteca (tesis, libros, artículos científicos, etc.), después se clasificará la información que ayude en el desarrollo de la tesis y la compilación de datos sobre características de los suelos, canteras y tráfico de la región Lima provincias.

### **1.8.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Las técnicas para el procesamiento y análisis de datos se basan en la recopilación y clasificación de los métodos, principios y diseños de cada método. Asimismo, las variables independientes de tráfico, clima, suelos y material de afirmado de todas las muestras serán procesadas en el Microsoft Excel según el método seleccionado para obtener el espesor del afirmado.

Tabla N°2: Matriz de consistencia

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTE	INSTRUMENTOS	MÉTODO	MUESTRAS
¿Cuál método de diseño de afirmado y que relación tendría con el método NAASRA (MTC) para la región Lima provincias?	Determinar el método de diseño de afirmado y su relación con el método NAASRA (MTC) para proponer un estándar para la región Lima provincias.	El método USACE de diseño de afirmado tiene relación con el método NAASRA (MTC), por lo tanto, es un estándar para la región Lima provincias.		<b>1. Método CBR</b> 1.1. Suelo (CBR) 1.2. Tráfico (carga por rueda) 1.3. Material de afirmado (CBR: relación 1:2) <b>2. Método USACE</b> 2.1. Suelo (CBR) 2.2. Tráfico (índice de diseño) 2.3. Material de afirmado (CBR < 50% / granulometría) <b>3. Método PELTIER</b> 3.1. Suelo (CBR) 3.2. Tráfico (cantidad de vehículos por día) 3.3. Material de afirmado (CBR: relación 1:2) <b>4. Método AASHTO</b> 4.1. Suelo (CBR) 4.2. Tráfico (ejes equivalentes) 4.3. Variable Climático (estación) 4.4. Material de afirmado (Granulometría) <b>5. Método TRRL</b> 5.1. Suelo (CBR) 5.2. Tráfico (ejes equivalentes) 5.3. Material de afirmado (CBR > 80%) <b>6. Método AUSTROADS</b> 6.1. Suelo (CBR) 6.2. Tráfico (DESA) 6.3. Material de afirmado (CBR > 80% / granulometría) <b>7. Método NAASRA (MTC)</b> 7.1. Suelo (CBR) 7.2. Tráfico (ejes equivalentes) 7.3. Material de afirmado (CBR > 40% / granulometría)	<b>1. Método CBR</b> Libro carreteras, calles y aeropistas Ing. Raúl Valle Rodas (1976) <b>2. Método USACE</b> Department of the Army waterways experiment station, corps of engineers. El Manual Técnico TM 5-330 del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos Manual técnico TM-5-822-5 del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos <b>3. Método PELTIER</b> Artículo cálculo de pavimentos flexibles Dr. Olegario Llamazares Gómez <b>4. Método AASHTO</b> AASHTO guide for design of pavement structures 1993 Instituto para el desarrollo de los pavimentos del Perú Ing. Germán Vivar <b>5. Método TRRL</b> Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields Libro Ingeniería de pavimentos para carreteras Ing. Alfonso Montejo Fonseca <b>6. Método AUSTROADS</b> UNSEALED ROADS MANUAL, George Giummarra 2009 - ARRB, Australia. Roads Design AUSTROADS (2012) <b>7. Método NAASRA (MTC)</b> Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014) Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción (2013)	<b>Tipo de Investigación</b> La orientación de la investigación es aplicada no experimental, porque emplea las condiciones básicas para un problema en la realidad como es el cálculo de o diseño de espesor de afirmado. Enfoque cualitativo, porque describe las variables y principios de los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA(MTC)  <b>Nivel de Investigación</b> <b>Explorativa</b> , porque emplea la bibliografía disponible en la biblioteca de la universidad, internet, entre otros. Así como la práctica existente en el Perú en los 70 al 2005. <b>Descriptivo</b> , porque describe los métodos de diseño, características de los tráfico, clima, suelo y material de afirmado de las carreteras no pavimentadas de la región Lima provincias. <b>Explicativa</b> , porque se va a explicar el principio y las variables en cada método. <b>Correlacional</b> , porque se comparan las metodologías pasadas con el método NAASRA (MTC). <b>Diseño de Investigación Observacional</b> , porque no se interviendrá sobre las variables independientes de tráfico, clima, suelos, entre otros <b>Retrospectivo</b> , porque vamos a limitarnos a la recopilación de datos de cada una de las carreteras de Lima provincias <b>Longitudinal</b> , porque se realizará el análisis de las variables de estudio medidas en diferentes métodos de diseño de afirmado.	1. Estudio De suelos del proyecto de centro poblado Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima 2. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Punte Tingo 3. Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado 4. Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas 5. Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima 6. Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yurucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima 7. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131 8. Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000 9. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán 10. Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima" 11. Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima 12. Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta 13. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish 14. Estudio de Suelos del proyecto de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima 15. Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí - Pavimentación de la Localidad de Huallaringa 16. Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla 17. Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná 18. Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete 19. Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete 20. Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima 21. Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima
<b>PROBLEMAS SECUNDARIOS</b>	<b>OBJETIVOS SECUNDARIOS</b>	<b>HIPÓTESIS SECUNDARIOS</b>					
1. ¿Cuáles son los métodos de diseño de afirmado, los principios y variables en caminos no pavimentados?	1. Investigar los métodos de diseño de afirmado, los principios y variables en caminos no pavimentados.	1. Los métodos, principios y variables de diseño de afirmado en caminos no pavimentados son similares con el método NAASRA (MTC).	<b>Espesor de Afirmado</b> 1. Método CBR 2. Método USACE 3. Método PELTIER 4. Método AASHTO 5. Método TRRL 6. Método AUSTROADS 7. Método NAASRA(MTC)				
2. ¿En qué medida el principio de diseño de cada método guarda relación con el método NAASRA (MTC)?	2. Analizar el principio de diseño de cada método que guarda relación con el método NAASRA (MTC) para determinar su aplicación en la región Lima provincias.	2. El principio de diseño de cada método tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.	<b>Principio de Diseño</b> 1. Ahuellamiento 2. Pérdida de agregado				
3. ¿En qué medida las variables de cada método guardan relación con el método NAASRA (MTC)?	3. Analizar las variables de cada método que guarda relación con el método NAASRA (MTC) para determinar su aplicación en la región Lima provincias.	3. Las variables de cada método tienen relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias	<b>Variable de Diseño</b> 1. Suelo 2. Tráfico 3. Clima 4. Material de afirmado				

Fuente: Elaboración propia (2017)

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Castro & Céspedes (2009) mediante la investigación tuvo como objetivo contrastar normas, manuales de diferentes países y organizaciones con realidades geográficas diferentes, sociales, políticas, económicas y culturales, las que nos ayudan a abordar distintas maneras el problema de caminos de bajo volumen de tránsito.

Ellos han realizado el siguiente cuestionamiento: ¿Por qué el Manual del MTC 2005 y del 2008 consideran diferentes criterios del IMD tanto para el capítulo del diseño geométrico como para el capítulo del diseño de pavimentos? Por lo que concluyen que el manual peruano del MTC 2005, cuenta con un tráfico Tipo 4, el cual tiene un IMD que está en el rango de 201-400 veh/día, mientras que el manual del MTC 2008 hoy en día suprimido, no considera dicha clasificación. Por esa razón, la granulometría y el catálogo del Afirmado Tipo 4 fueron eliminados. No obstante, de desconocer la razón y/o las consideraciones que tuvieron para realizar estos cambios, se puede decir que no sería conveniente la eliminación del Tráfico Tipo 4 del manual, ya que, en el Perú existen algunos caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito con más de 200 vehículos por día.

Para desarrollar o adoptar cualquiera de los métodos de diseño de pavimentos, debemos saber bajo que realidad se ha concebido cada método, ya que cada país tiene una realidad distinta y una variedad de climas. Deberían existir estudios o investigaciones en el cual relacionen los climas donde fueron concebidos los métodos con nuestro país para estudiarlo y aplicarlo con nuestras metodologías de diseños, ya que influyen en los principios de cada método como la serviciabilidad, ahuellamiento y pérdida de agregados. A continuación, los autores detallan los conceptos de serviciabilidad, ahuellamiento, y pérdida de agregados, según las metodologías estudiadas:

1. **Serviciabilidad:** El manual de Gravel Roads y el manual de Venezuela toman en cuenta la serviciabilidad, pero el manual de Venezuela tiene un mayor valor para los diseños de caminos de bajo volumen de tránsito. Esto podría ser por el tipo de pavimento o para mayor seguridad.

2. **Ahuellamiento:** El manual de Gravel Roads, AASHTO, Venezuela y FAO consideran este principio. Donde se observa que el manual de Gravel Roads, AASHTO y Venezuela tienen rangos de ahuellamiento similares; pero, el manual de Venezuela considera un mayor ahuellamiento y esto es debido a que realizaron estudios en sus propias carreteras y para distintos tipos de suelos. Mientras que el manual FAO divide este concepto en dos: poco y gran profundidad, este último lo definen como surcos de desgaste a más de 10 cm en su diseño. El ahuellamiento es uno de los principios muy importante, ya que los caminos con superficie de grava son los más afectados por el desgaste. Además, por ser caminos con superficies de gravas, requerirá de mantenimientos más continuos.
3. **Pérdida de Agregados:** Se toma en cuenta en los manuales de Gravel Roads, AASHTO y Venezuela (concerniente al método de caminos con superficies de gravas), se hace mención que el valor proporcionado por el Gravel Roads  $GL = 1''$  proviene de las fórmulas de AASHTO.

Casi todos los manuales estudiados consideran como espesor mínimo estructural entre 10-15 cm para caminos de afirmado. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) estima un espesor mínimo de 15 cm y los que se asemejen a este son los manuales de Argentina y Caminos Rurales, el resto de manuales tienen un espesor de 10 cm las mismas que se muestran en el Anexo 1 y Anexo 2. (p.279-287)

En el Anexo 1 los autores presentan el cuadro comparativo de los métodos de diseño MTC, Gravel Roads, USACE, Caminos rurales de España, AASHTO, manual de Argentina, manual de Venezuela y manual de diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles donde comparan los valores de criterios básicos de tráfico, capacidad de soporte del suelo clima; principios de serviciabilidad, ahuellamiento permisible, pérdida de agregados; modelos de diseño y alternativas de soluciones.

En el Anexo 2 los autores presentan el cuadro comparativo de espesores para caminos de bajo volumen donde se obtiene el diseño de espesor real y mínimo de cada metodología. A partir de este cuadro comparativo, el manual de la U.S. Army obtuvo el menor valor de diseño con 6.02 cm; mientras que, el manual de Venezuela obtuvo el mayor valor con 22.70 cm. El resto de manuales dieron valores similares, los cuales

están en el rango de 6.02-22.70 cm. A pesar de que se usaron los valores mínimos para casi todos los manuales, para los autores el manual de la U.S. Army es mejor que los demás manuales.

Visser & Hudson (2009) en el paper los autores justifican que los detalles importantes de diseño de caminos sin pavimentar se obtienen a partir de las carreteras pavimentados, en el uso de materiales granulares ya que se trata de eliminar toda la arcilla o plasticidad del material. A lo largo del tiempo los constructores antiguos y modernos de carreteras han agregado arcilla a las carreteras arenosas para hacerlos estables y han agregado arena y grava a las superficies de arcilla para prevenir el ahuellamiento, debido a que la arcilla actúa como aglutinante, mientras que las partículas de arena y grava actúan una sobre otra para resistir las cargas de tráfico. (p.164)

El documento describe el método de evaluar el comportamiento de la carretera no asfaltada en Sudáfrica. Para los autores existen cuatro tipos de deterioro relacionado al tráfico que pueden diferenciarse en caminos no pavimentados:

1. Deterioro superficial durante la estación seca.
2. Superficie fuerte con material de afirmado fuerte durante la estación húmeda.
3. Superficie débil durante la estación húmeda.
4. Superficie fuerte con material de afirmado débil durante la estación húmeda.

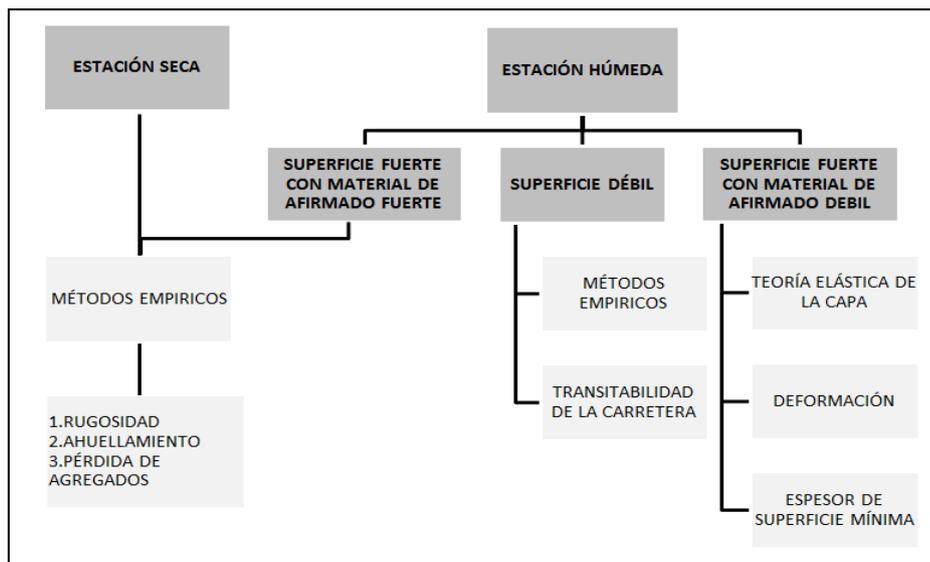


Figura N°7: Métodos de evaluación del desempeño de carreteras

Fuente: Visser & Hudson (2009)

Según la Figura N°7, los 4 tipos de deterioro son: Rugosidad, ahuellamiento, pérdida de agregados para los métodos empíricos y deformación para el método mecanicista. Estos deterioros se relacionan con las estaciones climáticas de verano (seco) e invierno (húmedo) en dos tipos de materiales: subrasante y afirmado.

Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015) para los autores es necesario diseñar vías de bajo volumen utilizando los principios de ingeniería para asegurar un diseño económico y evitar fallas prematuras en la carretera. Con este fin, el documento desarrolla una guía empírica de diseño de carreteras de bajo volumen que tiene como características principales las condiciones climáticas. La guía de diseño se basa en la guía de diseño National Crushed Stone Association (NCSA) y U.S. Army Corps of Engineers (USACE). La Guía National Crushed Stone Association (NCSA) fundamenta sus teorías de diseño de pavimentos flexibles en los criterios que fueron desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros (EE. UU). Por lo cual el diseño requiere de 3 características que en ambos métodos son utilizados:

1. Conteo de tráfico (porcentaje de camiones)
2. CBR (subrasante)
3. Ubicación de la carretera en zona de heladas.

Identificando las características meteorológicas que afectan a la estructura del pavimento, se ofrecen opciones específicas de diseño de acuerdo a los tipos de suelos que clasifica Indiana como se muestra en la Figura N°8.

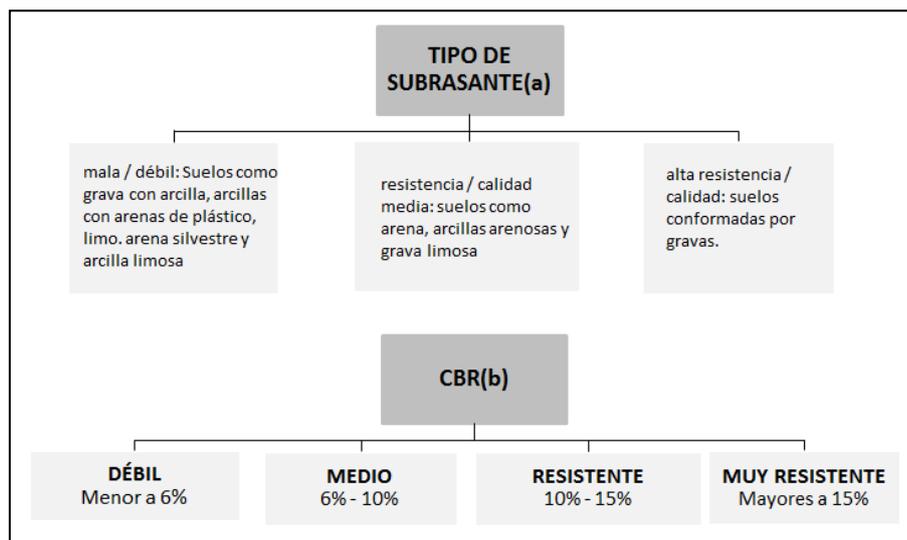


Figura N°8: Tipos de subrasante (a) y CBR (b) Indiana

Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

Indiana clasifica de forma territorial las heladas que se producen estacionalmente; la cual divide a Indiana en 4 zonas territoriales según el espesor de heladas: zona A (0 in.); zona B (5 in.); zona C (10 in.) y zona D (20 in.) como se muestra en la Figura N°9. (p.5-6)

De esta clasificación la zona A no tiene espesor de helada la cual tiene características similares a nuestro país.

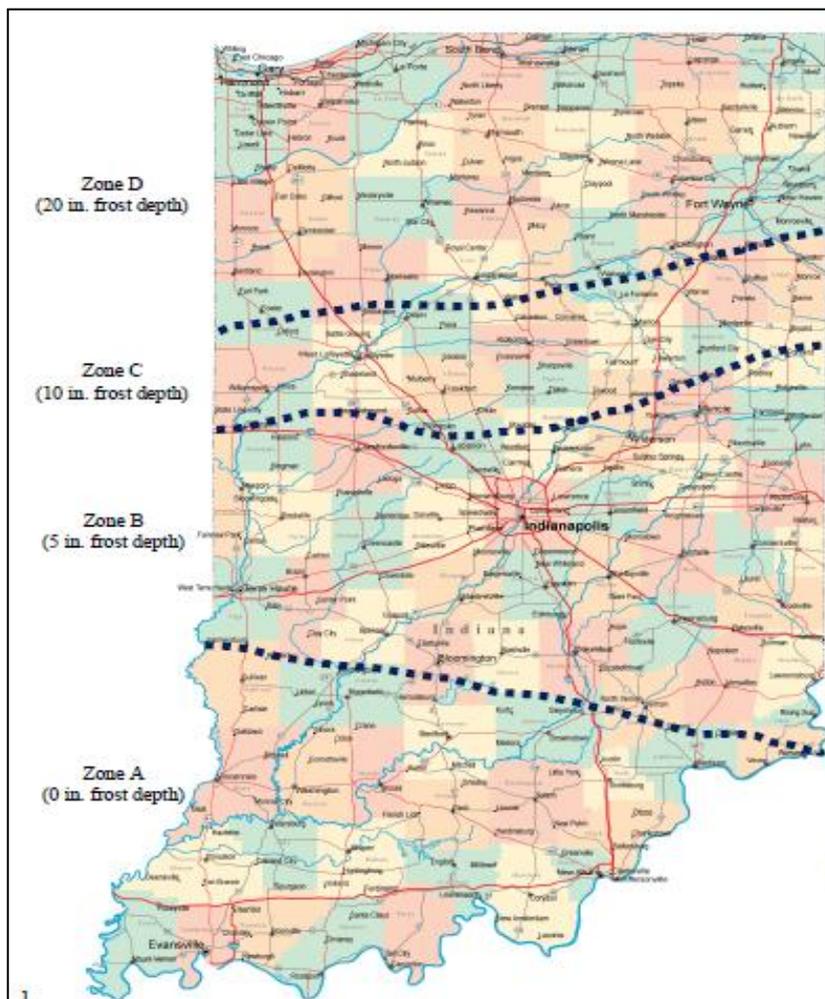


Figura N°9: Clasificación territorial según las heladas

Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

Los autores consideran una clasificación de tráfico entre 1 – 10,000 veh/día mucho mayor a lo que se considera en el Perú en caminos no pavimentados. Sin embargo, su clasificación de tráfico tiene tres rangos similares a nuestro país. Indiana clasifica el volumen de tráfico en 3 grupos: menores a 70 veh/día, entre 70 - 200 veh/día y entre 201 - 10 000 veh/día como se muestra en la Figura N°10.

La investigación analizará el diseño del método para un tráfico menor a 400 veh/día para caminos no pavimentados. Por lo cual revisaremos el catálogo que propone Indiana para un territorio ubicada en zona A, sin helada, tráfico menor a 70 veh/día y entre 70 - 200 veh/día.

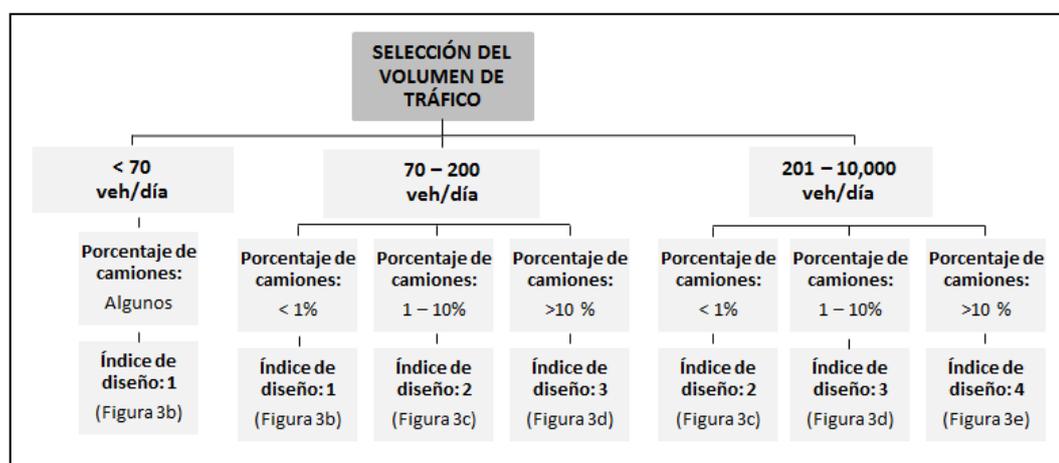


Figura N°10: Selección de volumen de tráfico

Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

Indiana considera en su clasificación de volumen de tráfico la cantidad de porcentaje de camiones y el índice de diseño, similar al método USACE. Por lo cual tiene un índice de diseño de 1, 2 y 3 con porcentaje de camiones de 1%, 1-10% y mayores a 10% respectivamente como se muestra en la Tabla N°3.

Tabla N°3: Clasificación territorial según el índice de diseño

INDICE DE DISEÑO INDIANA			
Indice de diseño	Porcentaje de Camiones		
Volumen de trafico	1%	1-10%	>10%
<70	1	1	1
70-200	1	2	3
201-1000	2	3	4

Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

A partir de estos datos Indiana crea 4 propuestas del tipo de pavimento a utilizarse según las características territoriales y el tráfico vehicular que se encuentran adjuntos en el Anexo N°3, Anexo N°4, Anexo N°5 y Anexo N°6. Esta propuesta considera una capa de agregado de 4 pulgadas como mínimo tal como lo establece el método USACE.

Sin embargo, mientras menor sea el valor del CBR de la subrasante la capa de pavimento estará compuesta por 3 capas: 4 pulgadas de superficie de rodadura, 5 pulgadas de subbase y 7 pulgadas de suelo compactado como se muestra en la Figura N°11.

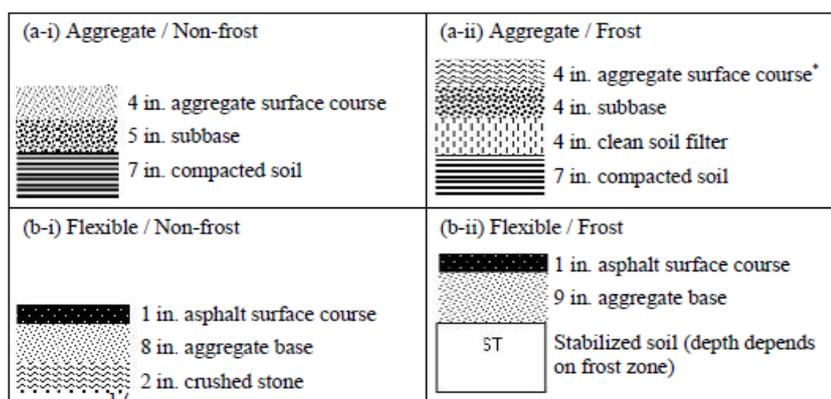


Figura N°11: Diseños típicos de agregados (a) y flexibles (b)

Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

Indiana propone cuatro propuestas de soluciones donde los autores colocan como primera capa material de terreno natural con espesor mínimo de 7" compactada a un 95%; seguidamente de una capa de subbase de 5" en zonas no heladas y 4" en zonas de helada y una capa de superficie de rodadura con un espesor mínimo de 4". De esta manera el único espesor que podrá variar en diseño de espesores es la subbase y esto

será directamente proporcional con el porcentaje de camiones, de manera resumida podemos proponer como posible diseño de agregados la Figura N°12.

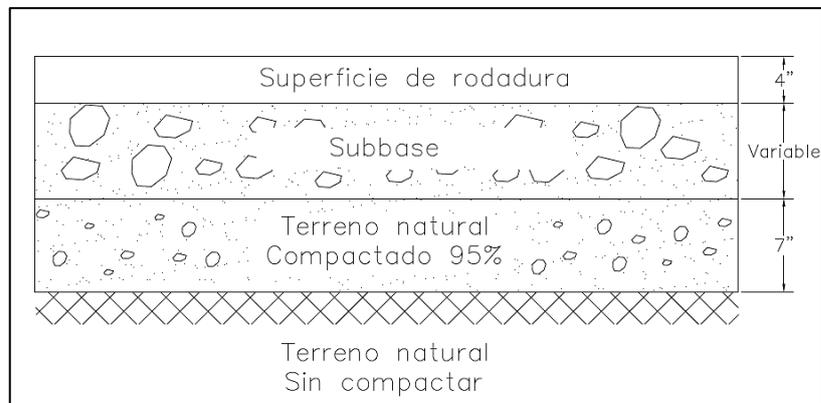


Figura N°12: Diseño típico según Indiana

Fuente: Elaboración propia (2018)

Doré, Bilodeau & Le Vern (2016) para los autores el diseño de caminos no pavimentados representa un problema técnico y ambiental; por lo que los espesores de las capas granulares no deben ser ni demasiado altos porque genera desperdicio de material ni demasiado bajos porque genera degradación y daños.

Los diseños de caminos no pavimentados se basan principalmente en las lecciones de la experiencia o en métodos de diseño empírico, ya que estos caminos generalmente están sujetos a poco tráfico (menos de 400 veh/día) como parte del enfoque mecanicista-empírico de los autores, el objetivo del documento es desarrollar un criterio de diseño para caminos no pavimentados donde se desarrolla los cálculos de determinación de los esfuerzos, la deformación y la integración de los métodos prácticos de diseño en caminos no pavimentados.

Los autores definen 3 estados de ahuellamiento:

**Modo 0:** Post-compactación de los materiales en el pavimento

**Modo 1:** Ahuellamiento en la rueda (superficial del pavimento)

**Modo 2:** Deformación del pavimento desde la subrasante (estructural)

Se observa en la Figura N°13 los estados de ahuellamiento según Doré, Bilodeau y Le Vern.

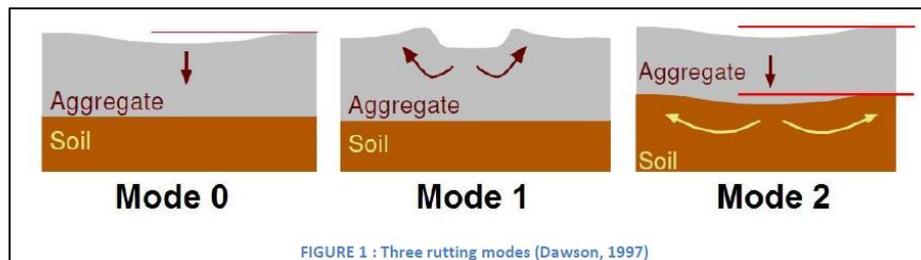


Figura N°13: Modos de ahuellamiento

Fuente: Doré, Bilodeau & Le Vern (2016)

Los autores establecen que el Modo 1 no es necesariamente un problema para las carreteras sin pavimentar, ya que se puede controlar mediante un mantenimiento regular con un clasificador. El Modo 2 plantea problemas porque ocurre a profundidades significativas, principalmente en la parte superior del suelo de la subrasante. Cuando su deformación es demasiado excesiva, impone reparaciones profundas y costosas, especialmente si es necesario excavar y/o reconstruir la carretera.

Sin embargo, los daños son menos estrictos para carreteras sin pavimentar, cuyos métodos de diseño actuales sugieren ahuellamientos más profundos (25 mm, 50 mm, 75 mm, incluso 100 mm o más). Una profundidad de ahuellamiento estructural de 25 mm causará una retención de agua entre 0 y 2.5 milímetros mientras que una profundidad de ahuellamiento estructural de 50 mm causará una retención de agua entre 20 y 27 milímetros. Por lo tanto, teniendo en cuenta el problema de retención de agua, una profundidad de rodadura permisible de 50 mm parece tener criterio de diseño de caminos no pavimentados, este criterio también ha sido retenido por el método de diseño AASHTO y el método de diseño de Giroud y Han.

Por otro lado, los autores desarrollan un modelo de cálculo para obtener tensiones y deformaciones en una estructura de carretera sin pavimentar sujeta a fuertes efectos de tráfico. Este modelo de cálculo se basa en las ecuaciones de Boussinesq aplicadas a sistemas elásticos correspondientes a capas de carreteras. Para lo cual, se construyeron cuatro muestras de suelos diferentes: arcilla limosa, arena limosa, arcilla y arena. La primera prueba de deformación permanente a través del modelo de cálculo se experimenta en un suelo de arena limosa como se muestra en la Figura N°14.

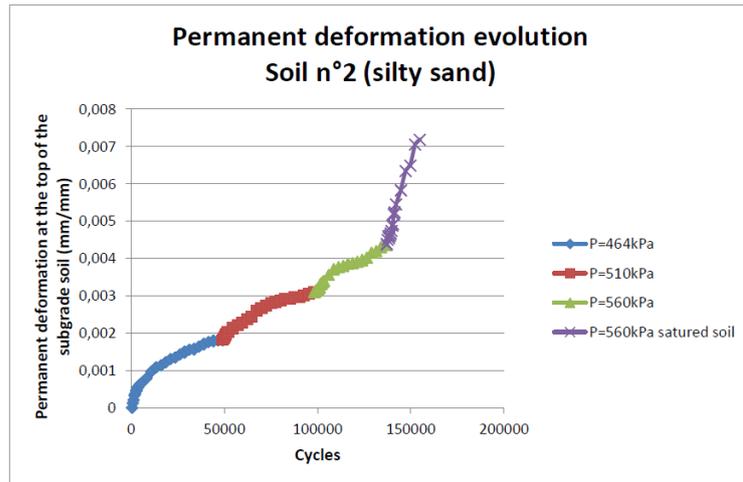


FIGURE 5 : Permanent deformation evolution. Soil n°2 (silty sand)

Figura N°14: Deformación permanente para suelo de arena limosa

Fuente: Doré, Bilodeau & Le Vern (2016)

Donde "P" es la presión de contacto entre la rueda y el pavimento. La deformación permanente se da en la parte superior de la subrasante y los ciclos se dan en cantidad de pasadas de vehículos. Podemos observar que, a mayor presión de contacto entre la rueda y el pavimento, generará mayor deformación permanente.

Asimismo, los autores realizan una comparación entre los 4 tipos de suelos en base a diferentes tipos de presiones ejercidas entre la rueda y el pavimento teniendo como resultado la Figura N°15.

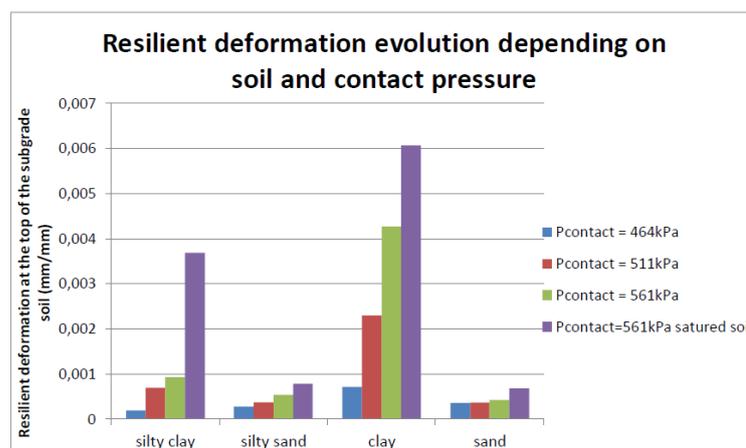


Figura N°15: Deformación del contacto del suelo y presión de llanta

Fuente: Doré, Bilodeau & Le Vern (2016)

Podemos observar que, al generar presión de contacto entre la rueda y el pavimento de un suelo limosa de arcilla y arcilla, generará mayor deformación permanente que un suelo compuesto de arena limosa y arena. Por otro lado, los autores analizan el ahuellamiento superficial en un suelo de arena limosa durante la primera etapa de esfuerzo. Adicional a los cálculos los autores realizan una extrapolación de los últimos ocho puntos del gráfico para obtener un modelo matemático que describe el desarrollo de ahuellamiento y permita predecir su evolución más allá de 50 000 pasadas como se observa en la Figura N°16. (p.5-10)

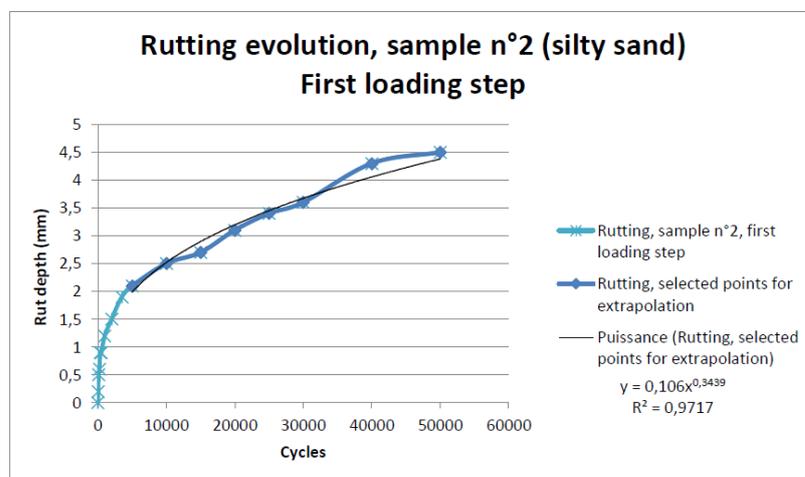


Figura N°16: Evolución del ahuellamiento para suelo de arena limosa

Fuente: Doré, Bilodeau & Le Vern (2016)

Finalmente, la Figura N°16 de los autores Guy Doré, Jean Pascal Bilodeau & Mickael Le Vern es validada en Lima metropolitana mediante tramos experimentales realizadas en la investigación “Mortero Asfáltico o Slurry Seal como Tratamiento Superficial para Pavimentos de Afirmado” donde los cálculos del ahuellamiento teórico esperado en pavimentos con superficie de grava se realizan mediante la fórmula del método USACE las mismas que se muestran en la Figura N°17 y Figura N°18.

De los datos obtenidos se puede concluir que el ahuellamiento teórico fue mayor al ahuellamiento experimental para suelos de arenas SW-SM y SM, donde la interpolación de datos del ahuellamiento mediante el número de pasadas tiene un mismo comportamiento ante suelos canadienses que establece la Figura N°16.

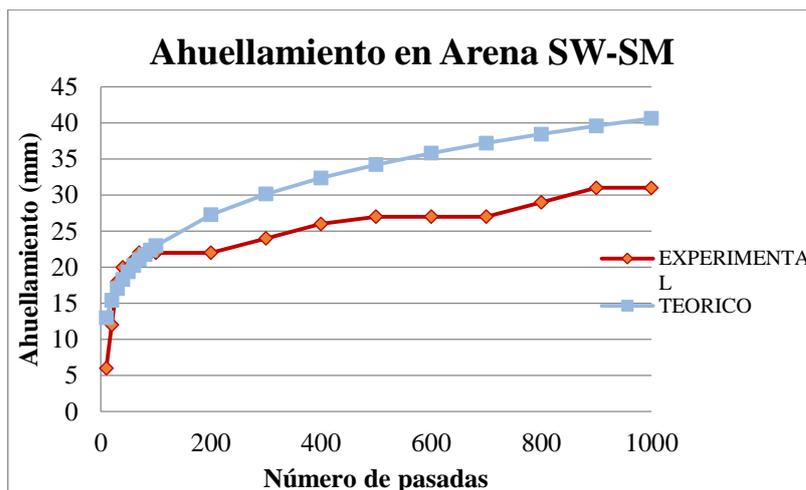


Figura N°17: Ahuellamiento teórico vs experimental SW-SM

Fuente: Quintana (2018)

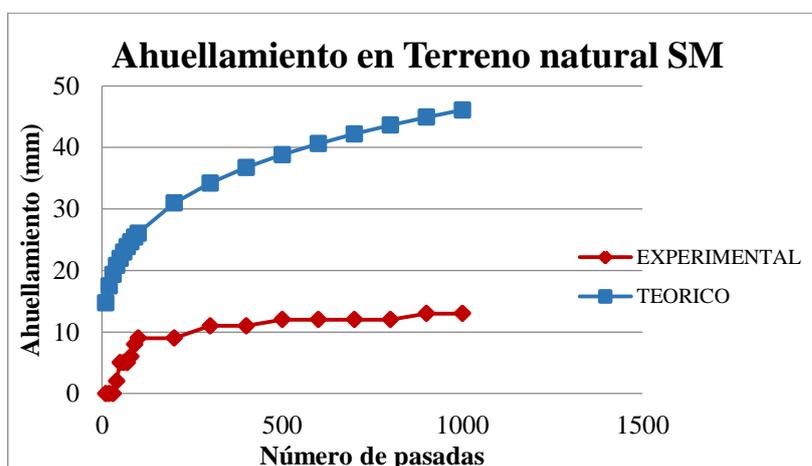


Figura N°18: Ahuellamiento teórico vs experimental SM

Fuente: Quintana (2018)

Los autores Doré, Pascal & Le Vern concluyen:

La curva de arcilla limosa - arena limosa desarrollada en el “Diseño mecánico-empírico de caminos no pavimentados” es similar en tendencia a las curvas de Shell (1978) y Sahoo (2009). Para una gran cantidad de ciclos, esta curva también coincide con las propuestas por Gupta (2014) y TRRL (1987), pero está lejos de las propuestas por Austroads (2004) y Theyse (1996) como se muestra en la Figura N°19.

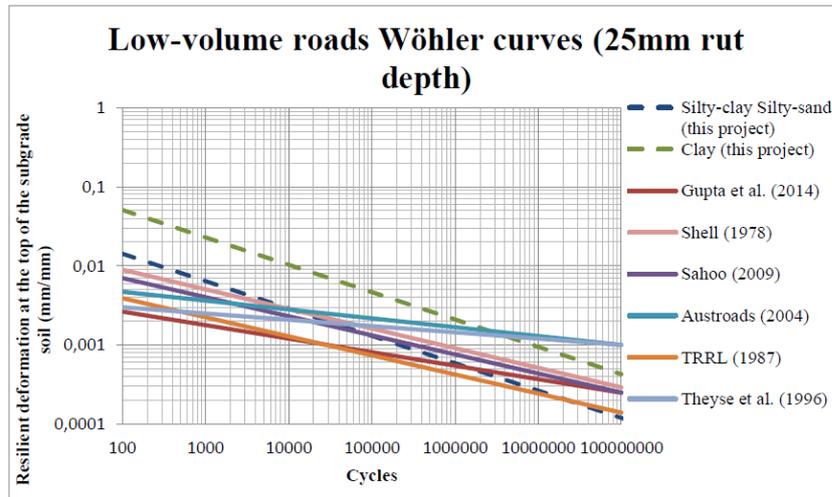


Figura N°19: Curvas de Wöhler para carreteras de bajo volumen

Fuente: Doré, Bilodeau & Le Vern (2016)

Los autores establecen que el método mecanicista-empírico propuesto en el artículo proporciona una vida útil más larga. Esto se refleja en los resultados de espesores más delgados. El método empírico-mecanístico proporciona espesores con un 25% más bajos que el método AASHTO. Esta observación es consistente en el sentido de que el método empírico-mecanístico tiene en cuenta el ahuellamiento en la subrasante, mientras que el método AASHTO tiene en cuenta el ahuellamiento superficial. Estas observaciones sugieren que el método AASHTO daría lugar a un exceso de diseño, sobre la base del asentamiento estructural que se produce en la parte superior de la subrasante. (p.10)

## 2.2. Soporte teórico de la Investigación

### 2.2.1. Tipos de pavimentos

Según la página web del Sistema Nacional de Carreteras – SINAC (2012) el territorio peruano se divide en tres redes viales: Nacional, departamental y vecinal. Donde cada uno de ellas se encuentran bajo la dirección del MTC provias nacional, gobierno regional y gobiernos locales respectivamente.

García (1997) refiere en su artículo “Principios básicos del diseño de pavimentos” que las construcciones de las redes viales se encuentran históricamente clasificadas en

carreteras pavimentadas y no pavimentadas, diferenciadas básicamente por la durabilidad del tipo de superficie de rodadura en el clima y tráfico como se muestra en la Figura N°20.

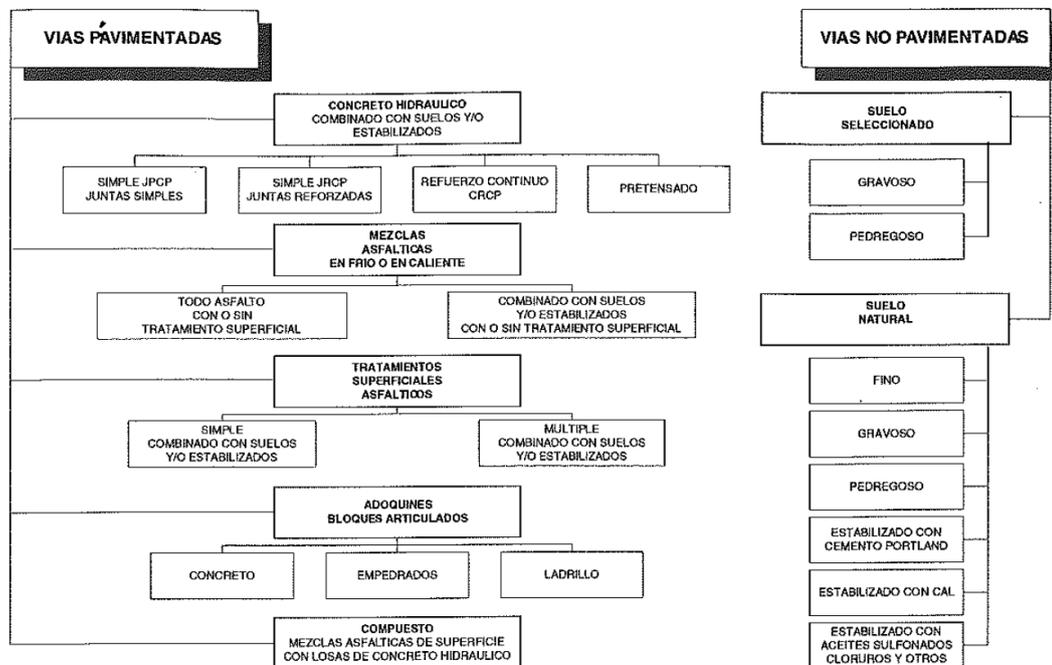


Figura N°20: Tipos de pavimentos según el tipo de superficie de rodadura

Fuente: García (1998)

Para el autor es de interés la clasificación de las vías no pavimentadas seleccionadas en suelos peruanos. Para lo cual divide a los caminos no pavimentados en suelos seleccionados y suelos naturales, que a su vez los suelos seleccionados se subclasifican en suelos gravosos y pedregosos; mientras que, los suelos naturales se subclasifican en suelos finos, gravosos, pedregosos, estabilizados con cemento portland, estabilizados con cal y estabilizados con aceites sulfonados cloruros.

Con el fin de potenciar los proyectos y desarrollar la infraestructura pública de las redes viales, el Informe Multianual de Inversiones en Asociaciones Público Privadas de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017) declara que el porcentaje de Carreteras no pavimentadas es el 85% aproximadamente de la red vial total como se muestra en la Tabla N°4.

Tabla N°4: Longitud de la Red Vial

SUPERFICIE DE RODADURA	SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS			TOTAL
	Nacional	Departamental	Vecinal	
<b>RED VIAL EXISTENTE</b>	<b>26,683.30</b>	<b>24,392.30</b>	<b>114,616.70</b>	<b>165,619.20</b>
<b>Pavimentada</b>	<b>19,682.40</b>	<b>3,672.90</b>	<b>1,898.30</b>	<b>25,253.60</b>
<b>No pavimentada</b>	<b>7,000.90</b>	<b>20,719.40</b>	<b>112,718.40</b>	<b>140,438.80</b>

Fuente: Informe Multianual de Inversiones en Asociaciones Público Privadas (2017)

Por lo cual en esta investigación se desarrollará el diseño de afirmados en caminos no pavimentados de Lima provincias para lo cual es necesario conocer las diferentes clasificaciones de caminos no pavimentados a partir de la FiguraN°21, FiguraN°22, FiguraN°23, FiguraN°24, FiguraN°25 y FiguraN°26.



Figura N°21: Suelo natural, gravoso, Rímac

Fuente: Elaboración propia (2017)



Figura N°22: Suelo natural, gravoso, Santiago de Tuna

Fuente: Elaboración propia (2017)



Figura N°23: Suelo seleccionado, gravoso, Canta

Fuente: Elaboración propia (2017)



Figura N°24: Suelo natural, fino, Ingenio

Fuente: Elaboración propia (2018)



Figura N°25: Suelo natural, pedregoso, Yauyos

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2015)



Figura N°26: Suelo natural, fino, Huamantanga

Fuente: Elaboración propia (2017)

### **2.2.2. Métodos de diseño**

El proceso de un método de diseño surge de la necesidad de aplicar determinados procedimientos para la toma de decisiones, algunos asimilados de situaciones anteriores, otros nuevos, pero en cualquier caso partiendo siempre de situaciones de información incompleta. Estos procesos de diseño se dan a través de un descubrimiento gradual.

Chirinos (2015) establece que el método de diseño en pavimentos a lo largo del tiempo siempre ha sido dinámico. Por lo cual, hoy en día existen muchos métodos de diseño que varían sensiblemente por diferentes variables que forman parte del comportamiento estructural del pavimento. La historia se remonta en tres tiempos:

Un primer periodo desarrollado antes de la Segunda Guerra mundial en la cual las características de un diseño solo se basaban en el estudio de suelos y el estudio de tráfico. Formando parte de este grupo el método de Massachusetts propuesto en 1901, el método de CBR propuesto en 1929 por los Ingenieros T. E Stanton y O.J. Porter del Departamento de Carreteras del Estado de California y el método Hveem

propuesto en 1948 por los ingenieros F. N. Hveem y R. M. Carmany del Departamento de Carreteras de California (EE. UU).

Hubo un segundo periodo de la evolución del diseño se desarrolla entre los años 1945 y 1993 en la cual se considera como una de las características adicionales el ensayo de tramos experimentales tal y como se observa en la Figura N°27. En esta etapa los “Ensayos de Carreteras” tuvieron gran relevancia y se realizaban modelos a escala natural, los cuales han servido como fundamentos de los métodos de diseño en la actualidad. Entre los ensayos de carreteras más conocidos están: carretera experimental de Maryland (USA), carretera experimental WASHO (USA), carretera experimental LARR (ALEMANIA) y el experimento vial AASHO (USA). Teniendo como principal representante a AASHO Road Test propuesto en 1956 con el circuito de tramos experimentales en el Estado de Illinois.



Figura N°27: Ubicación del experimento vial AASHO

Fuente: Guías de diseño AASHTO (1972)

El experimento vial AASHO (USA) tuvo una construcción de seis circuitos destinados a investigar diferentes variables. El primer circuito analizó la interacción del clima y las cargas estáticas con los circuitos; el segundo circuito analizó las cargas livianas, y el resto de circuitos fueron sometidos a diversas cargas pesadas. Estas secciones de pruebas fueron típicas en diseño tal y como se encuentran en la Figura N°28.

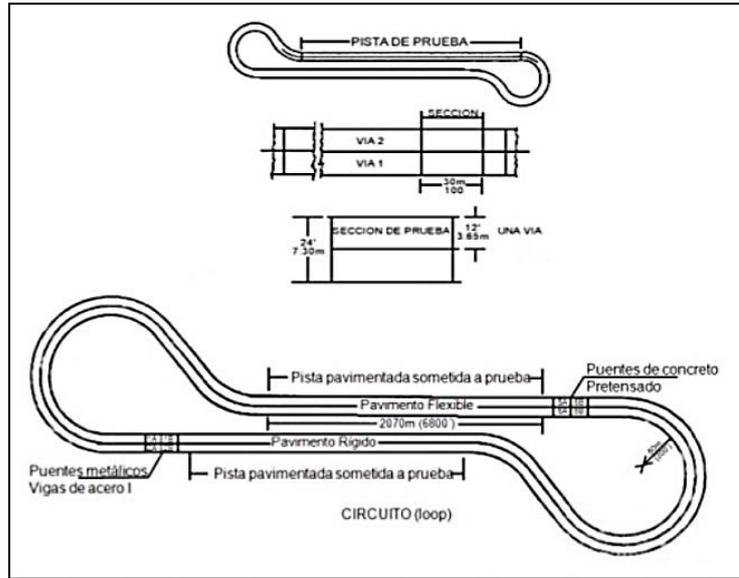


Figura N°28: Características de las secciones de pruebas

Fuente: Guías de diseño AASHTO (1972)

El principal objetivo de las pruebas viales de AASHTO fue precisar cómo se relaciona el número de repeticiones de cargas por eje de distintas magnitudes y el comportamiento de diferentes capas de pavimentos flexibles y rígidos elaborado sobre un mismo tipo de suelo, pero sobre subbases y bases de diversos suelos y espesores.

Finalmente, se remonta un último y tercer periodo de la evolución del diseño a partir de los años 1993 hasta el presente cuando se introducen nuevos parámetros de materiales y elementos estadísticos de confiabilidad para el diseño del método AASHTO. (p.2-8)

Cada uno de estos métodos a lo largo de la historia fueron mejorando y otros partieron de situaciones similares; sin embargo, la metodología para diseñar un pavimento fue a partir de procedimientos diferentes. Algunas de ellas inician a partir de un método empírico, luego son analizadas desde un método mecánicos y en otros casos realizan un análisis de ambos métodos, empírico-mecanicista.

### **2.2.2.1. Método empírico**

Los métodos empíricos proporcionan un diseño de pavimento cuyo comportamiento ha sido contrastado experimentalmente, por cada combinación posible de variables. Este método brinda soluciones que han sido obtenidos por acumulación de experiencias sobre el comportamiento normal de los pavimentos en tráfico reales, tramos con tráfico especial y pistas de ensayos.

Céspedes (1997) refiere que:

El uso de métodos empíricos sin considerar ensayos de resistencia, se remonta a los años en la que aparece el sistema de clasificación de suelos desarrollado por Public Road (PR) en Estados Unidos de Norteamérica (1922); sin embargo, este método fue posteriormente modificado por Highway Research Board (HRB) en el año 1945, donde los suelos se clasificaban en A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 y el concepto del Índice de Grupo de los suelos era incluido para el diseño del espesor del pavimento.

Paralelamente California Highway Department en 1929 empieza a emplear el método empírico sobre la resistencia de los suelos, donde los espesores de pavimentos se empiezan a relacionar con el CBR de los suelos. Tiempo después el método Public Road (PR) de Estados Unidos de Norteamérica (1922) es estudiado profundamente por el U.S Army Corps of Engineers (USACE) en la Segunda Guerra Mundial como se muestra en la Figura N°29 y Figura N°30. La ventaja de los métodos empíricos radica en que puede aplicarse solamente a ciertas condiciones ambientales, de materiales y condiciones de carga. Si dichas condiciones cambian, el diseño no es válido y un nuevo método debe ser desarrollado a través de pruebas y errores para considerar las nuevas condiciones. Sin embargo, U.S Army Corps of Engineers (USACE) supera esta limitación adecuándose a suelos con CBR que se encuentran al alcance del lugar de la obra, motivo por el cual es utilizado por diferentes países a nivel mundial. (p.113-114)



Figura N°29: Misiones realizadas por ingenieros durante la Guerra de Corea

Fuente: U.S Army Corps of Engineers (1952)



Figura N°30: Ingeniero rociando el polvo en la nueva carretera durante la Guerra de Corea

Fuente: U.S Army Corps of Engineers (1952)

#### 2.2.2.2. Método Mecanicista

Garnica & Correa (2004) establecen que:

Las metodologías mecanicistas tienen un enfoque puramente científico, con un marco teórico que permite el análisis completo del comportamiento de un pavimento ante las variables del clima y tránsito vehicular. A diferencia del método empírico, esta metodología facilita la predicción de los deterioros y, por ende, aumenta la confiabilidad de los diseños que utilizan este tipo de método.

Las componentes de entrada al proceso del método mecanicista parten de las variables del pavimento siendo el diseño inicial la estimación de los valores de entradas. Una vez definido las variables de entradas se procede al cálculo de las respuestas estructurales del pavimento. Que consisten en conocer los esfuerzos ( $\sigma$ ), deformaciones unitarias ( $\epsilon$ ) y deflexiones ( $\delta$ ). El cálculo se realiza básicamente considerando al pavimento como un medio multicapas en donde el comportamiento de los materiales se basa en la teoría de la elasticidad. A partir de la cual, se calcula el nivel de daño esperado en el período de diseño para los diferentes tipos de deterioros que se pudieran presentar. Una vez calculados los niveles de deterioro en el diseño se comparan los valores máximos permitidos. (p.6-8)

Este proceso iterativo se termina hasta lograr el cumplimiento del diseño del espesor como se muestra en la Figura N°31.

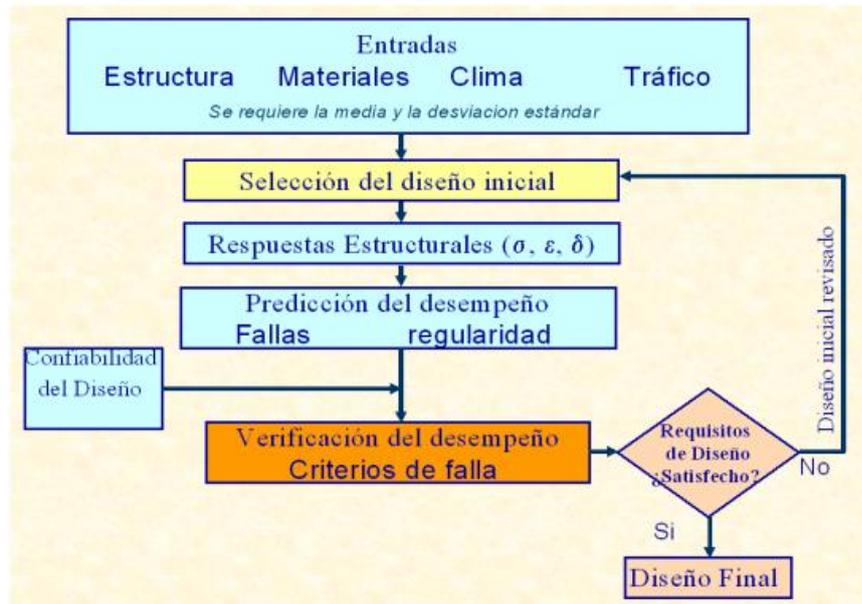


Figura N°31: Componentes claves de la metodología mecanicista

Fuente: Garnica y Correa (2004)

### 2.2.2.3. Método empírico-mecanicista

García (1997) afirma que:

Los métodos empíricos-mecanísticos de diseño de pavimentos están basados en el mecanismo que relaciona las condiciones aplicadas del pavimento con la respuesta de la subrasante, es decir los esfuerzos y deformaciones unitarias. Los valores de respuesta del sistema son usados para predecir daños en el pavimento basados en datos de prueba de laboratorio y del comportamiento del pavimento en el campo.

En 1953, los ingenieros Kerkoven y Dormon sugirieron por primera vez el uso de la deformación unitaria por compresión en la superficie de la subrasante como criterio de falla para reducir la deformación permanente del pavimento. En 1960, Pell y Seal recomendaron el uso de la deformación unitaria horizontal por tracción en el fondo de la capa asfáltica para minimizar las fisuras de fatiga.

El uso de la deformación unitaria para controlar la deformación permanente del pavimento está basado en el hecho que las deformaciones unitarias plásticas son proporcionales a las deformaciones unitarias elásticas en materiales de pavimentos. Desde ese punto el Instituto del Asfalto (1981) y Shell International Petroleum (1977) utilizan el concepto de limitar las deformaciones unitarias en la subrasante

para que la deformación unitaria de las demás capas sobre la subrasante esté controlada, asimismo la magnitud de deformación permanente en la superficie de pavimento. (p.37)

A lo largo del tiempo el Perú aplicó diferentes métodos de diseño de vías no pavimentadas que han aplicado métodos empíricos, mecánicos y empírico-mecánico como: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Australian Road Research Board (ARRB), U.S Army Corps of Engineers (USACE) y Portland cement association (PCA) como se puede muestra en la Figura N°32.

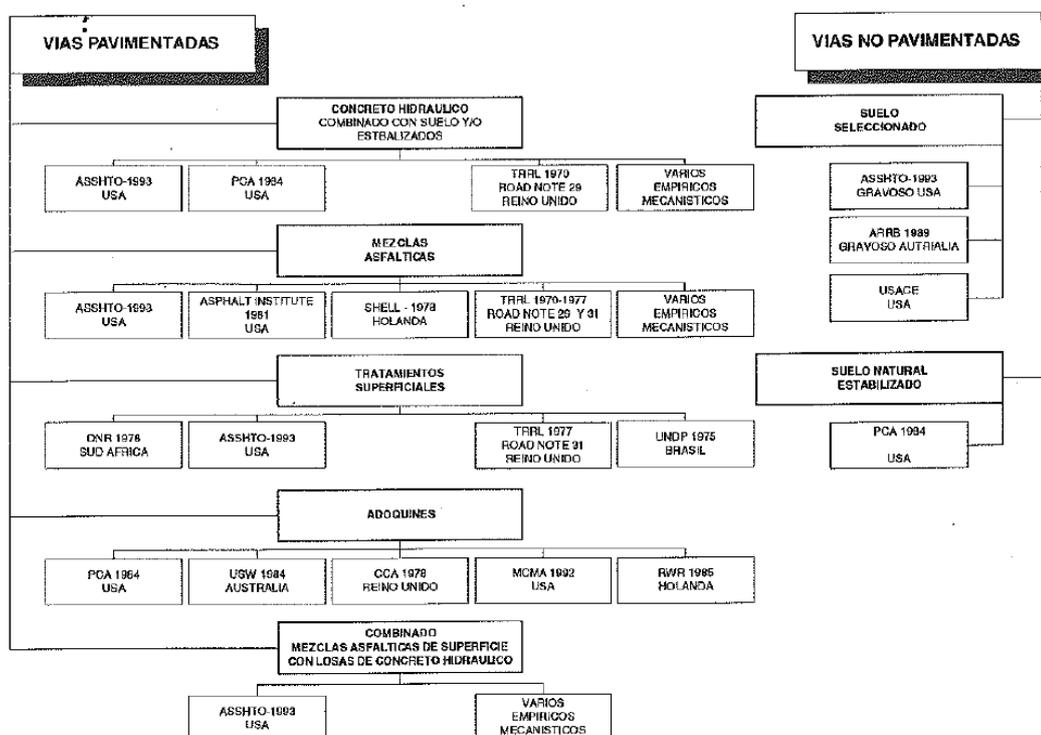


Figura N°32: Métodos de diseño estructural de pavimentos

Fuente: Héctor García (1997)

### 2.2.3. Normas Peruanas

En la actualidad el Ministerio de Transportes y Comunicaciones considera en el manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos el diseño de afirmados y se complementa con los manuales de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018,

Especificaciones técnicas para carreteras EG-2014 y el Documento Técnico de Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas.

### **2.2.3.1. Manual de diseño geométrico DG-2018**

El manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (2018), aprobado mediante la resolución directoral N°03-2018 establece en el Capítulo I clasificación de las carreteras, sección 101 clasificación por demanda. Se consideran las carreteras de tercera clase aquellas que tienen un IMDA < 400 veh/día y por lo tanto la superficie de rodadura o estructura de pavimento pueden ser:

- Afirmados
- Soluciones básicas o económicas, tales como estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos
- Pavimentadas, en cuyo caso deben cumplir las condiciones geométricas de segunda clase.

Asimismo, considera a las Trochas carrozables, aquellas que no cumplen con las características geométricas de una carretera y cuyo IMDA < 200 veh/día donde la superficie de rodadura puede ser:

- Afirmada
- Sin Afirmar

### **2.2.3.2. Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos**

El manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos (2014), aprobado mediante resolución Directoral N°10-2014 – MTC el 09 de abril 2014 establece en el Capítulo XI de Afirmados, la clasificación de carreteras no pavimentadas.

Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de diez años; estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue:

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.
- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 milímetros.
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
- d) Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:
  - d.1 Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.
  - d.2 Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geosintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo. (p.137)

En la presente investigación estudiaremos las distintas metodologías para el diseño de carreteras afirmadas en caminos no pavimentados; sin embargo, es necesario conocer los diferentes tipos de carreteras no pavimentadas que establece el manual, las mismas que se muestran en la Figura N°33, Figura N°34, Figura N°35, Figura N°36 y Figura N°37 presentadas en la investigación.



Figura N°33: Carretera de tierra, Occobamba

Fuente: Imagen propia (2017)



Figura N°34: Carretera de tierra, Ingenio

Fuente: Elaboración propia (2018)



Figura N°35: Carretera afirmada, Obrajillo

Fuente: Elaboración propia (2017)



Figura N°36: Carretera afirmada, Canta

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2017)



Figura N°37: Carretera de gravas, Oyón

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2015)

El manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) establece:

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptará cualquier método de diseño que satisfaga los requerimientos del proyecto. Para el dimensionamiento de los espesores de afirmado mostrado en el presente manual, se adoptó como método la siguiente ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS). (p.119)

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Dónde:

**e** : Espesor de la capa de afirmado en milímetros.

**CBR** : Valor del CBR de la subrasante.

**Nrep** : Número de repeticiones de EE.

El manual considera como características para el diseño de afirmados las siguientes variables:

1. CBR de la subrasante
2. Trafico de  $1 \times 10^4$  hasta  $3 \times 10^5$  ejes equivalentes
3. Periodo de diseño 10 años
4. Espesor mínimo 150 mm

Estas características se observan en la Tabla N°5 de Resumen de espesores de afirmado y en la Figura N°38 Espesor de capa de revestimiento granular.

Tabla N°5: Resumen de espesores de afirmado



**Cuadro 11.1**  
**Resumem**

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

(\*) Subrasante con CBR <6%, serán materia de estabilización o mejoramiento de subrasante, según los criterios expuestos en el Capítulo 9 Estabilización de Suelos

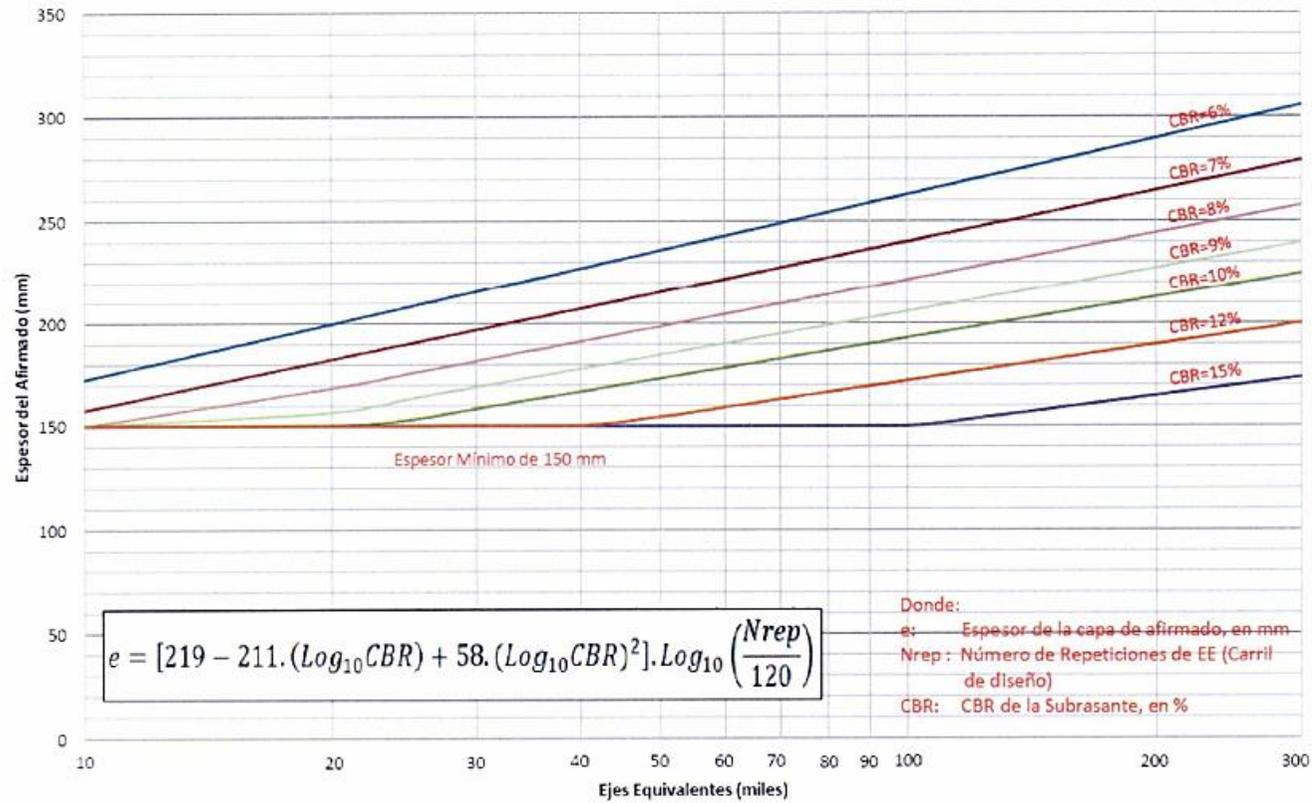
Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014)



**Figura 11.1**  
**ESPESOR DE CAPA DE REVESTIMIENTO GRANULAR**



Fuente : Elaboración propia en base al Método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS)

Figura N38: Espeador de Capa de revestimiento granular

Fuente: Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

El manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) establece:

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica necesaria en la carretera de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo, necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, necesariamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Existen pocos depósitos naturales de material que tiene una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. En general, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias. Las características que deberá de cumplir el material de afirmado será la que se describe en el presente Manual. No obstante, es importante indicar que todos los materiales para afirmados no son los mismos, en tal sentido, la calidad del material debe determinarse mediante ensayos.

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que se recomiendan en la Tabla N°6 referidas a AASHTO M 147 y la Tabla N°7 referidas a The Federal Highway Administration (FHWA). (p.123).

Tabla N°6: Gradación del material de afirmado según AASHTO M 147

**Gradación del Material de Afirmado**

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D	GRADACIÓN E	GRADACIÓN F
50 mm ( 2" )				
37.5 mm ( 1½" )				
25 mm ( 1" )	100	100	100	100
19 mm (¾" )				
12.5 mm ( ½" )				
9.5 mm ( 3/8" )	50 - 85	60 - 100		
4.75 mm ( N° 4 )	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36 mm ( N° 8 )				
2.0 mm ( N° 10 )	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um ( N° 40 )	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um ( N° 200 )	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>
<b>Límite Líquido</b>	<b>Máx. 35%</b>	<b>Máx. 35%</b>	<b>Máx. 35%</b>	<b>Máx. 35%</b>
<b>Desgaste Los Ángeles</b>	<b>Máx. 50%</b>	<b>Máx. 50%</b>	<b>Máx. 50%</b>	<b>Máx. 50%</b>
<b>CBR</b> [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)]	<b>Mín. 40%</b>	<b>Mín. 40%</b>	<b>Mín. 40%</b>	<b>Mín. 40%</b>

Fuente: AASHTO M 147



Fuente: Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

Tabla N°7: Gradación del material de afirmado según FHWA

**Gradación del Material de Afirmado**

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	FHWA - FP 03	FHWA - SD LTAP
50 mm ( 2" )		
37.5 mm ( 1½" )		
25 mm ( 1" )	100(1)	
19 mm ( ¾" )	97 - 100(1)	100
12.5 mm ( ½" )		
9.5 mm ( 3/8" )		
4.75 mm ( N° 4 )	41 - 71 (7)	50 - 78
2.36 mm ( N° 8 )		37 - 67
2.0 mm ( N° 10 )		
4.25 um (N° 40 )	12 - 28 (5)	13 - 35
75 um (N° 200 )	9 -16 (4)	4 - 15
<b>Índice de Plasticidad</b>	8 (4)	4 - 12
<b>Límite Líquido</b>	Máx. 35%	Máx. 35%
<b>Desgaste Los Ángeles</b>	Máx. 50%	Máx. 50%
<b>CBR [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)] (*)</b>	Min. 40%	Min. 40%
Nota: (1) = Procedimiento estadístico no aplica ( ) = desviación admisible ( ± ) del valor indicado		

Fuente: Federal Highway Administration - FHWA

(\*) Si el CBR del material es menor al mínimo recomendado se efectuará un estudio específico para mejorar las propiedades del material

Fuente: Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

**2.2.3.3. Documento Técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas**

El Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas (2015), aprobado mediante resolución Directoral N°003-2015 – MTC el 06 de febrero 2015, documento adjuntado en el Anexo N°7. Las soluciones básicas tienen como objetivos:

- a. Mejorar la vida útil y el nivel de servicio de las superficies de rodadura.
- b. Demandar menor frecuencia de mantenimiento periódico.
- c. Permitir el tránsito vehicular en cualquier época del año.

Además, el mejoramiento de la vida útil incrementará en:

- a. 5 años (afirmado).
- b. 10 años (solución básica).

El documento establece como soluciones básicas la colocación de un estabilizador o recubrimiento bituminoso encima de la capa de rodadura. Es decir, el afirmado puede estar conformado por un estabilizador o un recubrimiento bituminoso. Por otro lado, el documento técnico de soluciones básicas en carreteras no pavimentadas establece textualmente:

1. El diseño del espesor de la capa de rodadura será calculado para un periodo de diseño de 10 años.
2. Para ejes equivalentes inferiores o iguales a  $10^6$  se empleará los métodos USACE y NAASRA.
3. Para ejes equivalentes superiores a  $10^6$  se empleará el método AASHTO 1993.

A partir de estas premisas la presente investigación analizará los métodos USACE, NAASRA y AASHTO 1993 para el diseño de afirmados siguiendo sus parámetros originales.

#### **2.2.3.4. Manual de Especificaciones Técnicas**

El manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013) establece:

Los trabajos de construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado) como superficie de rodadura de una carretera, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de canteras u otras fuentes.

Para la construcción de afirmados, con o sin estabilizadores, se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, establecidas en el Expediente Técnico y aprobadas por el Supervisor; así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias.

Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Para el traslado del material de afirmado al lugar de obra, deberá humedecerse y cubrirse con lona para evitar emisiones de material particulado, que pudiera afectar a los trabajadores y poblaciones aledañas.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la Tabla N°8. (p.237-238)

Tabla N°8: Banda Granulométrica de afirmados

**Tabla 301-01**

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
50 mm (2")	100	—				
37,5 mm (1½")	100	—				
25 mm (1")	90-100	100	100	100	100	100
19 mm (¾")	65-100	80-100				
9,5 mm (¾")	45-80	65-100	50-85	60-100		
4,75 mm (N.º 4)	30-65	50-85	35-65	50-85	55-100	70-100
2,0 mm (N.º 10)	22-52	33-67	25-50	40-70	40-100	55-100
425 µm (N.º 40)	15-35	20-45	15-30	25-45	20-50	30-70
75 µm (N.º 200)	5-20	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Fuente: AASHTO M-147

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1" (2,5 mm)

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

A continuación, se detallan los requisitos de calidad de la Tabla N°8:

a) Desgaste los Ángeles:

Según el MTC E 207 el método desgaste los Ángeles se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina los Ángeles con una carga abrasiva.

b) Límite líquido:

Para la determinación del límite líquido según el MTC E110 se utilizarán: recipiente para almacenaje, espátula, casa grande, acanalador, calibrador, recipientes, balanza y estufa, las mismas que fueron utilizadas en el curso de mecánica de suelos como se muestra en la Figura N°39 y Figura N°40.



Figura N°39: Copa de casa grande, Límite Líquido

Fuente: Elaboración propia (2014)



Figura N°40: Muestra para sacar porcentaje de humedad

Fuente: Elaboración propia (2014)

c) Índice de plasticidad:

Para la determinación del Índice de plasticidad según el MTC E111 se requiere el límite plástico la cual se tomará 15 g de la porción del suelo humedecida en el anterior ensayo del límite líquido para luego moldearlos de forma elipsoidal con los dedos en una

superficie lisa hasta tener un diámetro de 3.2 mm (1/8") las mismas que fueron realizadas en laboratorio de suelos de la universidad, como se muestra en la Figura N°41 y Figura N°42.



Figura N°41: Muestra para el límite plástico

Fuente: Elaboración propia (2014)

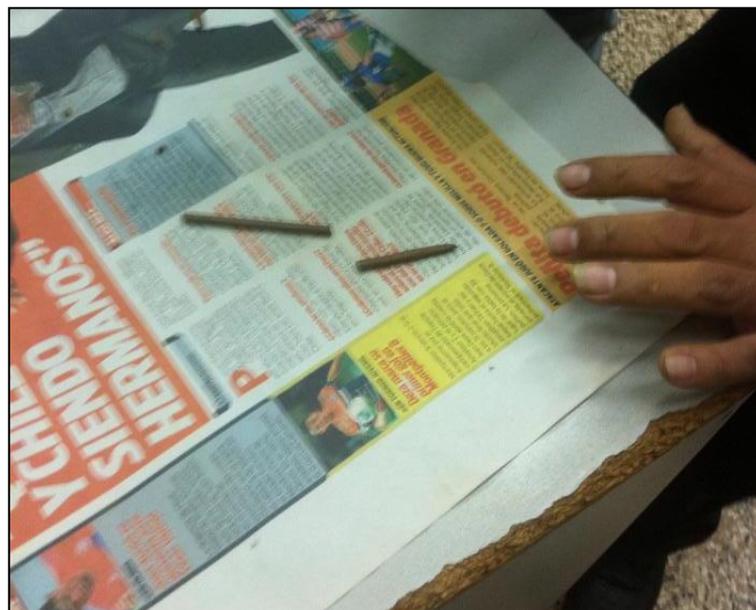


Figura N°42: Ensayo del límite plástico

Fuente: Elaboración propia (2014)

d) Ensayo CBR:

Para la determinación del CBR según el MTC E132 referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0,1" (2,5 mm) se deben elaborar especímenes. De tal manera que para suelos granulares, la prueba se efectuará dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con un contenido de agua óptimo. Para suelos cohesivos se efectuará dando 55, 26 y 12 golpes por cada capa, con diferentes humedades, ya que así se podrá obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte, como se observa en la Figura N°43, Figura N°44 y Figura N°45.



Figura N°43: Peso del espécimen

Fuente: Elaboración propia (2014)



Figura N°44: Peso del espécimen ya preparado

Fuente: Elaboración propia (2014)



Figura N°45: Equipo de compresión de soporte California CBR

Fuente: Elaboración propia (2014)

Todos los ensayos y frecuencias para obtener el material de afirmado deberán cumplir los siguientes estándares que se muestran en la Tabla N°9.

Tabla N°9: Ensayos y Frecuencias

*Tabla 301-02  
Ensayos y Frecuencias*

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m³	Cantera (2)
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m³	Cantera (2)
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m³	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m³	Cantera (2)
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m²	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m²	Pista

Notas:

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad o característica.

(2) Material preparado previo a su uso.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

Por otro lado, el manual presenta los requisitos de compactación, espesor y rugosidad que debe tener el afirmado una vez el trabajo de colocación haya sido terminado.

Las especificaciones técnicas para construcción (2013) establece:

### a. Compactación

La compactación debe cumplir los requisitos de la Tabla N°9. Las densidades individuales ( $D_i$ ) deberán ser, como mínimo el 100% de la densidad obtenida en el ensayo próctor modificado de referencia (MTC E 115). La humedad de trabajo no debe variar en  $\pm 2,0\%$  con respecto del óptimo contenido de humedad, obtenido con el próctor modificado. En caso de no cumplirse estos términos se rechazará el tramo. Finalmente, la densidad de las capas compactadas, podrá ser determinada por cualquier método aplicable, de los descritos en las normas de ensayo MTC E 117 y MTC E 124.

En la Figura N°46 se observa el trabajo de compactación de un camino de afirmado.



Figura N°46: Compactación de un camino de afirmado

Fuente: Elaboración propia (2017)

### **b. Espesor**

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed). Además, el valor obtenido en cada determinación individual (ei) deberá ser, cuando menos, igual al 95% del espesor del diseño, en caso contrario se rechazará el tramo controlado. Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación sobrepasen las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.

### **c. Rugosidad**

La rugosidad de la superficie afirmada, se medirá en unidades IRI, la que no deberá ser superior a 5 m/km. (p.241-242)

### 2.2.3.5. Manual de diseño de Carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito 2008

El manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008) aprobado mediante resolución directoral N°303-2008 – MTC en marzo del 2008 establece que el tráfico proyectado al año para el manual de carreteras no pavimentadas se da en 4 clases de tráfico: T0 (<15 veh/día), T1 (entre 16-50 veh/día), T2 (entre 51-100 veh/día), T3 (entre 101-200 veh/día), tal y como se observa en la Tabla N°10.

Tabla N°10: Tráfico proyectado

CLASE	T0	T1	T2	T3
IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	<15	16 - 50	51 - 100	101 - 200
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 - 15	16 - 28	29 - 56
N° Rep. EE (carril de diseño)	< 2.5 x 10 <sup>4</sup>	2.6x10 <sup>4</sup> -7.8x10 <sup>4</sup>	7.9x10 <sup>4</sup> - 1.5x10 <sup>5</sup>	1.6x10 <sup>5</sup> -3.1x10 <sup>5</sup>

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

El manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008) establece en el capítulo 5: Geología, suelos y capas de revestimiento granular, en el catálogo estructural de superficie de rodadura:

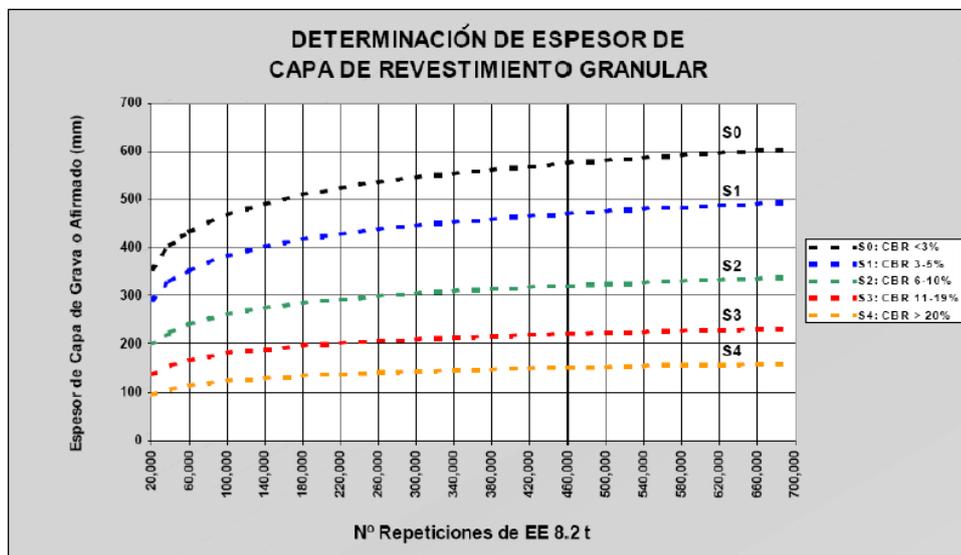
Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de ejes equivalentes: (p.139)

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Dónde:

- E : Espesor de la capa de afirmado en milímetros.  
CBR : Valor del CBR de la subrasante.  
Nrep : Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

En la Figura N°47 se observa el ábaco realizado por el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito que fue utilizado para determinar el espesor de capa de revestimiento granular.



Fuente: Elaboración en base a la ecuación de diseño del método NAASRA.

Figura N°47: Determinación de espesor de capa de revestimiento granular

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

Durante el cambio de normas el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008), consideró en los gráficos ejes equivalentes con un rango de  $2 \times 10^4$  hasta  $7 \times 10^5$ ; sin embargo, el manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) que hasta la actualidad se diseña considera a los ejes equivalentes un rango de  $1 \times 10^4$  hasta  $3 \times 10^5$  ambos en base al método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS).

Por su parte el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito que no se encuentra vigente, establece catálogos de secciones de capas

granulares de rodadura para cada tipo de variables como se muestran en las Figura N°48, Figura N°49, Figura N°50 y Figura N°51, donde el espesor mínimo es de 150 mm la misma que se cumple hasta la actualidad.

El primer catálogo del manual establece el diseño del espesor del afirmado para un tráfico tipo T0 (< 15 vehículos por día). Asimismo, la figura propone la estructura del afirmado según los 5 tipos de CBR (subrasante) que equivalen: S0: <3%, S1: 3%-5%, S2:6%-10%, S3:11%-19% y S4>20% como se muestra en la Figura N°48.

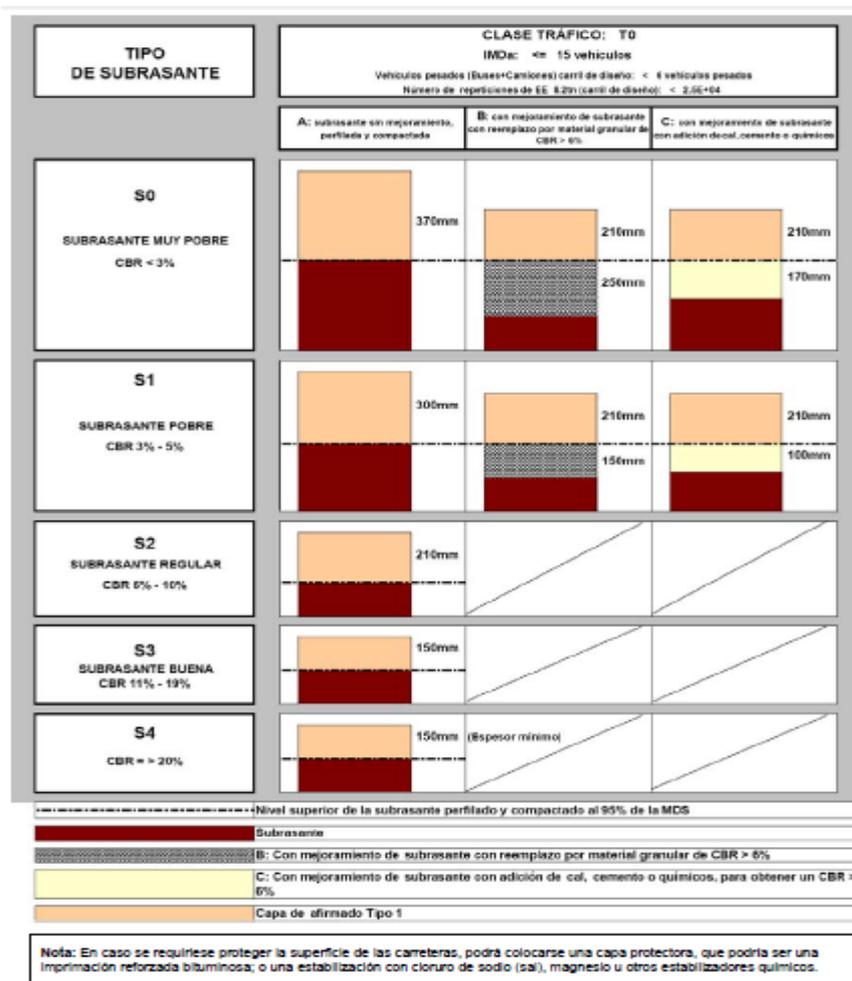


Figura N°48: Catálogo de capas de revestimiento granular Tráfico T0

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

El segundo catálogo del manual establece el diseño del espesor del afirmado para un tráfico tipo T1 (16- 50 vehículos por día). Asimismo, la Figura N°49 propone la

estructura del afirmado según los 5 tipos de CBR (subrasante) que equivalen: S0: <3%, S1: 3%-5%, S2:6%-10%, S3:11%-19% y S4>20%.

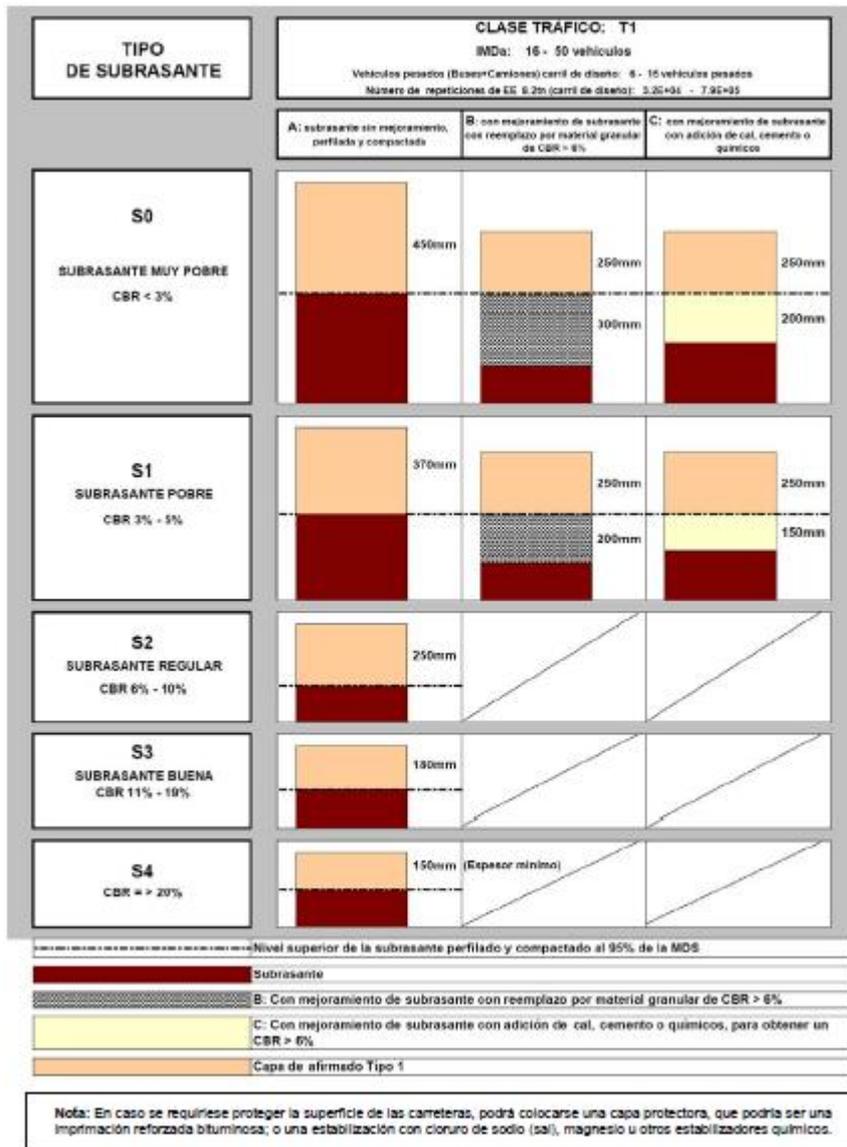


Figura N°49: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T1

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

El tercer catálogo del manual establece el diseño del espesor del afirmado para un tráfico tipo T2 (51 - 100 vehículos por día). Asimismo, la figura propone la estructura del afirmado según los 5 tipos de CBR (subrasante) que equivalen: S0: <3%, S1: 3%-5%, S2:6%-10%, S3:11%-19% y S4>20% como se muestra en la Figura N°50.

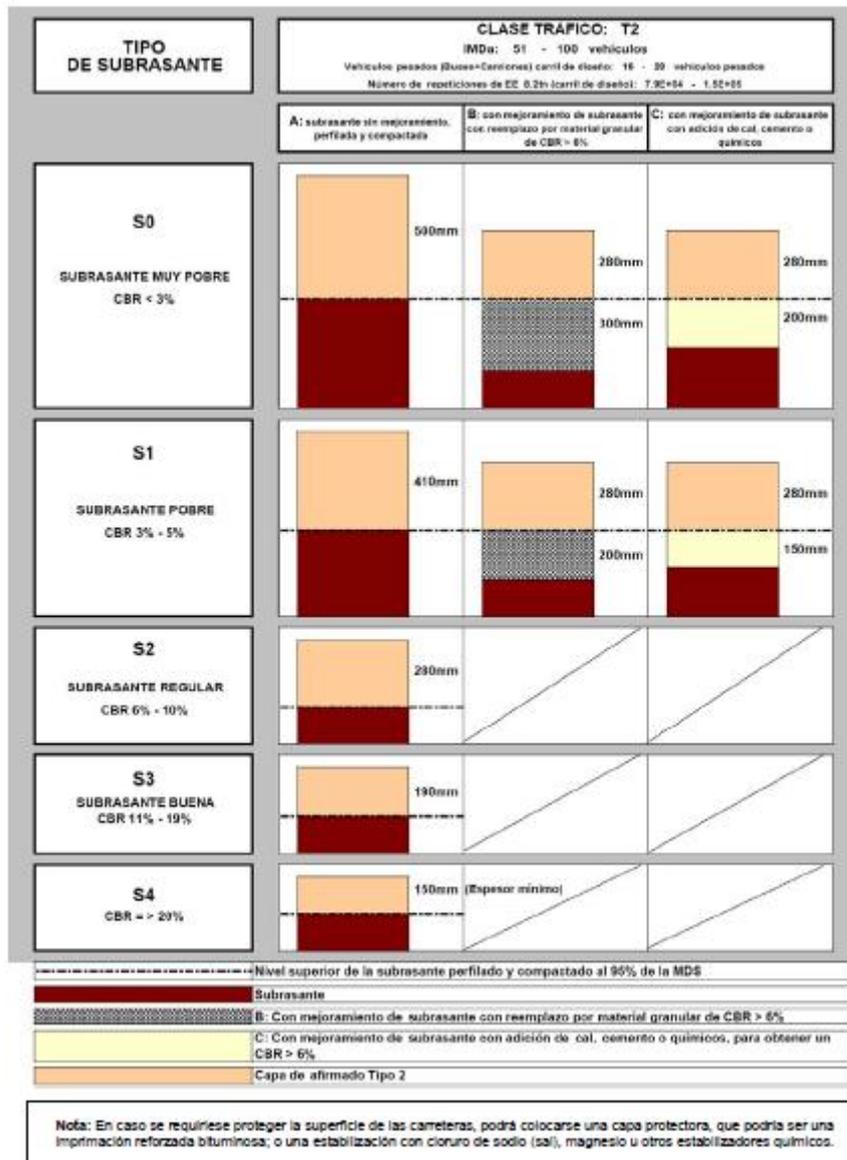


Figura N°50: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T2

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

El cuarto catálogo del manual establece el diseño del espesor del afirmado para un tráfico tipo T3 (101 - 200 vehículos por día). Asimismo, la figura propone la estructura del afirmado según los 5 tipos de CBR (subrasante) que equivalen: S0: <3%, S1: 3%-5%, S2:6%-10%, S3:11%-19% y S4>20% como se muestra en la Figura N°51.

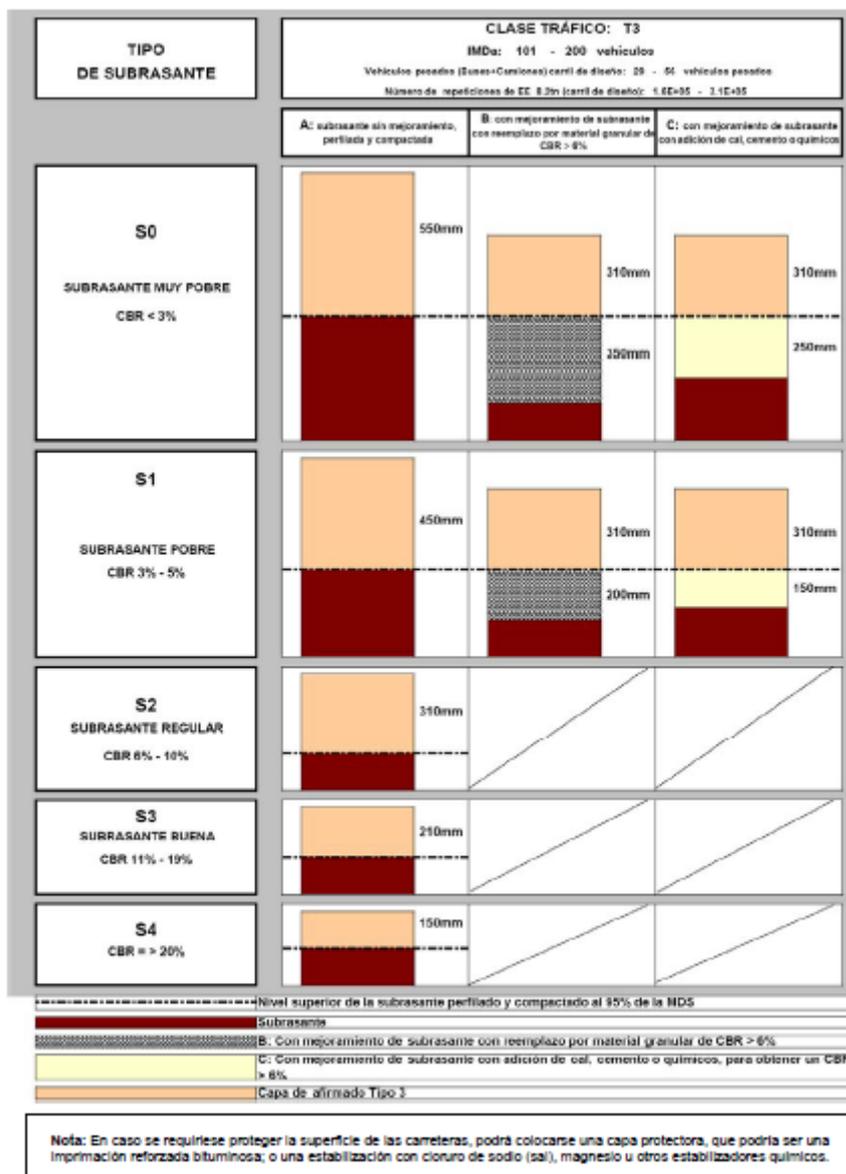


Figura N°51: Catálogo de capas de revestimiento granular, Tráfico T3

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

El manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008) establece en el capítulo 5: Geología, suelos y capas de revestimiento granular, en la sección de materiales y partidas específicas de la capa granular de rodadura, presenta los siguientes tipos de afirmados:

**Afirmado tipo 1:** Es un material granular natural o grava previamente zarandeada, con un índice de plasticidad máximo de 9, en algunos casos la plasticidad podría llegar a 12. Será utilizado en carreteras de bajo volumen de tránsito, la cual

corresponde a las clases T0 y T1, es decir con IMD proyectado menor a 50 vehículos por día.

**Afirmado tipo 2:** Es un material granular natural o de grava previamente zarandeada, con un índice de plasticidad máximo de 9, en algunos casos la plasticidad podría llegar a 12. Será utilizado en carreteras de bajo volumen de tránsito, la cual corresponde a la clase T2, es decir con IMD proyectado entre 51 y 100 vehículos por día.

**Afirmado tipo 3:** Es un material granular natural o grava previamente zarandeada o por chancado, con un índice de plasticidad máximo de 9, en algunos casos la plasticidad podría llegar a 12. Será utilizado en carreteras de bajo volumen de tránsito, la cual corresponde a la clase T3, es decir con IMD proyectado entre 101 y 200 vehículos día. (p.146)

Por otro lado, el manual distingue tres tipos de afirmados, con similares características de material e índice de plasticidad; no obstante, diferentes bandas granulométricas como se muestra la Tabla N°11.

Tabla N°11: Granulometría de material de afirmado

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD < 50 VEH.	TRÁFICO T2: TIPO 2 51 - 100 VEH.	TRÁFICO T3: TIPO 3 101 - 200 VEH.
50 mm (2")	100	100	
37.5 mm (1 ½")		95 - 100	100
25 mm (1")	50 - 80	75 - 95	90 - 100
19 mm (¾")			65 - 100
12.5 mm (½")			
9.5 mm (3/8")		40 - 75	45 - 80
4.75 mm (N° 4)	20 - 50	30 - 60	30 - 65
2.36 mm (N° 8)			
2.00 mm (N° 10)		20 - 45	22 - 52
4.25 um (N° 40)		15 - 30	15 - 35
75 um (N° 200)	4 - 12	5 - 15	5 - 20
<b>Índice de plasticidad</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

## CAPÍTULO III: MÉTODOS DE DISEÑO DE AFIRMADOS Y SU RELACIÓN CON EL MÉTODO NAASRA (MTC)

Las primeras referencias escritas que se tienen sobre estructuras de pavimentos flexibles fueron encontradas en Babilonia (604 y 625 A.C.). Cincuenta años atrás los métodos de diseño no existían y las estructuras de pavimentos eran definidos por la experiencia y el juicio ingenieril. Posteriormente a la primera guerra mundial, aparecen los desarrollos de los siguientes diseños estructurales. Para esta investigación se realizará el estudio de los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL Y NAASRA por ser usadas en el Perú entre los años 1970 y 2005. No obstante estos métodos existieron mucho antes que fueran usados en el Perú como se muestra en la Figura N°52.

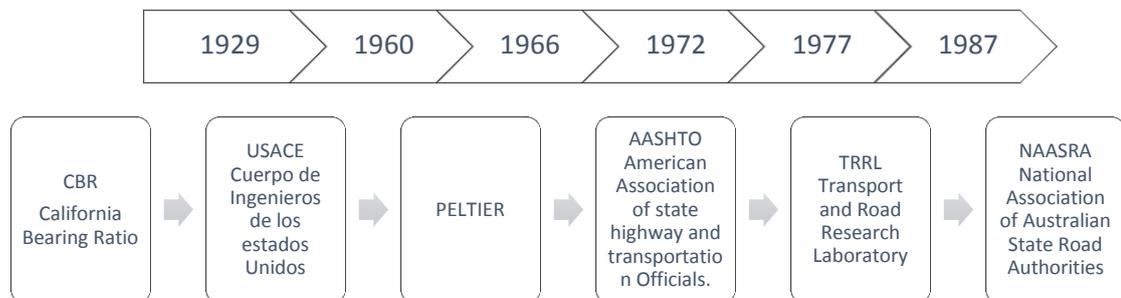


Figura N°52: Evolución de los métodos de diseño

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 3.1.Método CBR

Valle (1976) refiere en su libro “Carreteras, calles y autopistas” el método California Bearing Ratio (CBR) es propuesto en 1929 por los ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter, ambos miembros del Departamento de Carreteras del Estado de California de los Estados Unidos de América. El método establece la correlación entre la resistencia a la penetración de un suelo y la capacidad de soporte de toda la estructura del pavimento flexible. Este método fue concebido mediante varios ensayos tanto en campo y en laboratorio, motivo por el cual fue utilizado durante varios años.

### 3.1.1. Cálculo del espesor de pavimento flexible

Los distintos entes viales han elaborado ábacos para facilitar el diseño del espesor en pavimentos flexibles. En 1942 el Departamento de Carreteras de California propone un primer ábaco, que permite hallar el espesor del pavimento a partir del CBR y el tipo de tránsito, mediante 2 curvas, para tránsito mediano y ligero del cual se puede obtener un espesor tentativo como se muestra en la Figura N°53.

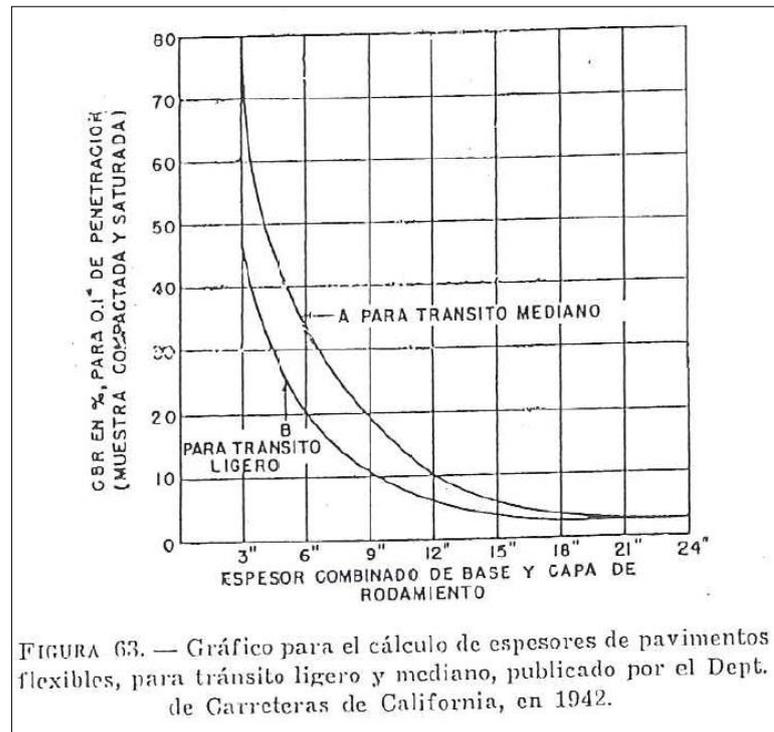


Figura N°53: Gráfico para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles

Fuente: Raúl Valle Rodas (1976)

Tiempo después el método CBR propone un ábaco para el cálculo del espesor de pavimento. Donde el método CBR necesita dos variables de entrada: tráfico y suelo (subrasante); sin embargo, estas variables ingresan como carga de rueda (Lb o Kg) y CBR (%) de la subrasante respectivamente.

El ábaco es representado en el eje "Y" por los espesores de diseño, los cuales varían desde 10 hasta 150 centímetros. Mientras que el eje "X" es representado por los valores de CBR (subrasante), que varían entre el 1% y 100%. Asimismo, el ábaco contiene

curvas de carga por rueda que varían entre 4000 y 180000 libras como se muestra en la Figura N°54.

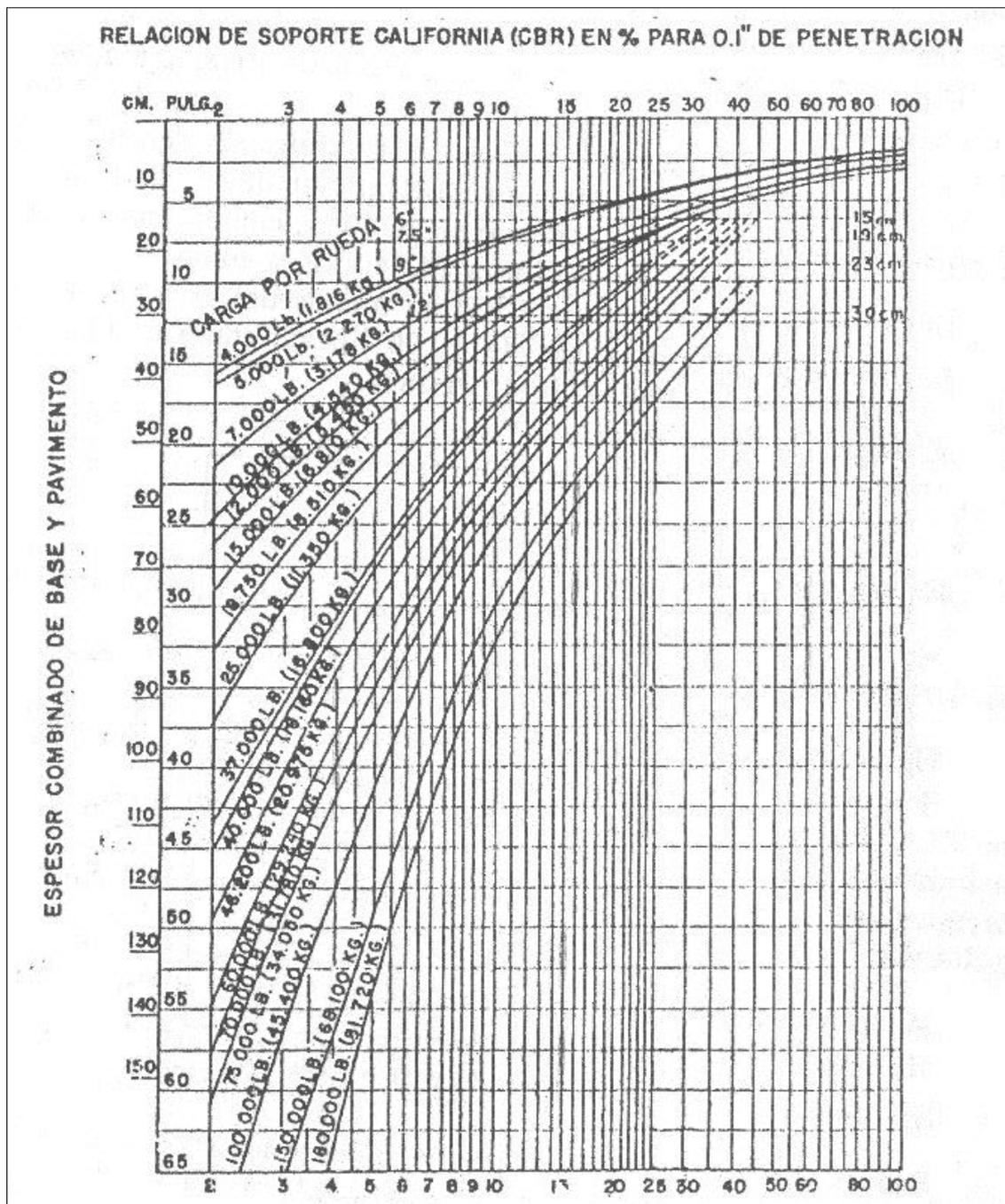


Figura N°54: Curvas para el cálculo de espesores en pavimento flexibles

Fuente: Raúl Valle Rodas (1976)

Valle Rodas (1976), establece en su libro “Carreteras, Calles y autopistas” un ejemplo del método California Bearing Ratio (CBR) como se muestra a continuación:

### **Ejemplo**

Un material para la capa de base, cuyo CBR sea superior a 40%. Supongamos que, analizados los materiales de subbase y base, tengan los siguientes valores:

Material de préstamo : CBR = 18% (para subbase)

Material de base : CBR = 65% (para base)

Según el ábaco de la Figura N°54 tendríamos, para una carga por rueda de 4.540 kg y un CBR de 5% un espesor combinado de 42 cm, aproximadamente. Como el material de préstamo tiene un CBR de 18%, el espesor encima de este material sería de 20 cm. Luego tendríamos:

$$42-20 = 22\text{cm de material de préstamo}$$

Además, como el material para base tiene un CBR de 65% el espesor encima de la base sería de 9 cm.

$$20-9 = 11\text{cm de material de base}$$

Resumiendo, tendríamos:

Espesor de la subbase.....	22 cm
Espesor de la base.....	11 cm
Espesor de la capa de rodamiento.....	09 cm
<b>Espesor total del pavimento .....</b>	<b>42 cm (p.219-221)</b>

### **3.2.Método USACE**

El manual técnico TM 5-330 del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (1966) establece que:

La elaboración del método de superficie de agregados no es aplicable a obras de carácter permanente, por lo que se necesita de la conservación o mantenimiento de la superficie. Partiendo de esta premisa el manual Técnico TM 5-330 presenta la

clasificación de las capas superficiales en superficies no bituminosas como se muestra a continuación:

- Caminos de tierra
- Caminos con superficies tratadas
- Suelos estabilizados
- Suelos estabilizados mecánicamente
- Caminos de arena y arcilla
- Caminos de grava
- Caminos de materiales elaborados
- De otros agregados (p.94-97)

U.S Army Corps of Engineers (1989) establece:

La ecuación inicial del método USACE se basó en fallas por deformaciones permanentes y flexiones elásticas. El método USACE formula a partir de la ecuación de CBR el diseño de pavimentos flexibles. A continuación, se muestra la ecuación y datos de entrada para poder hallar el espesor de carreteras no pavimentadas y campos de aeródromos. Hay que tomar en cuenta que la ecuación fue desarrollada sobre ensayos con un valor de CBR bajo, que va entre 7% y 17%.

$$t = (0.128 \log_{10}(\text{cobertura}) + 0.120) \sqrt{\frac{P}{8.1(\text{CBR})} - \frac{A}{\pi}}$$

Dónde:

t : Espesor de diseño, pulgadas.

P : Carga equivalente de una sola rueda, libras.

A : Área de contacto del neumático, pulgadas al cuadrado. (p.27-28)

### 3.2.1. Cálculo del espesor de superficie de agregados

Technical manual design of aggregate surfaced roads and airfields (1990):

En 1985 el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, establece la última versión del método USACE para carreteras con superficie de agregados. Donde la magnitud de la carga de rueda no se usa directamente en el diseño. Según el manual técnico TM-5-822-5, este método se basa en los índices de diseño, que se toman en base a la clasificación de la carretera, el tipo de vehículos y categoría del tráfico o composición del mismo, en base al cual se decide determinar el índice de diseño tal como se detalla a continuación:

### **Clase de carreteras:**

Las clases de superficie de agregados varían entre A y G. En función de la intensidad de tráfico el cual se determina en la Tabla N°12.

Tabla N°12: Criterio para la selección de la superficie de rodadura

<b>Clase de carreteras</b>	<b>Número de vehículos por día</b>
A	10,000
B	8,400-10,000
C	6,300-8,400
D	2,100-6,300
E	210-2,100
F	70-210
G	menores 70

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

### **Índice de diseño:**

El índice de diseño de superficie de agregados se basa en el índice de diseño que representa el tráfico esperado para la vida de diseño, este valor es el promedio de los ejes simples equivalentes de 18.000 lb (EAL) por día. Para este método se considera vehículos de llantas con neumáticos, donde el tráfico es clasificado en 3 grupos, como se muestra a continuación:

Grupo1 : vehículos de pasajeros, panel y pick-up.

Grupo2 : camiones de 2 ejes.

Grupo 3 : camiones de 3, 4, 5 ejes.

La composición del tráfico podría ser agrupado en las siguientes categorías:

**Categoría I:** Tráfico compuesto de vehículos de pasajeros, panel y pick-up (Grupo1), y que contiene no más de 1 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2).

**Categoría II:** Tráfico compuesto de vehículos de pasajeros, panel y pick-up (Grupo1), y que contiene hasta 10 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2). No se permite camiones con tres o más ejes en esta categoría (Grupo3).

**Categoría III:** Tráfico que contiene hasta 15 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2), pero no más del 1 por ciento del tráfico total compuesto por camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3).

**Categoría IV:** Tráfico que contiene hasta 25 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2), pero no más del 10 por ciento del tráfico total compuesto por camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3).

**Categoría IVA:** Tráfico que contiene más de 25 por ciento de camiones o más de 10 por ciento de camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3).

El índice de diseño para superficies de rodadura debe ser seleccionado según la Tabla N°13.

Tabla N°13: Índice de diseño para vehículos con neumáticos

Índice de diseño				
Clase	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
A	3	4	5	6
B	3	4	5	6
C	3	4	4	6
D	2	3	4	5
E	1	2	3	4
F	1	1	2	3
G	1	1	1	2

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

Este índice de diseño es usado en la Figura N°55 para seleccionar el espesor de diseño de la superficie de agregados que tiene como diseño mínimo 4 pulgadas de capa estructural. (p.3-9)

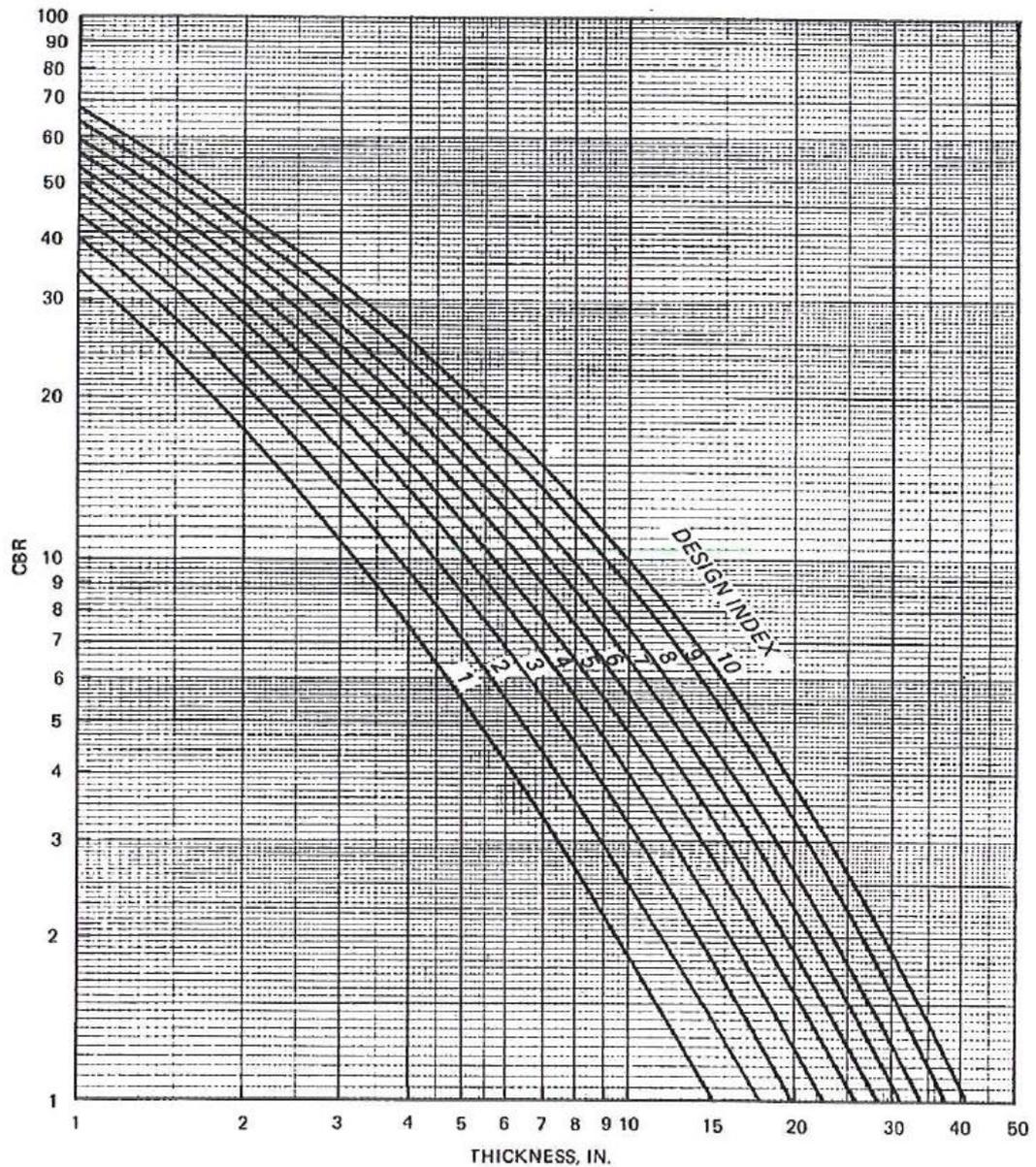


Figura N°55: Curvas de diseño para caminos de superficie de agregados (*aggregate-surfaced*)

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

El manual técnico TM 5-330 del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (1966) establece que:

**Criterios del espesor:**

A partir de la resistencia del suelo (CBR) y el índice de diseño, el método considera como mínimo un espesor de 4 pulgadas como capa estructural. El cuerpo de

ingenieros considera como soluciones tener capas de material selecto, subbase y superficie de agregados, las mismas que son definidas a continuación:

**Material selecto:** El cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos los materiales selectos se encuentran disponibles localmente. Los suelos de grano grueso que son clasificados como gravas y arenas podrán ser utilizados, aunque los suelos de grano fino con presencia de limos y arcillas clasificados como ML y CL podrán ser utilizados en ciertos casos. La piedra, caliza, coral, las conchas, las cenizas, el caliche, el granito descompuesto y otros materiales parecidos deben ser considerados cuando el emplearlos resulte económico.

**Subbase (afirmado):** El cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos establece que los materiales de subbase pueden consistir en suelos naturales de grano grueso o suelos mezclados y elaborados. Los materiales tales como piedra caliza, conchas, cenizas, caliche y granito descompuesto pueden emplearse como materiales de subbase, los cuales satisfacen los requisitos que se detallan en el Capítulo V.

El espesor obtenido a partir del ábaco de la superficie de agregados podría ser construido a partir de varias soluciones; una primera solución representada por una capa estructural de material de grava o afirmado con  $CBR < 50\%$  (a), una segunda solución a partir de dos capas, una capa de material selecto con  $CBR < 20\%$  y una capa adicional de material de grava o afirmado (b); y una tercera solución a partir de tres capas, donde la primera capa la conforma material selecto con  $CBR < 20\%$ , subbase con  $20\% < CBR < 50\%$  y capa de superficie de agregados (c) como se muestra en la Figura N°56, este sistema de capas podría estar conformado por materiales considerados como materiales selectos y subbases que cumplan los requerimientos de bandas granulométricas y valores de soporte relativo (CBR) que se establecen en el Capítulo V de las variables de diseño. (p.87-88)

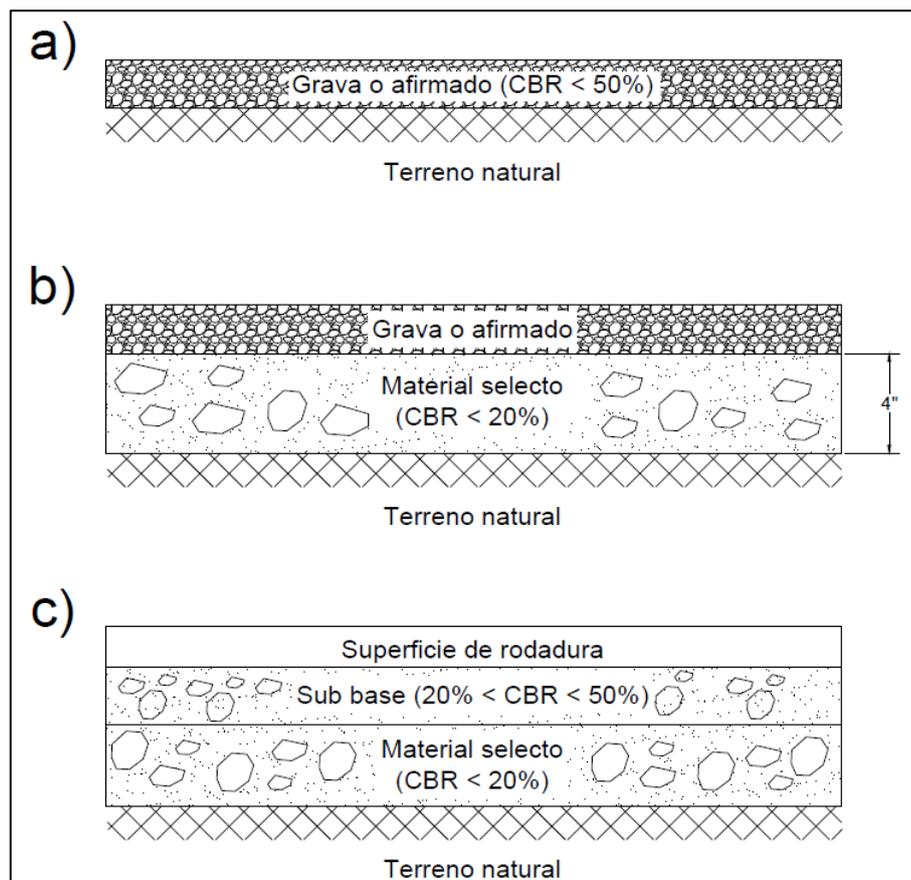


Figura N°56: Diseño típico en caminos no pavimentados según USACE

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 3.3. Método Peltier

A principios de 1966 el profesor Peltier basa su método en la teoría de la distribución para calcular la presión vertical ejercida en la sub-base por la carga de la rueda en el pavimento tal y como lo establece en su fórmula. Peltier calcula el espesor de la capa granular necesaria para disminuir la presión vertical sobre la sub-base en un valor equivalente a su capacidad de soporte estimado.

#### 3.3.1. Cálculo del espesor de pavimento flexible

Llamazares (1966) el cálculo del espesor según el método de Peltier parte del análisis de los ábacos presentados por el método CBR con la diferencia que este método fue mejorado al introducir de manera concreta la influencia del tráfico esperado por el número de pasadas.

Este método es afectado por el número representativo de las repeticiones del logaritmo; debido a que la deformación total para un tipo de carga, crece en función al número de ciclos de carga según la ley logarítmica.

Llegando a la siguiente expresión:

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \left( 75 + 50 \log \frac{N}{10} \right)}{I + 5}$$

Dónde:

- e : Espesor del afirmado en centímetros
- P : Carga máxima por rueda en toneladas
- N : Intensidad media diaria de vehículos con tara mayor o igual a 1.5 toneladas
- I : Valor del CBR

Si precisamos una cantidad de vehículos por día de N=300, se obtiene la siguiente fórmula a partir del método Peltier:

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5}$$

Dónde:

- e : Espesor del afirmado en centímetros
- P : Carga máxima por rueda en toneladas
- I : Valor del CBR

Peltier establece mediante su ábaco el cálculo del espesor del pavimento en la cual se ingresa dos tipos de variables: tráfico y suelos. Donde el valor introducido se da en cantidad de vehículos por día y CBR (%) respectivamente como se muestra en la Figura N°57.

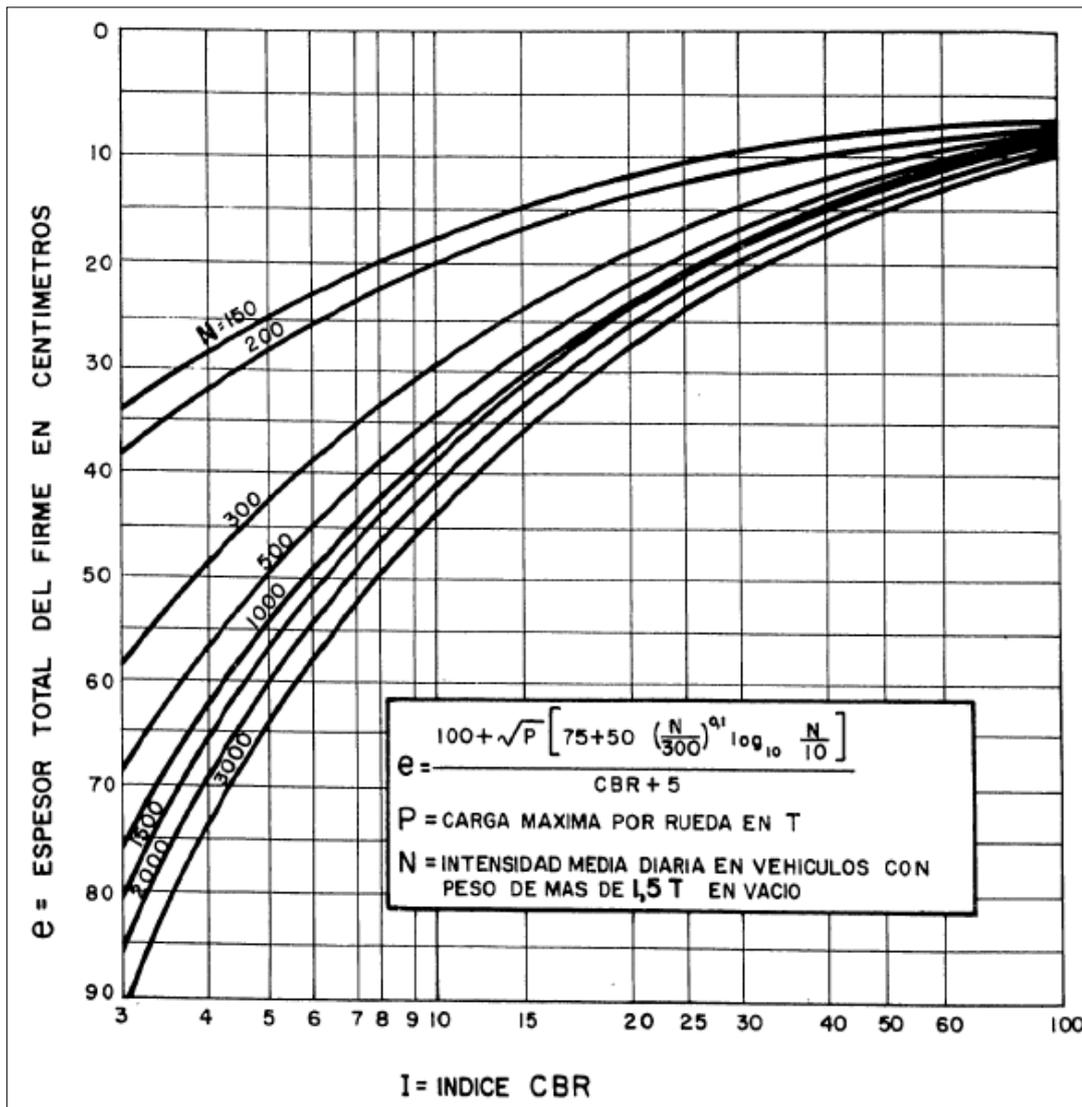


Figura N°57: Curvas de proyecto para aplicación de la fórmula logarítmica (modificada) de Peltier

Fuente: Sobre el cálculo de pavimentos flexibles (1966)

Llamazares (1966) en su revista sobre el cálculo de pavimentos flexibles establece la comparación de espesores de diseño entre el método Peltier versus los espesores de diseño que se obtienen del método de Índice de Grupo y los ábacos del Instituto del Asfalto que fueron realizados por la oficina regional de proyectos de Madrid como se muestra en la Tabla N°14. Los resultados fueron que el método Peltier brinda espesores mayores a los otros métodos, esto es debido a que Peltier ajustó las frecuencias de las cargas mediante una expresión logarítmica dándole una mayor exactitud; sin embargo, el método Peltier es más conservador respecto a los otros métodos comparados probablemente porque sigue la misma metodología del CBR.

Tabla N°14: Comparación de espesores de pavimentos flexibles

TRAMO	Método del índice de grupo cm.	Método CBR	
		Abacos de The Asphalt Institute cm.	Fórmula logarítmica cm.
CN-II de Madrid a Francia por Barcelona, p.k. 10,100 al 11,300. Enlace parcial con el Aeropuerto de Barajas. Rampas	47	41	45
CN-II de Madrid a Francia por Barcelona, p.k. 16,800 al 23,900. Rampas de los enlaces de la Variante de Torrejón de Ardoz .....	37	30	42
CN-V de Madrid a Portugal por Badajoz. Acondicionamiento entre p.k. 3,600 y 9,500 .....	39	30	41
CN-VI de Madrid a La Coruña, p.k. 38,400 a 40,200. Desdoblamiento y enlace de Villalba:			
Via principal .....	36	33	42
Resto de las calzadas ...	36	33	38

Fuente: Sobre el cálculo de pavimentos flexibles (1966)

### 3.4.Método AASHTO

En 1972 el comité AASHTO produjo la “Guía Provisional AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles”. Esta versión luego fue actualizada en el año 1986, donde se le agregó nuevas consideraciones. Las cuales resaltan la confiabilidad del diseño, módulos de elasticidad de la subrasante, módulos de elasticidad de la base, factores ambientales de temperatura y humedad, el drenaje, aspectos económicos, procedimientos para el diseño y construcción por etapas y el conocimiento de los diseños de tipo empírico.

AASHTO guide for design of pavement structures (1993) establece:

La metodología AASHTO divide a las carreteras en pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y caminos con superficies de agregados. Para la presente investigación se realizará el estudio de caminos con superficie de agregados, donde

los procedimientos que nos ofrecen están basados en diagramas de diseño (nomogramas) y catálogos de diseño.

### 3.4.1. Cálculo del espesor de superficie de agregados

El manual AASHTO considera un análisis de periodo para el cálculo del espesor de la superficie de agregados, el cual conocemos comúnmente como la "vida de diseño" del pavimento. El origen de la vida de diseño del método AASHTO se debe a que los antiguos diseñadores analizaron el pavimento para un período de desempeño de 20 años, ya que la ley original de autopistas interestatales de 1956 requería que el tránsito se considerara hasta 1976. En la actualidad el método AASHTO recomienda utilizar períodos de análisis más largos, ya que estos pueden ser beneficiosos en el ciclo de vida y costo del pavimento. Siguiendo esta premisa AASHTO establece el periodo de diseño que se muestran en la Tabla N°15.

Tabla N°15: Periodo de diseños

<b>Highway Conditions</b>	<b>Analysis Period (years)</b>
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Fuente: Manual AASHTO (1993)

El método AASHTO considera el diseño del catálogo en superficie de agregados para tráfico de bajo volumen que presente los siguientes niveles (18kip-ESAL):

- Alto 60,000 - 100,000
- Medio 30,000 - 60,000
- Bajo 10,000 - 30,000

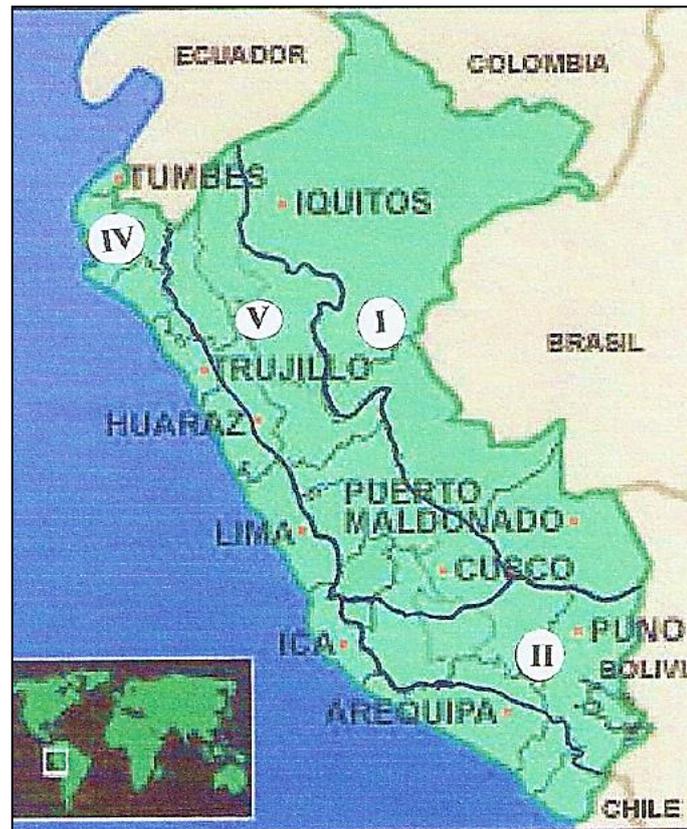
Por lo que el método AASHTO considera el máximo nivel de tráfico de 100,000 ESAL y el mínimo nivel de 10,000 ESAL. El procedimiento de diseño para un

camino de superficie de agregados requiere de soluciones gráficas, donde los requisitos para este procedimiento son los siguientes:

- a. El tráfico futuro pesado previsto,  $W_{18}$  (EAL) para el periodo.
- b. La duración de las estaciones (se pueden utilizar los criterios del pavimento flexible).
- c. El módulo resiliente estacional del suelo de la vía de rodadura (se pueden utilizar los criterios del pavimento flexible).
- d. Módulo elástico de la capa de base de agregado,  $E_{BS}$  (PSI).
- e. Módulo elástico de la capa de sub-base de agregado,  $E_{SB}$  (PSI).
- f. Pérdida de capacidad de diseño (estimación de la serviciabilidad),  $\Delta PSI$ .
- g. Ahuellamiento, RD, pulgadas, en la capa superficial.
- h. Pérdida de agregado, GL (pulgadas), en la capa superficial.

Estos requisitos de diseño se utilizan junto con la Tabla N°16, Tabla N°17, Tabla N°18 y Tabla N°19. Asimismo, los datos se introducen en los nomogramas de la Figura N°59 y Figura N°60 donde se establece el diseño de la pérdida de serviciabilidad y el ahuellamiento respectivamente.

Una de las principales causas que influyen en la funcionalidad del diseño del espesor de afirmado es la duración de las estaciones; motivo por el cual, el Ing. Germán Vivar del Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos del Perú-IDPP desarrolla las zonas climáticas del Perú en base método AASHTO, donde clasifica al Perú en zonas I, II, V y IV según las características de cada zona, como se muestra en la Figura N°58.



REGIÓN	CARACTERÍSTICAS
I	Húmeda, No Helada
II	Húmeda, con Ciclos de Hielo-Deshielo
III	Húmeda, Fuerte Congelam.. Deshielo primaveral
IV	Seca, No Helada.
V	Seca, con Ciclos de Hielo-Deshielo.
VI	Seca, Fuerte Congelam.. Deshielo primaveral

Figura N°58: Las 6 Regiones climáticas del Perú

Fuente: Realizado por el Ing. Germán Vivar del Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos del Perú-IDPP (1993)

Tabla N°16: Duración sugerida (en meses) de las estaciones del año para las 6 regiones climáticas

U.S. Climatic Region	Season (Roadbed Soil Moisture Condition)			
	Winter (Roadbed Frozen)	Spring-Thaw (Roadbed Saturated)	Spring/Fall (Roadbed Wet)	Summer (Roadbed Dry)
I	0 0*	0 0	7 5	4 5
II	1 0	0 5	7 0	3 5
III	2 5	1 5	4 0	4 0
IV	0 0	0 0	4 0	8 0
V	1 0	0 5	3 0	7 5
VI	3 0	1 5	3 0	4 5

\*Number of months for the season

Fuente: Gravel Roads-Maintenance and design Manual (2000)

Tabla N°17: Módulo resiliente del suelo de fundación,  $M_r$  (PSI), en función de la calidad relativa del material

<b>Table 4.2. Suggested Seasonal Roadbed Soil Resilient Moduli, <math>M_r</math> (psi), as a Function of the Relative Quality of the Roadbed Material</b>				
<b>Relative Quality of Roadbed Soil</b>	<b>Season (Roadbed Soil Moisture Condition)</b>			
	<b>Winter (Roadbed Frozen)</b>	<b>Spring-Thaw (Roadbed Saturated)</b>	<b>Spring/Fall (Roadbed Wet)</b>	<b>Summer (Roadbed Dry)</b>
Very good	20,000*	2,500	8,000	20,000
Good	20,000	2,000	6,000	10,000
Fair	20,000	2,000	4,500	6,500
Poor	20,000	1,500	3,300	4,900
Very poor	20,000	1,500	2,500	4,000

\*Values shown are Resilient Modulus in psi

Fuente: Gravel Roads-Maintenance and design Manual (2000)

Tabla N°18: Valores del módulo resiliente efectivo del suelo de fundación,  $M_r$  (PSI). Valores sugeridos en función de la región climática y de la calidad relativa del suelo de fundación

<b>Table 4.3. Effective Roadbed Soil Resilient Modulus Values, <math>M_r</math> (psi), That May be Used in the Design of Flexible Pavements for Low-Volume Roads. Suggested values depend on the U.S. climatic region and the relative quality of the roadbed soil.</b>					
<b>U.S. Climatic Region</b>	<b>Relative Quality of Roadbed Soil</b>				
	<b>Very Poor</b>	<b>Poor</b>	<b>Fair</b>	<b>Good</b>	<b>Very Good</b>
I	2,800*	3,700	5,000	6,800	9,500
II	2,700	3,400	4,500	5,500	7,300
III	2,700	3,000	4,000	4,400	5,700
IV	3,200	4,100	5,600	7,900	11,700
V	3,100	3,700	5,000	6,000	8,200
VI	2,800	3,100	4,100	4,500	5,700

\*Effective Resilient Modulus in psi

Fuente: Gravel Roads-Maintenance and design Manual (2000)

Tabla N°19: Gráfico para calcular el daño total del pavimento (tanto para los criterios de servicio como para los criterios de Ahuellamiento) basado en un espesor de la base del agregado de ensayo

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, $D_{BS}$ (pulgadas)				Criterios de Servicio, $\Delta PSI$		Criterio de Ahuellamiento RD(pulgadas)	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, $M_R$ (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, $E_{BS}$ (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)							
Primavera / Deshielo (Saturado)							
Primavera / Otoño (Húmedo)							
Verano (Seco)							
Daño Total =				Daño Total =		Daño Total =	

Fuente: Manual AASHTO (1993)

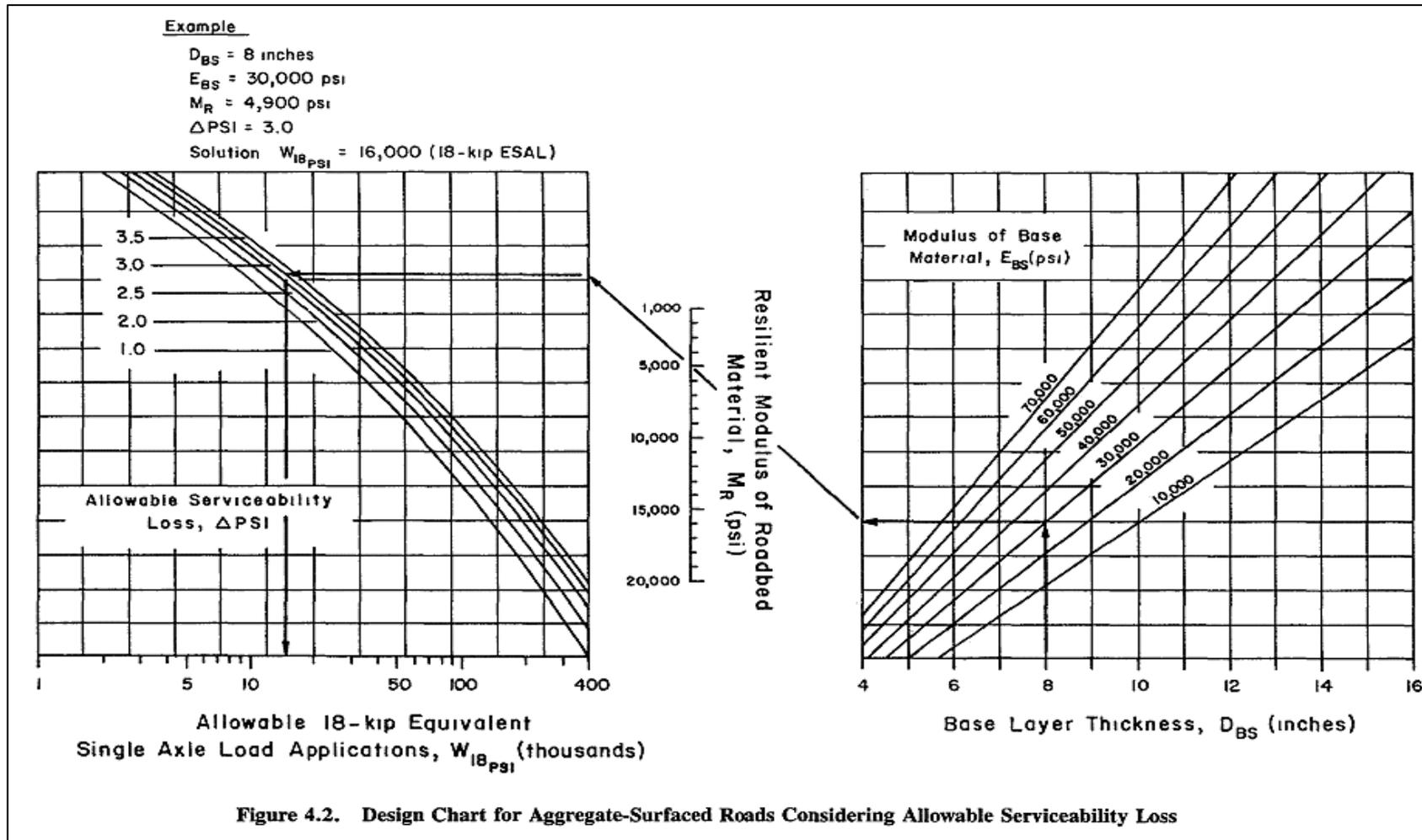


Figura N°59: Gráfico de diseño para carreteras de superficie de agregados considerando la pérdida de serviciabilidad

Fuente: Manual AASHTO (1993)

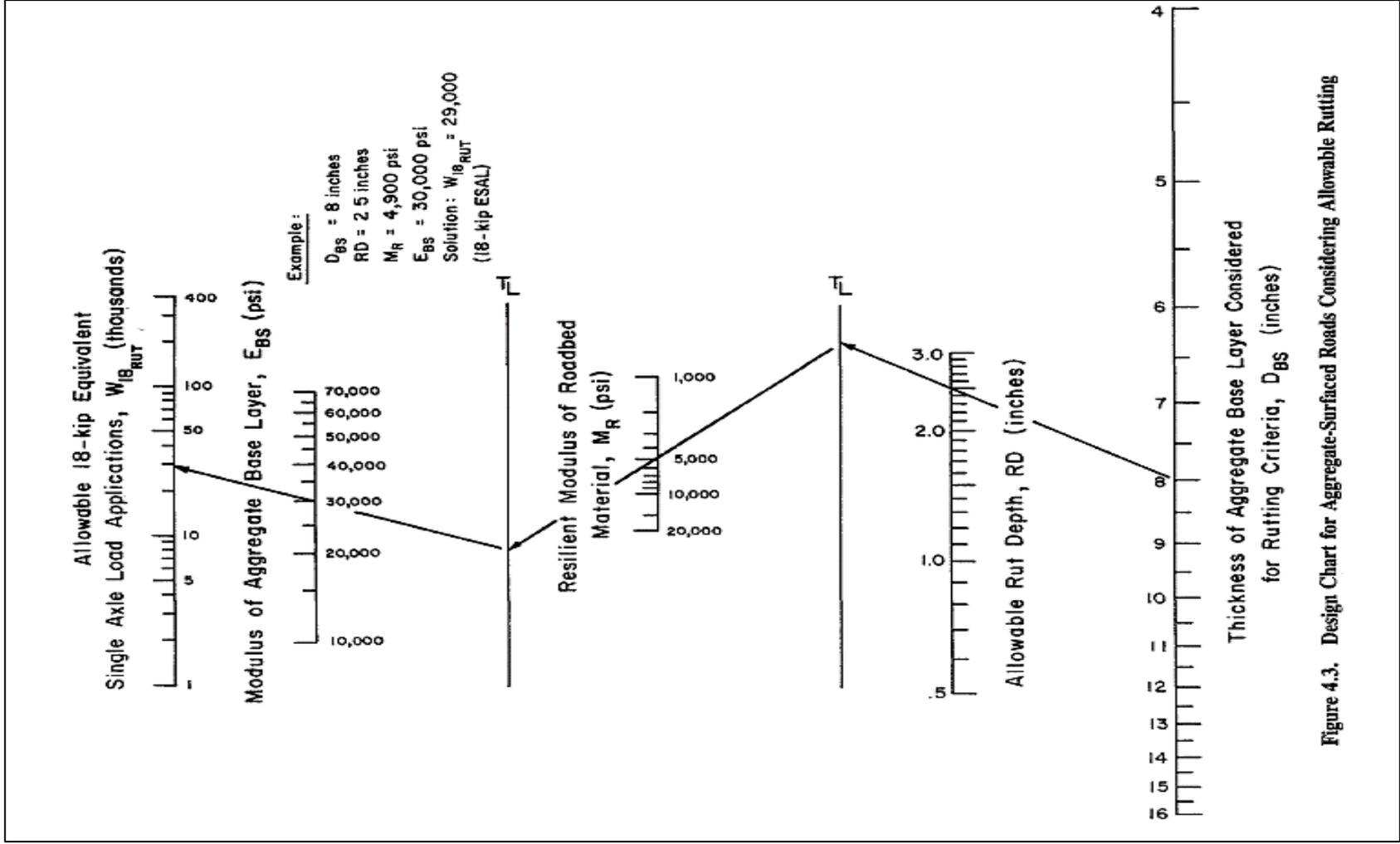


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Figura N°60: Gráfico de diseño para carreteras de superficie de agregados considerando ahuellamiento

Fuente: Manual AASHTO (1993)

El método AASHTO en el año 1993 se establece los siguientes pasos y requerimientos para el diseño del espesor de los caminos con superficies de agregados:

1. Ingresar el espesor de prueba de la base, el manual establece asumir cuatro espesores de prueba ( $D_{BS}$ ). Para esto, se debe preparar cuatro tablas semejantes a la Tabla N°19, las cuales se completarán en base a nomogramas, gráficos y tablas.
2. Colocar el valor de pérdida de serviciabilidad permitida ( $\Delta PSI$ ) y la profundidad del ahuellamiento permisible (RD) en la Tabla N°19.
3. Colocar el valor del módulo resiliente ( $M_R$ ) estacional para el suelo de fundación (Tabla 17) y para el módulo elástico del material de la base de agregados ( $E_{BS}$  - psi) en la columna 2 y 3 respectivamente de la Tabla N°19.
4. Determinar el tráfico de 18-kip ESAL proyectado: La duración de la estación debe usarse para determinar la proporción del tráfico total proyectado para cada estación, es decir, el producto del ESAL por la proporción climática debe ser ingresado en la columna 4 de la Tabla N°19.
5. Determinar el tráfico permitido de 18-kip ESAL para el criterio de serviciabilidad e ingresar a la columna 5 de la Tabla N°19: con cada una de las cuatro o más tablas de prueba, estimar el tráfico permitido de 18-kip ESAL para cada una de las cuatro estaciones, usando el nomograma de la Figura N°59 basado en la pérdida de serviciabilidad. Si los valores caen fuera del nomograma, asumir un valor práctico de  $5 \times 10^5$  18-kip ESAL.
6. Determinar el tráfico permitido de 18-kip ESAL para el criterio de ahuellamiento e ingresar a la columna 7 de la Tabla N°19: Con cada una de las cuatro tablas de prueba, estimar el tráfico permitido de 18- kip ESAL para cada una de las cuatro estaciones usando el nomograma basado en ahuellamiento de

la Figura N°60. Si los valores caen fuera del nomograma asumir un valor práctico de  $5 \times 10^5$  18-kip ESAL.

7. Determinar el daño estacional (para el criterio de serviciabilidad y de ahuellamiento): daño estacional para el Criterio de Serviciabilidad: Dividir el tráfico estacional proyectado (columna 4 de la Tabla N°19) entre el tráfico permisible en esa estación (columna 5 de la Tabla N°19), luego ingresar este valor de daño estacional en la columna 6 de la Tabla N°19.

$$\frac{W_{18}}{W_{18}} = \frac{\text{columna 4}}{\text{columna 5}} = \text{columna 6}$$

8. Daño estacional para el criterio de ahuellamiento: seguir las mismas instrucciones anteriores para el ahuellamiento y luego ingresar el valor de daño estacional en la columna 8 de la Tabla N°19.

$$\frac{W_{18}}{W_{18}} = \frac{\text{columna 4}}{\text{columna 7}} = \text{columna 8}$$

9. Determinar un espesor promedio de la capa de base ( $D_{BS}$ ): Primero se obtiene el daño total estacional para ambos criterios (serviciabilidad y ahuellamiento), esto deberá hacerse para las cuatro tablas de prueba. Luego preparar el gráfico de daño total vs. Espesor de la capa de base. El espesor promedio de la capa de base ( $D_{BS}$ ) requerida se determinará por interpolación para un daño total igual a 1. De este diseño se elegirá el mayor valor del  $D_{BS}$  entre serviciabilidad y ahuellamiento.
10. Si la pérdida de agregados es de gran relevancia, corregir el espesor promedio de la base de agregado con la siguiente ecuación:

$$D_{BS} = \bar{D}_{BS} + 0.5 \times GL$$

$D_{BS}$  : Espesor de base final.

$\bar{D}_{BS}$  : Diseño del espesor de la base, pulgadas.

GL : Pérdida total de agregados permitido (in) durante el período de funcionamiento.

11. Convertir el espesor de la base granular a un equivalente del espesor de la subbase: Esta estimación puede ser necesaria si el material de base del camino es de buena calidad y es muy cara a comparación de la usada en la sub-base. (p.II69-II77)

### **3.5.Método TRRL**

Design criteria for aggregate surfaced roads and airfields (1989) establece:

En el año 1977 el método TRRL desarrolla el procedimiento de diseño para carreteras bituminosas en países tropicales y subtropicales; la misma que es aplicada para el cálculo del espesor en superficies de agregados con la única diferencia que el diseño final es multiplicado por el factor 0.78.

#### **3.5.1. Cálculo del espesor de superficie de agregados**

Este método es aplicable hasta 18000 libras de carga de un solo eje. En la siguiente figura se observa cómo obtener el espesor de diseño para carreteras tratadas superficialmente a partir del CBR y las cargas equivalentes. (p.35)

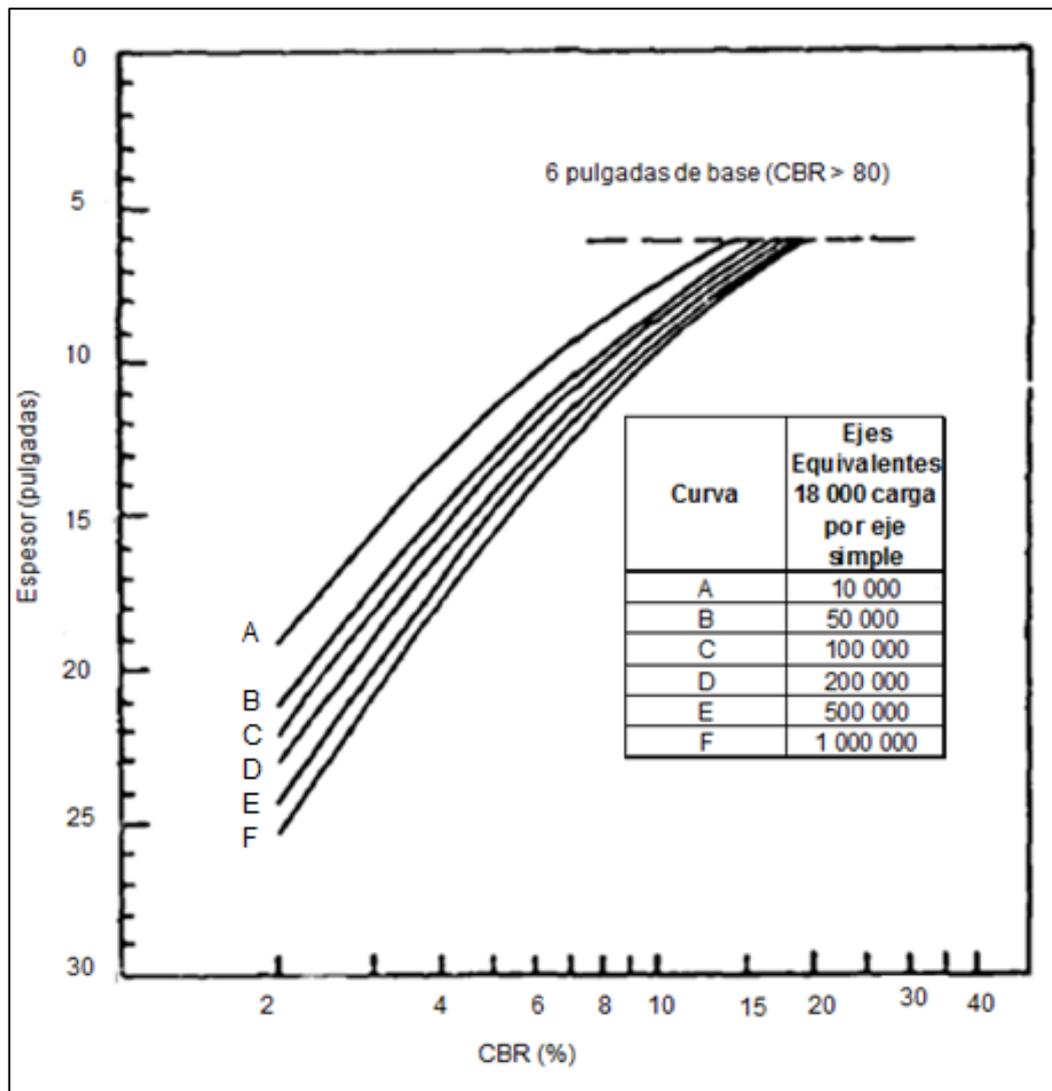


Figura N°61: Curvas de diseño para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1989)

El método de TRRL establece que para el diseño del espesor de las carreteras con superficie granular el ábaco de la Figura N°61 debe ser multiplicado por el factor 0.78. La reducción del espesor se debe a que el diseño para superficies granulares permite un mayor ahuellamiento que el tratamiento de superficie bituminosa. El método de TRRL recomienda un espesor como base mínima de 6 pulgadas y un CBR mínimo de 80%, pero si una subbase es usada, se recomienda un espesor mínimo de 4 pulgadas y un CBR mínimo de 25%.

PIARC, TRRL & Intech Associates (2002) el método TRRL sugiere el siguiente diseño estructural para caminos de bajo volumen a partir de un ahuellamiento máximo de 40 mm, por lo cual formula la siguiente:

$$\log N_{40} = \frac{h (\text{CBR})^{0.63}}{190} - 0.24$$

Dónde:

- N : Número estándar de ejes equivalente 80KN  
h : Espesor del material granular (mm)  
CBR : CBR de la subrasante (%)

### **3.6.Método Austroads (Australia)**

La Asociación Nacional de Autoridades Australianas de Carreteras Estatales (NAASRA) en el tiempo cambia de nombre a Austroads motivo por el cual Austroads revisa sus estudios y los reedita en sus guías de diseño de 1987 y 1992.

Technical basis of Austroads pavement design guide (2004) el método Austroads tiene la finalidad de evaluar el rendimiento de una estructura en distintas condiciones de campo (tráfico, medio ambiente, etc.); motivo por el cual Austroads tiene un procedimiento empírico y mecanicista. Un procedimiento empírico basado completamente en observaciones del comportamiento en el campo y un procedimiento mecanicista basado en un análisis ilimitado más allá de las observaciones donde estudia el comportamiento del pavimento. Este último método parte de dos puntos:

- a. El efecto que causa la carga de la rueda aplicada a la superficie del pavimento (tales efectos son cambios en el estado de tensión-deformación dentro del material).
- b. El rendimiento de cada uno de los materiales cuando está sujeto a cambios en su estado de tensión-deformación provocada por la carga del tráfico.

En 1998 la Guía de Tráfico Ligero (LT) de Austroads incluye diagramas de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas de tal manera que Austroads ingresa ecuaciones para calcular el espesor de superficies con agregados.

Technical basis of Austroads pavement design charts for light traffic (2005) compara:

Los espesores granulares de la Figura 8.4 de Austroads 2004 que se realizó bajo una carga de tráfico de  $10^5$  ESA y la Figura 13.8.2B que se realizó en la Guía de Tráfico Ligero de 1998 para espesores diseñados con una confianza del 90% para una carga de tráfico inferior a  $10^5$  ESA, esto se puede observar en la Tabla N°20; la finalidad de Austroads fue hallar una ecuación para un tráfico de  $10^5$  ESA.

Tabla N°20: Espesor del material granular para tráfico de diseño de  $10^5$  ESA

CBR (%)	ESPESOR DE MATERIAL DE LA CAPA SUPERIOR (mm)	
	FIGURA 13.8.2B (1998)	FIGURA 8.4 (AUSTROADS 2004)
3	381	384
4	330	330
5	282	292
7	235	240
10	192	193
15	147	149

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

El método Austroads realizó los siguientes pasos para poder llegar a la ecuación final:

1. Tomó de base los CBR de la Figura 8.4 del Austroads 2004 para obtener todos los valores de CBR de la nueva ecuación.
2. Para determinar la carga, se trazó el espesor granular para un CBR de la subrasante al 5% (Tabla N°21) versus el logaritmo de la carga de diseño, esto se observa en la Figura N°62.
3. Con esto la ecuación se ajustó y nos dio los mismos espesores de la Figura 8.4 del Austroads 2004 pero para un tráfico de diseño de  $10^5$  ESA.

4. Resultando la siguiente ecuación:

$$t = 0.475[219 - 211(\log \text{CBR}) + 58(\log \text{CBR})^2] \log(14\text{DESA}) \text{ (p.3)}$$

Tabla N°21: Espesor (mm) de material granular obtenido a partir de la guía LT de 1998, tabla de 90% y figura 8.4 de la Guía de Austroads de 2004

CBR (%)	TRÁFICO DE DISEÑO (ESA)				
	FIGURA 13.8.2B				FIGURA 8.4
	10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
3	266	281	302	320	384
4	232	240	255	270	330
5	198	208	224	238	292
7	160	170	186	197	330
10	135	140	150	159	193
15	100	105	115	120	149
20	100	100	100	100	125
30	1000	100	100	100	100

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

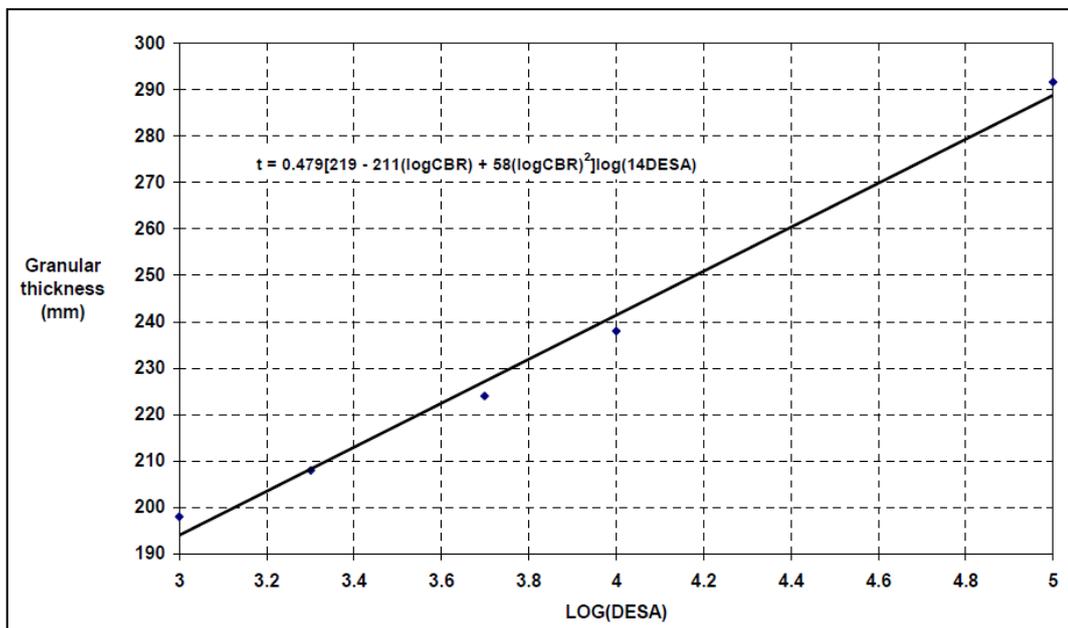


Figura N°62: Origen de la fórmula Austroads a partir de un CBR de subrasante al 5%

Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

### 3.6.1. Cálculo del espesor de superficie de agregados

Unsealed roads manual: guidelines to good practice (2009) establece que:

El método Austroads diseña el espesor de superficie en agregados con un intervalo de tráfico entre  $10^3$  y  $10^5$  DESA. Para lo cual, el manual considera 4 clases de caminos: caminos principales, caminos secundarios, vías de accesos y trochas. Los mismos que consideran un IMD de 150, 100-50 ,50-10 y menores a 10 vehículos como se muestra en la Tabla N°22.

Tabla N°22: Volúmenes de tráfico y espesor de capa de base estimado para varios tipos de carreteras (basado en 10 años de vida de diseño, crecimiento nulo)

Table 3.3 Indicative design traffic volumes and estimated pavement thickness for various road classes (based on 10 year design life, nil growth)

Road class*	Description	Typical appearance	ADT <sup>†</sup>	% CV <sup>‡</sup>	ESA/CV ratio <sup>#</sup>	Cumulative design traffic (ESA) <sup>§</sup>	Basecourse thickness (mm)			
							3	4	5	7
4A	Main road		150	10	0.2	$2 \times 10^5$	300	250	210	170
				20	0.4	$4 \times 10^5$	320	260	220	190
4B	Minor road		100-50	10	0.2	$8 \times 10^4$	280	230	200	160
				20	0.4	$3 \times 10^5$	320	250	210	180
4C	Access road		50-10	10	0.2	$4 \times 10^4$	270	220	190	150
4D	Tracks		< 10	Not applicable as these tracks are unlikely to be gravelled						

\* Road class details are provided in Chapter 4, Section 4.1.3.

<sup>†</sup> Maximum daily traffic in a year (ADT).

<sup>‡</sup> Higher value to be used for heavy freight routes.

<sup>#</sup> Higher ratio to be used for industrial areas or haulage routes.

<sup>§</sup> Rounded up values.

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

La guía de diseño de Austroads tiene un sistema de clasificación de vehículos como se muestra en la Tabla N°23, donde se detalla la diversidad de vehículos que utilizan comúnmente las carreteras australianas. Asimismo, los vehículos dominantes en cada una de las 12 clases del sistema de clasificación de vehículos se detallan en la Figura N°63.

La guía establece que el daño causado en un pavimento por el paso de un vehículo pesado no solo depende de su peso bruto sino también de cómo se distribuye este peso en el pavimento. En particular, depende de:

- La cantidad de ejes en el vehículo.
- La forma en que estos ejes se agrupan, en grupos de ejes
- La carga aplicada al pavimento a través de cada uno de estos grupos de ejes.

(p.3.10-3.16)

Tabla N°23: Sistema de clasificación de vehículos Austroads

Tabla 7.1: Sistema de clasificación de vehículos Austroads (2006c)

Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3	Clasificación Austroads	
Longitud (indicativo)	Ejes y grupos de ejes		Tipo de vehículo	Clase	Parámetros
Tipo	Ejes	Grupos	Descripción		
<b>Vehículos ligeros</b>					
Corto Hasta 5.5 m	2	1 o 2	Corto Sedan, Wagon, 4WD, camioneta ligera, bicicleta, motocicleta, etc.	1	$d(1) \leq 3.2$ m y ejes = 2
	3, 4 o 5	3	Corto - remolque Tráiler, bote, etc.	2	Grupos = 3 $2.1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3.2$ m $d(2) > 2.1$ y ejes = 3, 4 o 5
<b>Vehículos pesados</b>					
Mediano 5.5 m hasta 14.5 m	2	2	Camión de dos ejes o bus	3	$d(1) > 3.2$ m y ejes = 2
	3	2	Camión de tres ejes o bus	4	ejes = 3 y grupos = 2
	> 3	2	Camión de cuatro ejes	5	ejes > 3 y grupos = 2
Largo 11.5 m hasta 19 m	3	3	Tres ejes articulados Vehículos de tres ejes articulados, o Vehículos rígidos y tráiler	6	$d(1) > 3.2$ m ejes = 3 y grupos = 3
	4	> 2	Cuatro ejes articulados Vehículos de cuatro ejes articulados, o vehículos rígidos y tráiler	7	$d(2) < 2.1$ m $2.1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3.2$ m ejes = 4 y grupos > 2
	5	> 2	Cinco ejes articulados Vehículos de cinco ejes articulados, o vehículos rígidos y tráiler	8	$d(2) < 2.1$ m $2.1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3.2$ m ejes = 5 y grupos > 2
	6 >6	>2 3	Seis ejes articulados Vehículos de seis (o más) ejes articulados, o vehículos rígidos y tráiler	9	Ejes = 6 y grupos > 2, o ejes > 6 y grupos = 3
Mediana combinación 17.5 m hasta 36.5 m	> 6	4	B doble B doble, o camiones pesados o tráiler	10	Grupo = 4 y ejes > 6
	> 6	5 o 6	Doble camino de tren Doble camino de tren, o camiones pesados y dos tráiler	11	Grupos = 5 o 6, y ejes > 6
Combinación larga	>6	>6	Triple camino de tren Triple camino de tren, o camiones pesados y tres tráiler	12	Grupos > 6 y ejes >6

Fuente: Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012)

Definiciones:

Grupo : (grupos de ejes) - Donde los ejes adyacentes están a menos de 2.1 m de distancia

Grupos : Número de grupos de ejes

- Ejes : Número de ejes (espaciado máximo de ejes de 10 m)
- d (1) : Distancia entre el primer y segundo eje
- d (2) : Distancia entre el segundo y tercer eje

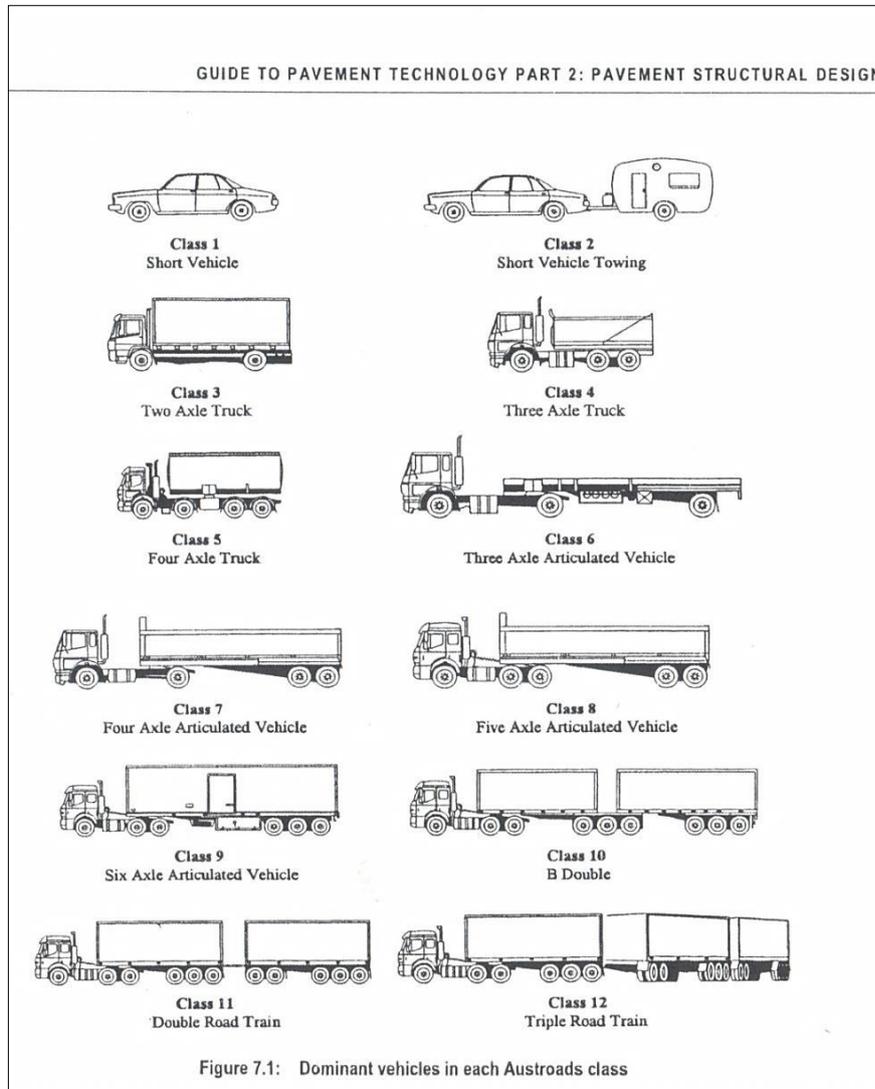


Figura N°63: Vehículos dominantes en cada clase de Austroads

Fuente: Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012)

Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012) indica que:

El método Austroads realiza un diseño de tráfico a partir de diferentes subvariables las cual se representan en la siguiente fórmula:

$$N_{DT} = 365 \times AADT \times DF \times \%HV/100 \times LDF \times CGF \times N_{HVAG}$$

*AADT* : Tráfico diario promedio anual en vehículos por día en el primer año VC

*DF* : El factor de dirección

*%HV* : Porcentaje promedio de vehículos pesados

*LDF* : Factor de distribución de carril, proporción de vehículos pesados en carril de diseño

*CGF* : Factor de crecimiento acumulativo

*N<sub>HVAG</sub>* : Número promedio de grupos de ejes por vehículo pesado

### **Selección de periodo de diseño**

El manual considera que el período de diseño adoptado por el diseñador es el lapso de tiempo considerado para que el pavimento de la carretera funcione sin una rehabilitación o reconstrucción. La selección de periodo de diseño es un parámetro fundamental en todo el proceso de gestión del pavimento por lo cual se calcula utilizando un período de diseño de 10 a 20 años con tasa de crecimiento cero utilizando el volumen máximo diario de vehículos pesados.

### **Factor de crecimiento acumulativo (CGF)**

Para el caso de volúmenes de tráfico por debajo de la capacidad durante el período de diseño, los valores del factor de crecimiento acumulado (CGF) para un rango de tasas de crecimiento anual y períodos de diseño se presentan en la Tabla N°24.

El factor de crecimiento acumulativo (cuando es constante) durante el período de diseño se calcula de forma inmediata con la siguiente ecuación:

$$CGF = \frac{(1 + 0.01R)^P - 1}{0.01R} \text{ para } R > 0$$

$R$  = Crecimiento Anual (%) >0

$P$  = Periodo de diseño (años)

Tabla N°24: Factor de crecimiento acumulativo (CGF)

PERIODOS DE DISEÑO (P) AÑOS	FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULATIVO							
	0	1	2	3	4	6	8	10
5	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.9	6.1
10	10	10.5	10.9	11.5	12.0	13.2	14.5	15.9
15	15	16.1	17.3	18.6	20.0	23.3	27.2	31.8
20	20	22.0	24.3	26.9	29.8	36.8	45.8	57.3
25	25	28.2	32.0	36.5	41.6	54.9	73.1	98.3
30	30	34.8	40.6	47.6	56.1	79.1	113.3	164.5
35	35	41.7	50.0	60.5	73.7	111.4	172.3	271.0
40	40	48.9	60.4	75.4	95.0	154.8	259.1	442.6

Fuente: Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012)

### Identificación de diseño de carril

El manual establece que, para una nueva construcción, es una práctica común adoptar el mismo diseño de pavimento para todos los carriles de la calzada y basar este diseño en la carga de tráfico con el mayor tráfico, este carril con mayor tráfico se denomina carril de diseño.

Para una carretera de dos carriles, el carril de diseño se identifica fácilmente como el carril con mayor tráfico. En las carreteras de este tipo, las estimaciones de la carga de tráfico generalmente solo están disponibles para toda la calzada, no hay información de carril sobre la carga del tráfico. La distribución de la carga de tráfico a través de los carriles depende de:

- La cantidad de carriles de tránsito
- La presencia de vehículos estacionados en el carril izquierdo
- La proximidad de las intersecciones
- Las funciones primarias y secundarias de la carretera

Los sistemas de pesaje en movimiento son disponibles, pues se ofrece carga de vehículos pesados específicos por carril a través de una vía, si la información específica del proyecto no está disponible, entonces el manual establece el uso de la Tabla N°25, donde proporciona orientación sobre la proporción de carga de tráfico pesado para vehículos donde brinda el factor de distribución de carril (LDF).

Tabla N°25: Factor de distribución de carril

UBICACIÓN	CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARRIL (LDF)		
		CARRIL IZQUIERDO	CARRIL CENTRAL	CARRIL DERECHO
Rural	2 carriles	1.00*	N/A	0.5
	3 carriles	0.95	0.65	0.3
Urbano	2 carriles	1.00*	N/A	0.5
	3 carriles	0.65	0.65	0.5

Fuente: Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012)

\* Este valor es el límite sugerido de un carril se puede reducir si hay datos de encuesta de tráfico suficientes que indiquen que un LDF inferior es apropiado.

### **Definición de carga de tráfico de diseño y su cálculo**

Los requisitos de tráfico de diseño para el espesor de la superficie de agregados se pueden establecer formalmente de la siguiente manera. En primer lugar, se calcula el  $N_{DT}$  (DESA), Luego es multiplicado por el factor de daño total ( $\frac{ESA}{HVAG}$ ) que se establece en la Tabla N°26 para tener el diseño final del tráfico.

Tabla N°26: Factor de índice de daño

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE DAÑO	ÍNDICE DE DAÑO	TIPOS DE CALLES	VALORES
PAVIMENTO GRANULAR CON DELGADAS SUPERFICIES BITUMINOSAS	DAÑO TOTAL	ESA/HVAG	Tráfico menor de carril único	0.2
			Tráfico menor de dos carriles	0.2
			Acceso local sin autobuses	0.3
			Acceso local con autobuses	0.3
			Acceso local en el área industria	0.4
			Colector sin autobuses	0.6
			Colector con autobuses	0.6
		ESA/HV	Tráfico menor de carril único	0.4
			Tráfico menor de dos carriles	0.4
			Acceso local sin autobuses	0.6
			Acceso local con autobuses	0.6
			Acceso local en el área industria	0.9
			Colector sin autobuses	1.3
			Colector con autobuses	1.3
PAVIMENTO QUE CONTIENE UNA O MÁS CAPAS, MECANÍSTICAMENTE DISEÑADAS	FATIGA EN ASFALTO	SAR5/ESA	N/A	N/A
	AHUELLAMIENTO Y PERDIDA DE FORMA	SAR7/ESA	Todas las carreteras con poco tránsito	1
	FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS	SAR12/ESA	Todas las carreteras con tránsito sin autobuses	3
			Todas las carreteras con tránsito con autobuses	12

Fuente: Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design (2012)

De esta manera el método Austroads calcula el diseño de su primera variable de tráfico como se expresa en la siguiente ecuación:

$$DESA = \frac{ESA}{HVAG} \times N_{DT}$$

Dónde:

$$\frac{ESA}{HVAG} = \text{Promedio de ejes equivalentes por el grupo de vehiculos pesados}$$

(p.85-94)

### Niveles de confiabilidad

Technical basis of Austroads pavement design guide (2005) NAASRA hoy AUSTROADS, en el año 1998 publica la “Guide to the design of new pavements for light traffic”, en base a investigaciones realizadas con tratamientos superficiales donde establece tres niveles de confiabilidad del modelo inicial en base a 80%, 90% y 95% de confiabilidad como se muestra en la Tabla N°27.

Tabla N°27: Niveles de confianza sugeridos para diferentes ubicaciones y propósitos

USO TÍPICO	NIVELES DE CONFIANZA (%)	FIGURA
Calle urbana	95	13.8.2 (A)
Caminos Rurales (posible superposición futura)	90	13.8.2 (B)
Construcción por etapas	80	13.8.2 (C)

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

Para el año 1998 el manual publica el diseño de espesores para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas (80% confiabilidad) ver Figura N°64. En el año 2009, el Ing. George J. Giummarra publica la 3° edición del manual unsealed roads manual, Guidelines to good practice, publica el diseño de espesores para pavimentos granulares sin superficies bituminosas (80% confiabilidad) ver Figura N°65.

Estos gráficos cubren el tráfico de diseño de  $10^3$  a  $5 \times 10^5$  ESAs.

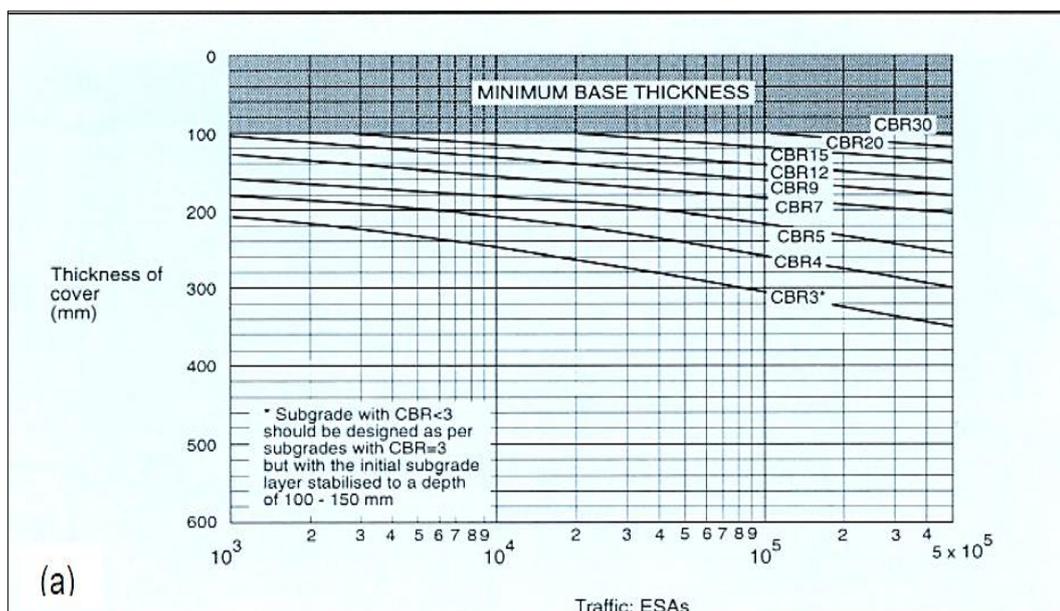


Figura N°64: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 80%

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

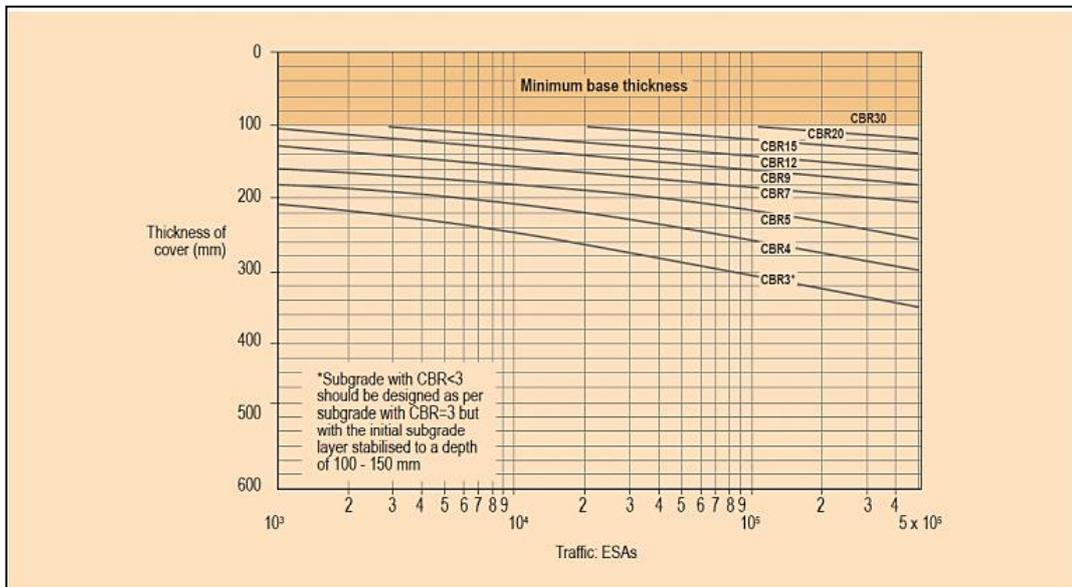


Figure 3.2 Design chart for granular pavements (80% confidence)

Source: APRG (1998).

Note: Where a separate wearing course is applied this is an additional layer above the determined basecourse thickness.

Figura N°65: Diseño de espesores para pavimentos granulares (80% confiabilidad)

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

### 3.7.Método NAASRA (MTC)

El método NAASRA (MTC) aparece por primera vez en el “Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito” aprobada mediante resolución ministerial N°084-2005-MTC/14 tiempo después el “Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito” con resolución ministerial N° 303-2008-MTC/02 es actualizada suprimiendo una clasificación de tráfico.

El 27 de marzo del 2014 declaran derogado este manual; sin embargo, aparece el método NAASRA (MTC) a través del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” el año 2014.

#### 3.7.1. Cálculo del espesor de afirmado

##### Ejes equivalentes (EE)

El método NAASRA (MTC) es una copia del modelo australiano con cambios en el cálculo del tránsito que se realiza mediante el método AASHTO donde su unidad de medida son los ejes equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño, dado

por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 tn de peso y neumáticos con una presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>.

El manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014) establece la siguiente fórmula para el cálculo de ejes equivalentes:

$$EE_{dia-carril} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times F_{vpi} \times F_{pi}$$

$$Nrep \text{ de } EE_{8.2 \text{ tn}} = EE_{dia-carril} \times F_{ca} \times 365$$

Donde :

$IMD_{pi}$  : Corresponde al índice medio diario según tipo de vehículo pesado seleccionado.

$Fd$  : Factor direccional, según Tabla N°28.

$Fc$  : Factor carril de diseño, según Tabla N°28.

$F_{vpi}$  : Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.

$F_{pi}$  : Factor de presión de neumáticos, según Tabla N°30.

$F_{ca}$  : Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado Tabla N°29.

365 : Número de días de año.

### **Factor direccional y factor carril**

El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) considera el factor direccional del número de vehículos pesados en una dirección o sentido de tráfico, lo que usualmente equivale a la mitad del total de tránsito en ambas direcciones; sin embargo, en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

De igual manera, el manual establece que el tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada como se muestra en la Tabla N°28.

Tabla N°28: Factor direccional y Factor carril

**Cuadro 6.1**  
**Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño**

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc 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

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC (2014)

### Factor de crecimiento y proyección

Para realizar el cálculo del crecimiento de tránsito se divide en tránsito para vehículos pasajeros y tránsito para vehículos de carga pesada y se utilizará la fórmula de progresión geométrica. La tasa de crecimiento varía normalmente entre 2% y 6%.

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

T<sub>n</sub> = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T<sub>o</sub> = Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n = Número de años del periodo de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

Con la Tabla N°29 podremos determinar el factor de crecimiento acumulado (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años.

Tabla N°29: Factor de crecimiento acumulado Fca

**Cuadro 6.2**  
**Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)**  
**Para el Cálculo de Número de Repeticiones de EE**

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

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC (2014)

### **Factor de ajuste por presión de neumático**

El manual ha obtenido los factores de ajuste por presión de neumático a partir del EAL adjustment factor for tire pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto que se muestra en la Figura N°66. Para la determinación de los factores de presión de neumáticos del manual se modificó la presión de 70 psi a 80 psi; donde los valores intermedios pueden interpolarse para el cálculo de ejes equivalentes. Esta modificación es la que utiliza el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y se muestra en la Tabla N°30. (p.63-74)

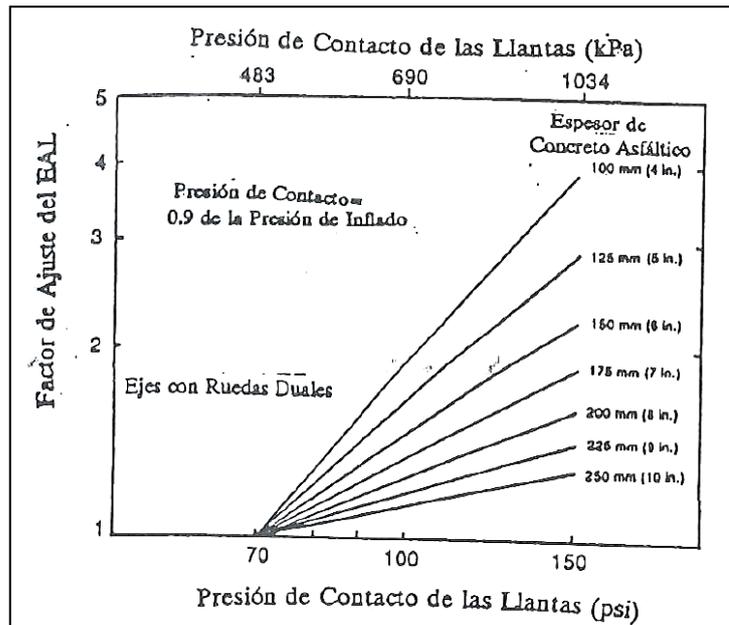


Figura N°66: Factor de ajuste por presión de llantas (70psi)

Fuente: Instituto del Asfalto MS-1/1991 (1991)

Tabla N°30: Factor de ajuste por presión de neumático

**Cuadro 6.13**  
**FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO ( $F_p$ ) PARA EJES EQUIVALENTES (EE)**

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

**Nota:**

- EE = Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): esta referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículos pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

**Fuente:** Elaboración propia, en base a correlaciones con la figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manula MS-1 del Instituto de Asfalto

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC (2014)

El manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) establece:

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptará cualquier método de diseño que satisfaga los requerimientos del proyecto. Para el dimensionamiento de los espesores de afirmado mostrado en el presente manual, se adoptó como método la siguiente ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS).

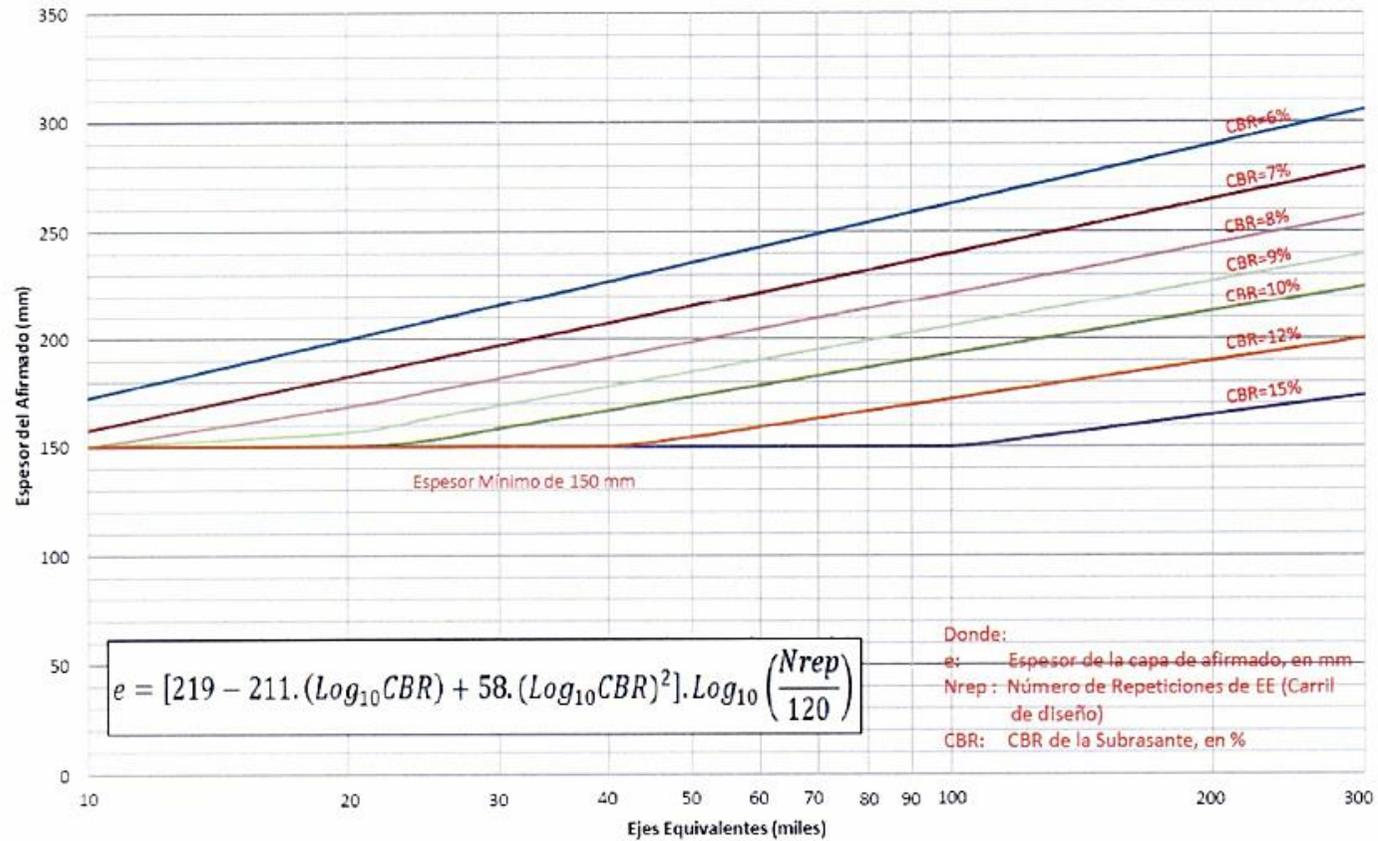
$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Dónde:

- e : Espesor de la capa de afirmado en milímetros.
- CBR : Valor del CBR de la subrasante.
- Nrep : Número de repeticiones de EE. (p.119)



**Figura 11.1**  
**ESPESOR DE CAPA DE REVESTIMIENTO GRANULAR**



Fuente: Elaboracion propia en base al Método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS)

Figura N38: Espeador de capa de revestimiento granular

Fuente: Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

## **CAPÍTULO IV: PRINCIPIO DE DISEÑO DE AFIRMADO Y SU RELACIÓN CON EL MÉTODO NAASRA (MTC)**

El principio de diseño se basa en criterios de deformación que surgen a partir de las cargas. Cuando las cargas superan la resistencia del material se produce las fallas funcionales y/o estructurales en el pavimento. Para esta investigación el principio de cada método de diseño de afirmado girará en torno al ahuellamiento y pérdida de agregados.

### **Ahuellamiento por fallas en la subrasante**

Son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores (base o subbase) bajo la capa de asfalto. Aunque los materiales duros pueden reducir este tipo de ahuellamiento, es considerado un problema estructural, más que de los materiales entre sí. Esencialmente, no hay suficiente fuerza en el pavimento o dureza para reducir la fuerza aplicada en un nivel tolerable. También puede ser causado por un inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores. Las cargas de tráfico provocan hundimientos y debilitamiento, por debajo de la estructura del pavimento. Si la capa de pavimento es suficientemente flexible, se deformará por tener espesores delgados. Los hundimientos por ahuellamiento tienden a ser de anchos que van desde los 750 mm hasta los 1000 mm, con poca profundidad y formas curvadas cruzando la sección del pavimento sin fisurarse. Si se hiciera una zanja o corte, la deformación de pavimento indicaría, que el espesor del pavimento permanece constante y cualquiera de las capas granulares (base o sub-base) tiene deformaciones. Si la estructura del pavimento es lo suficientemente rígida a la deformación, ocurrirán fisuras por fatiga de un lado a otro en el ancho entero de la trayectoria de la llanta. Algunas veces atravesando toda la sección del pavimento, parecería un tipo de falla por punzonamiento, con piezas quebradas empujadas hacia abajo. Algunos ahuellamientos tienden a presentar pendientes pronunciadas con bordes quebrados en ambos lados de la trayectoria de la rueda. (Padilla, 2007, p.67)

En la Figura N°67 se observa el ahuellamiento de la subrasante debido al paso de los vehículos.

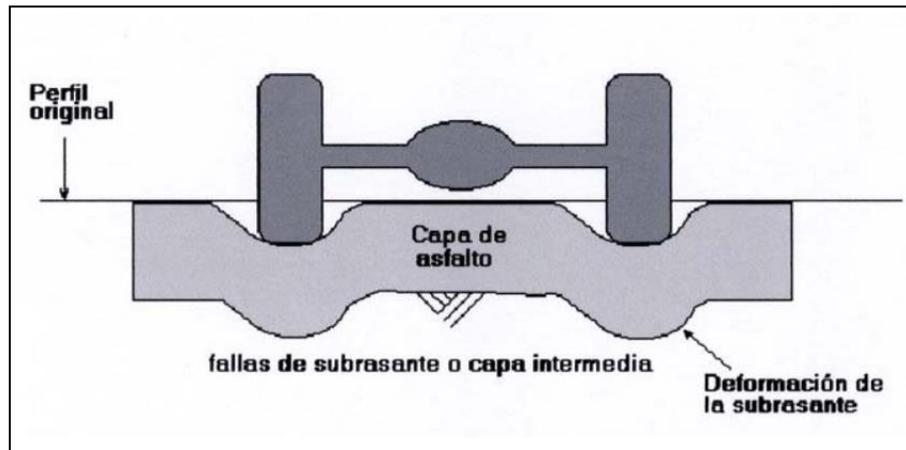


Figura N°67: Ahuellamiento por fallas en la Subrasante

Fuente: Padilla (2007)

“Cuando un material granular se inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total ( $\epsilon_T$ ) que se genera es recuperada por la deformación resiliente, ( $\epsilon_r$ ). Aquella deformación que no se recupera y se acumula con cada repetición del ciclo se le denomina deformación permanente ( $\epsilon_p$ ).” (Reyes, 2015, p.20)

En la Figura N°68 se observa la relación del esfuerzo con la deformación de un ciclo de carga y descarga realizado por Reyes.

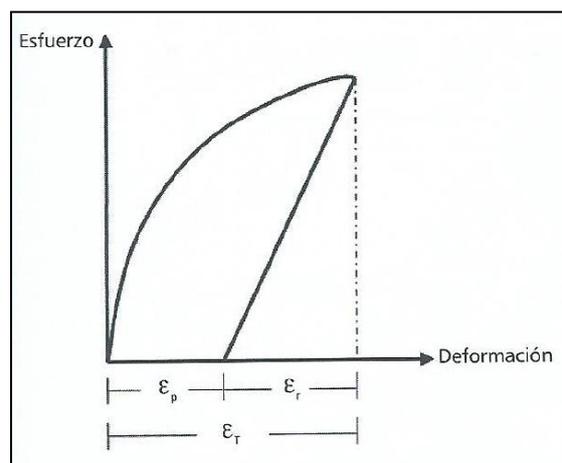


Figura N°68: Curva típica esfuerzo-deformación de un ciclo de carga y descarga

Fuente: Diseño Racional de Pavimentos (2015)

“Métodos de diseño tales como AI (1982), AUSTRROADS (1992), HMSO (1994), IDU y Universidad de Los Andes (2002), INVIAS (2002), SHELL (1978) y TRRL (1993) suponen que la deformación permanente se genera principalmente en la subrasante.” (Reyes, 2009, p.73)

De la anterior cita textual se deduce que el principio de ahuellamiento de los métodos mencionados sucede en la subrasante, debido a su menor rigidez y mayor probabilidad de presentar altos contenidos de agua en comparación con otras capas del pavimento. Por otro lado, algunos estudios han demostrado que la deformación en el pavimento se da principalmente por las capas compuestas por materiales granulares no tratados (base y subbase). A continuación, se presenta los principales factores que generan la deformación.

Rondón y Reyes (2009) establecen los factores que influyen en la resistencia a la deformación permanente:

### **Influencia del esfuerzo**

Garnica y Gómez (2001), Kalcheff y Hicks (1973), Shenton (1974), Brown y Hyde (1975), Stewart (1986) observaron que cuando la carga cíclica se aumenta gradualmente sobre un material granular la deformación es mucho más pequeña que cuando se aplica directamente la carga más grande como se muestra en la Figura N°69.

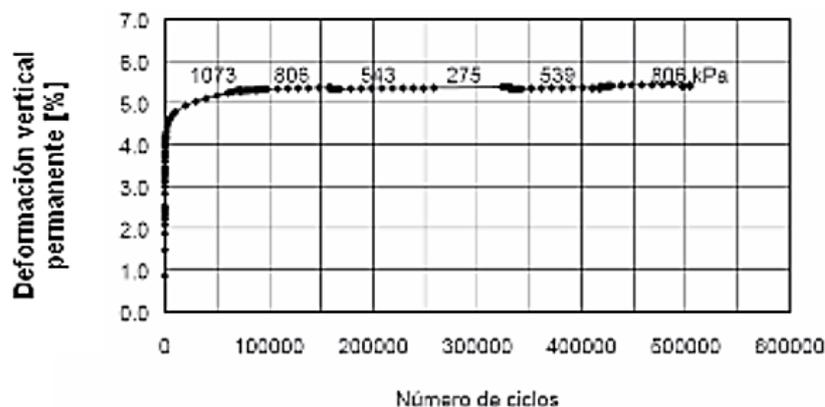


Figura N°69: Influencia de la historia de esfuerzos

Fuente: Garnica y Gómez (2001)

### **Influencia del contenido de agua**

Otra de las influencias del ahuellamiento es el contenido de agua; sin embargo, existe un contenido de agua que es beneficioso para elevar la resistencia a la deformación permanente. Incrementos adicionales a este contenido óptimo de agua generan en el material un aumento del grado de saturación, acompañado por elevación de la presión de poros y disminución de los esfuerzos efectivos, lo que induce pérdida de la rigidez y de la resistencia a la deformación permanente. (Lekarp et al., 2000) (Barksdale, 1972) (Kolisoja et al., 2002) (Cost 337, 2000) (Gidel et al., 2001) (Dawson et al., 1996)

### **Influencia de la densidad**

En general, la reducción en la densidad de un material granular genera disminución de la resistencia a la deformación permanente. (Lekarp et al., 2000) (Barksdale, 1972) (Barksdale y Hicks, 1973) (Brown y Selig, 1991) (Cost 337, 2000) (Wichtmann et al., 2004) (Dawson et al., 1996) (Thom y Brown, 1987) (Kamal et al., 1993)

### **Influencia del número y frecuencia de carga**

Barksdale y Hicks (1973), Brown y Selig (1991) mencionan que la deformación permanente en materiales granulares aumenta aproximadamente de manera lineal con el logaritmo del número de ciclos, pero a muy bajos niveles de esfuerzo la tasa de deformación tiende a disminuir con los ciclos de carga.

### **Influencia de la granulometría**

Thom y Brown (1987, 1988), reportan que muestras con gradación uniforme no compactadas presentan mayor resistencia a la deformación permanente que muestras bien gradadas sin compactar. Sin embargo, cuando compactaron las muestras observaron que la gradación no afectaba la deformación permanente. Además, concluyen que muestras con alta presencia de finos reducen la resistencia a la deformación permanente. (p.73-83)

Huamán (2011) establece que:

A partir de estas influencias deducimos que el número de ciclos de carga crece en forma lineal; sin embargo, si el valor es excedido, la deformación crece rápidamente con el esfuerzo y solo dependerá del tipo de material en la subrasante para que no tenga mayor deformación. Diversos ensayos que se han realizado a nivel mundial, han comprobado que existe una relación entre la deformación  $\xi$ , y la duración o vida de fatiga del material representada por el número N de veces que soporta antes de romperse por fatiga. Las variables  $\xi$  y N están ligadas por la expresión:

$$N = k_1 * \xi^{k_2}$$

Donde:

N : Representa el número de ciclos de carga hasta la fatiga del material al nivel de deformación.

$\xi$  : Deformación unitaria de tracción (en micro deformaciones  $\mu$  m/m).

$k_1, k_2$  : Constantes que describen el comportamiento a fatiga del material.  
(p.12)

A continuación, se presenta en la Figura N°70 un camino no pavimentado de la carretera Quilmaná – Puerto Fiel, provincia de Cañete que ha sufrido el efecto de la deformación permanente de ahuellamiento.



Figura N°70: Carretera Quilmaná – Puerto Fiel, provincia de Cañete - Lima

Fuente: Gobierno Regional de Lima (2017)

Unsealed roads manual (2009) indica:

Los ahuellamientos son deformaciones longitudinales causadas por el paso de los vehículos, tal y como se observa en la Figura N°71. Los ahuellamientos son problemas potenciales, ya que tienden a retener el agua producida por las lluvias que acelera el desgaste. Asimismo, los ahuellamientos pueden causar un peligro de seguridad debido a la acumulación de material suelto entre las huellas de las ruedas.

Durante la estación seca el ahuellamiento en materiales no cohesivos como arenas o gravas que tienen un bajo contenido de finos tiende a desplazar los materiales finos hacia los lados.

Por el contrario, durante la estación húmeda el ahuellamiento se encuentra en materiales sensibles al agua. El agua ingresa al pavimento ya sea desde la superficie o a través de la acción capilar de la subrasante. El ahuellamiento se puede producir en la subrasante o en el material superficial como resultado de la cantidad excesiva de agua que ingresan en la estructura.

Los ahuellamientos superficiales se pueden formar por las siguientes razones:

- Mala granulometría del material.

- Mala compactación.
- Inadecuado diseño de pavimento.
- Drenaje superficial deficiente.
- Excesivo material de finos.
- Falta de mantenimiento.
- Posibles vehículos sobrecargados. (p.2.8)



Figura N°71: Ahuellamiento en la superficie de rodadura

Fuente: Unsealed roads manual (2009)

En el diseño de pavimentos, la presión de contacto generalmente se asume igual a la presión de la llanta como se muestra en la Figura N°72, debido a que los ejes de carga pesados tienen presiones altas y efectos más destructivos en el pavimento, utilizar la presión de la llanta como presión de contacto, es estar por el lado de la seguridad.

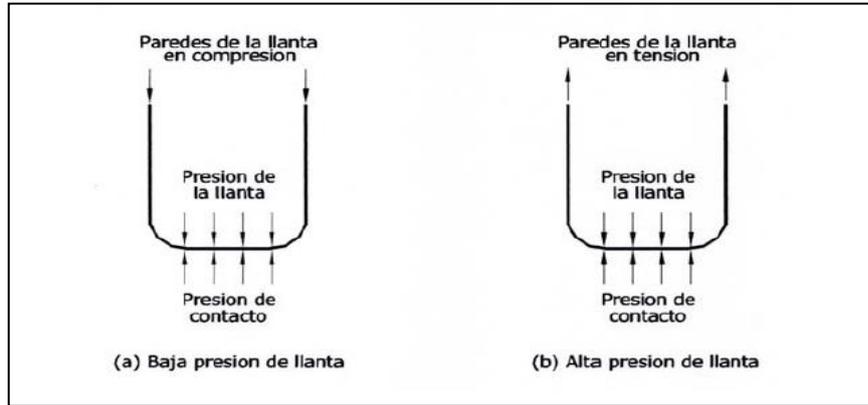


Figura N°72: Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta

Fuente: Deformaciones plásticas en capas de rodadura (2007)

La Figura N°73 refleja los estados de esfuerzos en una sección longitudinal. El estado de esfuerzos experimentados en el punto P, debido a una carga en el punto A es, que actúan tanto los esfuerzos cortantes como los esfuerzos normales (ver A), cuando la carga se mueve al punto B, los esfuerzos cortantes son nulos y únicamente actúan los esfuerzos normales (ver B), en este punto se tiene un estado triaxial de esfuerzos, debido a que sólo se presentan esfuerzos normales, por último, la dirección de los esfuerzos cortantes originados en el punto C, es contraria a la dirección de los esfuerzos originados en el punto A (ver C). (Padilla, 2015, p.72-75)

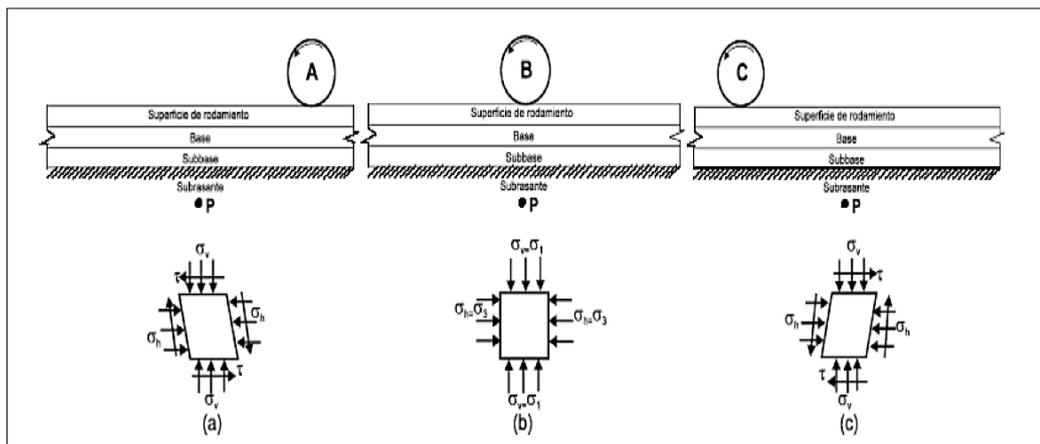


Figura N°73: Estados de esfuerzos en una sección longitudinal

Fuente: Deformaciones plásticas en capas de rodadura (2007)

## 4.1 Método CBR

El método CBR no presenta principios ni de ahuellamiento ni pérdida de agregados; sin embargo, para el diseño del espesor del pavimento recomienda lo siguiente:

Si el material de subbase tiene un CBR mayor de 15%. Se recomienda que el material para base tenga un CBR mayor de 40% cuando las cargas por rueda son menores de 10.000 libras (4.540 Kg) y un CBR no menor de 80% cuando las cargas por rueda son mayores de 10.000 libras (4.540 Kg). (Valle, 1976, p.219)

## 4.2 Método USACE

Considera los principios de ahuellamiento superficial y pérdida de agregados.

### 4.2.1 Ahuellamiento

El cuerpo de ingenieros junto al departamento de servicios forestales de agricultura (1978) desarrollan el algoritmo de ahuellamiento con modelos de confiabilidad y deterioro en carreteras de tierra, grava y pavimentos flexibles. Para el desarrollo del algoritmo se analizaron un total de 254 puntos de datos sobre caminos de superficie de agregados utilizando la técnica de regresión. Debe señalarse que las muestras tomadas en superficies de agregados tienen en su mayoría valores de CBR relativamente bajos (entre 8% y 17%).

A partir de esta base de datos la ecuación considera 3 factores: Tráfico (EAL), resistencia de la subrasante (CBR) y desempeño (ahuellamiento y confiabilidad) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$RD = 0.1741 \times \frac{P_K^{0.4707}}{(\text{Log}t)^{2.002}} \times \frac{t_p^{0.5695}}{C_1^{0.9335}} \times \frac{R^{0.2476}}{C_2^{0.2848}}$$

RD :	Profundidad de ahuellamiento, pulgadas
$P_K$ :	Carga equivalente de una rueda, Kips
$t_p$ :	Presión de llantas, psi
$t$ :	Espesor de superficie de agregado, pulgadas
$R$ :	Repeticiones de carga o pasadas

- $c_1$  : CBR del afirmado
- $c_2$  : CBR de la subrasante

Sin embargo, algunos valores fueron reemplazados:

- Número de repeticiones de eje equivalente el valor es de (18 kips) ESWL:  
8.2 ton
- Presión en llantas de 80psi

Por lo cual la ecuación fue simplificada a:

$$RD = 0.1741 \times \frac{8.64 \text{kips}^{0.4704}}{(\text{Logt})^{2.002}} \times \frac{80 \text{psi}^{0.5695}}{C_1^{0.9335}} \times \frac{R^{0.2476}}{C_2^{0.2848}}$$

$$RD = 5.8230 \times \frac{R^{0.2476}}{(\text{Logt})^{2.002} \times C_1^{0.9335} \times C_2^{0.2848}}$$

La ecuación anterior se usa para determinar los requisitos de pavimento estructural para una carretera con superficie de agregado donde:

- RD : Profundidad de ahuellamiento, pulgadas
- t : Espesor de superficie de agregado, pulgadas
- R : Repeticiones de carga o pasadas
- $c_1$  : CBR del afirmado
- $c_2$  : CBR de la subrasante

La ecuación es modificada para resolver el espesor para un ahuellamiento limitado a 2 pulgadas. Es así que el Cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos establece la siguiente fórmula para superficies de agregado.

$$RD = 5.8230 \times \frac{R^{0.2476}}{(\text{Logt})^{2.002} \times C_1^{0.9335} \times C_2^{0.2848}}$$

$$\text{Logt} = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

- RD : Profundidad de ahuellamiento, pulgadas  
t : Espesor de superficie de agregado, pulgadas  
R : Repeticiones de carga o pasadas  
c<sub>1</sub> : CBR del afirmado  
c<sub>2</sub> : CBR de la subrasante (p.61-63)

#### **4.2.2 Pérdida de agregados**

El método USACE a pesar de no ser expresado por una fórmula para obtener la pérdida de agregados propone utilizar un mantenimiento periódico después de una construcción, ya que el diseño del método USACE no es para una construcción permanente.

#### **4.3 Método Peltier**

El método de Peltier recoge las mismas variables del método CBR por tal motivo no presenta principios de ahuellamiento ni pérdida de agregados.

#### **4.4 Método AASHTO**

El manual AASHTO 1993, capítulo 4, considera en el diseño de carreteras de bajo volumen los criterios de ahuellamiento y pérdida de agregados, los cuales tienen que ser considerados en el diseño de superficie de agregados.

##### **4.4.1 Ahuellamiento Permisible**

AASHTO guide for design of pavement structures (1993) propone en el diseño:

El principio de ahuellamiento es considerado en el diseño para identificar la deformación en la estructura del pavimento y su influencia en la resistencia de la subrasante. El manual AASHTO considera un rango de ahuellamiento para superficie de agregados entre 0.5"-3" como se observa en la Figura N°60 de la página 88. Sin embargo, el método AASHTO recomienda como ahuellamiento permisible para el diseño de superficie de gravas entre 1"- 2". (p.II12)

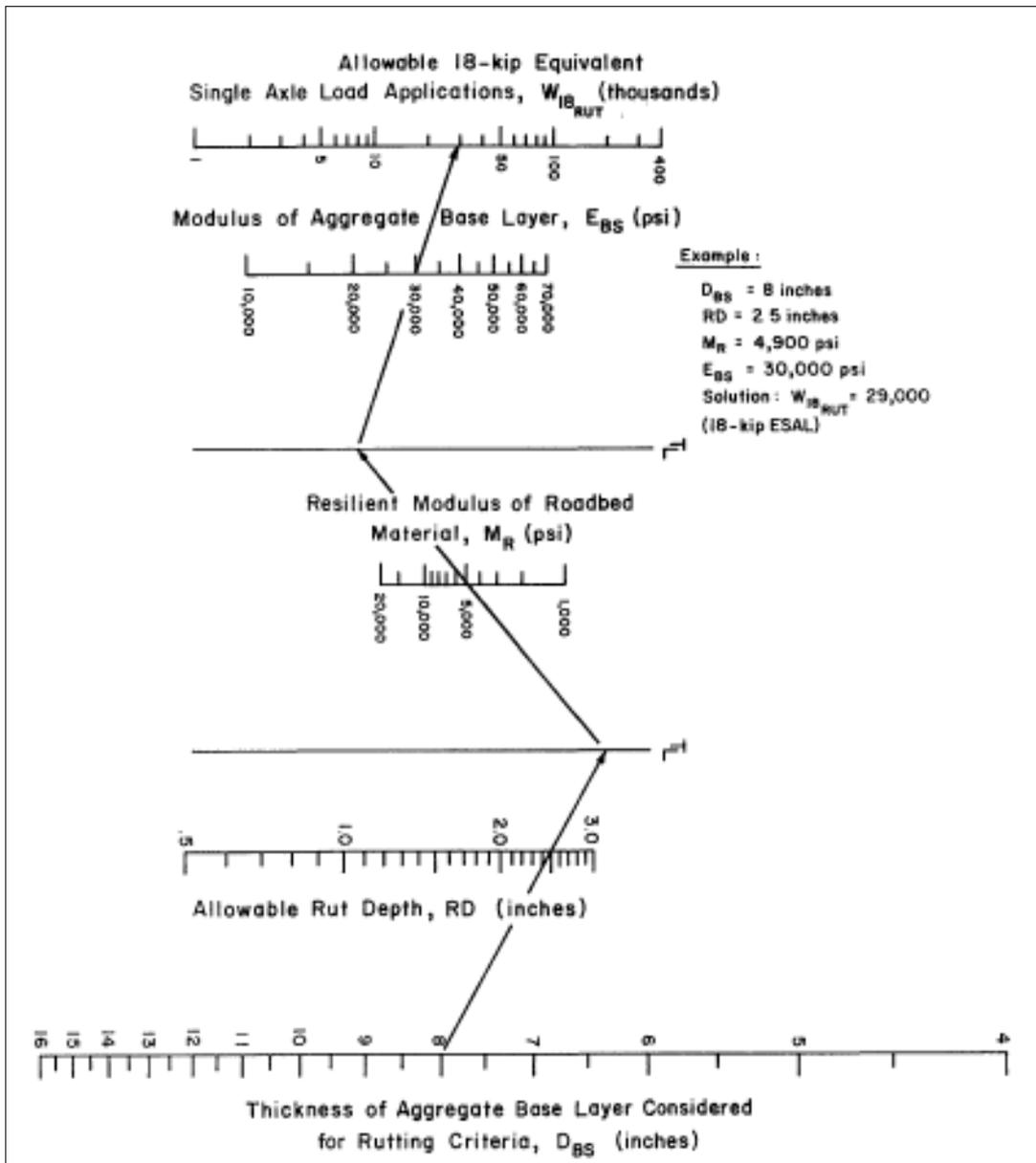


Figura N°60: Diseño para carreteras de bajo volumen considerando el ahuellamiento

Fuente: Manual AASHTO (1993)

#### 4.4.2 Pérdida de Agregados

AASHTO guide for design of pavement structures (1993) propone en el diseño:

Para las carreteras de superficie de agregados, es importante estudiar el principio de pérdida agregados debido al tráfico y la erosión, por consecuente el espesor de la estructura del pavimento aumenta debido al deterioro de la superficie.

Para tratar la pérdida de agregado es necesario estimar el espesor total del agregado que se perderá durante el período de diseño y el espesor mínimo de agregado que se requiere para mantener la capa superficial de la estructura de pavimento.

El manual AASHTO presenta mediante la siguiente fórmula la pérdida de agregados que será ingresado en el diseño final de la superficie de agregados:

$$GL = 0.12 + 0.1223 * (LT)$$

Dónde:

GL : Pérdida total de agregados, en pulgadas.

LT : Número de camiones cargados, en miles. (p.II12)

#### **4.5 Método TRRL**

PIARC, TRRL & Intech Associates (2002) indican que el método de TRRL no utiliza normalmente el diseño de espesor para superficie de gravas; sin embargo, el método proporciona un espesor suficiente para distribuir la carga del tráfico de manera que no falle por ahuellamiento la subrasante. A partir de esta consideración el método TRRL sugiere el siguiente grosor estructural para caminos de bajo volumen con la finalidad que cumpla un ahuellamiento máximo de 40 milímetros.

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

Donde:

N : Número estándar de ejes equivalente 80KN

H : Espesor del material granular (mm)

CBR : CBR de la subrasante (%)

#### **4.6 Método AUSTRROADS (Australia)**

Hughes (2002) afirma: En el artículo “Serviceability Design of Granular Pavement Materials” La mayoría de las guías de diseño de espesor de pavimento actuales (HMSO

1994, TRL 1993, Austroads 1992) suponen que el ahuellamiento ocurre en la subrasante”. (p.1)

A pesar de que el ahuellamiento en el método Austroads no es determinado por un valor mínimo y/o máximo ni presenta la pérdida de agregados, el manual considera niveles de confiabilidad.

#### 4.6.1 Niveles de confiabilidad

Los gráficos que se muestran a continuación proporcionan tres niveles de confianza: 80%, 90% y 95%, donde consideran el principio de diseño según su tipo de uso. La Guía LT de 1998 proporciona niveles de confianza apropiados para diseñar el espesor del pavimento, como se muestra en la Tabla N°31.

Tabla N°31: Niveles de confianza sugeridos para diferentes usos

Uso Típico	Niveles de Confianza (%)	Figura
Calle Urbana	95	13.8.2 (A)
Caminos Rurales (Posible superposición futura)	90	13.8.2 (B)
Construcción por Etapas	80	13.8.2 (C)

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

Todos los niveles de confiabilidad como se observan en la Figura N°64 de la página 104, Figura N°74 y Figura N°75 son diseños para caminos de bajo volumen donde el tráfico de diseño se encuentra entre  $10^3$  y  $5 \times 10^5$  ESA, es decir el nivel de confiabilidad dependerá del diseño del proyectista según el tipo de uso del camino.

Para la presente investigación se estudiará el nivel de confianza al 90% donde el diseño de afirmado es destinado para usos de caminos rurales que considera una posible superposición de capa a futuro.

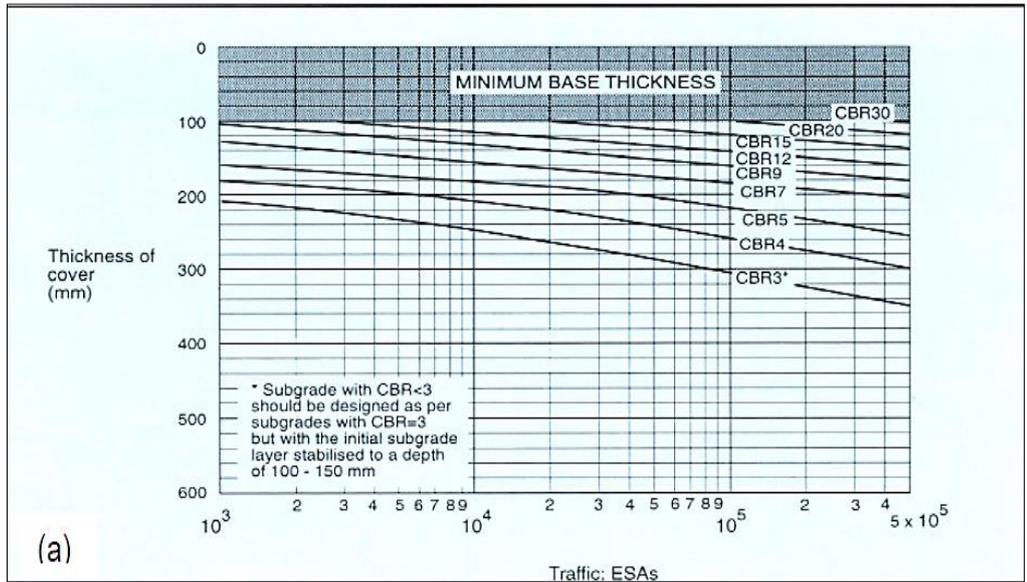


Figura N°64: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 80%

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

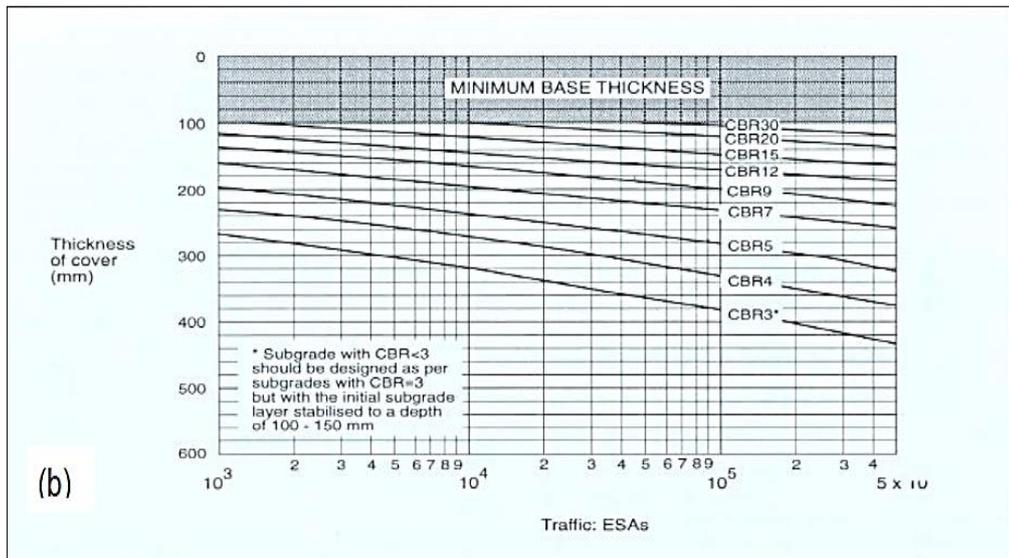


Figura N°74: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 90%

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

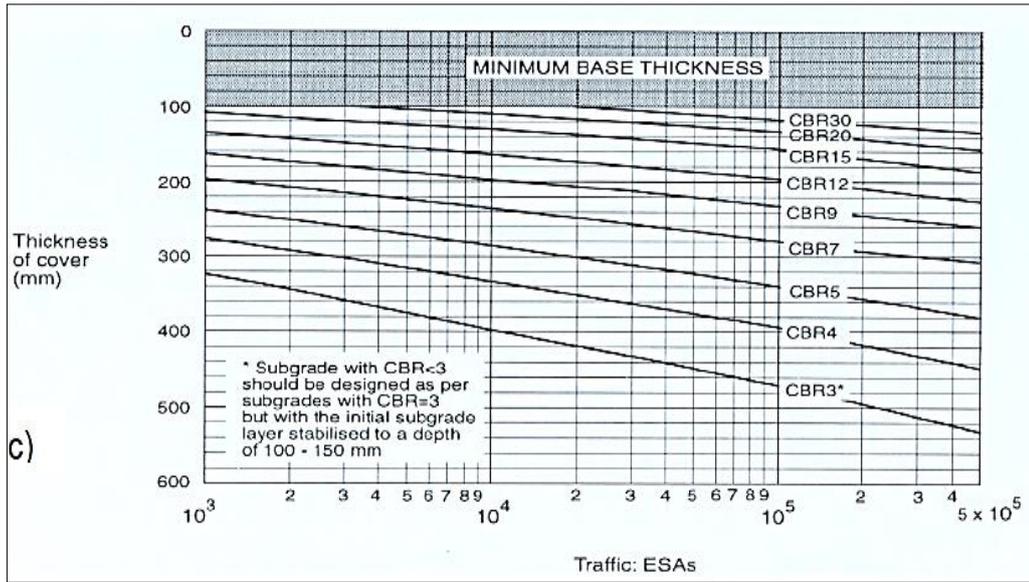


Figura N°75: Diagrama de diseño para pavimentos granulares con superficies bituminosas delgadas, basado en un nivel de confianza del 95%

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

## **CAPÍTULO V: VARIABLES DE CADA MODELO Y SU RELACIÓN CON EL MÉTODO NAASRA (MTC)**

En este capítulo se investigará las variables de cada método de diseño para obtener el espesor de la superficie de agregados, donde estas variables consideradas en los diferentes métodos son: tráfico, suelo, clima y granulometría.

### **5.1.Método CBR**

Para obtener el espesor de diseño a través del método CBR se necesita tener dos variables de diseño: tráfico y suelo.

#### **5.1.1. Variable Tráfico**

En 1942 el Departamento de carreteras de California propone un ábaco donde la unidad de la variable tráfico es representada por la carga por rueda donde el método considera valores que fluctúan entre 4,000lb (1,816kg) y 180,000 lb (81,720Kg) como se muestra en la Figura N°54 de la página 71.

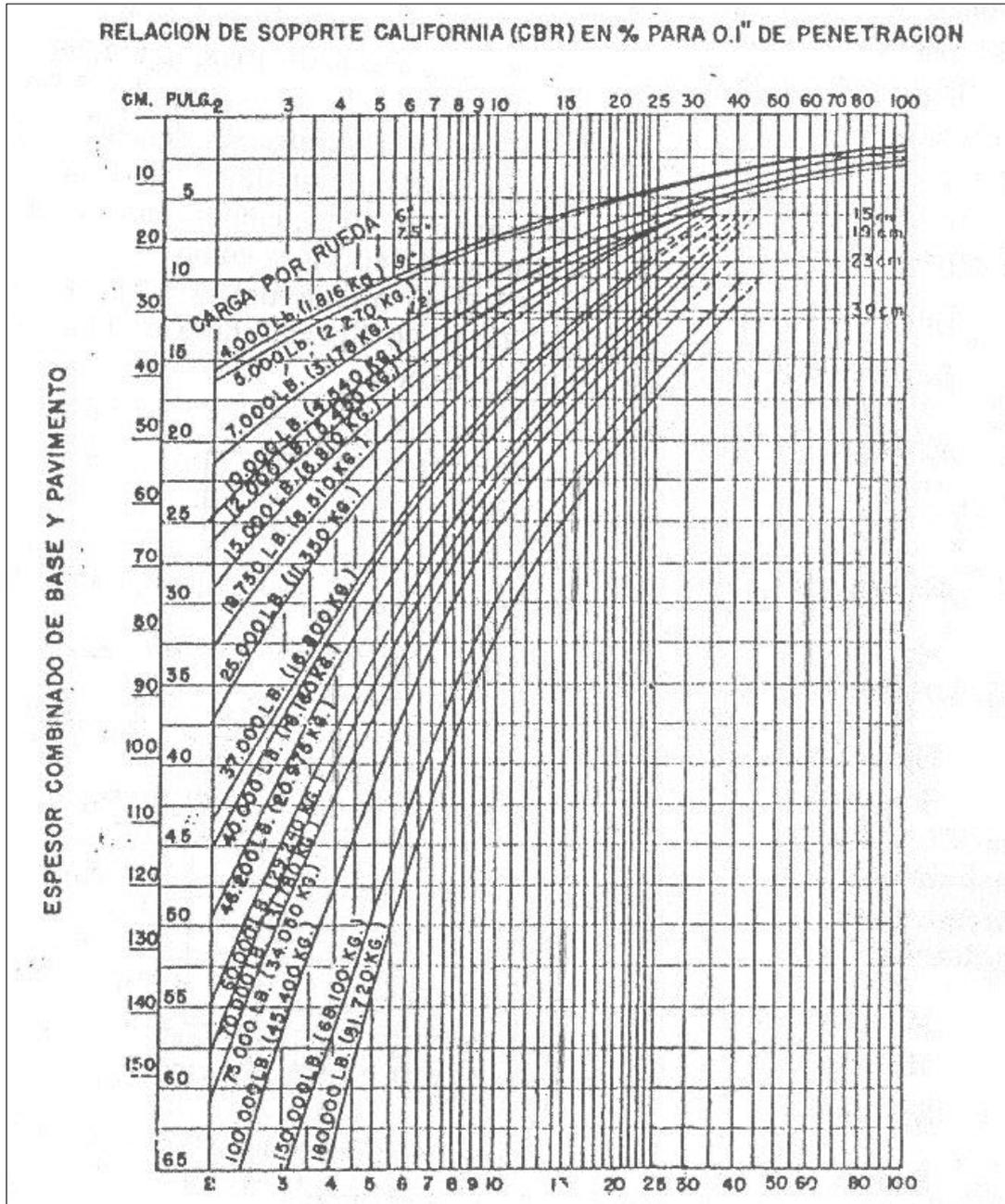


Figura N°54: Curvas para el cálculo de espesores en pavimento flexibles

Fuente: Raúl Valle Rodas (1976)

### 5.1.2. Variable Suelo

Valle (1976) refiere en su libro Carreteras, calles y autopistas: “En la construcción de un pavimento flexible, se recomienda que el material para subbase tenga un CBR mayor de 15%, el material para base debe tener un CBR mayor al 40%, cuando las cargas por

rueda son menores a 10,000 libras (4,540 kg), como es el caso de las carreteras en general". (p.219)

Debemos destacar que el concepto desarrollado por el método CBR en las capas debe guardar una relación de capacidad de soporte o CBR de 2. Es decir, sobre una subrasante con CBR=10% se puede colocar una subbase con CBR=20% y una base con CBR=40%.

## **5.2.Método USACE**

El diseño de la superficie de rodadura del método USACE es similar al diseño de pavimento flexible que se encuentra en el manual técnico TM-5-822-5 del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos. Donde sus variables de diseño son el tráfico, suelo y granulometría.

### **5.2.1. Variable Tráfico**

La variable tráfico tiene como unidad de medida el índice de diseño. El procedimiento consiste en asignar una clase de carretera basada en el número de vehículos por día. Luego, el diseño de categoría es asignado al tráfico con un índice determinado tal como se detalla a continuación:

Technical manual design of aggregate surfaced roads and airfields (1990):

#### **Clase de carreteras**

Las clases de superficie de agregados varían entre A y G. La selección de este tipo de superficie de rodadura depende de la intensidad de tráfico el cual se determina en la Tabla N°12 de la página 74.

Tabla N°12: Criterio para la selección de la superficie de Rodadura

Clase de carreteras	Número de vehículos por día
A	10,000
B	8,400-10,000
C	6,300-8,400
D	2,100-6,300
E	210-2,100
F	70-210
G	menores 70

Fuente: Headquarters, Department of the Army  
(2004)

### Índice de diseño

El índice de diseño de superficie de agregados se basa en el índice de diseño que representa el tráfico esperado para la vida de diseño, este valor es el promedio de ejes simples equivalentes de 18.000 lb (EAL) por día. El método USACE involucra la variable tráfico en una clasificación de 3 grupos:

Grupo1 : vehículos de pasajeros, panel y pick-up.

Grupo2 : camiones de 2 ejes.

Grupo 3 : camiones de 3, 4, 5 ejes.

La composición del tráfico es agrupada en las siguientes categorías:

**Categoría I:** Tráfico compuesto de vehículos de pasajeros, panel y pick-up (Grupo1), y que contienen no más de 1 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2).

**Categoría II:** Tráfico compuesto de vehículos de pasajeros, panel y pick-up (Grupo1), y que contiene hasta 10 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2). No se permiten camiones con tres o más ejes en esta categoría (Grupo3).

**Categoría III:** Tráfico que contiene hasta 15 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2), pero no más del 1 por ciento del tráfico total compuesto por camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3).

**Categoría IV:** Tráfico que contiene hasta 25 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2), pero no más del 10 por ciento del tráfico total compuesto por camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3).

**Categoría IVA:** Tráfico que contiene más de 25 por ciento de camiones o más de 10 por ciento de camiones que tienen tres o más ejes (Grupo 3). (p.3)

El índice de diseño para superficies de agregados debe ser seleccionado según la Tabla N°13 de la página 75.

Tabla N°13: Índice de diseño para vehículos con neumáticos

Índice de diseño				
Clase	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
A	3	4	5	6
B	3	4	5	6
C	3	4	4	6
D	2	3	4	5
E	1	2	3	4
F	1	1	2	3
G	1	1	1	2

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

El cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos establece que la superficie de rodadura tiene una vida prevista de 25 años. Para una vida de diseño de menos de 5 años, los índices de diseño de la Tabla N°13 de la página 75 puede reducirse en uno; no obstante, los índices de diseño por debajo de tres no deben reducirse.

En la Figura N°76 se muestra la clasificación de los vehículos según el método USACE.

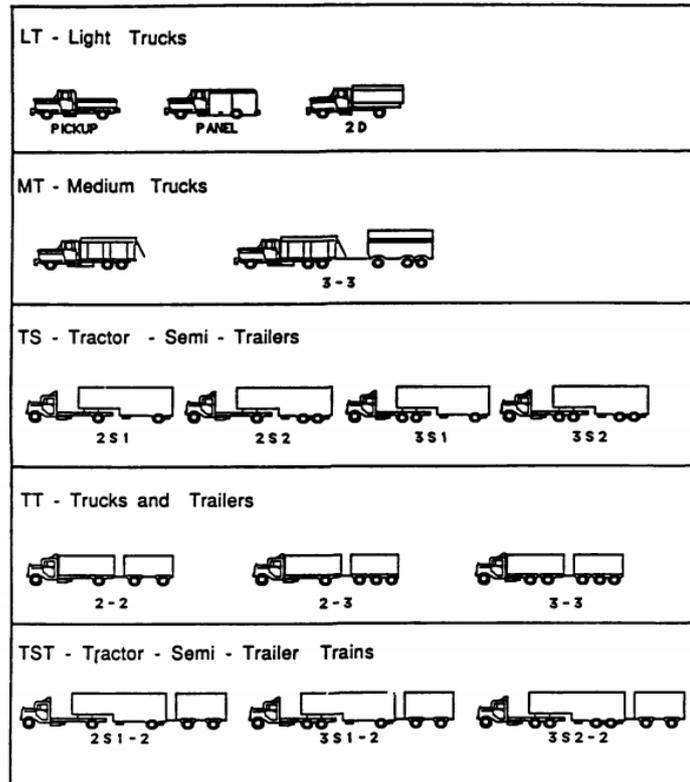


Figure C2. Traffic classification categories

Figura N°76: Clasificación de los vehículos según USACE

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

### 5.2.2. Variable Suelo

Para el diseño del método USACE es una práctica común usar materiales disponibles de la localidad u otros materiales relativamente baratos entre la explanación y la capa de base o rodadura por motivos económicos. Por lo que estas capas se designan como materiales selectos.

De acuerdo a la Tabla N°32 el manual establece para materiales selectos un valor de CBR máximo de 20%, un tamaño máximo de partículas de 3 pulgadas, un límite liquido de 35 e índice de plasticidad de 12 las cuales podrán ser acorde al ASTM D4318 y para la subbase un valor de CBR máximo de 50, un límite liquido de 25 e índice de plasticidad de 5, tal y como se observa en la Figura N°77.

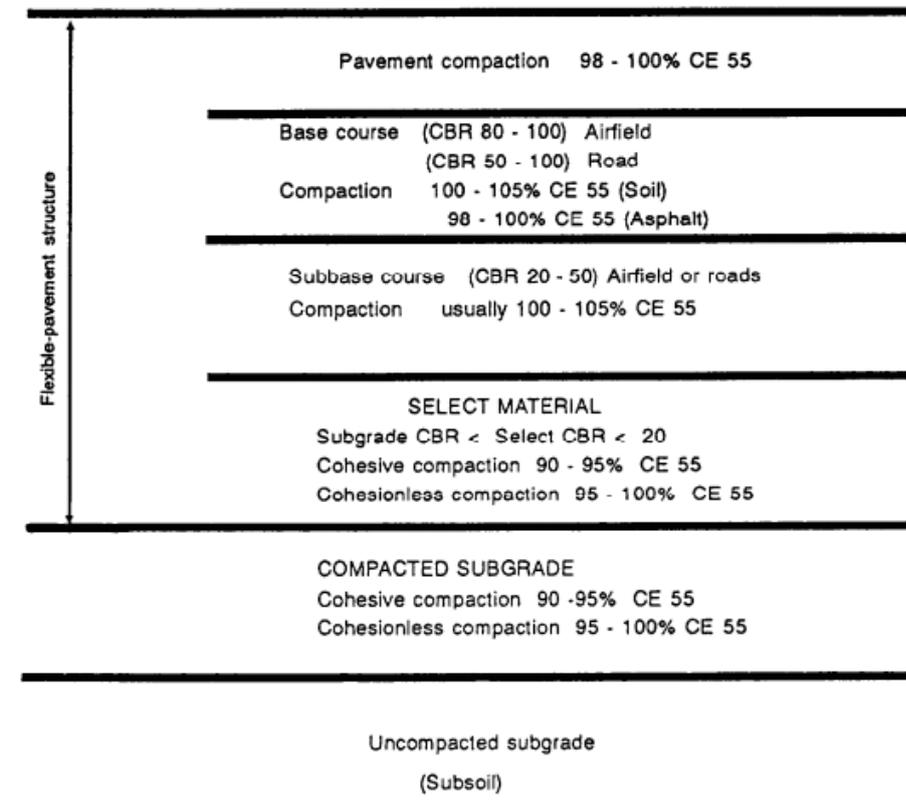


Figura N°77: Capas de agregados según los valores de CBR establecidos por el método USACE

Fuente: FM 5 430-00-1/AFPAM 32 – 8013 VOL. 1 (1989)

La Figura N°77 grafica a la subrasante, la misma que sirve como superficie de rodadura para los caminos de tierra. Sobre la capa de subrasante compactada se coloca una capa de material selecto con  $CBR < 20\%$ . Sobre la capa de suelo mejorado se debe colocar una capa de subbase (afirmado) con  $20\% < CBR < 50\%$ . Sobre esta capa de subbase se continúa colocando la capa de base con  $50\% < CBR < 100\%$ . Finalmente se coloca la superficie de rodadura que puede ser un tratamiento superficial o carpeta asfáltica.

Debemos destacar que el concepto desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es que las capas deben guardar una relación de capacidad de soporte (CBR) de 2 a 4 como máximo. Es decir, sobre una subrasante con CBR: 5% se puede colocar una capa de suelo selecto o lastrado con CBR entre 10 y 20, y así sucesivamente hasta llegar a la base.

### 5.2.3. Material de superficie de agregados

El cuerpo de Ingenieros de los estados Unidos establece mediante el manual técnico TM 5-330 (1966), que los materiales selectos deben cumplir  $CBR < 20\%$ ; subbases (afirmado) deben cumplir  $20\% < CBR < 50\%$ . El Manual Técnico TM 5-330 determina que el valor de soporte relativo (CBR) y los materiales requeridos para materiales selectos y subbases pueden ser establecidos según la Tabla N°32.

Tabla N°32: Valores máximos permisibles para subbases y materiales selectos

Valor máximo permisible						
Granulometría del porcentaje que pasa						
Material	Máximo diseño CBR	Tamaño pulgadas	Tamiz No 10	Tamiz No 200	Limite Liquido*	Índice de Plasticidad*
Subbase	50	2	50	15	25	5
Subbase	40	2	80	15	25	5
Subbase	30	2	100	15	25	5
Material selecto	20	3	-	-	35	12

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

\*Las determinaciones de estos valores podrán ser acorde al ASTM D 4318

Asimismo, el método establece que para superficies de rodaduras la capa debe tener un suelo compactado y una banda granulométrica con tamaño máximo de 1". El método USACE establece que los materiales de la superficie de rodadura dependerán del tipo de capa superficial que cumpla con una de las 4 granulometrías y que se encuentren en cantera o sea material propio de la localidad con los requisitos establecidos de la Tabla N°33.

Tabla N°33: Granulometría de materiales para superficies de agregados  
(*aggregate-surfaced*)

Granulometría de materiales				
Caminos de superficie de agregados ( <i>aggregate-surfaced</i> )				
Tamiz	N°1	N°2	N°3	N°4
	C	D	E	F
25 mm (1")	100	100	100	100
19 mm (3/4")				
9.5 mm (3/8")	50 - 85	60- 100		
4.75 mm (N° 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.00 mm (N° 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N°40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N°200)	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

Por otro lado, el material de grava natural como sale de la cantera puede satisfacer estos requisitos con solo pasarlas por el tamiz. Para esta situación el método USACE recomienda que la grava fluvial normalmente debe ser agregado unido por un conglomerante térreo y de esta forma tener una mezcla de suelo estabilizado mecánicamente. Durante la estación lluviosa es difícil llevar a cabo la conservación necesaria, especialmente si soporta un tránsito pesado. Así como sucede en la sierra de Lima provincias; sin embargo, el método USACE considera que los caminos con superficies de grava sirven posteriormente como capas de base. El método establece que los materiales de caminos de grava natural deben cumplir con los requisitos establecidos de la Tabla N°34.

Tabla N°34: Graduación ideal de piedra triturada, gravas y escorias y graduación de agregados arenosos y cascajosos no triturados para las capas de base

Designación del Tamiz	Porcentaje que pasa por el tamiz con agujeros cuadrados (por peso)				
	Tamaño máximo del agregado				
	De 3 pulgadas	De 2 pulgadas	De 1 1/2 pulgadas	De 1 pulgada	Arena y arcilla de 1 pulgada
3-inch	100				
2-inch	65 - 100	100			
1 1/2-inch	-	70 - 100	100		
1-inch	45 - 75	55 - 85	70 - 100	100	100
3/4-inch	-	50 - 80	60 - 90	70 - 100	
3/8-inch	30 - 60	40 - 70	45 - 75	50 - 80	
No. 4	25 - 50	30 - 60	30 - 60	35 - 65	
No. 10	20 - 40	20 - 50	20 - 50	20 - 50	65 - 90
No. 40	10 - 25	10 - 30	10 - 30	15 - 30	33 - 70
No. 200	3 - 10	5 - 15	5 - 15	5 - 51	8 - 25

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

Debemos destacar que el concepto desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es que las capas deben guardar una relación de capacidad de soporte o CBR de 2 a 4 como máximo. Es decir, sobre una subrasante con CBR = 6 se puede colocar una capa de suelo selecto o camino de gravas con CBR entre 12 y 24, y así sucesivamente hasta llegar a la base.

### 5.3.Método Peltier

Para obtener el espesor de diseño a través del método Peltier se necesita tener dos variables de diseño: tráfico y suelo.

#### 5.3.1. Variable Tráfico

El método Peltier considera la variable tráfico a partir de la intensidad media diaria de vehículos con un peso de más de 1.5 T en vacío por lo cual el tráfico fluctúa entre 150 y 3 000 vehículos por día como se muestra en las curvas logarítmicas de la Figura N°57 de la página 80.

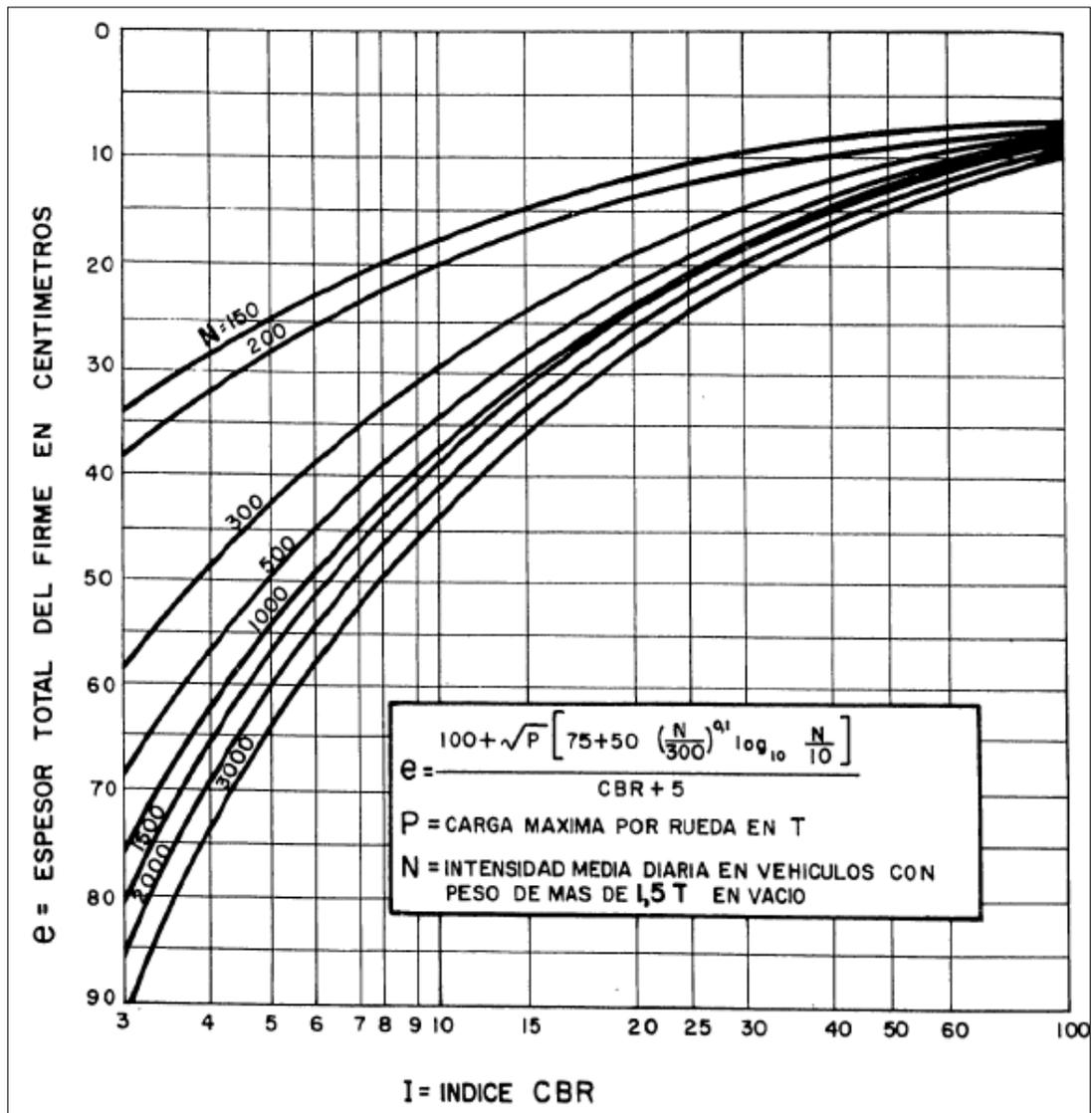


Figura N°57: Curvas de proyecto para aplicación de la fórmula logarítmica (modificada) de Peltier  
 Fuente: Sobre el cálculo de pavimentos flexibles (1966)

### 5.3.2. Variable Suelo

Para el diseño del método Peltier la variable suelo es determinado por la capacidad de soporte o CBR obtenido en laboratorio; sin embargo, este método considera la variable suelo obtenido también en campo. Por lo cual su validez se limita a suelos cuyo CBR calculado sea menor a 20%.

El número de parámetros que definen el suelo en estudio y que intervienen en el método Peltier es pequeño tanto el índice plástico, límite líquido y el porcentaje que pasa por el tamiz número 40 (ASTM); es decir, no hace intervenir el grado de

compactación a conseguir en la obra ni tampoco otras características geotécnicas como la granulometría general. (Dal-Re, 2005, p.153)

## **5.4.Método AASHTO**

Para obtener el espesor de diseño a través del método AASHTO se necesita tener tres variables de diseño: tráfico, clima y suelo.

### **5.4.1. Variable Tráfico**

El método AASHTO establece la variable tráfico mediante la unidad ESAL basada en cargas de un solo eje equivalente de 18 kips acumulados durante un periodo de diseño.

$$W_{18} = 1 \text{ ESAL} = 18\,000 \text{ lbs}$$

AASHTO guide for design of pavement structures (1993) establece en la guía de diseño:

#### **Serviciabilidad**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad para atender el tipo de tráfico de nuestra carretera por donde pasarán automóviles y camiones. La medida principal de la serviciabilidad es el índice de servicio actual ( $\Delta$ PSI), que va de 0 (camino intransitable) a 5 (camino perfecto).

La selección del servicio terminal ( $P_t$ ) más bajo permitido se basa en el índice más bajo que será tolerado antes de que sea necesario una rehabilitación o reconstruirse. Se sugiere un índice de 2.5 o mayor para el diseño de autopistas y 2.0 para diseños de caminos de bajo volumen de tráfico. Asimismo, las carreteras menores donde la economía de dicho lugar es mínima y el capital a invertir sea mínimo, se sugiere reducir el período de diseño o el volumen total de tráfico, en lugar de diseñar una capacidad de servicio terminal inferior a 2.

Para que una estructura de pavimento determinada llegue a su capacidad de servicio terminal depende del volumen de tráfico y la capacidad de servicio original o inicial ( $P_o$ ). Una vez que se establecen  $P_o$  y  $P_t$ , se debe aplicar la siguiente ecuación para definir el cambio total en el índice de servicio:

$$\Delta PSI = P_o - Pt \text{ (p.II10)}$$

### 5.4.2. Variable Clima

El manual AASHTO establece la variable clima a través de regiones y estaciones climáticas. La metodología divide a los Estados Unidos en 6 regiones climatológicas según sus características como se muestra en la Figura N°78.

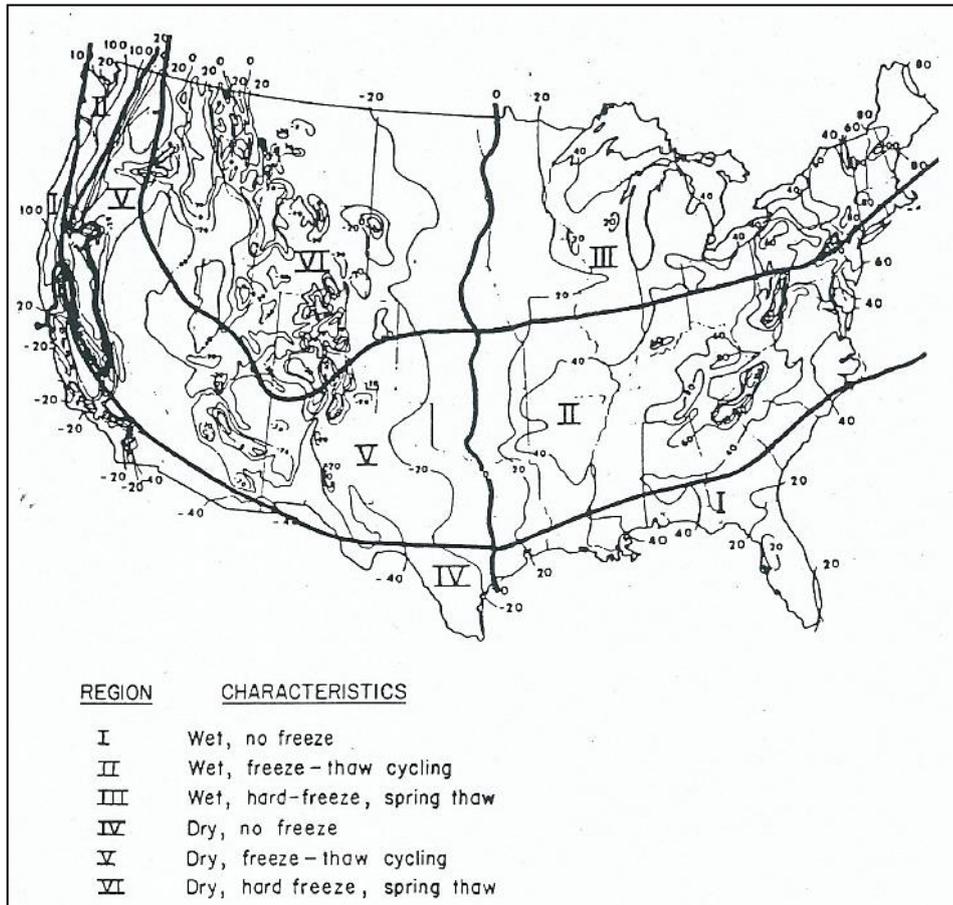


Figura N°78: Las 6 regiones climatológicas en Estados Unidos

Fuente: Manual AASHTO (1993)

Para que esta metodología sea aplicada en el Perú las regiones y estaciones climáticas deben ser adecuadas al territorio peruano. Motivo por el cual el Ing. Germán Vivar del Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos del Perú (IDPP) realiza la traducción del manual y el estudio de las regiones climáticas en base al mapa del Perú, en el que ha delimitado las 6 regiones climáticas en base a los criterios del manual AASHTO, esto se puede observar en la Figura N°58 de la página 84.

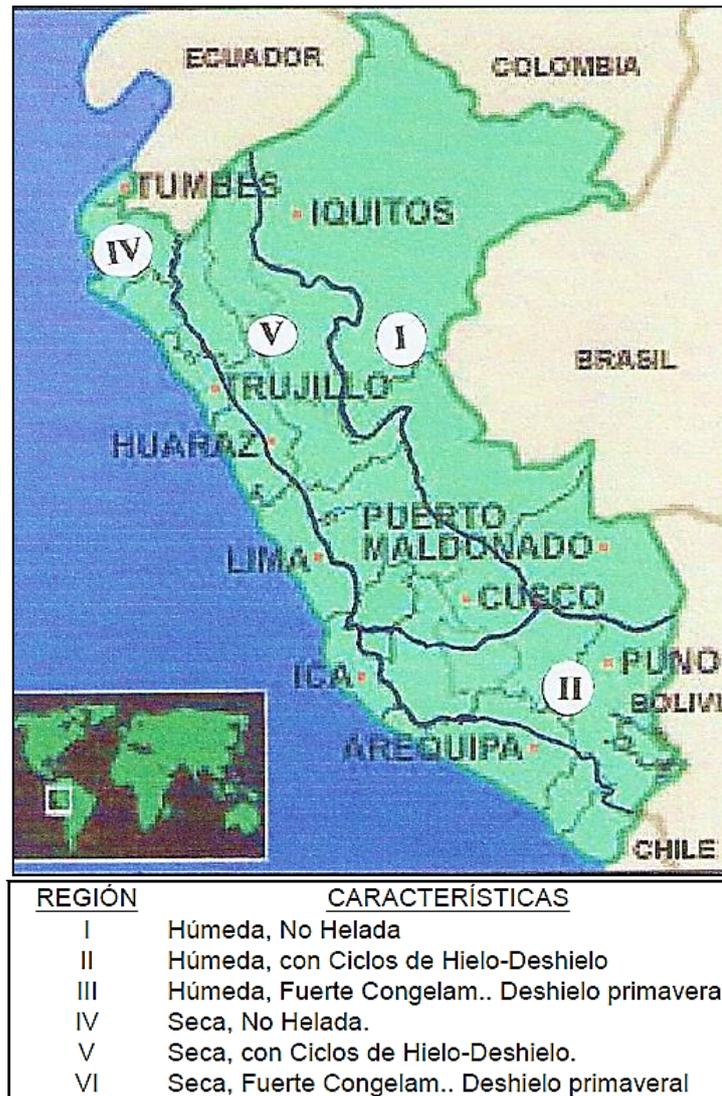


Figura N°58: Regiones climatológicas del Perú

Fuente: Ing. Germán Vivar (1993)

A partir de las regiones climatológicas el manual AASHTO indica las duraciones de cada estación durante el año como se muestra en la Tabla N°35. La suma de estos factores en las 4 estaciones suma 12 que simboliza la cantidad de meses que dura el año.

Tabla N°35: Duración sugerida (en meses) de las estaciones para las 6 regiones climáticas

<b>Table 4.1. Suggested Seasons Length (Months) for the Six U.S. Climatic Regions</b>				
<b>U.S. Climatic Region</b>	<b>Season (Roadbed Soil Moisture Condition)</b>			
	<b>Winter (Roadbed Frozen)</b>	<b>Spring-Thaw (Roadbed Saturated)</b>	<b>Spring/Fall (Roadbed Wet)</b>	<b>Summer (Roadbed Dry)</b>
I	0 0*	0 0	7 5	4 5
II	1 0	0 5	7 0	3 5
III	2 5	1 5	4 0	4 0
IV	0 0	0 0	4 0	8 0
V	1 0	0 5	3 0	7 5
VI	3 0	1 5	3 0	4 5

\*Number of months for the season

Fuente: Manual AASHTO (1993)

### 5.4.3. Variable Suelo

El método AASHTO establece relación entre el variable clima y suelo. Por lo cual considera el cambio de clima de helada a primavera (descongelación), para estos casos extremos, el método establece valores prácticos de módulos resilientes entre 20.000 y 50.000 psi para caminos de superficie. Mientras que los módulos resilientes de la subrasante para obtener el espesor de agregados debe oscilar entre 1,000 y 20,000 psi.

AASHTO guide for design of pavement structures (1993) propone en su diseño:

El método AASHTO ofrece dos procedimientos diferentes para determinar la variación estacional del módulo, un método consiste en el ensayo de laboratorio donde se obtiene la relación entre el módulo resiliente y el contenido de humedad, con una estimación del contenido de humedad in situ del suelo bajo el pavimento, otra manera de estimar el módulo resiliente para cada estación es tomando en cuenta las deflexiones de los pavimentos en cada estación ,asimismo se podría tomar en cuenta el factor para poder corregir el módulo resiliente.

A partir de estos dos procedimientos el método AASHTO establece valores de módulo resiliente del suelo de fundación sugerido a partir de la calidad relativa del suelo y las estaciones como se muestra en la Tabla N°17 de la página 85. (p.II3-II4)

Tabla N°17: Módulo resiliente del suelo de fundación,  $M_r$  (PSI), en función de la calidad relativa del material

<b>Table 4.2. Suggested Seasonal Roadbed Soil Resilient Moduli, <math>M_r</math> (psi), as a Function of the Relative Quality of the Roadbed Material</b>				
<b>Relative Quality of Roadbed Soil</b>	<b>Season (Roadbed Soil Moisture Condition)</b>			
	<b>Winter (Roadbed Frozen)</b>	<b>Spring-Thaw (Roadbed Saturated)</b>	<b>Spring/Fall (Roadbed Wet)</b>	<b>Summer (Roadbed Dry)</b>
Very good	20,000*	2,500	8,000	20,000
Good	20,000	2,000	6,000	10,000
Fair	20,000	2,000	4,500	6,500
Poor	20,000	1,500	3,300	4,900
Very poor	20,000	1,500	2,500	4,000

\*Values shown are Resilient Modulus in psi

Fuente: Manual AASHTO (1993)

Tabla N°18: Valores del módulo resiliente efectivo del suelo de fundación,  $M_r$  (PSI). Valores sugeridos en función de la región climática y de la calidad relativa del suelo de fundación

<b>Table 4.3. Effective Roadbed Soil Resilient Modulus Values, <math>M_r</math> (psi), That May be Used in the Design of Flexible Pavements for Low-Volume Roads. Suggested values depend on the U.S. climatic region and the relative quality of the roadbed soil.</b>					
<b>U.S. Climatic Region</b>	<b>Relative Quality of Roadbed Soil</b>				
	<b>Very Poor</b>	<b>Poor</b>	<b>Fair</b>	<b>Good</b>	<b>Very Good</b>
I	2,800*	3,700	5,000	6,800	9,500
II	2,700	3,400	4,500	5,500	7,300
III	2,700	3,000	4,000	4,400	5,700
IV	3,200	4,100	5,600	7,900	11,700
V	3,100	3,700	5,000	6,000	8,200
VI	2,800	3,100	4,100	4,500	5,700

\*Effective Resilient Modulus in psi

Fuente: Manual AASHTO (1993)

#### 5.4.4. Material de superficie de agregados

El método AASHTO establece características del material de superficie de agregados que se colocará en el diseño; sin embargo, no restringe valores en CBR. El manual presenta una tabla del material de agregado en función al módulo elástico del material de agregados ( $E_{BS}$ ). Siendo este último dato para el diseño de caminos de superficie introducido en el nomograma de la Figura N°59 y Figura N°60 presentado en el Capítulo 3 de la presente investigación; en la Figura N°79, se correlacionan el EBs con el CBR.

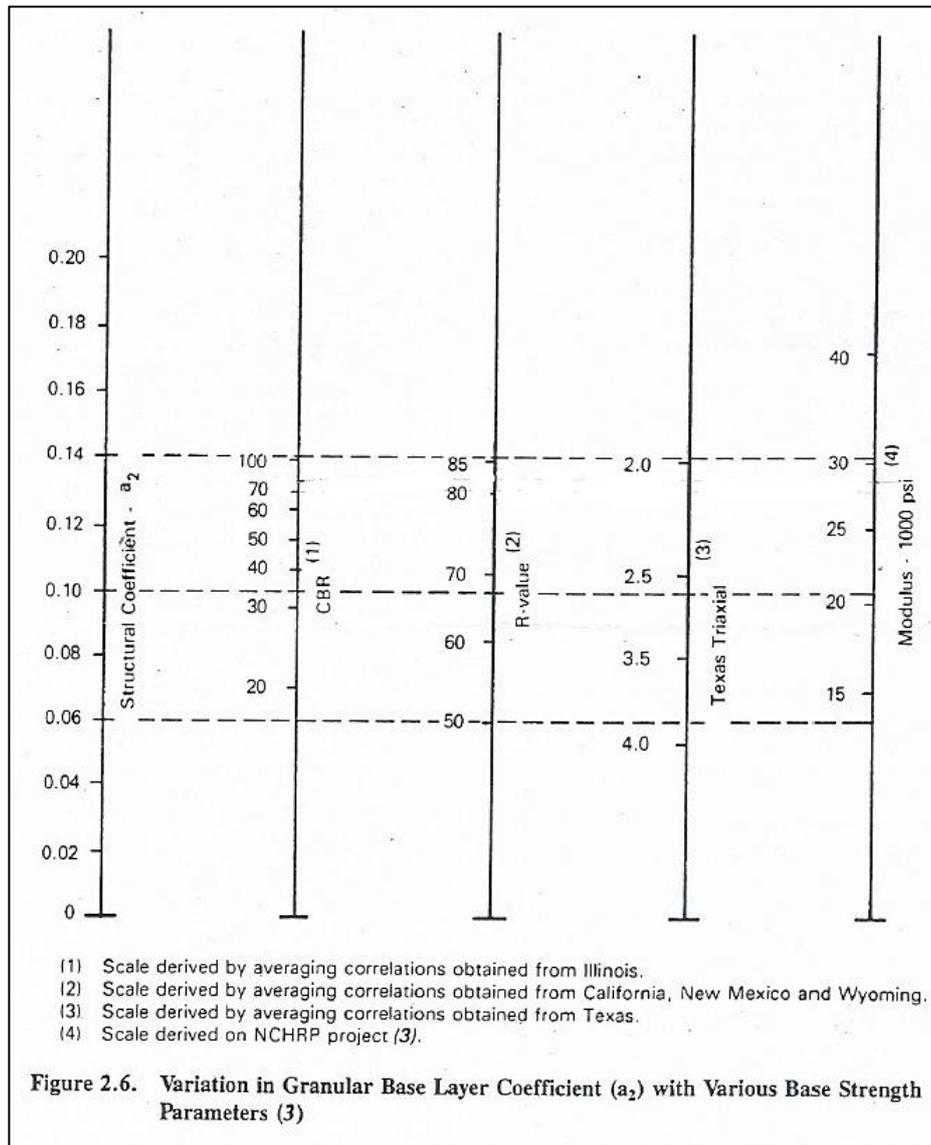


Figura N°79: Módulo elástico del material de agregados (EBS) psi en relación al CBR del material diseñado

Fuente: Guía de diseño AASHTO (1993)

El manual AASHTO establece los requisitos de bandas granulométricas para materiales de superficie de agregados durante la construcción según la Tabla N°36.

Tabla N°36: Materiales de subbases, bases y superficie de agregados (aggregate-surfaced)

Sieve Designation		Mass Percentage Passing					
Standard, mm	Alternate	Grading A	Grading B	Grading C	Grading D	Grading E	Grading F
50.0	2 in.	100	100	—	—	—	—
25.0	1 in.	—	75–95	100	100	100	100
9.5	<sup>3</sup> / <sub>8</sub> in.	30–65	40–75	50–85	60–100	—	—
4.75	No. 4	25–55	30–60	35–65	50–85	55–100	70–100
2.00	No. 10	15–40	20–45	25–50	40–70	40–100	55–100
0.425	No. 40	8–20	15–30	15–30	25–45	20–50	30–70
0.075	No. 200	2–8	5–20	5–15	5–20	6–20	8–25

Fuente: AASHTO M-147-17 (2017)

AASHTO M-147-17 (2017) establece:

El manual establece que si el material granular es utilizado como material de subbase se considerará bandas granulométricas A, B, C, D, E o F. De igual manera, si el material granular es utilizado como material de base se utilizará las bandas granulométricas A, B, C, D, E, o F. Sin embargo, si el material es utilizado como superficie de agregados se utilizarán bandas granulométricas C, D, E o F, donde el objetivo del material es que se mantenga por varios años sin tratamiento superficial bituminoso u otra superficie impermeable superpuesta. Se deberá considerar para este caso un mínimo de 8 por ciento del tamiz Nro. 200 en lugar de los porcentajes mínimos que se muestran en la Tabla N°36 para las clasificaciones C, D o E, y debe especificar un límite líquido máximo de 35 y un rango de índice de plasticidad de 4 a 9. (p.2)

## 5.5. Método TRRL

### 5.5.1. Variable Tráfico

El método Transport and Road Research Laboratory utiliza la variable tráfico entre 10 000 y 1 000 000 ejes equivalentes para un eje equivalente de 18 000 lb.

La fórmula del método se encuentra representada en curvas de A, B, C, D, E y F que se encuentran en función de los ejes equivalentes 10 000, 50 000, 100 000, 200 000, 500 000 y 1 000 000 respectivamente como se muestra en la Figura N°61 de la página 92.

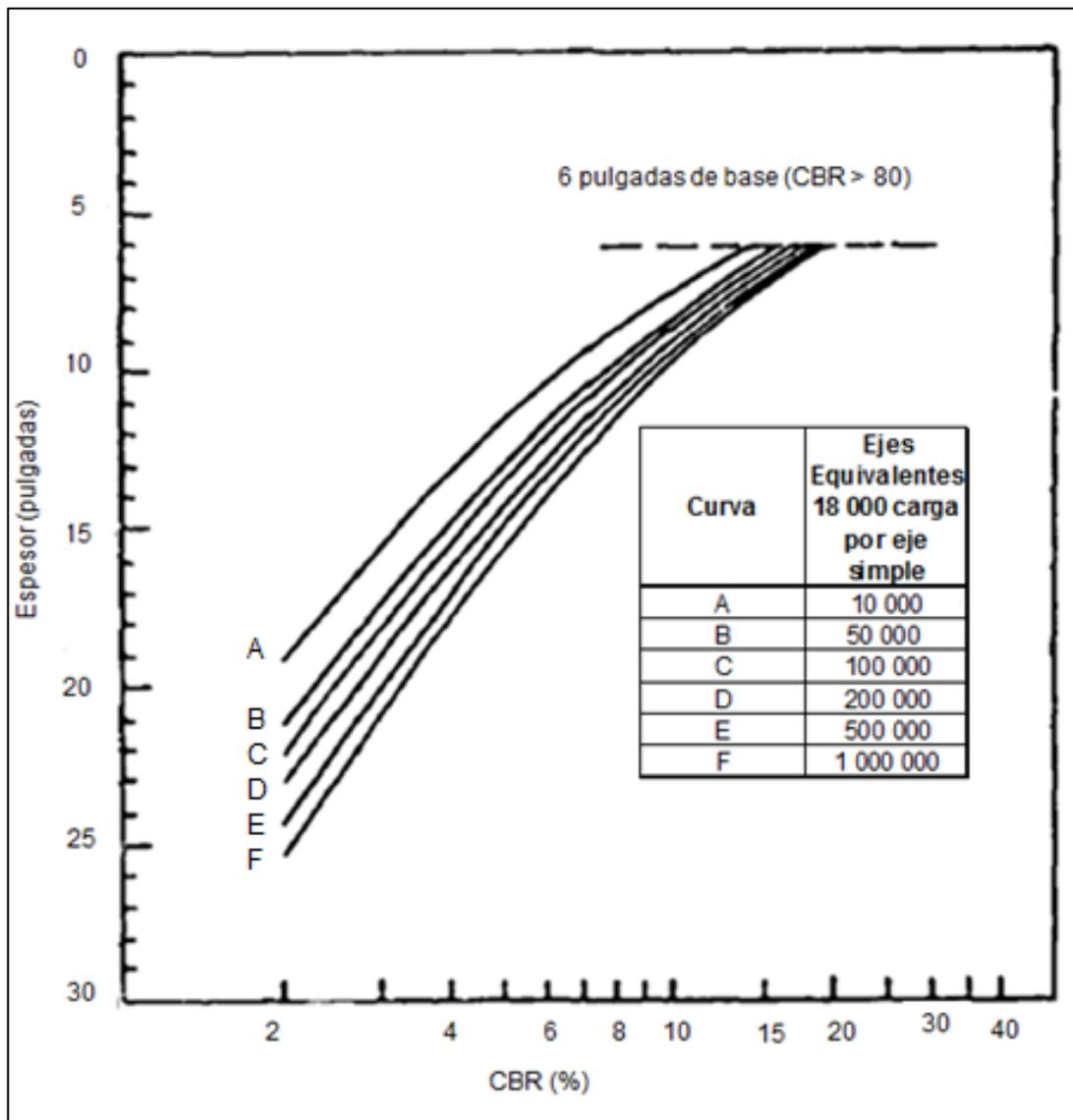


Figura N°61: Curvas de diseño del espesor para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1989)

### 5.5.2. Variable Suelo

Design criteria for aggregate surfaced roads and airfields (1989) establece que:

El método TRRL recomienda un espesor de base mínimo de 6 pulgadas y con un CBR mínimo del 80%. Sin embargo, si se utiliza una subbase el valor mínimo de material de subbase de 4 pulgadas y con un CBR mínimo de 25%. (p.35-36)

## 5.6.Método AUSTRROADS

### 5.6.1.Variable Tráfico

El método AUSTRROADS utiliza la variable tráfico en unidades ESAs que considera un intervalo de  $10^3$  y  $5 \times 10^5$  ESAs para el diseño de pavimentos granulares sin superficie bituminosa como se muestra en la Figura N°80.

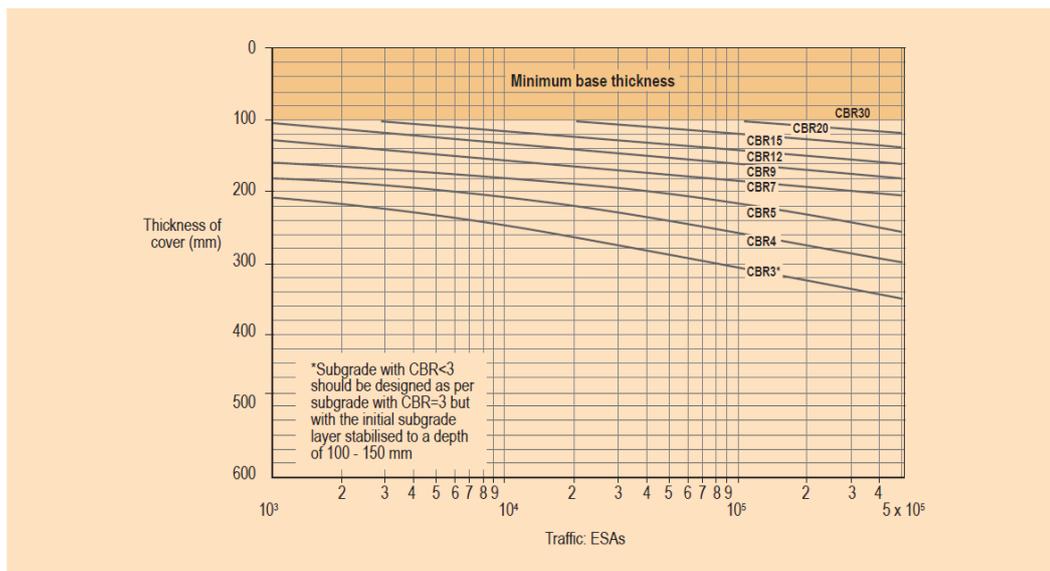


Figure 3.2 Design chart for granular pavements (80% confidence)

Source: APRG (1998).

Note: Where a separate wearing course is applied this is an additional layer above the determined basecourse thickness.

Figura N°80: Diseño de espesores para superficie de agregados sin sellos

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

De la Figura N°80 observamos que el espesor mínimo de cada capa a colocar es 100mm. El método establece emplear el ábaco para subrasante con  $CBR > 3\%$ , en casos que el valor de soporte relativo (CBR) sea menor deberá tener una capa estabilizadora entre 100 -150 milímetros.

Las bandas granulométricas de los materiales a colocarse dependerán del tipo de tráfico y condiciones locales poniendo a consideración la Tabla N°22 de la página 96.

Tabla N°22: Volúmenes de tráfico y espesor de capa de base estimado para varios tipos de carreteras (basado en 10 años de vida de diseño, crecimiento nulo)

Table 3.3 Indicative design traffic volumes and estimated pavement thickness for various road classes (based on 10 year design life, nil growth)

Road class*	Description	Typical appearance	ADT†	% CV‡	ESA/CV ratio#	Cumulative design traffic (ESA)§	Basecourse thickness (mm)			
							CBR values			
							3	4	5	7
4A	Main road		150	10 20	0.2 0.4	$2 \times 10^5$ $4 \times 10^5$	300	250	210	170
							320	260	220	190
4B	Minor road		100-50	10 20	0.2 0.4	$8 \times 10^4$ $3 \times 10^5$	280	230	200	160
							320	250	210	180
4C	Access road		50-10	10	0.2	$4 \times 10^4$	270	220	190	150
4D	Tracks		< 10	Not applicable as these tracks are unlikely to be gravelled						

\* Road class details are provided in Chapter 4, Section 4.1.3.

† Maximum daily traffic in a year (ADT).

‡ Higher value to be used for heavy freight routes.

# Higher ratio to be used for industrial areas or haulage routes.

§ Rounded up values.

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

### 5.6.2. Variable Suelo

Para crear los ábacos del método Austroads se hizo estudios mecanicistas a partir de CBR del 3%, práctica común en Australia por tener CBR bajos en la subrasante. Es así, que Australia coloca capas granulares o afirmados con CBR altos. El manual establece que si el diseño del material granular es utilizado como base el CBR debe ser mayor al 60%, no obstante, si el diseño es utilizado como afirmado el CBR debe ser mayor al 80% durante la construcción.

### 5.6.3. Material Granular

El manual de Austroads establece que para no generar un desgaste rápido y excesivo en pavimentos granulares, el agregado debe estar bien graduado desde el material grueso al fino donde la especificación debe cumplir la distribución de partículas y los valores de índice de plasticidad según las precipitaciones de Australia como se indica en la Tabla N°37. Asimismo, el manual Austroads establece los límites de la banda granulométrica que puede cumplir el afirmado durante la construcción. Este intervalo de bandas se muestra en la Figura N°81.

Tabla N°37: Banda granulométrica de Australia

Table 3.4 Wearing course specifications

Australia	
Sieve size (mm)	% passing for all maximum sizes
55	100
37.5	95-100
26.5	90-100
19	80-100
2.36	35-65
0.425	15-50
0.075	10-40
Plasticity	< 500 mm annual rainfall – max. PI 20 > 500 mm annual rainfall – max. PI 12

Source: NAAASRA (1980); Ferry (1986)

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

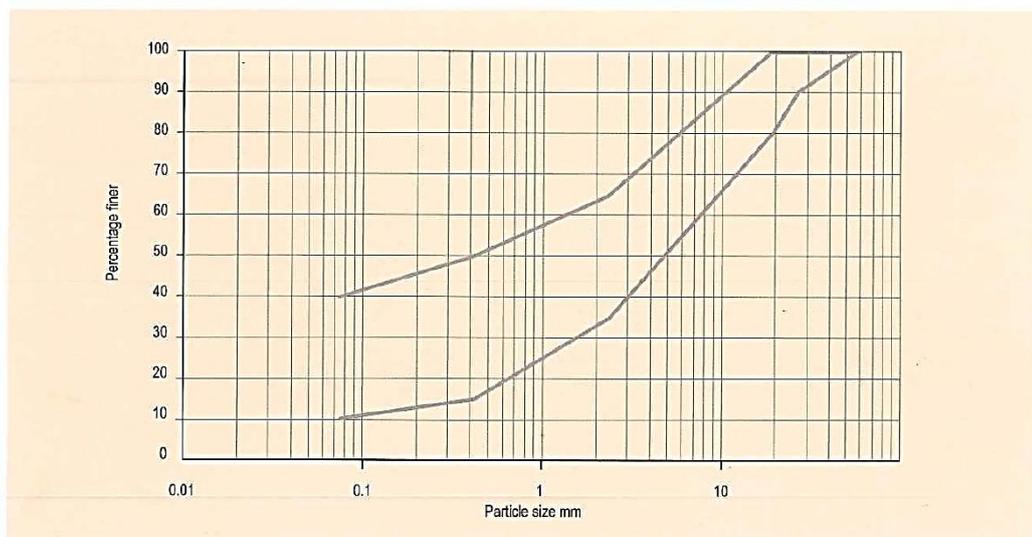


Figure 3.5 Suggested PSD range for unsealed wearing course

Figura N°81: Rango de banda granulométrica

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

Adicionalmente el manual Austroads establece especificaciones cuando el diseño de la capa granular es utilizado como base, para lo cual recomienda utilizar bandas granulométricas 40 a, 40 b, 30 a, 30 b, 20 a y 20 b a partir de roca triturada (a) y grava natural (b) donde la capa de base debe tener CBR>80%, pero si las condiciones lo permiten podría colocarse el equivalente con CBR>60% como se muestra en la Tabla N°38 y así también se muestra la Tabla N°39 el índice de plasticidad para materiales no estandarizados.

Tabla N°38: Banda granulométricas con materiales de roca triturada y grava natural

Table 3.8 Recommended grading limits for basecourses (with a wearing course) – crushed rock (a) and natural gravels (b)

Sieve size mm	Recommended grading of production (% passing) nominal size (mm)					
	40 a	40 b	30 a	30 b	20 a	20 b
53.0	100	100	–	–	–	–
37.5	97–100	95–100	100	100	–	–
26.5	90–95	86–95	96–100	98–100	100	100
19.0					93–100	93–100
9.50	48–67	50–74	58–75	60–82	64–85	71–87
4.75	31–48	35–59	37–56	42–66	44–64	47–70
2.36	22–34	25–46	28–42	30–52	32–47	35–56
0.425	10–18	10–26	11–20	12–30	13–22	14–32
0.075	4–10	4–17	4–11	4–18	3–11	6–20
Plasticity index	Not greater than 6 for climatic zones where annual rainfall > 500 mm Not greater than 10 for climatic zones where rainfall < 500 mm					
Laboratory soaked CBR	In excess of 60 for rural type construction					

Source: Mulholland (1989) modified.

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

Tabla N°39: Índice de plasticidad para materiales no estandarizados

Table 3.9 Plasticity Index for non-standard materials

Material use	Annual rainfall (mm)			
	< 500 mm		> 500 mm	
	LL	PI	LL	PI
Unsealed base/shoulder	35 (max)	4–15	35 (max)	4–9
Subbase for unsealed pavements	35 (max)	18 (max)	35 (max)	12 (max)

Source: VicRoads (1998).

Fuente: Unsealed Roads Manual (2009)

## 5.7. Método NAASRA (MTC)

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, establece que la metodología de diseño del espesor de afirmado, es aplicando el método NAASRA (hoy

AUSTROADS), de Australia, y, las variables que se consideran para estimar el espesor del afirmado son: CBR (MTC E132, ASTM D1883 o AASHTO T193), ejes equivalentes (método AASHTO) y bandas granulométricas de afirmado (AASHTO M 147 o FHWA) con CBR mayores al 40%.

### 5.7.1. Variable Tráfico

La variable tráfico del método NAASRA (MTC) parte del método AASHTO, donde el tránsito es medido en ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño, y un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 Tn de peso y neumáticos con una presión de 80lbss/pulg<sup>2</sup>.

El manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014) establece la siguiente fórmula para el cálculo de ejes equivalentes:

$$EE_{dia-carril} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times F_{vpi} \times F_{pi}$$

$$Nrep \text{ de } EE_{8.2 \text{ tn}} = EE_{dia-carril} \times F_{ca} \times 365$$

Donde :

$IMD_{pi}$  : Corresponde al índice medio diario según tipo de vehículo pesado seleccionado

$Fd$  : Factor direccional, según Cuadro N°6.1

$Fc$  : Factor carril de diseño, según Cuadro N°6.1

$F_{vpi}$  : Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.

$F_{pi}$  : Factor de presión de neumáticos, según cuadro N° 6.13

$F_{ca}$  : Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado Cuadro N° 6.2

365 : Número de días de año (p.73-74)

### **5.7.2. Variable Suelo**

El manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014) establece:

El manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos establece que los ensayos CBR pueden ser clasificados por el sistema AASHTO Y SUCS. De esta información se programa ensayos para establecer el valor soporte o resistencia del suelo, que está referido al 95% de la MDS (Máxima densidad seca) y a una penetración de carga de 2.54 milímetros. Para obtener el valor CBR de la subrasante se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados se determinará el valor de CBR con el promedio total de los valores.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:
  - Si los valores son parecidos o similares, tomar valor promedio.
  - Si los valores no son parecidos o no son similares tomar el valor más crítico (el más bajo).
3. Una vez definida el valor de CBR, esta se clasificará en  $S_1$  (subrasante insuficiente),  $S_2$  (subrasante regular),  $S_3$  (subrasante buena),  $S_4$  (subrasante muy buena) o  $S_5$  (subrasante excelente). La misma que ingresará en los cálculos del diseño de la capa de afirmado que propone el método NAASRA (MTC). (p.35)

### **5.7.3. Material de Afirmado**

El manual de Especificaciones técnicas generales para la construcción establece que se utilizarán materiales granulares procedentes de excavaciones excedentes, canteras, o escorias metálicas, así mismo podrán provenir materiales de trituración de rocas, gravas o estar constituidos por mezcla de productos de diversas procedencias que cumpla con las siguientes bandas granulométricas de la Tabla N°40.

Tabla N°40: Bandas granulométricas

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO						
	A-1	A-2	B	C	D	E	F
50 mm (2")	100	-	100				
37.5 mm (1 1/2")	100	-					
25 mm (1")	90 - 100	100	75 - 95	100	100	100	100
19 mm (3/4")	65 - 100	80 - 100					
9.5 mm(3/8")	45 - 80	65 - 100	40 - 75	50 - 85	60- 100		
4.75 mm (N° 4)	30 - 65	50 - 85	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.00 mm (N° 10)	22 - 52	33 - 67	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N°40)	15 - 35	20 - 45	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N°200)	5 - 20	5 - 20	5 - 15	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

Fuente: Manual de especificaciones técnicas Generales para la Construcción (2013)

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1” (2,5 mm)

El manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos adicionalmente establece utilizar bandas granulométricas de AASHTO M147 y FHWA (Federal Highway Administration) como se muestra en la Tabla N°41 y Tabla N°42.

Tabla N°41: Bandas granulométricas AASHTO M147

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
50 mm (2")				
37.5 mm (1 1/2")				
25 mm (1")	100	100	100	100
19 mm (3/4")				
12.5 mm (1/2")				
9.5 mm (3/8")	50 - 85	60 - 100		
4.75 mm (N° 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36 mm (N° 8)				
2.00 mm (N° 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N°40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N°200)	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR (REFERIDO AL 100% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y UNA PENETRACIÓN DE CARGA DE 0.1" (2.5mm))	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

Tabla N°42: Bandas granulométricas FHWA

Tamiz	FHWA-FP 03	FHWA-SDLTAP
50 mm (2")		
37.5 mm (1 1/2")		
25 mm (1")	100(1)	
19 mm (3/4")	97 - 100(1)	100
12.5 mm (1/2")		
9.5 mm (3/8")		
4.75 mm (N° 4)	41 - 71(7)	50 - 78
2.36 mm (N° 8)		37 - 67
2.00 mm (N° 10)		
4.25 um (N°40)	12 - 28(5)	13 - 35
75 um (N°200)	9 - 16(4)	abr-15
Índice de Plasticidad	8(4)	04-dic
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR (REFERIDO AL 100% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y UNA PENETRACIÓN DE CARGA DE 0.1" (2.5mm))	Mín. 40%	Mín. 40%
Nota (1) Procedimiento estadístico no aplica ( ) =desviación admisible (+-) del valor indicado		

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014)

(\*) Si el CBR del material es menor al mínimo recomendado se efectuará un estudio específico para mejorar las propiedades del material.

A partir de los estudios establecidos en el capítulo V obtuvimos que las variables estudiadas fueron: tráfico, clima, suelos y material de afirmado las mismas que se resumen en la Tabla N°43.

Tabla N°43: Tabla comparativa de las variables

VALORES DE DISEÑO		MÉTODOS DE DISEÑO						
		CBR	USACE	PELTIER	AASHTO	TRRL	AUSTROADS	NAASRA (MTC)
TRAFICO	Ejes Equivalentes (EE)				X	X	X (*)	X
	Índice de Diseño		X (**)					
	Número de vehículos por día			X				
	Carga de rueda (Lb o Kg)	X						
CLIMA	Región Climática				X			
SUELOS	CBR (Subrasante)	X	X	X	X	X	X	X
AFIRMADO SUBBASE BASE	Modulo del Material de la Base (EBS)				X			
	Granulometría		X		X		X	X
	CBR (Afirmado)	>15%	<50%			>80%	>80%	>40%

Fuente: Elaboración propia (2018)

(\*) : Ejes equivalentes multiplicado por el factor de daño.

(\*\*) : Número de vehículos que pueden ser transformados en ejes equivalentes.

De la Tabla N°43 se observa que las metodologías cumplen un mismo concepto de la variable tráfico donde un eje simple de dos ruedas cargado es de 8.2Tn y los neumáticos tienen una presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>. Por lo que consideramos que mediante la variable tráfico los métodos tienen relación entre sí.

La variable clima del método AASHTO no es utilizado en los métodos CBR, USACE, PELTIER, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) por lo cual la mayoría de los métodos son similares entre sí.

La variable suelo mediante la unidad del valor de soporte relativo (CBR) de la subrasante coincide en todos los métodos.

La variable afirmado de los métodos USACE, AASHTO, NAASRA (MTC) presenta bandas granulométricas similares pero valores de soporte relativo (CBR) diferentes.

## CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE LOS MODELOS EN LA REGIÓN LIMA PROVINCIAS CON EL MÉTODO NAASRA (AUSTRALIA)

### 6.1.Muestra de datos

Las carreteras a nivel nacional se dividen en: vías nacionales, vías departamentales y vías vecinales, en la zona de Lima provincias contamos con estos tres tipos de vías.

En base a los mapas viales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Plan Vial Departamental Participativo de la Región Lima y el Plan Provincial de Lima (2007-2011) se recolectaron los datos de todas las vías de Lima provincias para obtener la población la misma que se detalla en la Tabla N°44.

Tabla N°44: Cantidad de kilómetros en Lima Provincias

PROVINCIA	NACIONAL (km)	DEPARTAMENTAL (km)	VECINAL (km)
Barranca	88.70	83.39	197.00
Huaura	218.11	137.34	611.40
Cajatambo	0.00	80.96	233.34
Oyón	100.24	23.65	365.48
Huaral	224.41	191.72	490.67
Canta	104.78	130.07	181.22
Huarocharí	147.30	526.15	728.59
Cañete	265.89	59.96	496.54
Yauyos	39.00	0.00	859.34
<b>TOTAL (km)</b>	1188.43	1233.24	4163.57
	6585.24		

Fuente: Elaboración propia (2017)

Lima provincias cuenta con una longitud total de 6585.24 kilómetros, donde la red nacional cuenta con una longitud de 1188.43 km, red departamental 1233.24 km y red vecinal 4163.57 km. Considerando estos datos tenemos el tamaño de la población que será empleada en la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Dónde:

n	:	Tamaño de la muestra
N	:	Tamaño de la población
Z <sub>a</sub>	:	Nivel de confianza
p	:	Probabilidad a favor
q	:	Probabilidad en contra
d	:	Error de estimación

Para poder hallar el nivel de confianza (Z<sub>a</sub>), utilizaremos la Tabla N°45.

Tabla N°45: Cálculo del tamaño de la muestra por niveles de confianza

Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
<b>Z</b>	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
<b>Z<sup>2</sup></b>	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1	0.45
<b>e</b>	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.37	0.5
<b>e<sup>2</sup></b>	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

Fuente: Determinación del tamaño de una muestra archivística (2010)

Para poder hallar la muestra se eligió un nivel de confianza (Z<sub>a</sub>) del 90%, tomando los siguientes valores:

N	:	4163.57 Km, Longitud de la carretera Lima provincias.
Z <sub>a</sub>	:	1.65 (nivel de confianza 90%).
p	:	0.5 se toma este valor porque es un dato desconocido
q	:	0 se toma este valor porque es el resultado entre 1-p
d	:	10%

$$n = \frac{4163.57 \times 1.65^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.1^2 \times (4163.57 - 1) + 1.65^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = 66.98 \text{ km}$$

Por lo tanto, los estudios que obtengamos deben ser representativos en 66.98 kilómetros del total de caminos vecinales en Lima provincias y la cantidad de kilómetros de nuestra muestra es de 137.84 kilómetros de red vial vecinal como se muestra en la Tabla N°46.

Tabla N°46: Cantidad de kilómetros por expediente

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTIDAD DE KILÓMETROS	RED VIAL		
			RED VIAL NACIONAL	RED VIAL DEPARTAMENTAL	RED VIAL VECINAL
Barranca	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	1.73			X
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	99.28	X		
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	19.71			X
Cajatambo	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	6.25			X
Oyón	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	0.65			X
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	0.90			X
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	24.00	X		
Huaral	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	10.68			X
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	42.60	X		
Canta	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"	2.50			X
	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	29.92			X

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla N°46: Cantidad de kilómetros por expediente

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTIDAD DE KILÓMETROS	RED VIAL		
			RED VIAL NACIONAL	RED VIAL DEPARTAMENTAL	RED VIAL VECINAL
Canta	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	1.65			X
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	40.00	X		
Huarochirí	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	11.045			X
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa	1.05			X
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	25.46	X		
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	37.44	X		
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	1.48			X
	Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete	14.77			X
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	4.85	X		
Yauyos	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	35.50			X
<b>LONGITUD TOTAL</b>		<b>411.48</b>	<b>273.64</b>	<b>0.00</b>	<b>137.84</b>

Fuente: Elaboración propia (2018)

De los 21 expedientes de muestra, 14 pertenecen a la red vial vecinal y 7 pertenecen a la red vial nacional. Para la presente investigación se utilizó los 21 expedientes para obtener el CBR típico de la subrasante en la región Lima provincias. Asimismo, el CBR típico de material de cantera para afirmado, subbase y base.

## 6.2. Estudio de Suelo

Para obtener el CBR típico de Lima provincias se tomaron en cuenta 260 calicatas de los 21 expedientes. Donde se tomaron muestras alteradas procedentes de calicatas, siguiendo las normas ASTM y AASHTO como solicita el manual de Especificaciones Técnicas, las mismas que se muestran en la Tabla N°9 de la página 60.

Tabla N°9: Ensayos y Frecuencias

**Tabla 301-02**  
**Ensayos y Frecuencias**

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m <sup>2</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m <sup>2</sup>	Pista

Notas:

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad o característica.

(2) Material preparado previo a su uso.

Fuente: Manual de carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG – 2013 (2013)

Una de las limitaciones de las muestras recolectadas fue la ausencia del valor relativo de soporte CBR según la norma técnica ASTM D-1883 en los ensayos de suelos. Para esta situación se utilizó la Tabla N°47 del U.S. Army Corps of Engineers (USACE) donde el valor típico de CBR es obtenido a partir de las características del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla N°47: Valores típicos de CBR

<b>Clasificación Unificada (SUCS)</b>	<b>CBR en campo</b>
GW	60-80
GP	35-60
GM	40-80
GC	20-40
SW	20-40
SP	15-25
SM	20-40
SC	10-20
ML	5-15
CL	5-15
OL	4-8
MH	4-8
CH	3-5
OH	3-5

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (1953)

Para poder determinar la categoría de la subrasante y el promedio de CBR de la subrasante y/o cantera se tomó en cuenta la Tabla N°48, lo cual está indicado por el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Capítulo IV de Suelos.

Tabla N°48: Categorías de la subrasante

**Cuadro 4.11**  
**Categorías de Sub rasante**

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

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013)

La muestra de datos consta de 21 expedientes, de los cuales algunos expedientes no contaban con el ensayo de CBR, consecuentemente utilizamos la clasificación SUCS de los ensayos para obtener los rangos de CBR a partir de la Tabla N°47 del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). El estudio de suelos se encuentra en el Anexo 8, donde se observa el valor del CBR y su clasificación SUCS por calicata.

Una vez obtenido los datos de CBR se clasificó en las categorías de subrasante de la Tabla N°48 del Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos, el cual se consideró los resultados de las calicatas después de los 30 primeros centímetros, ya que estos valores son alterados por encontrarse compactados. El resumen de los CBR clasificados según el estado inadecuado, regular, bueno, muy bueno y excelente se encuentran expresadas en la Tabla N°49.

Tabla N°49: Resumen de categoría de la subrasante

Continúa

RESUMEN DE CATEGORÍA DE LA SUBRASANTE														
PROVINCIA	EXPEDIENTE	0 - 3 (INADECUADA)		3 - 6 (POBRE)		6 - 10 (REGULAR)		10 - 20 (BUENA)		20 - 30 (MUY BUENA)		30 - (+) (EXCELENTE)		ROCA
Barranca	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima (*)									30.00	100%			
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo			4.90	5.36%	8.88	10.71%	13.81	25.00%	24.95	26.79%	45.65	32.14%	
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado							12.09	100%					
Cajatambo	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas (*)											60.00	100%	
Oyón	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima (*)							15.00	53.85%	25.83	46.15%			
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima									29.00	100%			
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131					7.50	7.69%	16.70	38.46%	25.70	7.69%	42.16	38.46%	7.69%

Fuente: Elaboración propia (2017)

N°49: Resumen de categoría de la subrasante

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	0 - 3 (INADECUADA)		3 - 6 (POBRE)		6 - 10 (REGULAR)		10 - 20 (BUENA)		20 - 30 (MUY BUENA)		30 - (+) (EXCELENTE)		ROCA
Huaral	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000							15.20	100%					
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán					8.00	5.26%	14.87	63.16%	22.00	26.32%	35.00	5.26%	
Canta	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima							16.70	100%					
	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima											31.00	100%	
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta							10.50	100%					
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	2.90	4.76%	3.70	9.52%	7.75	38.10%			26.15	9.52%	44.34	38.10%	
Huarochirí	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima (*)									26.25	16.67%	44.75	83.33%	
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí - Pavimentación de la Localidad de Huallaringa (*)											50.00	100%	

Fuente: Elaboración propia (2017)

N°49: Resumen de categoría de la subrasante

PROVINCIA	EXPEDIENTE	0 - 3 (INADECUADA)		3 - 6 (POBRE)		6 - 10 (REGULAR)		10 - 20 (BUENA)		20 - 30 (MUY BUENA)		30 - (+) (EXCELENTE)		ROCA	
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla					8.85	20.00%	15.77	25.00%	20.28	5.00%	41.03	40.00%	10.00%	
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná							15.50	15.79%	27.97	15.79%	42.61	68.42%		
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete							16.00	100%						
	Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete								12.10	100%					
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima			5.30	16.67%	7.77	50.00%						31.50	33.33%	
Yauyos	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima									11.00	100%				

Fuente: Elaboración propia (2017)

(\*): Expedientes que se trabajaron con CBR referenciales propuestos por el método USACE (Tabla N°47)

El valor del ensayo de CBR que se ha seleccionado corresponde al 0.1” de penetración y al 95% de su máxima densidad seca (MDS). Los rangos promedios del suelo fueron seleccionados según lo indicado en el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos donde establece: subrasante excelente ( $CBR > 30\%$ ), subrasante muy buena ( $20\% < CBR < 30\%$ ), subrasante buena ( $10\% < CBR < 20\%$ ), subrasante regular ( $6\% < CBR < 10\%$ ), subrasante pobre ( $3\% < CBR < 6\%$ ) y subrasante inadecuada ( $CBR < 3\%$ ). Ver Tabla N°49.

### **Provincia de Barranca**

El expediente “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima” tiene un CBR referencial de 25.00%, según los valores típicos del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Asimismo, el valor de CBR es clasificado como un suelo “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC.

### **Provincia de Huaura**

El expediente de “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán - Puente Tingo” cuenta con 56 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 26.03%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC. De los datos obtenidos de esta muestra el 32.14% del total de ensayos (56 valores) se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 45.65%.

El expediente “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado” se encuentra clasificado como un suelo “bueno” con un valor de CBR del 12.09%. De los datos obtenidos de esta muestra el 100% del total de ensayos se encuentra en esta clasificación.

### **Provincia de Cajatambo**

El expediente de “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas” tiene un CBR referencial de 60.00%, según los valores típicos del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Asimismo, el valor de CBR es clasificado como un suelo “excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC.

## **Provincia de Oyón**

El expediente “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima” tiene un CBR referencial de 20.00%. Asimismo, el valor de CBR es clasificado como un suelo “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC.

El expediente “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima” tiene dos valores de CBR en el estudio de Suelos. El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, establece que al tener menos de 6 valores de CBR se tomará el valor más crítico, a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 29.00% clasificado como un suelo “muy bueno”.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131” cuenta con 12 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 27.29%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC. De los datos obtenidos de esta muestra el 38.46% del total de ensayos (12 valores) se encuentra clasificado como un suelo “bueno” con un valor de CBR del 16.70% y a su vez el mismo porcentaje del total se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 42.16%.

## **Provincia de Huaral**

El expediente “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000” cuenta con un solo valor de CBR del 15.20%, clasificado como un suelo “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán” cuenta con 19 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 17.40%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los datos obtenidos de esta muestra el 63.16% del total de ensayos (19 valores) se encuentra clasificado como un suelo “bueno” con un valor de CBR del 14.87%.

### **Provincia de Canta**

El expediente de “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima”, cuenta con un solo valor de CBR del 16.70%, clasificado como un suelo “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC

El expediente de “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima” cuenta con 4 valores de CBR, por ende, se tomará el valor más crítico, para la presente investigación a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 31.00% clasificado como un suelo “excelente”.

El expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta” cuenta con 4 valores de CBR, por ende, se tomará el valor más crítico, a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 10.50% clasificado como un suelo “bueno”.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish” cuenta con 21 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 22.82%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los datos obtenidos de esta muestra el 38.10% del total de ensayos (21 valores) se encuentra clasificado como un suelo “bueno” con un valor de CBR del 7.75% y a su vez el mismo porcentaje del total se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 44.34%.

### **Provincia de Huarochirí**

El expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima” se obtuvo un CBR promedio total referencial de 41.67%, clasificado como un suelo “excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC. De los datos obtenidos de esta muestra el

83.33% del total de ensayos se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 44.75%.

El expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa” tiene un CBR referencial de 50.00%, según los valores típicos del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Asimismo, el valor de CBR es clasificado como un suelo “excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos-MTC.

### **Provincia de Cañete**

El expediente “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla”, cuenta con 18 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 25.71%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los datos obtenidos de esta muestra el 40.00% del total de ensayos se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 41.03%.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná” cuenta con 19 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 36.02%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los datos obtenidos de esta muestra el 68.42% del total de ensayos se encuentra clasificado como un suelo “excelente” con un valor de CBR del 42.61%.

El expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete” tiene cinco valores de CBR en el estudio de Suelos. El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, establece que al tener menos de 6 valores de CBR se tomará el valor más crítico, a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 16.00% clasificado como un suelo “bueno”.

El expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete” cuenta con 5 valores de CBR, por ende, se tomará el valor más crítico, a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 12.10% clasificado como un suelo “bueno”.

El expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima” cuenta con 6 valores de CBR del cual se obtuvo un CBR promedio total de 15.27%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los datos obtenidos de esta muestra el 50.00% del total de ensayos se encuentra clasificado como un suelo “regular” con un valor de CBR del 7.77%.

### Provincia de Yauyos

En la provincia de Yauyos, el expediente de “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima” tiene cuatro valores de CBR en el estudio de Suelos. El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, establece que al tener menos de 6 valores de CBR se tomará el valor más crítico, a partir de esta premisa el CBR crítico del expediente es 11.00% clasificado como un suelo “bueno”.

De las 260 calicatas obtenidas en carreteras de Lima provincias, se obtiene que el 18.07% pertenece a limos y arcillas, 47.30% pertenece arenas y 31.92% pertenece a gravas las mismas que se muestran en la Tabla N°50 y la Figura N°82.

Tabla N°50: Porcentaje del tipo de suelo según clasificación SUCS en Lima provincias

SUELOS DE LIMA PROVINCIAS		
SUCS	CALICATAS	PORCENTAJE (%)
ML - CL	3	1.15%
ML	10	3.85%
CL	34	13.07%
SM - SC	19	7.31%
SP - SM	13	5.00%
SW-SM	11	4.23%
SC-SM	8	3.08%
SM	31	11.92%
SW	7	2.69%
SC	16	6.15%
SP	18	6.92%
GW - GM	8	3.08%
GP - GM	9	3.46%
GM - GC	13	5.00%
GP - GC	1	0.38%
GM	29	11.15%

<b>GP</b>	6	2.31%	
<b>GC</b>	16	6.15%	
<b>GW</b>	1	0.38%	
<b>Roca</b>	7	2.69%	2.69%

Fuente: Elaboración propia (2018)

### TIPO DE SUELO SEGÚN CLASIFICACIÓN SUCS EN LIMA PROVINCIAS

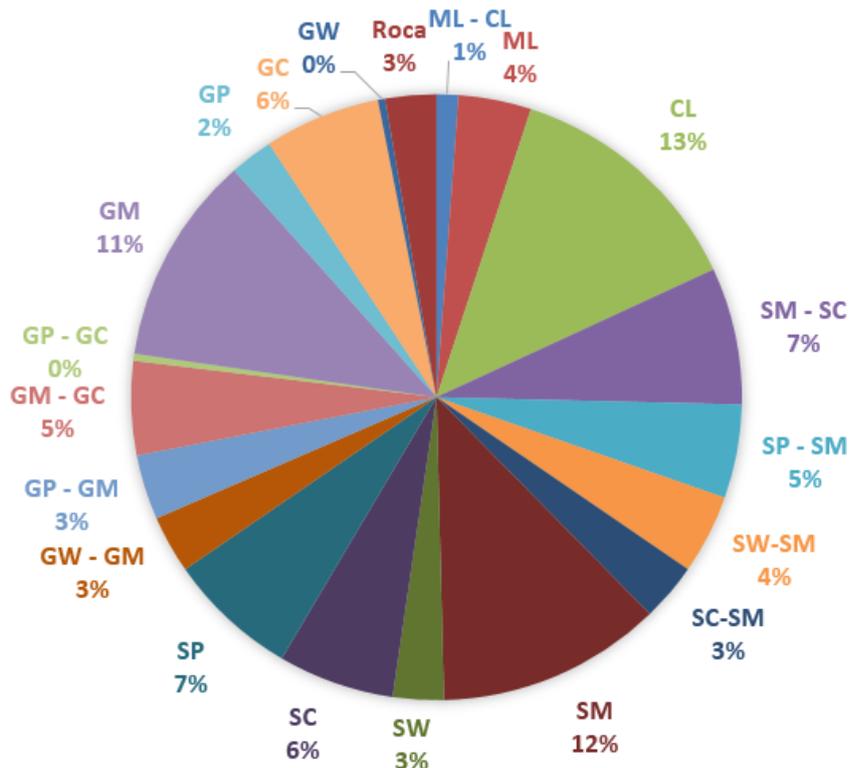


Figura N°82: Tipo de suelo según la clasificación SUCS en Lima provincias

Fuente: Elaboración propia (2018)

A partir del resumen de CBR de la subrasante en Lima provincias (ver Tabla N°49) se obtiene que el 91.99% de los suelos tienen CBR mayores a 10% y son clasificadas como buena, muy buena y excelente, las mismas que se muestran en la Tabla N°51 y Figura N°83.

Tabla N°51: CBR predominante en la subrasante de Lima provincias

LIMA PROVINCIAS			
CBR	SUELOS		
0 - 3	<b>INADECUADO</b>	0.22%	8.00%
3 - 6	<b>POBRE</b>	1.50%	

6 - 10	<b>REGULAR</b>	6.28%	91.99%
10 - 20	<b>BUENA</b>	43.87%	
20 - 30	<b>MUY BUENA</b>	16.85%	
>30	<b>EXCELENTE</b>	31.27%	

Fuente: Elaboración propia (2018)

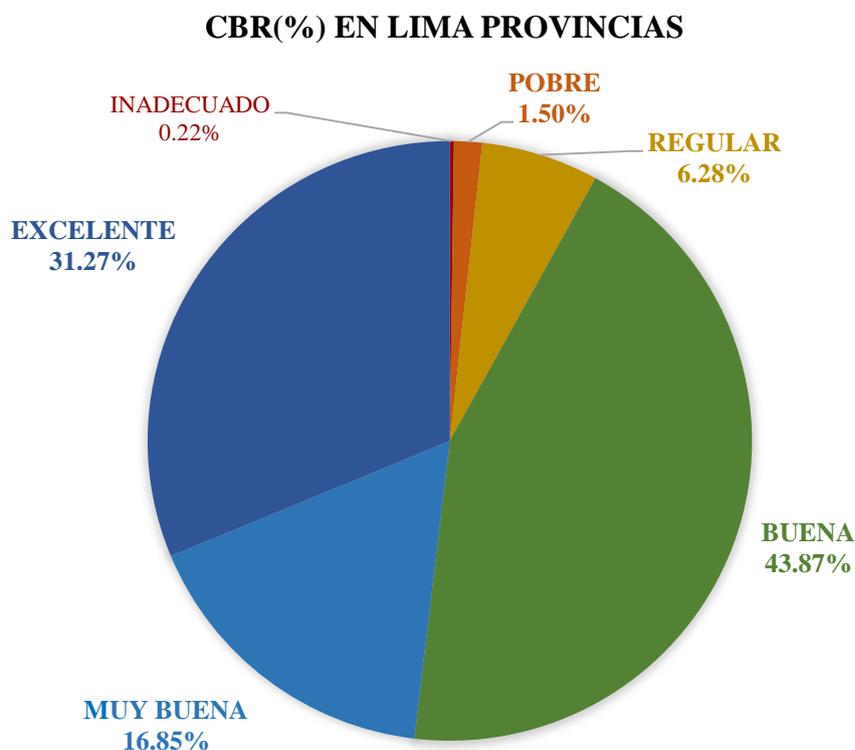


Figura N°83: CBR predominante en la subrasante de Lima provincias

Fuente: Elaboración propia (2018)

La muestra de datos consta de 33 canteras las cuales se obtuvieron a partir de las muestras tomadas en los expedientes técnicos. Se vació los datos con un valor de CBR al 95% y 100% (ver Anexo 9). El resumen de estos datos se puede ver en la Tabla N°52.

Tabla N°52: Resumen del material de Cantera para afirmado, subbase y base

Continúa

RESUMEN DE MATERIAL DE CANTERA PARA AFIRMADO, SUBBASE Y BASE							
PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	CBR 0.1"		Afirmado	Subbase	Base
			100%	95%	>40%	>40%	>80%
<b>Barranca</b>	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	-	-	-			
<b>Huaura</b>	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Acaray - Ubicación: Quebrada Acaray	57.40	24.40			
		Huacan - Ubicación: Río Huaura	78.97	59.23			
		Quipico - Ubicación: Río Huaura	53.00	38.40			
		Quintay - Ubicación: Quebrada de Quintay	41.60	27.00			
	Pedregal - Ubicación: Río Huaura	75.40	54.38				
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	-	-	-			
<b>Cajatambo</b>	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	Cahua - Las Lomas	80.00	60.00			
<b>Oyón</b>	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	-	-	-			
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	Acaray	96.00	78.00			

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°52: Resumen del material de Cantera para afirmado, subbase y base

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	CBR 0.1"		Afirmado	Subbase	Base
			100%	95%	>40%	>40%	>80%
Oyón	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	El Horno	96.10	75.60			
		Yanamayo	73.24	57.55			
		Matichacra	95.92	60.53			
Huaral	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	Pampa de Perros	72.00	35.00			
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	El Ovalo	33.00	23.40			
		La Loma	49.00	35.60			
		Manzana	58.20	48.20			
		Río Huaura	79.80	57.00			
Canta	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"	Terrazas de Apán	75.30	32.00			
	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	Apán	71.00	43.00			
		Puruchuco	68.00	40.00			
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	-	-	-	-	-	-
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	Trameq	89.60	52.90			
		Río Seco	101.40	69.00			
		Inversiones Minera San Juan	101.10	100.00			
Leticia		82.20	71.00				

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°52: Resumen del material de Cantera para afirmado, subbase y base

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	CBR 0.1"		Afirmado	Subbase	Base
			100%	95%	>40%	>40%	>80%
Huarochirí	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	-	-	-			
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa	-	-	-			
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	5+415	91.54	53.30			
		Río Mala	93.30	61.08			
		14+860	92.17	58.03			
		17+860	91.02	53.74			
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	El Porvenir	53.70	38.80			
		Caltopilla	61.42	36.57			
		Planta Chancadora	72.85	51.69			
		Roca Sosci	48.91	34.80			
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	-	-	-			
	Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete	Quilmana II	64.58	48.70			
		Chaparral II	98.30	63.90			
		El Desierto II	64.50	48.70			
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	-	-	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°52: Resumen del material de Cantera para afirmado, subbase y base

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	CBR 0.1"		Afirmado	Subbase	Base
			100%	95%	>40%	>40%	>80%
Yauyos	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Cakra y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	-	-	-			
	Cumple el requisitos de CBR, referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (MTC E 132)						
	No cumple el requisitos de CBR, referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (MTC E 132)						

Fuente: Elaboración propia (2017)

Se utilizó como dato principal el valor relativo de Soporte, CBR de las canteras referido al 100% de su máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1”, las mismas que cumplen los requisitos mínimos en el Manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013. Los materiales destinados para afirmado y subbase granulares deben cumplir con  $CBR > 40\%$  mientras que las bases granulares cumplirán con  $CBR > 80\%$ .

### **Provincia de Huaura**

El expediente de “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo” cuenta con el estudio de 5 canteras: “Acaray”, “Huacan”, “Quipico”, “Quintay” y “Pedregal” con CBR de 57.40%, 78.97%, 53%, 41.60% y 75.40% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de estas canteras podrá ser usado como material de afirmado y subbase.

### **Provincia de Cajatambo**

El expediente “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas” cuenta con la cantera “Cahua” con un CBR 80.00% referido al 100% de su máxima densidad seca. El material de esta cantera podrá ser usado como material de afirmado, subbase y base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

### **Provincia de Oyón**

El expediente “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima” cuenta con la cantera “Acaray” con un CBR 96.00% referido al 100% de su máxima densidad seca. El material de esta cantera podrá ser usado como material de afirmado, subbase y base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131” cuenta con 3 canteras: “El Horno”, “Yanamayo”, “Matichacra” con

CBR de 96.10%, 73.24% y 95.92% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de estas canteras podrá ser usado como material de afirmado y subbase. Las canteras “El Horno” y “Matichacra” podrán usar su material como base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

### **Provincia de Huaral**

El expediente “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000” cuenta con la cantera “Pampa de Perros” con un CBR 72.00% referido al 100% de su máxima densidad seca. El material de esta cantera podrá ser usado como material de afirmado y subbase por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán” cuenta con 4 canteras: “El Ovalo”, “La Loma”, “Manzana” y “Río Huaura” con CBR de 33.00%, 49.00%, 58.20% y 79.80% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de las canteras “La Loma”, “Manzana” y “Río Huaura” podrán ser usados como material de afirmado y subbase.

### **Provincia de Canta**

El expediente “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima” cuenta con la cantera “Terrazas de Apán” con un CBR 75.30% referido al 100% de su máxima densidad seca. El material de esta cantera podrá ser usado como material de afirmado y subbase por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán” cuenta con 2 canteras: “Apán” y “Puruchuco” con CBR de 71.00% y 68.00% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de las canteras podrá ser usado como material de afirmado y subbase.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish” cuenta con 4 canteras: “Trameq”, “Río Seco”, “Inversiones Minera San Juan” y “Leticia” con CBR de 89.60%, 101.40%, 101.10% y 82.20% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de las canteras podrá ser usado como material de afirmado, subbase y base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

### **Provincia de Cañete**

El expediente “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla” cuenta con 4 canteras: “5+415”, “Río Mala”, “14+860” y “17+860” con CBR de 91.54%, 93.30%, 92.17% y 91.02% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de las canteras podrá ser usado como material de afirmado, subbase y base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

El expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná” cuenta con 4 canteras: “El Porvenir”, “Caltopilla”, “planta chancadora” y “Roca Sosci” con CBR de 53.70%, 61.42%, 72.85% y 48.91% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de las canteras podrá ser usado como material de afirmado y subbase por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

El expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete” cuenta con 3 canteras: “Quilmaná II”, “Chaparral II”, “El Desierto II” con CBR de 64.58%, 98.30% y 64.50% referido al 100% de su máxima densidad seca respectivamente. El material de estas canteras podrá ser usado como material de afirmado y subbase. Solo la cantera “Chaparral II” podrá usar su material de cantera como material base por cumplir con los requerimientos mínimos del manual de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013.

Mediante la recopilación de datos se obtiene que del total de canteras el 96.97% pueden ser usadas como material de afirmado y subbase, asimismo del total de canteras el 39.39% puede usarse como material de base. Los materiales afirmados y subbases tienen un soporte relativo de CBR del 75.86% referido al 100% de su máxima densidad

seca., mientras que los materiales de bases tienen un soporte relativo de CBR del 92.97% referido al 100% los mismos requerimientos que solicita el de Especificaciones técnicas generales para Construcción EG-2013. El resumen de estos datos se observa en la Tabla N°53.

Tabla N°53: CBR de afirmado, base y subbase

MATERIAL	CANTERAS	CBR (100%)	CBR (95%)
<b>AFIRMADO (&gt;40%)</b>	96.97%	75.86	59.37
<b>SUBBASE (&gt;40%)</b>	96.97%	75.86	59.37
<b>BASE (&gt;80%)</b>	39.39%	92.97	76.25

Fuente: Elaboración propia (2018)

## 6.4. Estudio de Tráfico

Se recopilaron datos del conteo vehicular diario, índice medio diario proyectado a los 10 años y los ejes equivalentes. Las mismas que se pueden resumir en la Tabla N°54. Para esta tabla se consideraron estudios de redes viales nacionales, departamentales y vecinales las mismas que se detallan a continuación:

Tabla N°54: Resumen de tráfico en Lima provincias

Continúa

RESUMEN DE TRÁFICO						
PROVINCIA	EXPEDIENTE	RED VIAL	TRAMO	IMD (VEH/DÍA)	IMD (VEH/DÍA) PROY. 10 AÑOS	EJES EQUIVALENTES
BARRANCA	Estudio de Tráfico del Proyecto C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	Red Vial Vecinal	-	-	-	-
HUAURA	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Red Vial Nacional	Tramo I: Huara - Desvío Andahuasi	1257	1565	2.48E+06
			Tramo II: Desvío Andahuasi - Sayán	1286	1568	2.51E+06

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°54: Resumen de tráfico en Lima provincias

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	RED VIAL	TRAMO	IMD (VEH/DÍA)	IMD (VEH/DÍA) PROY. 10 AÑOS	EJES EQUIVALENTES
HUAURA	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Red Vial Nacional	Tramo III: Sayán - Desvío Cochamarca	380	516	2.33E+06
			Tramo IV: Desvío Cochamarca - Churín	280	370	1.50E+06
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	Red Vial Vecinal	Tramo I (0+000 - 05+729)	419	-	1.12E+05
			Tramo II (0+000 - 02+230)	58	-	2.68E+04
			Tramo III (0+000 - 11+750)	169	-	4.09E+04
CAJATAMBO	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	Red Vial Vecinal	-	68	-	2.95E+04
OYÓN	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	Red Vial Vecinal	-	89		6.41E+04
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	Red Vial Vecinal	-	-	-	1.65E+05
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	Red Vial Nacional	Tramo I (Pte. Tingo - Oyón)	344	1164	1.20E+06
Tramo II (Oyón - Churín)			325	1134	1.18E+06	
HUARAL	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	Red Vial Vecinal	-	569	772	6.38E+05
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	Red Vial Nacional	-	846	1175	1.65E+06
			-	1372	1823	2.00E+06
			-	545	761	8.52E+05

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°54: Resumen de tráfico en Lima Provincias

PROVINCIA	EXPEDIENTE	RED VIAL	TRAMO	IMD (VEH/DÍA)	IMD (VEH/DÍA) PROY. 10 AÑOS	EJES EQUIVALENTES
CANTA	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima	Red Vial Vecinal	-	222	272	8.25E+04
	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	Red Vial Vecinal	-	50	-	7.86E+04
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	Red Vial Vecinal	-	404	-	8.00E+05
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	Red Vial Nacional	Canta - Huayllay	709	1071	8.30E+06
HUAROCHIRÍ	Estudio de Tráfico del Proyecto de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	Red Vial Vecinal	-	-	-	-
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa	Red Vial Vecinal	-	-	-	-
CAÑETE	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	Red Vial Nacional	Mala - Calango	300	577	9.70E+05
			Calango - La Capilla	147	285	4.50E+05
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	Red Vial Nacional	Imperial - Nuevo Imperial (5+500 - 9+000)			1.50E+06
			Nuevo Imperial - Lunahuaná			6.50E+05
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	Red Vial Vecinal	-	26	-	2.00E+05
	Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete	Red Vial Vecinal	-	253	-	3.24E+05
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	Red Vial Vecinal	-	251	324	3.74E+05
YAUYOS	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	Red Vial Vecinal	Huallampi - Lincha	25	-	6.10E+04

Fuente: Elaboración propia (2017)

A partir de los datos recolectados concluimos que las vías Nacionales que están presentes en Lima provincias tienen un tráfico entre  $4.50 \times 10^5$  y  $8.30 \times 10^6$ , las vías vecinales tienen un tráfico entre  $2.68 \times 10^5$  y  $5.70 \times 10^5$  como se muestra en la Tabla N°55.

Tabla N°55: Tráfico en Lima provincias

LIMA PROVINCIA	
CARRETERAS	TRÁFICO
VÍA NACIONAL	$3.74 \times 10^5$ - $8.30 \times 10^6$
VÍA DEPARTAMENTAL	$4.50 \times 10^5$ - $4.25 \times 10^6$
VÍA VECINAL	$2.68 \times 10^4$ - $5.70 \times 10^5$

Fuente: Elaboración propia (2017)

## 6.5. Aplicación de Modelos

### 6.5.1. Método CBR

Para la aplicación del método CBR se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

Carga por eje de ruedas simples : 8.2 ton

Carga por rueda : 4.1 ton / 4 100Kg

Se utilizó un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 ton de peso de la Guía AASHTO 93 la misma que utiliza el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos en el Capítulo VI: Tráfico Vial. Acápito 6.4. Número de repeticiones de ejes equivalentes.

Los cálculos del espesor de afirmado según el método CBR de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 10.

### 6.5.2. Método USACE

Para la aplicación del método USACE se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

#### Clase de carretera:

Se utilizó el máximo valor de clasificación por demanda de Carreteras de Tercera Clase (400 veh/día) que establece el manual de Diseño Geométrico (DG-2018), lo cual se muestra en la Tabla N°56. La misma que puede funcionar con caminos afirmados.

Tabla N°56: Criterio para la selección de la superficie rodadura

Clase de carreteras	Número de vehículos por día
A	10,000
B	8,400-10,000
C	6,300-8,400
D	2,100-6,300
E	210-2,100
F	70-210
G	menores 70

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

### Índice de diseño:

Se consideró vehículos de llantas con neumáticos del Grupo 1 y 2

Grupo1 : vehículos de pasajeros, panel y pick-up

Grupo2 : camiones de 2 ejes

Grupo 3 : camiones de 3, 4, 5 ejes

Se consideró la Categoría II por considerar camiones de dos ejes hasta un 10%.

Categoría II: Tráfico compuesto de vehículos de pasajeros, panel y pick-up (Grupo1), y que contiene hasta 10 por ciento de camiones de dos ejes (Grupo2). No se permite camiones con tres o más ejes en esta categoría (Grupo3).

Tabla N°13: Índice de diseño para vehículos con neumáticos

Índice de diseño				
Clase	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
A	3	4	5	6
B	3	4	5	6
C	3	4	4	6
D	2	3	4	5
E	1	2	3	4
F	1	1	2	3
G	1	1	1	2

Fuente: Headquarters, Department of the Army (2004)

Como se observa en la Tabla N°13 de la página 75, el índice de Diseño introducido en los ábacos fue 2, la única variante en los demás expedientes es el valor de soporte relativo de la Subrasante.

Los cálculos del espesor de afirmado según el método USACE de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 11.

### **6.5.3. Método Peltier**

Para la aplicación del método Peltier se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

Intensidad media diaria en vehículos: 400 veh/día

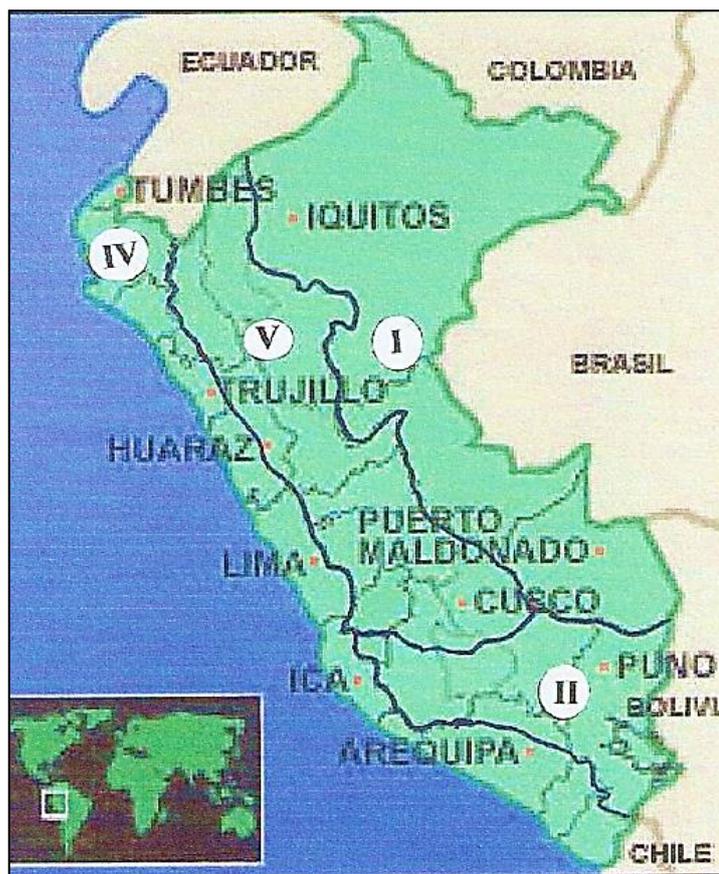
Se utilizó el máximo valor de clasificación por demanda de Carreteras de Tercera Clase (400 veh/día) que establece el manual de Diseño Geométrico (DG-2018). La misma que puede funcionar con caminos afirmados.

Los cálculos del espesor de afirmado según el método PELTIER de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 12.

### **6.5.4. Método AASHTO**

Para la aplicación del método AASHTO se consideró los siguientes parámetros clima, suelo, granulometría:

Se consideró la región IV seca, no helada para todos los expedientes por encontrarse todas en Lima provincias. Esta clasificación es según el mapa propuesto por Ing. Germán Vivar de las regiones climatológicas según la guía AASHTO (1993), esto se puede observar en la Figura N°58 de la página 84.



REGIÓN	CARACTERÍSTICAS
I	Húmeda, No Helada
II	Húmeda, con Ciclos de Hielo-Deshielo
III	Húmeda, Fuerte Congelam.. Deshielo primaveral
IV	Seca, No Helada.
V	Seca, con Ciclos de Hielo-Deshielo.
VI	Seca, Fuerte Congelam.. Deshielo primaveral

Figura N°58: Regiones climatológicas del Perú según AASHTO

Fuente: Ing. Germán Vivar (1993)

A partir de las regiones climatológicas el manual AASHTO indica las duraciones de cada estación durante el año que son seleccionadas a partir de la Región IV seleccionada anteriormente, como se muestra en la Tabla N°35 de la página 142.

Tabla N°35: Duración sugerida (en meses) de las estaciones para las 6 regiones climáticas

<b>Table 4.1. Suggested Seasons Length (Months) for the Six U.S. Climatic Regions</b>				
<b>U.S. Climatic Region</b>	<b>Season (Roadbed Soil Moisture Condition)</b>			
	<b>Winter (Roadbed Frozen)</b>	<b>Spring-Thaw (Roadbed Saturated)</b>	<b>Spring/Fall (Roadbed Wet)</b>	<b>Summer (Roadbed Dry)</b>
I	0 0*	0 0	7 5	4 5
II	1 0	0 5	7 0	3 5
III	2 5	1 5	4 0	4 0
IV	0 0	0 0	4 0	8 0
V	1 0	0 5	3 0	7 5
VI	3 0	1 5	3 0	4 5

\*Number of months for the season

Fuente: Manual AASHTO (1993)

A partir de estos dos procedimientos la guía AASHTO establece valores de Módulo Resiliente del Suelo de Fundación sugerido a partir de la calidad relativa del suelo y las estaciones como se muestra en la Tabla N°17 de la página 85. A partir de la tabla de resumen de los suelos en Lima provincias se pudo clasificar en dos tipos suelos buenos y muy buenos, por los cual se consideró los siguientes parámetros para el diseño.

Tabla N°17: Módulo resiliente del suelo de fundación,  $M_r$  (PSI), en función de la calidad relativa del material

<b>Table 4.2. Suggested Seasonal Roadbed Soil Resilient Moduli, <math>M_r</math> (psi), as a Function of the Relative Quality of the Roadbed Material</b>				
<b>Relative Quality of Roadbed Soil</b>	<b>Season (Roadbed Soil Moisture Condition)</b>			
	<b>Winter (Roadbed Frozen)</b>	<b>Spring-Thaw (Roadbed Saturated)</b>	<b>Spring/Fall (Roadbed Wet)</b>	<b>Summer (Roadbed Dry)</b>
Very good	20,000*	2,500	8,000	20,000
Good	20,000	2,000	6,000	10,000
Fair	20,000	2,000	4,500	6,500
Poor	20,000	1,500	3,300	4,900
Very poor	20,000	1,500	2,500	4,000

\*Values shown are Resilient Modulus in psi

Fuente: Manual AASHTO (1993)

La guía presenta una tabla del material de agregado en función al módulo elástico del material de agregados ( $E_{BS}$ ). Siendo dato para el diseño del afirmado en los nomogramas. Por lo cual se consideró la colocación de un módulo de base de 30 000 PSI. Lo cual equivale al material de afirmado ya compactado de CBR al 80%, esto se puede observar en la Figura N°79 de la página 144.

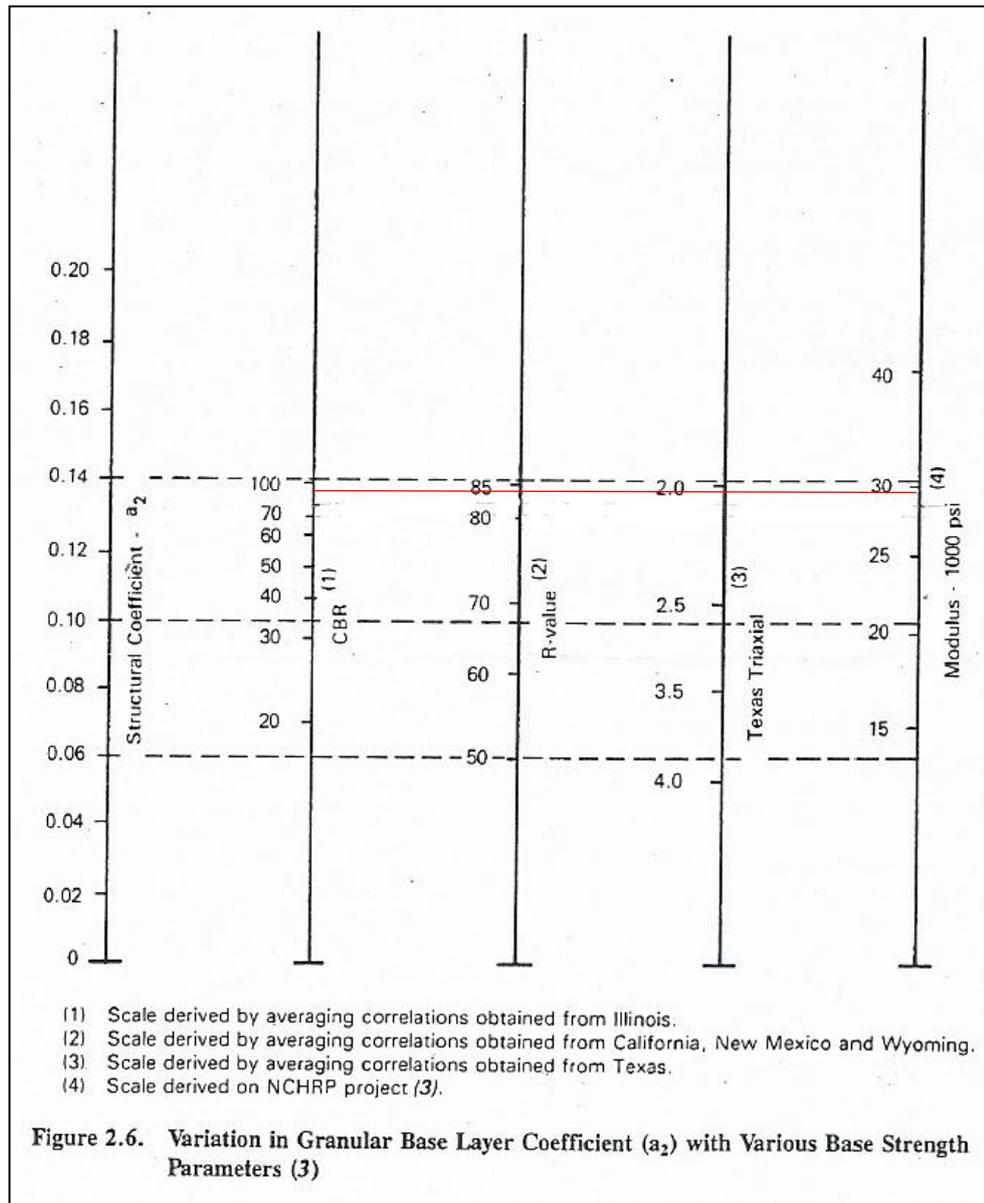


Figura N°82: Módulo elástico del material de agregados (EBS) psi en relación al CBR del material diseñado

Fuente: Guía de diseño de AASHTO (1993)

Los cálculos del espesor de afirmado según el método AASHTO de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 13.

### 6.5.5. Método TRRL

Para la aplicación del método TRRL se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

Ejes equivalentes :  $1 \times 10^5$  EE

Se utilizó  $1 \times 10^5$  EE debido a que el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos en el Capítulo XI: Afirmados establece que la con metodología NAASRA (MTC), considera un intervalo de  $1 \times 10^4$  y  $3 \times 10^5$  EE.

La única variante en los demás expedientes es el valor de soporte relativo de la Subrasante

Los cálculos del espesor de afirmado según el método TRRL de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 14. Además, para facilitar los cálculos se hallaron las ecuaciones de cada curva del ábaco de este método, lo cual se encuentra en el Anexo 17.

### 6.5.6. Método AUSTROADS

Para la aplicación del método Austroads se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

$$N_{DT} = 365 \times AADT \times DF \times \%HV/100 \times LDF \times CGF \times N_{HVAG}$$

$$DESA = \frac{ESA}{HVAG} \times N_{DT}$$

Para poder determinar el valor de  $\frac{ESA}{HVAG}$  tenemos que recurrir a la Tabla N°57, su valor depende del tipo de calle.

Donde  $N_{DT}$  consideramos  $1 \times 10^5$  EE por ser la misma fórmula del Ministerio de Transportes de Comunicaciones que establece en el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; sin embargo, Austroads no diseña con Ejes equivalentes si no con DESA; que son los ejes equivalentes multiplicados por un factor de daño que son obtenidos de tramos experimentales en suelos australianos.

Tabla N°57: Valores del índice de daño

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE DAÑO	ÍNDICE DE DAÑO	TIPOS DE CALLES	VALORES		
PAVIMENTO GRANULAR CON DELGADAS SUPERFICIES BITUMINOSAS	DAÑO TOTAL	ESA/HVAG	Tráfico menor de carril único	0.2		
			Tráfico menor de dos carriles	0.2		
			Acceso local sin autobuses	0.3		
			Acceso local con autobuses	0.3		
			Acceso local en el área industria	0.4		
			Colector sin autobuses	0.6		
					Colector con autobuses	0.6
		ESA/HV	Tráfico menor de carril único	0.4		
			Tráfico menor de dos carriles	0.4		
			Acceso local sin autobuses	0.6		
			Acceso local con autobuses	0.6		
			Acceso local en el área industria	0.9		
			Colector sin autobuses	1.3		
			Colector con autobuses	1.3		
PAVIMENTO QUE CONTIENE UNA O MÁS CAPAS, MECANÍSTICAMENTE DISEÑADAS	FATIGA EN ASFALTO	SAR5/ESA	N/A	N/A		
	AHUELLAMIENTO Y PÉRDIDA DE FORMA	SAR7/ESA	Todas las carreteras con poco tránsito	1		
	FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS	SAR12/ESA	Todas las carreteras con tránsito sin autobuses	3		
			Todas las carreteras con tránsito con autobuses	12		

Fuente: Austroads (2012)

$$DESA = \frac{ESA}{HVAG} \times N_{DT}$$

$$DESA = 0.6 \times 10^5$$

$$DESA = 0.6 \times 10^4$$

El manual Austroads establece tres niveles de confianza: 80%, 90% y 95%, donde se consideró Nivel de Confianza al 90% por ser diseño para caminos rurales, tal y como se observa en la Tabla N°27 de la página 104. Sin embargo, esta confiabilidad será usada siempre y cuando se desee proyectar afirmados y en un futuro realizar una colocación de superficie delgada de asfalto.

Tabla N°27: Niveles de confianza sugeridos para diferentes ubicaciones y propósitos

Uso Típico	Niveles de Confianza (%)	Figura
Calle Urbana	95	13.8.2 (A)
Caminos Rurales (Posible superposición futura)	90	13.8.2 (B)
Construcción por Etapas	80	13.8.2 (C)

Fuente: Technical Basis of Austroads Pavement Design Charts for Light Traffic (2005)

Es así, que el manual Austroads en el 2009 publica tablas con diseño de superficie de agregados sin considerar superficies bituminosas las mismas que son utilizadas en esta investigación.

Los cálculos del espesor de afirmado según el método AUSTROADS de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 15.

#### 6.5.7. Método NAASRA (MTC)

Para la aplicación del método NAASRA (MTC) se consideró los siguientes parámetros de tráfico:

Ejes equivalentes :  $1 \times 10^5$  EE

Se utilizó  $1 \times 10^5$  EE el mismo valor que fue usado en el método TRRL, parte del método Austroads y método NAASRA (MTC), para ingresar parámetros iguales y ser analizados a profundidad.

La única variante en los demás expedientes es el valor de soporte relativo de la Subrasante.

Los cálculos del espesor de afirmado según el método NAASRA (MTC) de los 21 expedientes se encuentran en el Anexo 16.

## **CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Este capítulo contiene el análisis y discusión sobre las normas y/o reglamentos, de cada método de diseño de afirmado en caminos no pavimentados.

### **7.1 Análisis de las normas y/o reglamentos**

El manual de carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, establece que la metodología de diseño del espesor de afirmado, es aplicado mediante el método NAASRA (hoy AUSTROADS). Las variables que se consideran para estimar el espesor de afirmado son: CBR (MTC E132, ASTM D1883 o AASHTO T193), ejes equivalentes (método AASHTO) y bandas granulométricas de afirmado (AASHTO M 147 o FHWA) con CBR mínimo de 40%.

A partir de esta premisa analizamos los ábacos que el manual de carreteras: suelos, geología y pavimentos donde se establece la aplicación del método NAASRA a partir de ábacos con superficie de agregados y espesor delgado de bitumen diferente a los ábacos que se utilizan en el método Austroads para el diseño de afirmado. Asimismo, las variables que considera el manual del ministerio de transporte y comunicaciones son: tráfico y suelos, las mismas que se representan en ejes equivalentes EE y soporte relativo (CBR>40%). A pesar que el método Austroads considera las mismas variables de diseño las unidades representativas son DESA y soporte relativo (CBR>80%) diferentes a las que utiliza el manual, por lo que se sugiere realizar el diseño de afirmado para caminos no pavimentados respetando los parámetros y principios del método AUSTROADS.

### **7.2 Análisis de variables**

La investigación realizó el análisis de 4 variables independientes: tráfico, suelo, clima y material de afirmado. Sin embargo, estas variables que son utilizadas en cada método de diseño tienen diferentes unidades de medición por lo que hace la diferencia entre los métodos.

### 7.2.1. Variable Tráfico

A partir del análisis de los 7 métodos de diseño, la investigación presenta el resumen de las unidades de medición por cada metodología. (Ver Tabla N°58).

Tabla N°58: Comparación de variables

VARIABLES DE DISEÑO					
PARÁMETROS DE LA VARIABLE TRAFICO					
MÉTODOS	Ejes Equivalentes (EE)	Número de vehículos por día (veh/día)	Índice de diseño	Carga por rueda (Kg)	DESA
<b>CBR</b>	-	-	-	1,816 - 81,720	-
<b>USACE</b>	-	0 - 400	1,2,3 y /o 4	-	-
<b>PELTIER</b>	-	150 - 400	-	>7,500	-
<b>AASHTO</b>	$1 \times 10^3 - 4 \times 10^5$	-	-	-	-
<b>TRRL</b>	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^6$	-	-	-	-
<b>AUSTROADS</b>	-	-	-	-	$1 \times 10^3 - 5 \times 10^5$
<b>NAASRA (MTC)</b>	$1 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2018)

De la Tabla N°58 concluimos que los caminos no pavimentados se diseñan a partir de ejes equivalentes menores a  $10^6$  EE; sin embargo, no todos los métodos tienen esta unidad de medida, por lo que utilizan número de vehículos por día menor a 400, índice de diseño 1,2 y/o 3, carga por rueda 4.1ton (3719.46kg) y ejes equivalentes según el daño total menor a  $5 \times 10^5$ . Todas las unidades que se muestran en la Tabla N°58 son consideradas para un diseño de afirmado de bajo volumen de tránsito.

### 7.2.2. Variable Suelo

El análisis de la variable suelo se da en todas las metodologías; sin embargo, algunos métodos han sido propuestos a partir de valores típicos por lo que pueden aplicarse a nivel mundial. Este es el caso del método USACE que trabaja con rangos típicos de CBR en campo y que coinciden con los estudios de suelos analizados en las 21 muestras de Lima provincias. (Ver Tabla N°47 de la página 162).

Tabla N°47: Valores típicos de CBR

<i>Tabla 2.23 Valores típicos de CBR (U.S. Army Corps of Engineers, 1953)</i>	
<b>Clasificación Unificada (SUCS)</b>	<b>CBR en campo</b>
GW	60-80
GP	35-60
GM	40-80
GC	20-40
SW	20-40
SP	15-25
SM	20-40
SC	10-20
ML	5-15
CL	5-15
OL	4-8
MH	4-8
CH	3-5
OH	3-5

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (1953)

Asimismo, no todas las metodologías tienen el concepto de emplearse a nivel mundial; si no en cumplir características propias del país, como es Australia. País que presenta diferentes características geográficas y valores típicos de suelo como se muestra en la Tabla N°59.

Tabla N°59: Valores típicos de CBR según Austroads

<b>MÉTODO AUSTROADS</b>			
<b>Descripción de subrasante</b>		<b>Valores típicos de CBR%</b>	
<b>Material</b>	<b>SUCS</b>	<b>Bien drenado</b>	<b>Pobremente drenado</b>
Arcilla con alta plasticidad	CH	5	2 - 3
Limo de baja plasticidad	ML	4	2
Arcilla de baja plasticidad	CL	5 - 6	3 - 4
Arena arcillosa	SC	5 - 6	3 - 4
Arena bien graduada	SW	10 - 15	5 - 10
Arena mal graduada	SP	10 - 15	5 - 10

Fuente: Austroads (2004)

Los valores típicos de CBR% en Australia son relativamente más bajos que el Perú, asimismo el Perú tiene presencia de suelos gravosos.

### 7.2.3. Variable Clima

El análisis de esta variable solo se presenta en el método AASHTO. El valor de la variable se establece mediante las regiones y estaciones climáticas del mapa oficial de los Estados Unidos; sin embargo, para que la metodología sea válida para nuestro país, se recoge la información desarrollada por el Ing. Germán Vivar del Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos del Perú (IDPP) a partir de las regiones y estaciones climáticas del mapa oficial del Perú. El país es dividido en 4 regiones climáticas: húmeda no helada, húmeda con ciclos de hielo y deshielo, seca no helada y seca con ciclos de hielo y deshielo.

Una vez definida la región climática el método AASHTO define la cantidad de meses que dura cada estación para cada región climática.

En la Tabla N°60 se observa el resumen de variables del método AASHTO aplicado a nuestra muestra.

Tabla N°60: Resumen del material de afirmado del método AASHTO

<b>MÉTODO AASHTO</b>	
<b>Características</b>	<b>Valores climáticos</b>
Ubicación	Lima provincias
Región	IV
Característica	Región seca, no helada
<b>Estaciones (meses de duración)</b>	
Invierno	0
Deshielo	0
Otoño	4
Verano	8

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.2.4. Material de afirmado

El análisis del material de afirmado para esta investigación se basa en 2 parámetros: bandas granulométricas y valor de soporte relativo en la colocación del afirmado durante la construcción.

El método CBR y Peltier no consideran bandas granulométricas, pero si el valor de soporte relativo entre sus capas; el cual debe cumplir que la capa granular colocado en

la parte superior de la subrasante debe ser el doble o cuádruple de la capa inferior; es decir si la subrasante tiene un CBR: 5% se deberá colocar una capa con CBR: 10% como mínimo o 20% como máximo cumpliendo la relación que establece el método.

Por su parte el método USACE considera bandas granulométricas donde el tamaño máximo de la superficie de agregados es de 1pulgada, asimismo este método considera la colocación del afirmado con CBR mayores al 20% y menores al 50%.

El método AASHTO no establece en sus especificaciones el valor relativo de soporte del afirmado durante la construcción, pero si establece las bandas granulométricas que debe cumplir el material de afirmado.

El método TRRL no considera bandas granulométricas, sin embargo, considera la colocación de afirmado con un valor de soporte relativo mayor al 80%.

Por su parte el método Austroads considera bandas granulométricas en materiales de afirmado como el valor de soporte relativo mayor al 80%.

Finalmente, el método NAASRA (MTC) considera bandas granulométricas del método AASHTO y de la Administración Federal de Carreteras. El valor de soporte relativo que establece en sus especificaciones es mayor al 40%.

Debido a las diferencias mencionadas el material de afirmado no tiene relación completa con el método NAASRA (MTC) debido a que todos los métodos presentan sus propios parámetros. Ver Tabla N°61 y Tabla N°62.

Tabla N°61: Resumen del material de afirmado del método NAASRA (MTC)

MATERIAL DE AFIRMADO												
TAMIZ	Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013						Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014					
	AFIRMADO						AFIRMADO					
	A-1	A-2	C	D	E	F	FHWA-FP 03	FHWA-SDLTAP	C	D	E	F
50mm (2")	100	-										
37.5mm (1 1/2")	100	-										
25 mm (1")	90 - 100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100
19 mm (3/4")	65 - 100	80 - 100					97 - 100	100				
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65 - 100	50 - 85	60- 100					50 - 85	60- 100		
4.75 mm (N° 4)	30 - 65	50 - 85	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	41 - 71	50 - 78	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36mm (N° 8)								37 - 67				
2.00 mm (N° 10)	22 -52	33 - 67	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100			25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N°40)	15 - 35	20 - 45	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	12 - 28	13 - 35	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N°200)	5 - 20	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25	9 - 16	4 - 15	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	8	4 - 12	43347	4 - 9	4 - 9	4 - 9
Límite Líquido	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%
Desgaste Los Angeles	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%
CBR	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla N°62: Resumen del material de afirmado del método USACE, AASHTO y AUSTROADS

MATERIAL DE AFIRMADO																	
TAMIZ	Método USACE (TM 5 -822-12)				Método AASHTO						NAASRA (1980)	Método NAASRA (1989)					
	SUPERFICIE DE AGREGADOS				SUBBASE Y BASE						AFIRMADO	AFIRMADO Y BASE					
					SUPERFICIE DE AGREGADOS							ROCA TRITURADA			GRAVA NATURAL		
	N°1	N°2	N°3	N°4	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F	Australia	Gradación 40a	Gradación 30a	Gradación 20a	Gradación 40b	Gradación 30b	Gradación 20b
55.00mm											100						
53.00mm												100			100		
50mm (2")					100	100											
37.5mm (1 1/2")											95 - 100	97 - 100	100		95 - 100	100	
26.5mm											90 - 100	90 - 95	96 - 100	100	86 - 95	98 - 100	100
25 mm (1")	100	100	100	100		75 - 95	100	100	100	100							
19 mm (3/4")											80 - 100			93 - 100			93-100
9.5 mm (3/8")	50 - 85	60 - 100			30 - 65	40-75	50 - 85	60- 100				48 - 67	58 - 75	64 - 85	50 - 74	60 - 82	71 - 87
4.75 mm (N° 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	25 - 55	30-60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100		31 - 48	37 - 56	44 - 64	35 - 59	42 - 66	47 - 70
2.36mm (N° 8)											35 - 65	22 - 34	28 - 42	32 - 47	25 - 46	30 - 52	35 - 56
2.00 mm (N° 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	15 -40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100							
4.25 um (N°40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	15 - 50	10 - 18	11 - 20	13 - 22	10 - 26	12 - 30	14 - 32
75 um (N°200)	8 - 15	8 -15	8 - 15	8 -15	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25	10 - 40	4 - 10	4 - 11	3 - 11	4 - 17	4 -18	6 - 20
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	<20	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Límite Líquido	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%
Desgaste Los Angeles					<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	No especifica	No especifica					
CBR	<50%	<50%	<50%	<50%	No especifica						>80%	>60%	>60%	>60%	>60%	>60%	>60%

Fuente: Elaboración propia (2018)

### **7.3. Análisis del diseño de espesor por provincias**

Para realizar el análisis del diseño de afirmado en caminos no pavimentados se consideró la variable suelo según el promedio de CBR de cada expediente, la variable tráfico fue variando según el método como se muestra en el capítulo VI y la variable clima fue determinada según el ing. Germán Vivar.

Las 21 muestras fueron aplicadas en 7 metodologías respetando los parámetros de principios y variables de cada método. A partir de los cálculos obtenidos de cada método se presenta la Tabla N°63.

Tabla N°63: Diseño de espesores en afirmados

Continúa

			DISEÑO DE ESPESORES (cm)												
			CBR	USACE						PELTIER	AASHTO	TRRL		AUSTROADS	NAASRA (MTC)
				MATERIAL SELECTO		MATERIAL PARA LA SUB BASE		ABACO	ABACO			FÓRMULA			
				10	20	30	40								
PROVINCIAS	PROYECTOS	CBR (%)													
BARRANCA	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	25.00	15.00	11.75	7.70	6.36	5.67	4.55	17.30	29.60	11.43	14.00	10.00	15.00	
HUAURA	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán - Puente Tingo	26.03	14.40	11.64	7.65	6.32	5.64	4.39	16.70	29.60	11.43	13.00	10.00	15.00	
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	12.09	25.40	13.88	8.68	7.03	6.18	8.74	29.50	35.90	14.97	21.00	10.00	20.00	
CAJATAMBO	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	60.00	8.30	9.82	6.76	5.71	5.16	-	8.50	29.60	11.43	8.00	10.00	15.00	
OYON	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	20.00	17.60	12.34	7.98	6.55	5.81	5.44	19.80	29.60	11.43	16.00	10.00	15.00	
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	29.00	13.90	11.38	7.52	6.24	5.57	3.91	15.70	29.60	11.43	12.00	10.00	15.00	
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	27.29	14.50	11.53	7.59	6.29	5.61	4.17	16.40	29.60	11.43	13.00	10.00	15.00	
HUARAL	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	15.20	20.70	13.14	8.35	6.80	6.01	7.29	25.70	35.90	12.74	18.00	10.00	15.00	

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla N°63: Diseño de espesores en afirmados

Continúa

			DISEÑO DE ESPESORES (cm)												
			CBR	USACE						PELTIER	AASHTO	TRRL		AUSTROADS	NAASRA (MTC)
				MATERIAL SELECTO		MATERIAL PARA LA SUB BASE		ABACO	ABACO			FÓRMULA			
PROVINCIAS	PROYECTOS	CBR (%)	10	20	30	40									
HUARAL	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	17.40	19.10	12.74	8.16	6.67	5.91	6.48	23.50	35.90	11.43	17.00	10.00	15.00	
CANTA	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima	16.70	19.80	12.86	8.22	6.71	5.94	6.73	23.80	35.90	11.93	17.00	10.00	15.00	
	Construcción de Trocha Carrozable Quipan - Puruchuco - Apan, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	31.00	13.20	11.22	7.44	6.18	5.53	3.61	15.00	29.60	11.43	12.00	10.00	15.00	
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	10.50	25.80	14.37	8.90	7.17	6.30	9.55	31.30	35.90	16.53	23.00	11.82	20.00	
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	22.82	16.20	11.98	7.81	6.43	5.73	4.88	18.80	29.60	11.43	14.00	10.00	15.00	
HUARACHIRÍ	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	41.67	10.90	10.55	7.12	5.96	5.36	-	12.10	29.60	11.43	10.00	10.00	15.00	
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí - Pavimentación de la Localidad de Hualaringa (*)	50.00	9.60	10.17	6.93	5.83	5.25	-	10.70	29.60	11.43	9.00	10.00	15.00	
CAÑETE	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	25.71	15.00	11.68	7.66	6.33	5.65	4.42	17.40	29.60	11.43	13.00	10.00	15.00	

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla N°63: Diseño de espesores en afirmados

			DISEÑO DE ESPESORES (cm)											
			CBR	USACE				PELTIER	AASHTO	TRRL		AUSTROADS	NAASRA (MTC)	
				MATERIAL SELECTO		MATERIAL PARA LA SUB BASE				ABACO	ABACO			FÓRMULA
PROVINCIAS	PROYECTOS	CBR (%)	10	20	30	40								
CAÑETE	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	36.02	12.00	10.87	7.28	6.07	5.44	3.02	13.80	29.60	11.43	11.00	10.00	15.00
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	16.00	20.30	12.99	8.28	6.75	5.97	7.01	24.80	35.90	12.29	18.00	10.00	15.00
	Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete	12.10	23.80	13.88	8.68	7.03	6.18	8.76	29.30	35.90	14.97	21.00	10.00	20.00
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	15.27	20.70	13.13	8.34	6.80	6.01	7.29	25.70	35.90	12.70	18.00	10.00	15.00
YAUYOS	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	11.00	25.10	14.20	8.83	7.12	6.26	9.27	30.80	35.90	16.00	22.00	11.54	20.00

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.1 Provincia de Barranca

#### Proyecto “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima”

Este proyecto al ser una obra de saneamiento solo se tomará los datos y resultados de manera referencial. El CBR promedio de diseño es 25%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 cm mayor a los demás diseños; debido a que, considera el ahuellamiento en la parte superficial del afirmado; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 4.55 cm respectivamente. Estos dos últimos métodos brindan espesores mínimos; debido a que, consideran el ahuellamiento en la subrasante. Sin embargo, el espesor mínimo que utiliza método USACE en la construcción es de 4” o 10.16 centímetros como se observa en la Figura N°84.

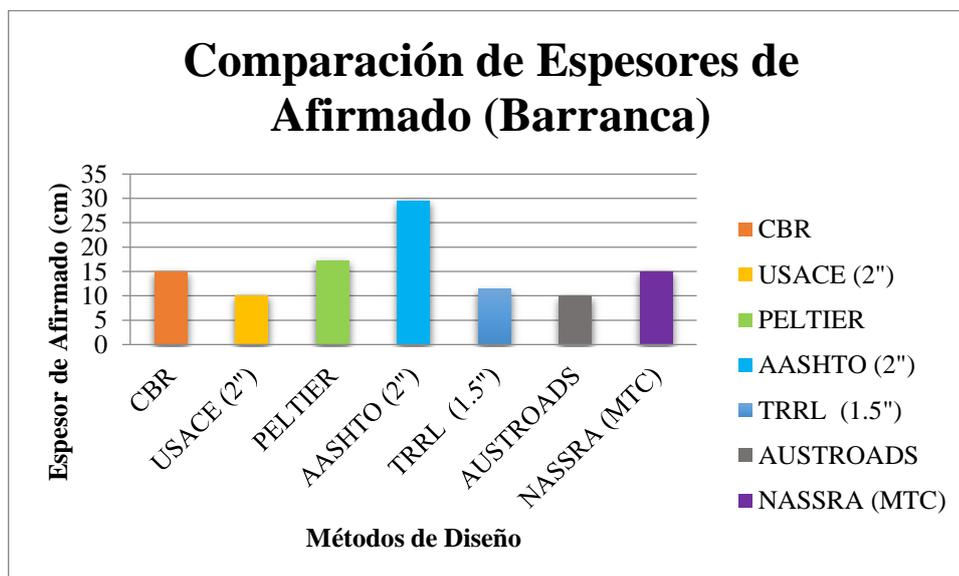


Figura N°84: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Barranca

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.2 Provincia de Huaura

#### Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

El CBR promedio de diseño es 26.03%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños; debido a que, considera el ahuellamiento en la parte superficial del afirmado; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 4.39 cm respectivamente, tal y como se observa en la Figura N°85. Estos dos últimos métodos brindan espesores mínimos; debido a que, consideran el ahuellamiento en la subrasante. Asimismo, el método AUSTROADS brinda espesores mínimos cuando el CBR% del suelo es mayor a 12%.

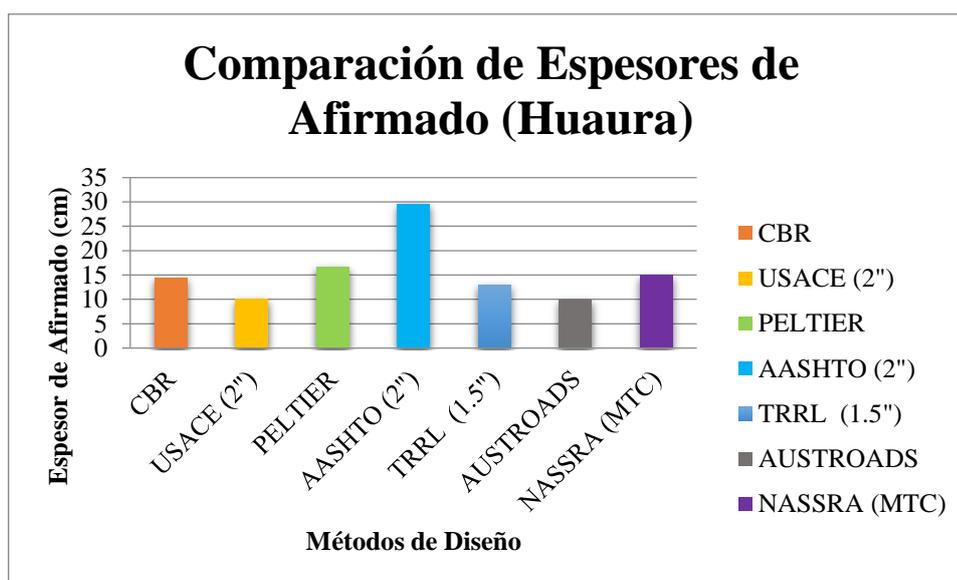


Figura N°85: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaura, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### Proyecto “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”

El CBR promedio de diseño es 12.09 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de

35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 29.50, 25.40, 21.00, 20.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 8.74 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16 cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°86.

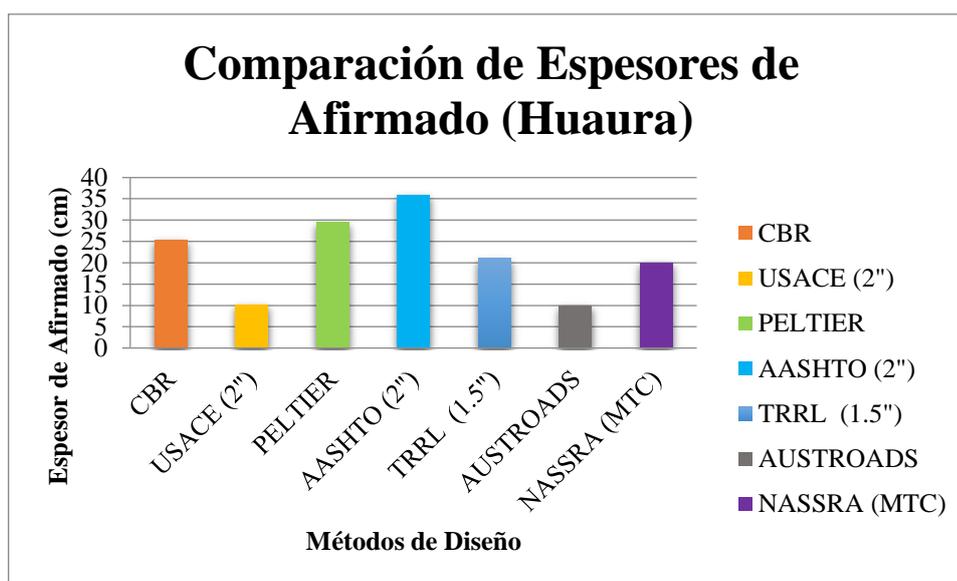


Figura N°86: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaura, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.3 Provincia de Cajatambo

#### Proyecto “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas”

Este proyecto al ser una obra de saneamiento solo se tomará los datos y resultados de manera referencial. El CBR promedio de diseño es 60.00 %. A partir de este dato la subrasante es clasificado como “excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método NAASRA (MTC), AUSTROADS, TRRL, Peltier y método CBR brindan espesores de 15.00, 10.00, 8.00, 8.50 y 8.30 cm respectivamente; mientras que, el método USACE no considera la colocación del afirmado por tener un excelente suelo como se muestra en la Figura N°87.

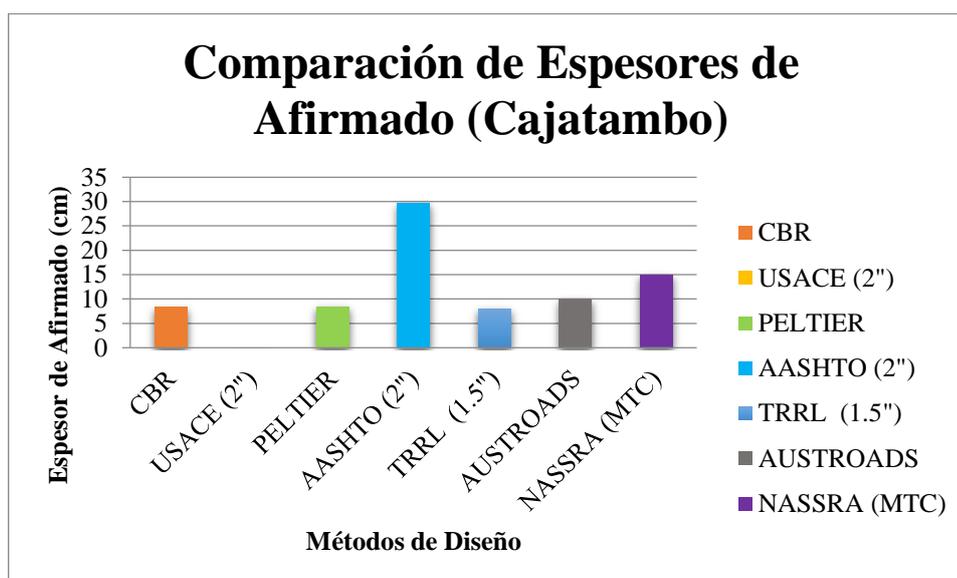


Figura N°87: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cajatambo

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### 7.3.4 Provincia de Oyón

##### Proyecto “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón – Lima”

El CBR promedio de diseño es 20.00%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños; debido a que, considera el ahuellamiento en la parte superficial del afirmado; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 5.44 cm respectivamente. Estos dos últimos métodos brindan espesores mínimos; debido a que, consideran el ahuellamiento en la subrasante. Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°88.

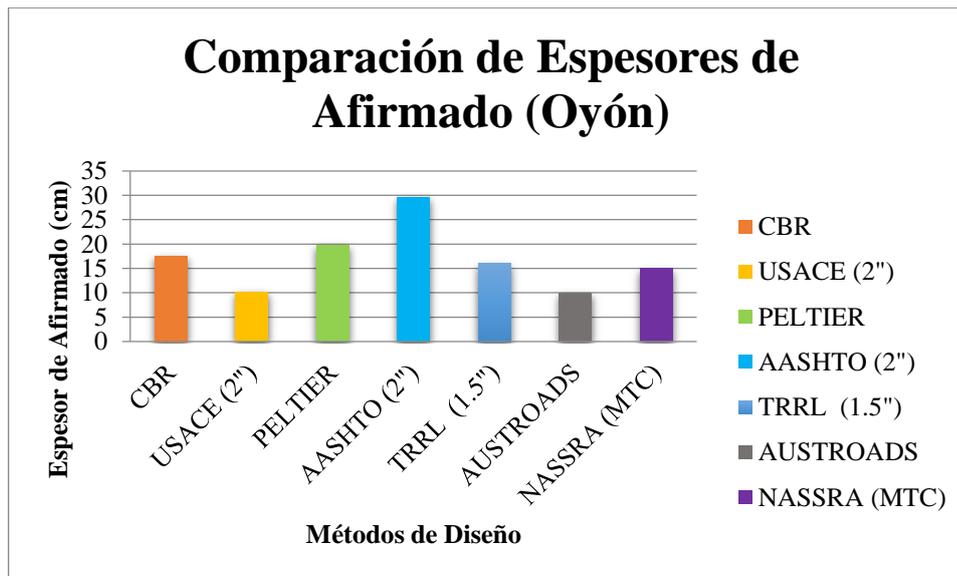


Figura N°88: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Proyecto “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón – Lima”**

El CBR promedio de diseño es 29.00%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados el método AASHTO brinda un espesor de 29.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 19.80, 17.60, 16.00, 15.00 respectivamente. Los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 3.91 cm respectivamente. Estos dos últimos métodos brindan espesores mínimos; debido a que, consideran el ahuellamiento en la subrasante. Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°89.

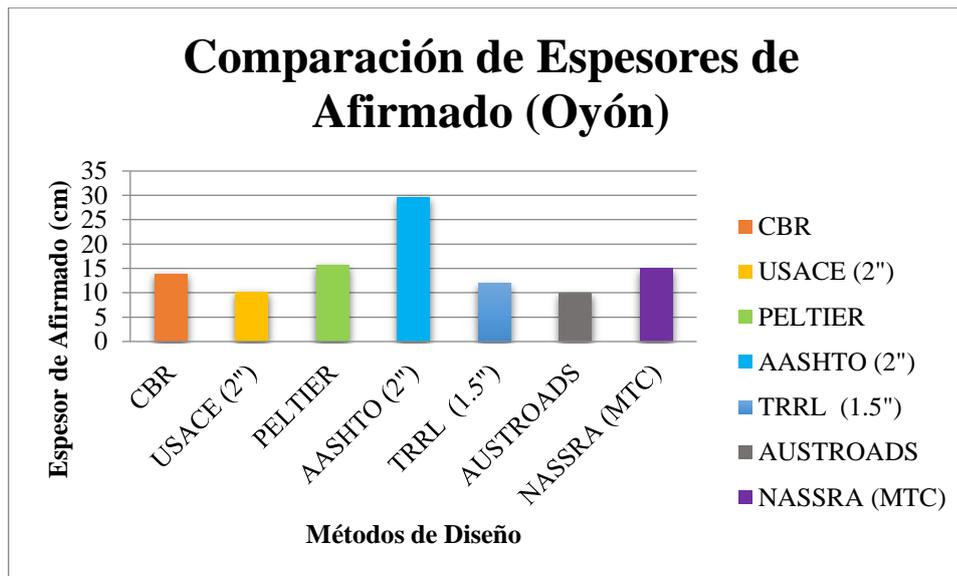


Figura N°89: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131”

El CBR promedio de diseño es 27.29%. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados el método AASHTO brinda un espesor de 29.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 16.40, 14.50, 13.00, 15.00 respectivamente. Los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 4.17 cm respectivamente. Estos dos últimos métodos brindan espesores mínimos; debido a que, consideran el ahuellamiento en la subrasante. Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°90.

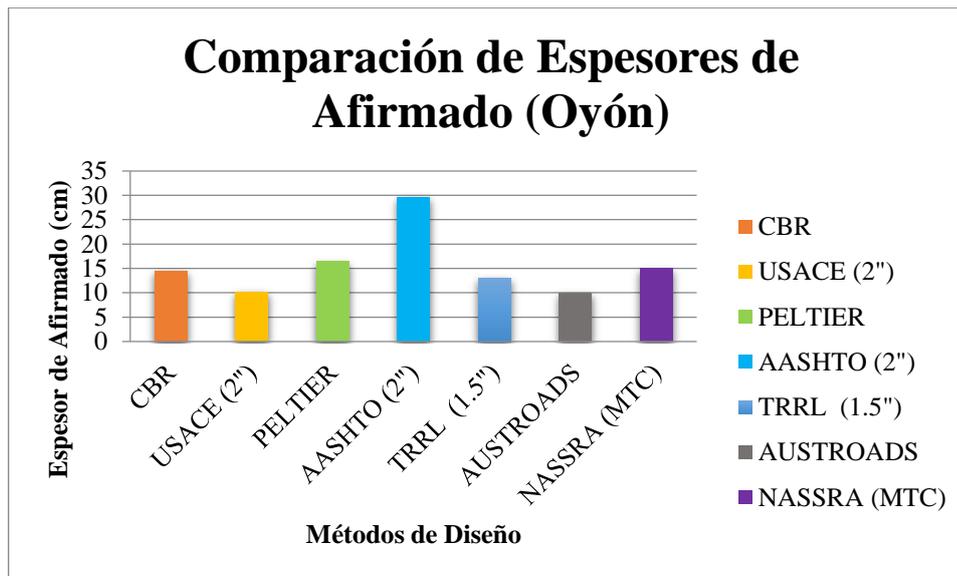


Figura N°90: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Oyón, proyecto 3

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.5 Provincia de Huaral

#### Proyecto “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”

El CBR promedio de diseño es 15.20 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 25.70, 20.70, 18.00, 15.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 7.29 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°91.

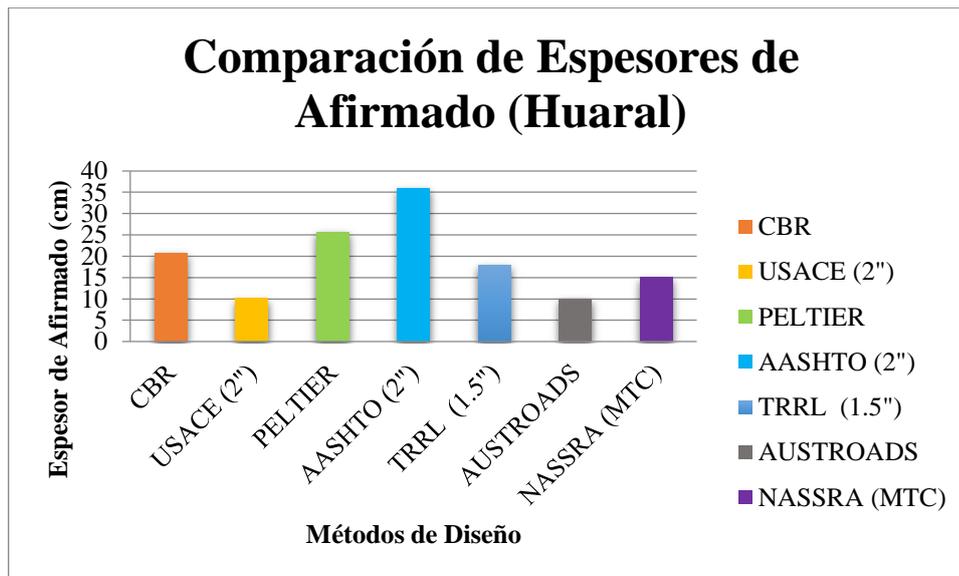


Figura N°91: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaral, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

### Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado – Sayán”

El CBR promedio de diseño es 17.40 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 23.50, 19.10, 17.00, 15.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 6.48 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°92.

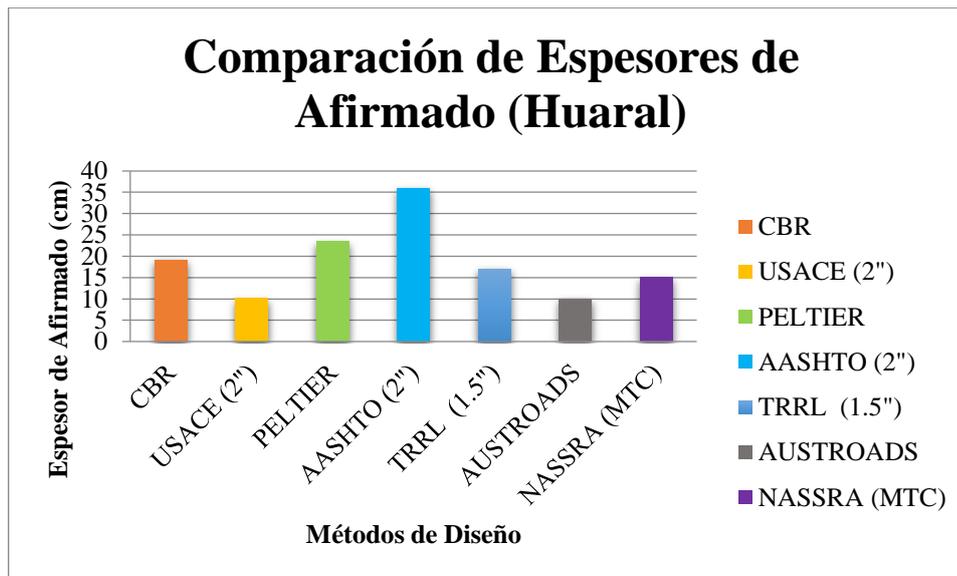


Figura N°92: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huaral, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.6 Provincia de Canta

#### Proyecto “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

El CBR promedio de diseño es 16.70 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC) brindan espesores de 23.80, 19.80, 17.00, 15.00 cm; mientras que, los métodos AUSTRROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 6.73 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°93.

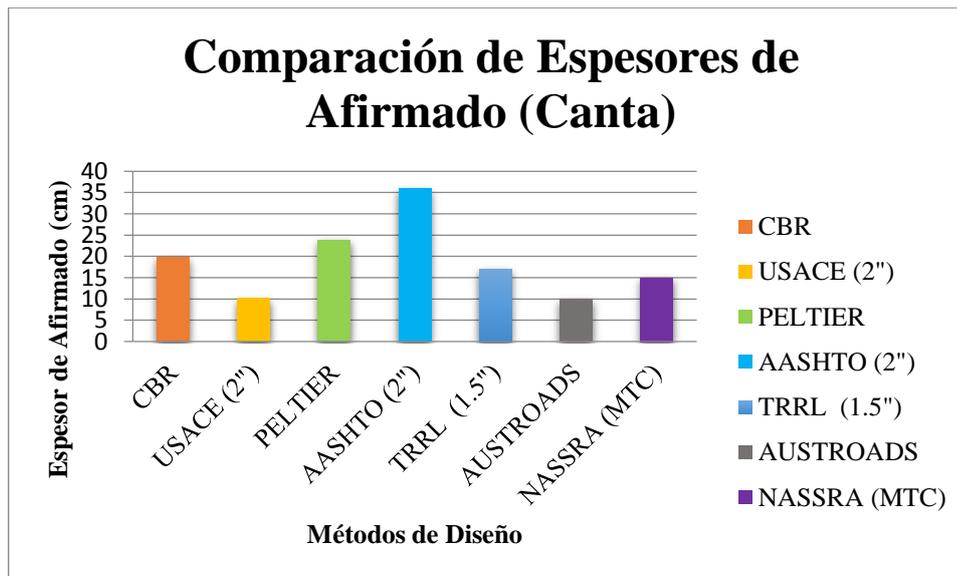


Figura N°93: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### **Proyecto “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”**

El CBR promedio de diseño es 31.00 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, NAASRA (MTC), CBR, y TRRL brindan espesores de 15.00, 15.00, 13.20, 12.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 3.61 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°94.

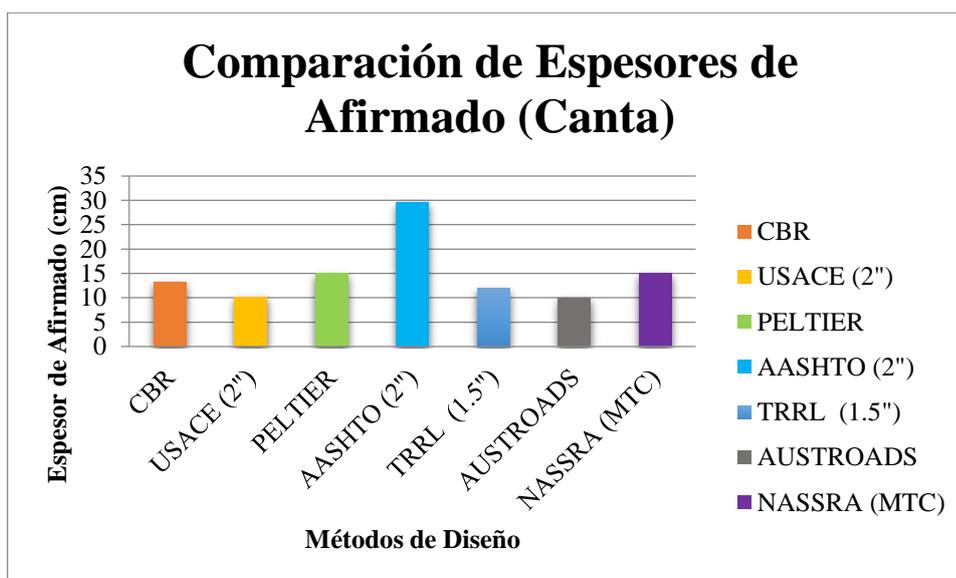


Figura N°94: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### Proyecto “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”

El CBR promedio de diseño es 10.50 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL Y NAASRA (MTC), brindan espesores de 31.30, 25.80, 23.00, 20.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 11.82 y 9.55 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°95.

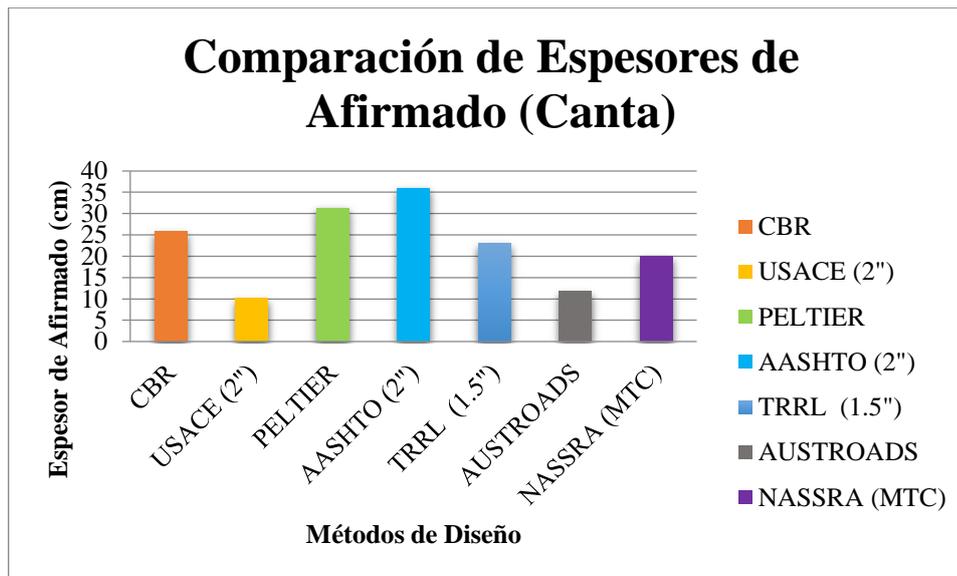


Figura N°95: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 3

Fuente: Elaboración propia (2018)

### Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”

El CBR promedio de diseño es 22.82 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, NAASRA (MTC) y TRRL, brindan espesores de 18.80, 16.20, 15.00, 14.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 4.88 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°96.

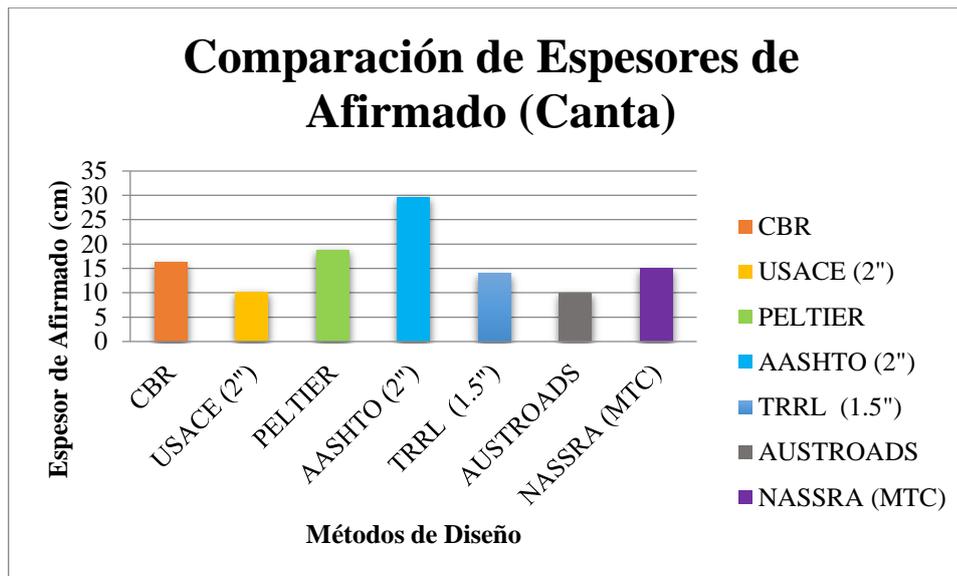


Figura N°96: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Canta, proyecto 4

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.7 Provincia de Huarochirí

#### **Proyecto “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”**

El CBR promedio de diseño es 41.67 %. A partir de este dato la subrasante es clasificado como “Excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método NAASRA (MTC), Peltier, CBR, TRRL y AUSTROADS brindan espesores de 15.00, 12.10, 10.90 ,10.00 y 10.00 cm respectivamente; mientras que, el método USACE no considera la colocación del afirmado por tener un excelente suelo como se muestra en la Figura N°97.

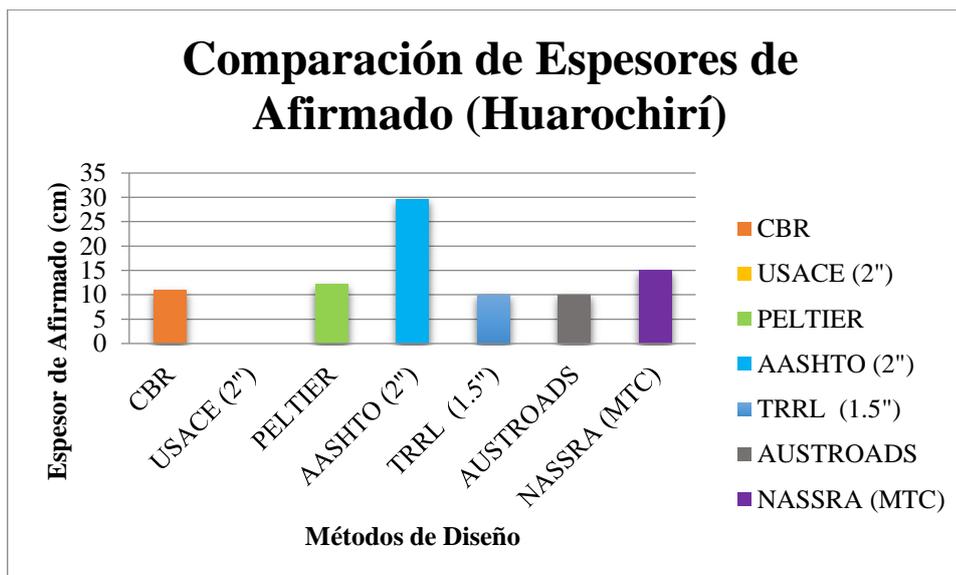


Figura N°97: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huarochirí, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

### **Proyecto “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”**

El CBR promedio de diseño es 50.00 %. A partir de este dato la subrasante es clasificado como “Excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método NAASRA (MTC), Peltier, AUSTROADS CBR y TRRL brindan espesores de 15.00, 10.70, 10.00, 9.60 y 9.00 cm respectivamente; mientras que, el método USACE no considera la colocación del afirmado por tener un excelente suelo como se muestra en la Figura N°98.

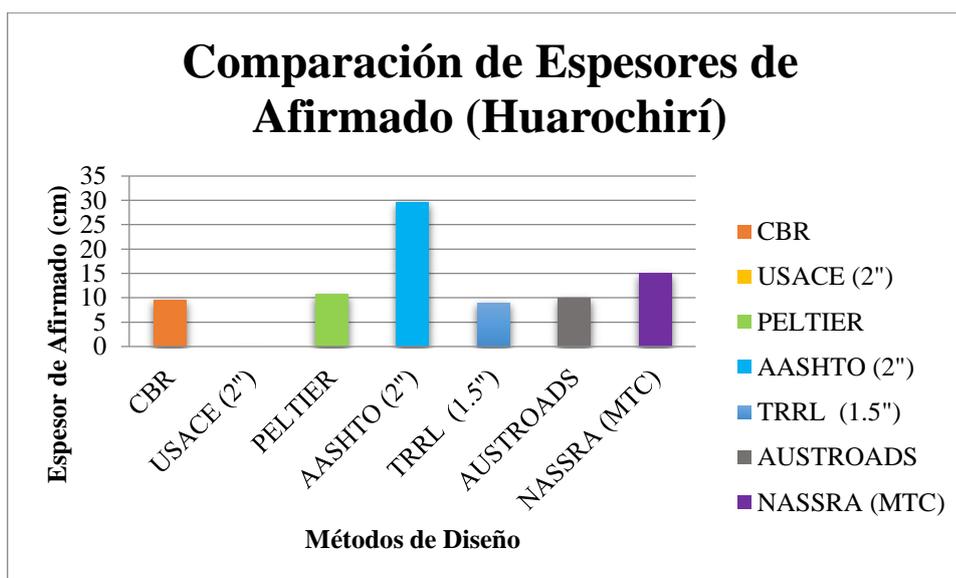


Figura N°98: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Huarochirí, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.8 Provincia de Cañete

#### Proyecto “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla”

El CBR promedio de diseño es 25.71 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Muy bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, NAASRA (MTC) y TRRL, brindan espesores de 17.40, 15.00, 15.00, 13.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 4.42 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°99.

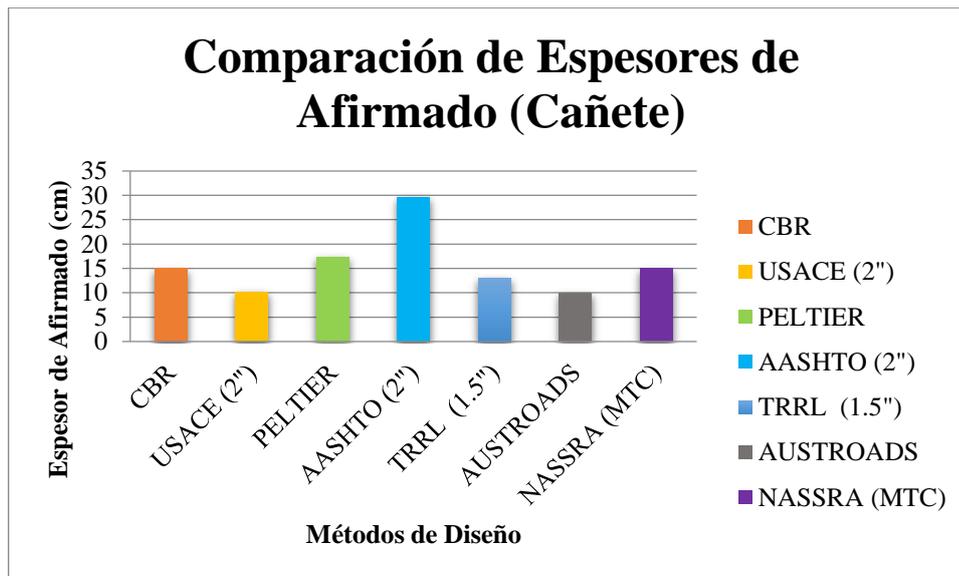


Figura N°99: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 1

Fuente: Elaboración propia (2018)

### **Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete – Lunahuaná”**

El CBR promedio de diseño es 36.02 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Excelente” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 29.60 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método NAASRA (MTC), Peltier, CBR, y TRRL, brindan espesores de 15.00, 13.80, 12.00 y 11.00 cm; mientras que, los métodos AUSTRROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 3.02 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°100.

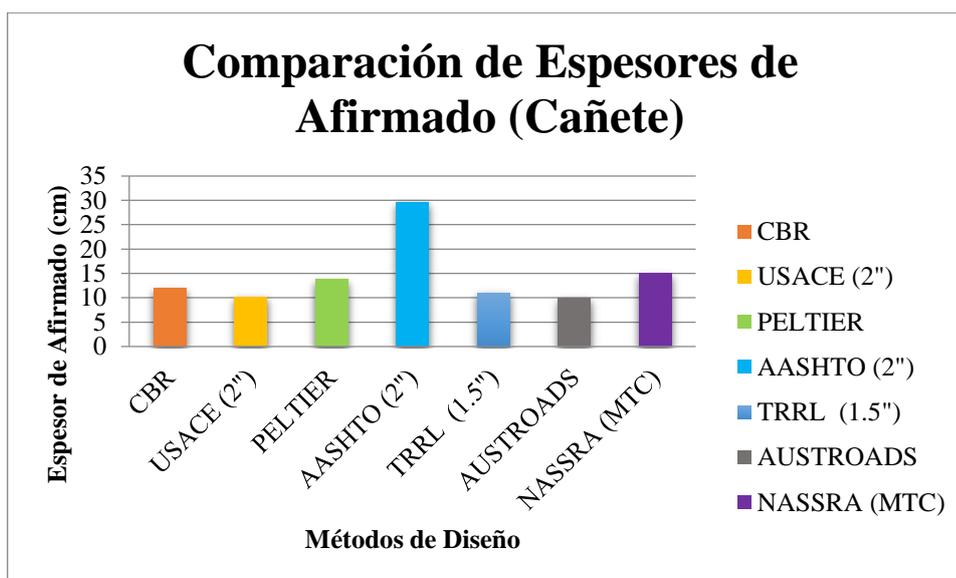


Figura N°100: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 2

Fuente: Elaboración propia (2018)

### Proyecto “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

El CBR promedio de diseño es 16.00 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC), brindan espesores de 24.80, 20.30, 18.00 y 15.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 7.01 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°101.

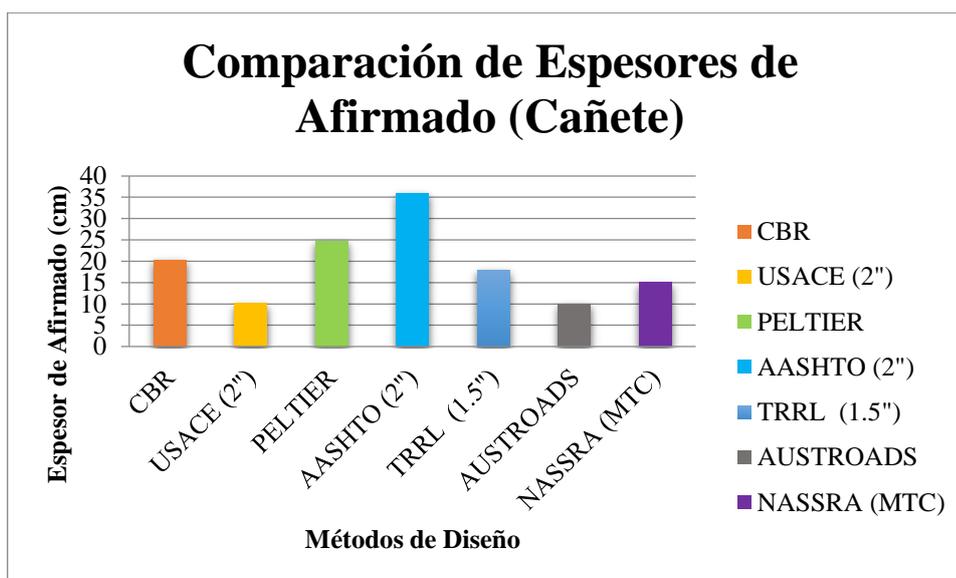


Figura N°101: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 3

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### **Proyecto “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete”**

El CBR promedio de diseño es 12.10 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC), brindan espesores de 29.30, 23.80, 21.00 y 20.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 8.76 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16 cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°102.

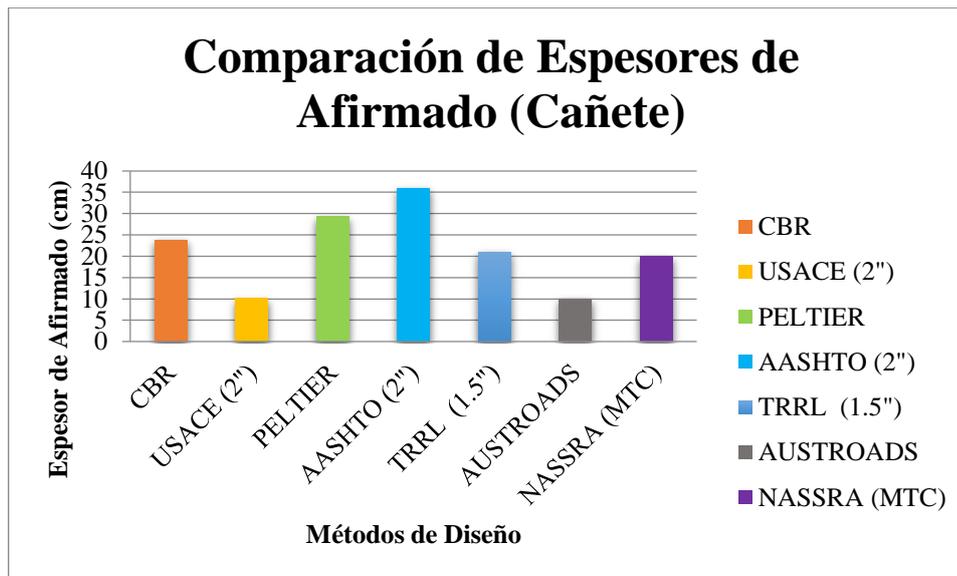


Figura N°102: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 4

Fuente: Elaboración propia (2018)

**Proyecto “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete – Lima”**

El CBR promedio de diseño es 15.27 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC), brindan espesores de 25.70, 20.70, 18.00 y 15.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 7.29 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°103.

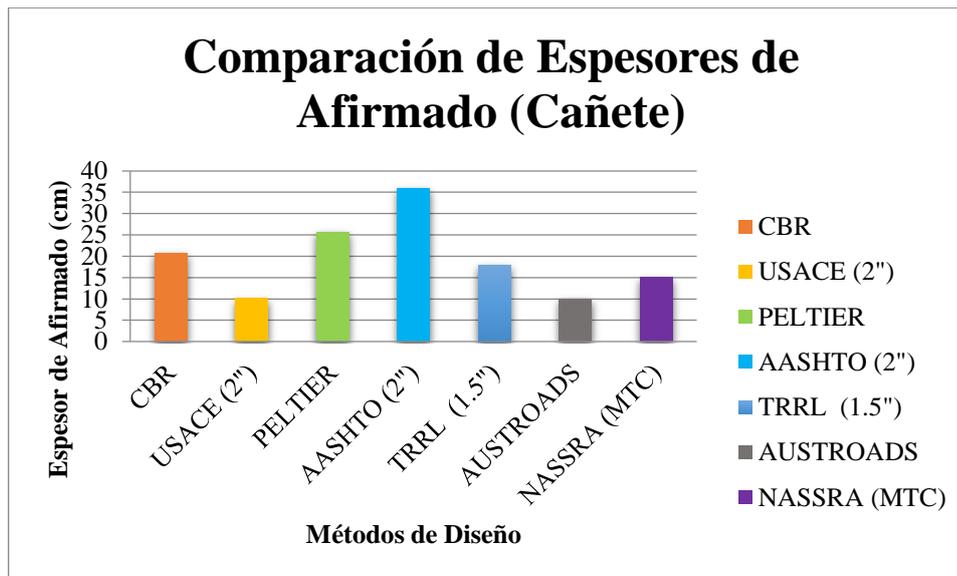


Figura N°103: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Cañete, proyecto 5

Fuente: Elaboración propia (2018)

### 7.3.9 Provincia de Yauyos

#### Proyecto “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos – Lima”

El CBR promedio de diseño es 11.00 %. A partir de este dato el suelo es clasificado como “Bueno” según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. De los resultados obtenidos el método AASHTO brinda un espesor de 35.90 centímetros mayor a los demás diseños. Seguidamente, el método Peltier, CBR, TRRL y NAASRA (MTC), brindan espesores de 30.80, 25.10, 22.00 y 20.00 cm; mientras que, los métodos AUSTROADS y USACE brinda espesores de 10.00 y 9.27 cm respectivamente.

Por su parte, el método USACE establece como espesor mínimo de 4” (10.16cm) por lo que los valores obtenidos en los cálculos son redondeados al mínimo espesor que establece el método como se muestra en la Figura N°104.

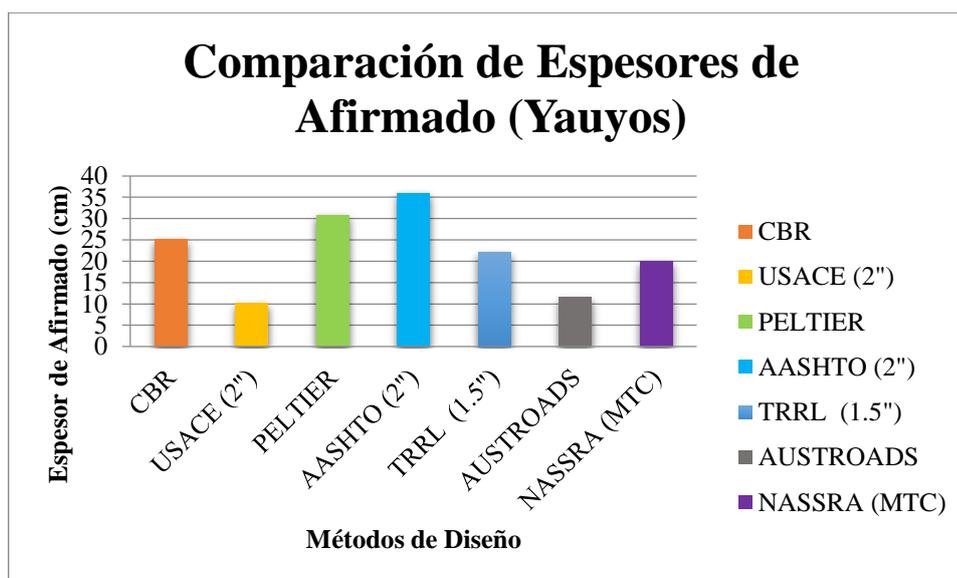


Figura N° 104: Comparación de espesores de afirmado en la provincia de Yauyos

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### 7.4 Análisis del diseño de espesor por métodos de diseño

El método CBR brinda resultados relativamente altos después del método AASHTO y Peltier; sin embargo, similar al método NAASRA (MTC), excepto en aquellos expedientes que tienen valores mayores al 26.03% en el CBR de la sub rasante, en esta situación se obtiene espesores menores que el método NAASRA (MTC).

El método USACE brinda resultados menores que el Método NAASRA (MTC). El método USACE se diseñó bajo dos modelos: ábacos y fórmula del ahuellamiento. En los resultados brindados por el primer modelo se obtuvo como máximo valor de diseño en la capa de afirmado 9.55 cm. (3.76 pulg); sin embargo, este valor es inferior al valor mínimo que utiliza el método USACE de 10.16 cm. (4.00 pulg). En esta situación los valores calculados fueron redondeados al valor mínimo que establece el método. A partir de este modelo de las 21 muestras de los expedientes técnicos de Lima provincias, 18 muestras tuvieron un diseño mínimo en la capa de afirmado de 4pulg; y 3 muestras no consideran la colocación del afirmado por tener un excelente suelo.

En los resultados brindados por el segundo modelo mediante la fórmula del principio de ahuellamiento se obtuvo 4 valores diseño por cada muestra donde todos cumplen el ahuellamiento mínimo de 2 pulg y dependen del material colocado en el que se diseñó

con CBR de 10% ,20% ,30% y 40%. Los cálculos diseñados con un CBR del 10% en el material de afirmado resultaron con valores mayores de 4pulg (10.16cm) pero menores de 5.50pulg (14.37cm). Los cálculos diseñados con un CBR del 20% en el material de afirmado obtuvieron valores menores a 4pulg (10.16cm) en un intervalo de 2.6 – 3.5 pulg (6.73 – 8.90cm) en el diseño de la capa de afirmado. Asimismo, los cálculos diseñados con un CBR del 30% en el material de afirmado obtuvieron valores menores a 4pulg (10.16cm) en un intervalo de 2.2 – 2.8 pulg (5.71 – 7.17cm) en el diseño de la capa de afirmado. Finalmente, los cálculos diseñados con un CBR al 40% en el material de afirmado obtuvieron valores menores a 4pulg (10.16cm) en un intervalo de 2.0 – 2.5 pulg (5.16 – 6.30cm) en el diseño de la capa de afirmado de las 21 muestras de Lima provincias como se muestra en la Tabla N°63.

A diferencia de los demás métodos, el método USACE considera usar materiales disponibles de la localidad u otros materiales relativamente baratos entre la explanación y la capa de base o rodadura por motivos económicos. Por lo que puede colocar material selecto con CBR máximo del 20% o material de subbase con CBR máximo del 50% las mismas con las que fueron diseñadas en el segundo modelo mediante la fórmula del ahuellamiento. En estas situaciones el método utiliza bandas granulométricas más abiertas donde el tamaño máximo es de 3 y 2 pulgadas respectivamente, cuya filosofía es colocar capas superiores de subbase y base si el tráfico aumenta, convirtiendo las capas del material en la de un pavimento.

En 17 expedientes técnicos el método Peltier brinda resultados más altos que el método NAASRA (MTC) siendo el segundo de los 7 métodos de diseño estudiados con mayor valor de diseño ; sin embargo, de las muestras obtenidas en los expedientes de Lima provincias, 4 muestras tienen CBR mayores al 36.02% en esta situación el resultado es inverso; es decir el espesor de Peltier es menor al método NAASRA (MTC), debido a que el espesor mínimo que considera este último es de 15.00 cm, mientras que Peltier diseña con espesores menor a este. A pesar que el método Peltier es la fórmula mejorada del método CBR, Peltier tiene mayor dimensionamiento en las capas que el método CBR. Deducimos que el cambio de la variable de carga por rueda estudiada por el método de CBR tiene cierta influencia al cambio realizado por el profesor Peltier con la variable de cantidad de vehículos por día.

De los 7 métodos estudiados en la presente investigación el método AASHTO brinda el dimensionamiento más alto para la capa de afirmado por considerar un ahuellamiento admisible de 2” y una pérdida de agregados de 5cm adicional al diseño proyectado, validando la premisa de los autores Guty Dore, Jean Pascal Bilodeau y Mickael Le Vern “Que el método AASHTO daría lugar a un exceso de diseño, debido a que el método AASHTO tiene en cuenta el ahuellamiento superficial en el afirmado”. Se podría afirmar que el resultado que obtuvimos del método AASHTO es constante, ya que depende de la región climática y el módulo de base del material colocado, las mismas que son ingresadas de forma constante en el diseño. No obstante, el módulo resiliente depende de la calidad relativa de la sub rasante y la calidad de la sub rasante, este último clasificado como buena y muy buena en la mayoría de las 21 muestras según el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, es por eso que nuestro diseño varía entre 29.60 cm y 35.90 cm en el diseño final de la capa de afirmado.

En 10 expedientes técnicos el método TRRL brinda resultados similares y/o mayores al método NAASRA (MTC); sin embargo, de las demás muestras obtenidas todas tienen CBR mayores al 22.82% en esta situación el método TRRL brinda valores menores al método NAASRA (MTC), debido a que el espesor mínimo que considera este último es de 15.00 cm, mientras que TRRL diseña espesores menores a este. A pesar que estos espesores son menores al método NAASRA (MTC), en sus cálculos consideran el ahuellamiento máximo de 40mm que establece el método TRRL como se muestra en el Anexo 14.

EL método AUSTRROADS brinda resultados menores al método NAASRA (MTC), siendo el valor mínimo de diseño 10.00 cm. Este resultado se refleja en las 19 muestras de expedientes técnicos de Lima provincias. El método AUSTRROADS consideró el aumento del espesor de diseño en CBR menores al 12%, motivo por el cual solo 2 muestras obtuvieron espesores de 11.82 cm y 11.54cm. Inferimos que el método Austroads obtiene valores mínimos debido a que su fórmula fue proyectada para CBR menores a lo que encontramos en Lima provincias. Uno de estos acontecimientos por los cual se deduce es debido a que sus pruebas experimentales se dan en CBR de 5% y/o menores a este; ya que es el suelo natural que se encuentra en Australia oscila en esos valores.

El método NAASRA (MTC) obtuvo resultados del espesor de afirmados entre 15.00 y 20.00 cm. El expediente técnico con el menor valor de CBR es 10.50% en Canta que obtuvo un diseño de la capa de afirmado de 20.00cm. De este modo, no se diseñó con capas de 25 cm ni de 30cm ya que los CBR de las 21 muestras de Lima provincias no eran menores al 10%. Ante estos resultados, argumentamos que Lima provincias tiene CBR mayores al 10%.

En términos generales los diseños estudiados tuvieron espesores altos y bajos, el cual cumplen la siguiente secuencia a partir del resultado de mayor a menor espesor: método AASHTO, Peltier, CBR, TRRL, NAASRA (MTC), AUSTROADS y USACE. Deducimos que el método USACE y AUSTROADS coinciden con los resultados; mientras que, el método TRRL obtiene resultados ligeramente mejores a los métodos USACE y AUSTROADS probablemente por considerar un ahuellamiento de 1.5” (40mm).

## **CAPÍTULO VIII: CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **8.1 Contrastación de hipótesis**

Al iniciar esta investigación se planteó una hipótesis general y tres hipótesis específicas, después de haber realizado el análisis de los métodos, principios y variables de cada método y de qué manera se ajusta nuestro diseño de afirmado para caminos no pavimentados en la región Lima provincias, se presenta la comprobación de las hipótesis.

#### **8.1.1 Hipótesis general**

##### **Hipótesis Alternativa (Ha):**

El método USACE de diseño de afirmado tiene relación con el método NAASRA (MTC), por lo tanto es un estándar complementario para la región Lima provincias.

Todos los métodos son empíricos; sin embargo, durante el tiempo de estudio han sido comparadas con métodos mecanicistas y al obtener los resultados han considerado pertinente conservar el método empírico; debido a la facilidad de aplicar a caminos de bajo volumen o superficies de rodaduras económicas. Por lo que el método NAASRA (MTC) realmente es un estándar para la región Lima provincia y el método USACE es un método de diseño complementario para la región Lima provincia.

Los métodos USACE y AASHTO consideran el principio de ahuellamiento en la superficie de rodadura, en tanto que los métodos CBR, PELTIER, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) la consideran a nivel de subrasante, debido a que, son métodos de diseño de superficie de rodadura asfáltica de espesores económicos. El principio de pérdida de agregados, es considerado en los métodos USACE, AASHTO y AUSTROADS (80% confiabilidad). El método NAASRA (MTC) considera la pérdida de agregados por tratarse de pavimentos con superficie de rodadura asfáltica. Por lo que determinamos que el método USACE y NAASRA (MTC) son similares según el principio de diseño.

Los métodos USACE y NAASRA (MTC) son similares en la variable tráfico, clima y suelo; sin embargo en la variable del material de afirmado son parcialmente similares por considerar bandas granulométricas similares, pero valores de soporte relativo (CBR) diferentes. Por lo que determinamos que el método USACE y NAASRA (MTC) son parcialmente similares según las variables de diseño.

De acuerdo a las hipótesis específicas analizadas, se puede demostrar la hipótesis general que se indica a continuación:

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

El método USACE de diseño de afirmado tiene relación con el método NAASRA (MTC), por lo tanto es un estándar complementario para la región Lima provincias.

**Hipótesis Nula (Ha):**

El método USACE de diseño de afirmado no tiene relación con el método NAASRA (MTC), por lo tanto no es un estándar para la región Lima provincias.

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**8.1.2 Hipótesis específica 1**

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

Los métodos, principios y variables de diseño de afirmado en caminos no pavimentados son similares con el método NAASRA (MTC).

**a. Análisis de métodos**

Tabla N°64: Tabla comparativa de las metodologías

Metodologías			
	Método	Abaco	
CBR	Empírico	Abaco	Figura N°54
USACE	Empírico - Mecanicista	Abaco y fórmula	Figura N°55
PELTIER	Empírico - Mecanicista	Abaco y fórmula	Figura N°57
AASHTO	Empírico - Mecanicista	Abaco	Figura N°59 y Figura N°60
TRRL	Empírico - Mecanicista	Abaco y fórmula	Figura N°61
AUSTROADS	Empírico - Mecanicista	Abaco y fórmula	Figura N°64
NAASRA (MTC)	Empírico - Mecanicista	Abaco y fórmula	Figura N°38

Fuente: Elaboración propia (2018)

A partir de la Tabla N°64 se valida la premisa del autor Eliezer Chirinos del artículo “La evolución del diseño de pavimentos” donde establece lo siguiente:

“El método CBR propuesto en 1929 por los Ingenieros T.E Stanton y O.J. Porter del Departamento de Carreteras del Estado de California proceden de métodos empíricos. Asimismo, establece que desde 1956 el método AASHTO aplica métodos empíricos a partir de tramos experimentales. En 1993 el método AASHTO aplica métodos mecanicistas donde introduce los parámetros de materiales y elementos estadísticos, simultáneamente utilizan ambas metodologías convirtiendo el método AASHTO en método empírico-mecanicista”. De esta manera se valida la premisa del autor Eliezer Chirinos con la Tabla N°64.

De igual manera se valida la premisa de los autores Gutty Dore, Jean Pascal Bilodeau y Mickael Le Vern donde establecen lo siguiente:

“Los diseños de caminos no pavimentados se basan principalmente en las lecciones de la experiencia o en métodos de diseño empírico, ya que estos caminos generalmente están sujetos a poco tráfico”. Las mismas que cumplen los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC).

## b. Análisis de Principios

Tabla N°65: Tabla comparativa de las metodologías

PRINCIPIOS DE DISEÑO	MÉTODOS DE DISEÑO						
	CBR	USACE	PELTIER	AASHTO	TRRL	AUSTROADS	NAASRA(MTC)
Ahuellamiento	AS	ASR	AS	ASR 0.5" - 3" Admisible 1.0"- 2.0"	AS 1.5"	AS	AS
Pérdida de agregados		x		x			

Fuente: Elaboración propia (2018)

ASR : Ahuellamiento en la superficie de rodadura

AS : Ahuellamiento en la subrasante

De la Tabla N°65 se valida las premisas de los autores Gutty Dore, Jean Pascal Bilodeau y Mickael Le Vern que se indican a continuación:

“Se definen 3 tipos de ahuellamiento; post-compactación de los materiales en el pavimento (modo 0), ahuellamiento en la rueda de la capa superficial del pavimento (modo 1) y deformación del pavimento desde la subrasante (modo 2)”. Los métodos USACE y AASHTO consideran el principio de ahuellamiento en la superficie de rodadura; mientras que los métodos CBR, PELTIER, TRRL, AUSTRROADS y NAASRA (MTC) lo consideran en la subrasante; debido a que, son métodos de diseño de superficie de rodadura asfáltica de espesores económicos.

De igual manera se valida la siguiente premisa: “El método AASHTO daría lugar a un exceso de diseño, debido a que el método AASHTO tiene en cuenta el ahuellamiento superficial de rodadura”. Esta premisa es validada mediante los datos obtenidos en el capítulo VII donde se analizan los resultados del diseño y se verifica que el método AASHTO tiene espesores mayores que los demás métodos.

### c. Variables

Tabla N°43: Tabla comparativa de las variables

VALORES DE DISEÑO		MÉTODOS DE DISEÑO						
		CBR	USACE	PELTIER	AASHTO	TRRL	AUSTRROADS	NAASRA (MTC)
TRAFICO	Ejes Equivalentes (EE)				x	x	x <sup>(*)</sup>	x
	Índice de Diseño		x <sup>(**)</sup>					
	Número de vehículos por día			x				
	Carga de rueda (Lb o Kg)	x						
CLIMA	Región Climática				x			
SUELOS	CBR (Subrasante)	x	x	x	x	x	x	x
AFIRMADO SUBBASE BASE	Modulo del Material de la Base (EBS)				x			
	Granulometría		x		x		x	x
	CBR (Afirmado)	>15%	<50%			>80%	>80%	>40%

Fuente: Elaboración propia (2018)

(\*) : Ejes equivalentes multiplicado por el factor de daño.

(\*\*) : Número de vehículos que pueden ser transformados en ejes equivalentes.

Esta investigación analizó cuatro variables de diseño: tráfico, clima, suelos y material de afirmado, subbase y base.

Como se observa en la Tabla N°43 de la página 155, los métodos de diseño USACE, AASHTO, TRRL, AUSTRROADS y NAASRA (MTC) consideran la variable tráfico a partir de ejes equivalentes; mientras tanto los métodos CBR y PELTIER la consideran mediante carga por rueda y número de vehículos por día. La variable clima del método AASHTO no es utilizado en los métodos CBR, USACE, PELTIER, TRRL, AUSTRROADS y NAASRA (MTC); por lo cual, la mayoría de los métodos son similares entre sí. La variable suelo mediante la unidad del valor de soporte relativo (CBR) es utilizada en todos los métodos de diseño. La variable del material de afirmado de los métodos USACE, AASHTO, NAASRA (MTC) son parcialmente similares debido a que las bandas granulométricas son similares entre sí; mientras que, el valor de soporte relativo (CBR) en la colocación del espesor estructural son diferentes.

De acuerdo a los métodos, principios y variables analizados, se puede demostrar la hipótesis específica 1 que se muestra a continuación:

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

Los métodos, principios y variables de diseño de afirmado en caminos no pavimentados son similares con el método NAASRA (MTC).

**Hipótesis Nula (Ho):**

Los métodos, principios y variables de diseño de afirmado en caminos no pavimentados no son similares con el método NAASRA (MTC).

De acuerdo al análisis se puede determinar que los métodos, principios y variables de diseño de afirmado en caminos no pavimentados son similares con el método NAASRA (MTC) por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### **8.1.3 Hipótesis específica 2**

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

El principio de diseño de cada método tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

En la Tabla N°66 se aplica la fórmula USACE para determinar tácitamente el principio de ahuellamiento de cada método.

Tabla N°66: Principio de diseño expresada tácitamente mediante la fórmula USACE

PRINCIPIOS DE DISEÑO	MÉTODOS DE DISEÑO						
	CBR	USACE	PELTIER	AASHTO	TRRL	AUSTROADS	NAASRA(MTC)
Ahuellamiento	AS	ASR	AS	ASR	AS	AS	AS
	0.86"- 1.25"	2.8" – 3.8"	0.74"-1.08"	1.24" -1.45"	0.96"-1.41"	1.81"- 1.92"	2.05" – 2.08"
Pérdida de agregados		x		x			

Fuente: Elaboración propia (2018)

ASR : Ahuellamiento en la superficie de rodadura

AS : Ahuellamiento en la subrasante

El principio de diseño de una carretera no pavimentada o afirmada es el ahuellamiento, según los métodos USACE y AASHTO consideran 2" en promedio y el método TRRL considera 1.5" como máximo.

Se calculó mediante la fórmula del método USACE los ahuellamientos en cada uno de los métodos para comprobar el principio de diseño

Se verificó el ahuellamiento para suelos de la región Lima provincias de los métodos CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC), cuyos resultados para los métodos CBR y PELTIER son menores a 1" lo que ratifica la condición de los métodos para pavimentos flexibles. Los métodos TRRL y AASHTO arrojan valores mayores a 1" y en el orden de 1.5" de ahuellamiento, que ratifica la condición de tratamientos superficiales.

Los métodos USACE, AUSTROADS y NAASRA (MTC) arrojan valores de ahuellamientos mayores a 1", siendo el método AUSTROADS el que arroja un ahuellamiento de 1.8"-1.9", el método NAASRA (MTC) 2" y el método USACE entre 2.8 - 3.8".

Teniendo en consideración que estos espesores son estructurales y bajo el criterio de ahuellamiento máximo de 2" los métodos AUSTROADS y NAASRA (MTC) pueden

ser empleados para la región Lima provincias; y el método USACE requiere el calibrado para su aplicación.

El principio de pérdida de agregados, siguiendo la política de conservación periódica cada 4 años; requiere adicionar a los métodos USACE, AASHTO y NAASRA (MTC) un espesor de material con características de superficie de rodadura de 10cm o 4" lo que contribuye a minimizar el ahuellamiento en general a un máximo de 2" en el 4to año de la vida útil.

Se valida la premisa de los autores Guty Dore, Jean Pascal Bilodeau y Mickael que se indica a continuación: "Los daños son menos estrictos para carreteras sin pavimentar, cuyos métodos de diseño actuales sugieren ahuellamientos más profundos de 25 mm, 50 mm, 75 mm, incluso 100 mm o más". El método AASHTO brinda ahuellamientos entre 0.5" y 3.0" que equivalen entre 12mm a 76mm respectivamente, las mismas que se muestran en el rango mencionado de los autores Guty Dore, Jean Pascal Bilodeau y Mickael Le Vern.

De acuerdo al principio de diseño, se puede demostrar la hipótesis específica 2 que se muestra a continuación:

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

El principio de diseño de cada método tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

**Hipótesis Nula (Ho):**

El principio de diseño de cada método no tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

De acuerdo a las tablas y la validación analizadas, se puede determinar que el principio de diseño de cada método tiene relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**8.1.4 Hipótesis específica 3**

### Hipótesis Alternativa (Ha):

Las variables de cada método tienen relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

Para aceptar o rechazar la hipótesis específica 3 se analizará las variables de tráfico, clima, suelo y material de afirmado que se muestran en la Tabla N°67, Tabla N°68, Tabla N°69 y Tabla N°70.

#### 8.1.4.1. Variable Tráfico

Tabla N°58: Comparación de variables

VARIABLES DE DISEÑO					
PARÁMETROS DE LA VARIABLE TRAFICO					
MÉTODOS	Ejes Equivalentes (EE)	Número de vehículos por día (veh/día)	Índice de diseño	Carga por rueda (Kg)	DESA
<b>CBR</b>	-	-	-	1,816 - 81,720	-
<b>USACE</b>	-	0 - 400	1,2,3 y/o 4	-	-
<b>PELTIER</b>	-	150 - 400	-	>7,500	-
<b>AASHTO</b>	$1 \times 10^3 - 4 \times 10^5$	-	-	-	-
<b>TRRL</b>	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^6$	-	-	-	-
<b>AUSTROADS</b>	-	-	-	-	$1 \times 10^3 - 5 \times 10^5$
<b>NAASRA (MTC)</b>	$1 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2018)

De la Tabla N°58 de la página 194, concluimos que todas las metodologías cumplen un mismo concepto de la variable tráfico donde un eje simple de dos ruedas cargado es de 8.2 Tn y los neumáticos tienen una presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>. Por lo que consideramos que mediante la variable tráfico los métodos tienen relación entre sí.

#### 8.1.4.2. Variable Suelo

La variable suelo es parte del diseño en todas las metodologías analizadas; sin embargo, algunos métodos han sido diseñados mediante fórmulas con valores típicos del lugar de origen. Este es el caso del método AUSTROADS y USACE que utilizan valores típicos para crear o reajustar las fórmulas en el diseño de caminos no pavimentados. La Tabla N°59 de la página 195 y Tabla N°47 de la página 162, muestra los valores típicos que han sido trabajos para obtener las fórmulas del método AUSTROADS y USACE.

Tabla N°59: Valores típicos de CBR según Austroads

<b>MÉTODO AUSTROADS</b>			
<b>Descripción de subrasante</b>		<b>Valores típicos de CBR%</b>	
<b>Material</b>	<b>SUCS</b>	<b>Bien drenado</b>	<b>Pobrementemente drenado</b>
Arcilla con alta plasticidad	CH	5	2 - 3
Limo de baja plasticidad	ML	4	2
Arcilla de baja plasticidad	CL	5 - 6	3 - 4
Arena arcillosa	SC	5 - 6	3 - 4
Arena bien graduada	SW	10 - 15	5 - 10
Arena mal graduada	SP	10 - 15	5 - 10

Fuente: Austroads (2004)

Tabla N°47: Valores típicos de CBR

<i>Tabla 2.23 Valores típicos de CBR (U.S. Army Corps of Engineers, 1953)</i>	
<b>Clasificación Unificada (SUCS)</b>	<b>CBR en campo</b>
GW	60-80
GP	35-60
GM	40-80
GC	20-40
SW	20-40
SP	15-25
SM	20-40
SC	10-20
ML	5-15
CL	5-15
OL	4-8
MH	4-8
CH	3-5
OH	3-5

Fuente: U.S. Army Corps of Engineers (1953)

Los valores típicos del valor de soporte relativo en Australia son relativamente más bajos que el Perú; mientras que el método USACE tiene valores más cercanos a las muestras encontradas en Lima provincias. A pesar que los valores típicos del valor de soporte relativo (CBR) son diferentes debido a los factores geográficos de cada país el

concepto de la variable suelos es medida mediante el valor de soporte relativo en todas las metodologías por lo que guarda relación con el método NAASRA (MTC).

#### 8.1.4.3. Variable Clima

La variable clima solo se presenta en el método AASHTO. El valor de la variable se establece mediante las regiones y estaciones climáticas del país como se muestra en la Tabla N°60 de la página 196, a partir del estudio realizado del Ing. Germán Vivar.

Asimismo, se valida la premisa de los autores Castro Fung, C y Céspedes López, M. “Deberían existir estudios o investigaciones en el cual relacionen los climas donde fueron concebidos los métodos con nuestro país para estudiarlo y aplicarlo con nuestras metodologías de diseños, ya que influyen en los principios de cada método como la serviciabilidad, ahuellamiento y pérdida de afirmado en conjunto con otros factores como tipo de material, geometría e índice medio diario”. De este modo la variable clima del método AASHTO no guarda relación con el método NAASRA (MTC). Los otros métodos al igual que el método NAASRA (MTC) no la consideran.

Tabla N°60: Resumen del material de afirmado del método AASHTO

<b>MÉTODO AASHTO</b>	
<b>Características</b>	<b>Valores climáticos</b>
Ubicación	Lima provincias
Región	IV
Característica	Región seca, no helada
<b>Estaciones (meses de duración)</b>	
Invierno	0
Deshielo	0
Otoño	4
Verano	8

Fuente: Elaboración propia (2018)

#### 8.1.4.4. Material de afirmado

La norma ASTM D-1241-00 establece que los materiales de agregados son las subbases, bases y superficies de rodadura, razón por la cual el afirmado se considera como una capa de subbase.

El análisis del material de afirmado, subbase y material selecto para esta investigación se basa en 2 parámetros: bandas granulométricas y valor de soporte relativo (CBR) en la colocación del espesor estructural durante la construcción.

El método CBR y PELTIER no consideran bandas granulométricas, pero si el valor de soporte relativo (CBR) entre sus capas; el cual debe cumplir que la capa granular colocado en la parte superior de la subrasante debe ser el doble o cuádruple de la capa inferior; es decir si la subrasante tiene un CBR: 5% se deberá colocar una capa con CBR: 10% como mínimo o 20% como máximo cumpliendo la relación que establece el método. El método USACE considera bandas granulométricas donde el tamaño máximo del material selecto es de 3", subbase de 2" y superficie de rodadura de 1", considerando que el material selecto cumpla con  $CBR < 20\%$  y la subbase cumpla con  $20\% < CBR < 50\%$ .

El método AASHTO no establece en sus especificaciones el valor relativo de soporte (CBR) durante la colocación de la capa estructural, pero si establece bandas granulométricas C, D, E y F para superficies de rodadura. El método TRRL no considera bandas granulométricas, sin embargo considera la colocación del material con un valor de soporte relativo (CBR) mayor al 80%. Por su parte el método Austroads considera bandas granulométricas en materiales de afirmado como el valor de soporte relativo  $CBR > 80\%$  de preferencia, pero si las condiciones lo permiten podría colocarse el equivalente con  $CBR > 60\%$ .

Finalmente, el método NAASRA (MTC) considera bandas granulométricas del método AASHTO y de la Administración Federal de Carreteras. El valor de soporte relativo que establece en sus especificaciones es mayor al 40% como se muestra en la Tabla N°61 de la página 198.

Tabla N°61: Resumen del material de afirmado del método NAASRA (MTC)

MATERIAL DE AFIRMADO, BASE Y SUBBASE												
TAMIZ	Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013						Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014					
	A-1	A-2	C	D	E	F	FHWA-FP 03	FHWA-SDLTAP	C	D	E	F
50mm (2")	100	-										
37.5mm (1 1/2")	100	-										
25 mm (1")	90 - 100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100
19 mm (3/4")	65 - 100	80 - 100					97 - 100	100				
9.5 mm(3/8")	45 - 80	65 - 100	50 - 85	60- 100					50 - 85	60- 100		
4.75 mm (N° 4)	30 - 65	50 - 85	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	41 - 71	50 - 78	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36mm (N° 8)								37 - 67				
2.00 mm (N° 10)	22 -52	33 - 67	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100			25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N°40)	15 - 35	20 - 45	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	12 - 28	13 - 35	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N°200)	5 - 20	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25	9 - 16	4 - 15	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	8	4 - 12	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9
Límite Líquido	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%
Desgaste Los Angeles	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%
CBR	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%	>40%

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla N°67: Cuadro comparativo del material de afirmado del método USACE, AASHTO y AUSTROADS

MATERIAL DE AFIRMADO, BASE Y SUBBASE																		
TAMIZ	Método USACE (TM 5 -822-12)				Método AASHTO						NAASRA (1980)	Método NAASRA (1989)						
					SUBBASE Y BASE							AFIRMADO	ROCA TRITURADA			GRAVA NATURAL		
	SUPERFICIE DE RODADURA				SUPERFICIE DE RODADURA						Australia		Gradación 40a	Gradación 30a	Gradación 20a	Gradación 40b	Gradación 30b	Gradación 20b
	N°1	N°2	N°3	N°4	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F								
55.00mm											100							
53.00mm												100				100		
50mm (2")					100	100												
37.5mm(1 1/2")											95 - 100	97 - 100	100		95 - 100	100		
26.5mm											90 - 100	90 - 95	96 - 100	100	86 - 95	98 - 100	100	
25 mm (1")	100	100	100	100		75 - 95	100	100	100	100								
19 mm (3/4")											80 - 100			93 - 100			93-100	
9.5 mm(3/8")	50 - 85	60- 100			30 - 65	40-75	50 - 85	60- 100				48 - 67	58 - 75	64 - 85	50 - 74	60 - 82	71 - 87	
4.75 mm (N° 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	25 - 55	30-60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100		31 - 48	37 - 56	44 - 64	35 - 59	42 - 66	47 - 70	
2.36mm (N° 8)											35 - 65	22 - 34	28 - 42	32 - 47	25 - 46	30 - 52	35 - 56	
2.00 mm(N° 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	15 -40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100								
4.25 um(N°40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	15 - 50	10 - 18	11 - 20	13 - 22	10 - 26	12 - 30	14 - 32	
75 um(N°200)	8 - 15	8 -15	8 - 15	8 -15	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25	10 - 40	4 - 10	4 - 11	3 - 11	4 - 17	4 -18	6 - 20	
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	<20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Limite Liquido	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	<35%	
Desgaste Los Angeles					<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	<50%	No especifica	No especifica						
CBR	<50%	<50%	<50%	<50%	No especifica						>80%	>60%	>60%	>60%	>60%	>60%	>60%	>60%

Fuente: Elaboración propia (2018)

De los antecedentes estudiados se valida la premisa de los autores A.T. Viesser, y W.R. Hudson donde establecen:

“A lo largo del tiempo los constructores antiguos y modernos de carreteras han agregado arcilla a las carreteras arenosas para hacerlos estables y han agregado arena y grava a las superficies de arcilla para prevenir el ahuellamiento, debido a que la arcilla actúa como aglutinante, mientras que las partículas de arena y grava actúan una sobre otra para resistir las cargas de tráfico.” De esta manera validamos que el material para caminos de tierra debe tener partículas de arena y grava considerando que el tamaño máximo de una partícula en la colocación del afirmado es de 1”.

El método NAASRA (MTC) tal como se presenta en el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos es la fórmula de la versión de 1979 para pavimentos asfálticos y material de base de un CBR>80% (ver Figura N°105), la misma que AUSTRROADS continúa investigando. En el año 1998 el método AUSTRROADS emite en la Guide to the design of new pavements for light traffic donde aparece el ábaco “Pavimentos granular con superficie bituminosa” para tráfico de  $1 \times 10^5$  a  $6 \times 10^8$  (ver Figura N°106) y el ábaco “Pavimento granular” para tráfico liviano con asfaltos delgados menores a 40 mm para tráfico de  $1 \times 10^3$  a  $1 \times 10^5$  (ver Figura N°107). En el año 2009 George J. Giummarra publica la 3ª edición del manual Unsealed roads manual, Guidelines to good practice donde emite el ábaco “Diseño de espesores para superficie de agregados sin sellos”, la cual es una versión para caminos no pavimentados basada en una confiabilidad del 80% del método original. Es decir, la versión actual del Ministerio de transportes y Comunicaciones es la de Australia del año 1979 y cuya fórmula es para pavimentos asfálticos, pero al cambiar el material de base de CBR >80% a CBR>40% la modifica y por lo tanto se valida con el método USACE.

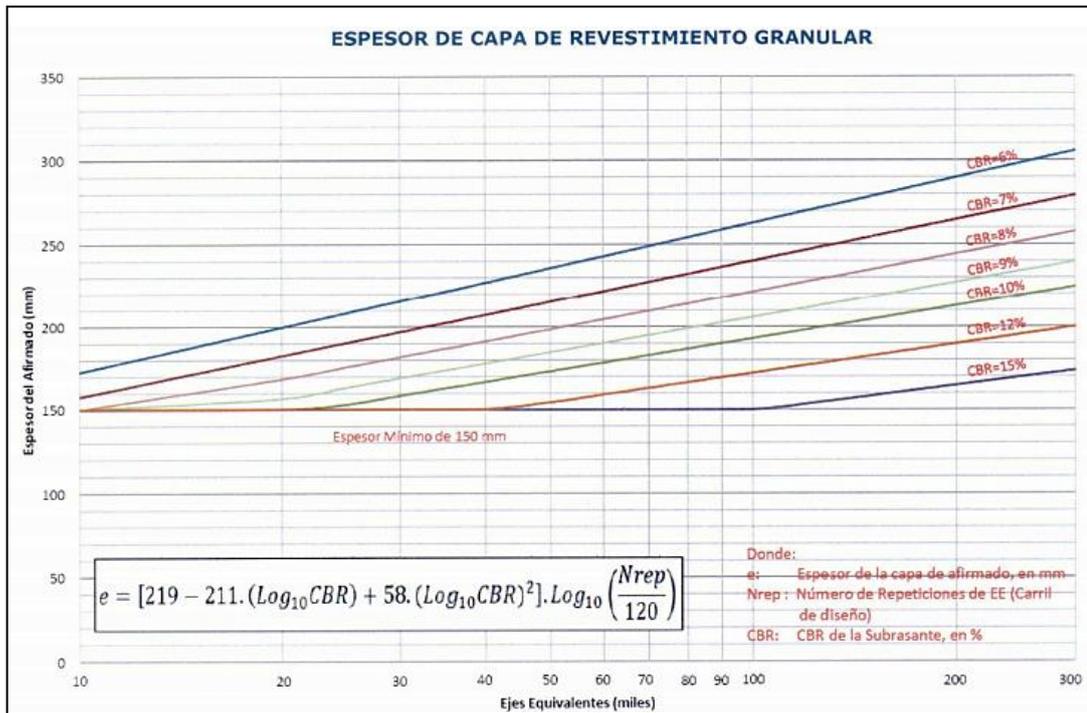


Figura N°105: Ábaco de material de afirmado

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, MTC (2014)

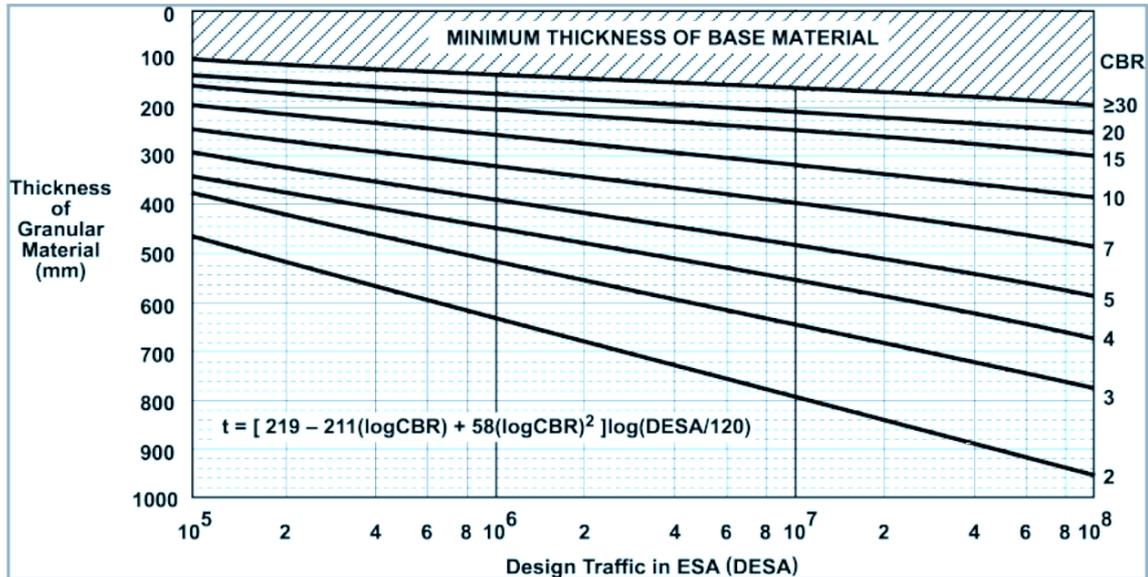


Figura N°106: Ábaco de pavimento granular con superficie bituminosa Austroads 1998

Fuente: A Guide to pavement Technology Part 2 Pavement Structural Design, AUSTRROADS (2012)

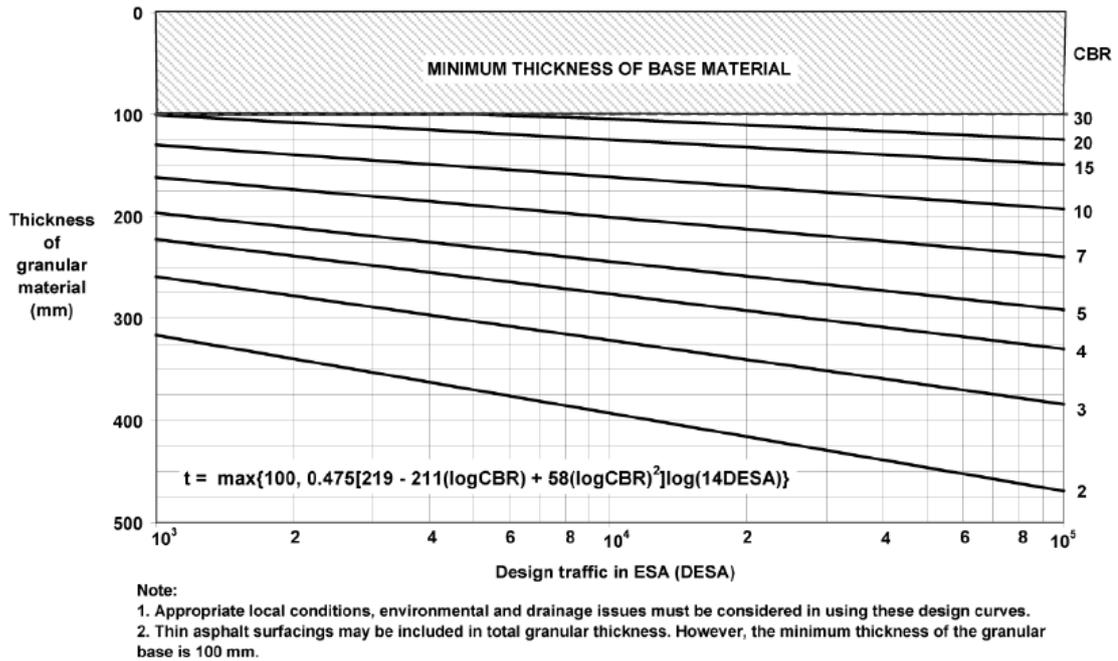


Figure 12.2: Example design chart for lightly-trafficked granular pavements with thin bituminous surfacings

Figura N°107: Ábaco de pavimento granular Austroads 1998

Fuente: A Guide to pavement Technology Part 2 Pavement Structural Design, AUSTROADS (2012)

Ahora pasamos a analizar la hipótesis 3 de nuestra investigación:

**Hipótesis Alternativa (Ha):**

Las variables de cada método tienen relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

**Hipótesis Nula (Ho):**

Las variables de cada método no tienen relación con el método NAASRA (MTC) y se ajusta a la región Lima provincias.

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa

## CONCLUSIONES

1. Se propone el método USACE como un estándar para la región Lima provincias con previa calibración. El método USACE y NAASRA (MTC) se relacionan por tener el mismo origen de diseño que es el método CBR.
2. Los métodos de diseño CBR, USACE, PELTIER, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) son métodos empíricos que tienen como base el método CBR; luego se verifican con métodos mecanicistas como es el caso de USACE, AASHTO y AUSTROADS y deciden seguir con el método empírico.
3. Los métodos USACE y AASHTO consideran el principio de ahuellamiento en la superficie de rodadura, en tanto que los métodos CBR, PELTIER, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) la consideran a nivel de subrasante. El principio de pérdida de agregados, siguiendo el mantenimiento periódico cada 4 años; requiere adicionar a los métodos USACE, AASHTO y NAASRA (MTC) un espesor de material con características de superficie de rodadura de 10 cm o 4" lo que contribuye a minimizar el ahuellamiento en general de 2" en el cuarto año de la vida útil.
4. Los métodos de diseño USACE, AASHTO, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) consideran la variable tráfico a partir de ejes equivalentes, mientras tanto los métodos CBR y PELTIER la consideran mediante la carga por rueda y el número de vehículos. La variable clima del método AASHTO no es utilizado en los métodos CBR, USACE, PELTIER, TRRL, AUSTROADS y NAASRA (MTC) por lo cual la mayoría de los métodos son similares entre sí. La variable suelo mediante la unidad del valor de soporte relativo (CBR) de la subrasante coincide en todos los métodos. La variable afirmado de los métodos USACE, AASHTO, NAASRA (MTC) son parcialmente similares debido a que las bandas granulométricas son similares entre sí; mientras que, el valor de soporte relativo (CBR) en la colocación del espesor estructural durante la construcción son diferentes.
5. El material de subbase desde el origen del método CBR, tiene rangos de 20% a 50% y las bases de 50% a 100%. Lo métodos USACE, AASHTO, CBR, TRRL,

AUSTROADS permiten el empleo del valor de soporte relativo(CBR) para subbases en rango mayores al 20% y menores al 50%

6. El método que mejor se ajusta a la región Lima provincias es el método USACE por considerar capa estructural de material selecto con  $CBR < 20\%$  y subbase  $20\% < CBR < 50\%$ , asimismo, considera que para obras de carácter permanente se necesita de un mantenimiento periódico de la superficie con reposición de material de superficie de rodadura.
7. A partir de la base de datos del valor de soporte relativo (CBR) en Lima provincias se obtiene que el 91.99% de los suelos tienen  $CBR > 10\%$  y son clasificados como suelos buenos, muy buenos y excelentes. Ante esta realidad Lima provincias solo necesita el diseño del espesor de afirmado para CBR bajos que cumplan los principios de ahuellamiento y pérdida de agregados para evitar fallas prematuras en la carretera, por lo que sugerimos en estos casos colocar supresor de polvo.
8. Aquellas carreteras vecinales de Lima provincias que tengan  $CBR > 30\%$  no requieren de afirmado; por lo que puede funcionar como superficie de rodadura en terreno natural o colocar material de base o con tratamiento superficial para conservar el patrimonio y convertir las capas del material en las de un pavimento.

## RECOMENDACIONES

1. Para la propuesta del método USACE de la región Lima provincias se recomienda la calibración para determinar los espesores mínimos de la capa de afirmado o capa estructural.
2. Para obras de carácter permanente se recomienda un mantenimiento periódico de la superficie con reposición de material, que cumplan las bandas granulométricas de la superficie de rodadura del método USACE.
3. Se recomienda replicar esta investigación para otras zonas del Perú considerando los cambios de variables que se pueda presentar como las variables de diseño de tráfico, valor de soporte relativo (CBR) y material de afirmado.
4. Se recomienda investigar y proponer una tabla de clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) donde podamos obtener el valor de CBR referencial a partir de suelos peruanos.
5. Se recomienda mejorar las tablas de la región climática que establece el método AASHTO en el Perú el cual es propuesto por el Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos del Perú (IDPP), ya que la geografía y las condiciones climáticas en el Perú son variables en cada zona.
6. Se recomienda investigar u homologar la terminología de los materiales que conforman el lastrado, afirmado, suelos selectos; subbase y material granular de superficie de rodadura, ya que cumplen funciones similares como es el caso del lastrado con suelo selecto; afirmado con subbase, sin embargo, en las especificaciones técnicas presentan algunas diferencias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2015). *Documento técnico soluciones basicas en carreteras no pavimentadas*. Lima.
- Abdel Warith, K., Anastasopoulos, P., Seidel, J., & Haddock, J. (2015). A Simple Empirical Guide to Low-Volume Road Pavement design in Indiana. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2472), 29-39.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2001). *Diseño geometrico de Caminos Locales de Muy Bajo-Volumen (TMD < 400)*. Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C.
- Arevalo Lay, V., & Quintana Lopez, J. (2017). *Caminos Rurales y normativa*.
- Austroroads Ltd. (2012). *Guide to Pavement Technology Part2: Pavement Structural Design*. Sydney: ARRB Group.
- Céspedes López, M. d., & Castro Fung, C. (2009). *Estudio Comparativo de normas de diseño geométrico y pavimentos de caminos de bajo volumen de transito: Caso:"Carretera Lancarolla-Mungui" (Tesis de Pregrado)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Cespedes, J. A. (2002). *Los pavimentos en las vias terrestres calles, carreteras y aeropistas*. Cajamarca: Universidad de la UNC.
- Chirinos, E. (2015). *Evolución de los métodos de diseño para pavimentos viales*. Coro: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.
- Dal-ré, R. T. (2001). *Caminos Rurales: proyecto y construcción*. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.
- Dirección Nacional de Estadísticas e Informática Departamental. (2000). *Perú: Características de la Infraestructura Social y Económica Distrital 1999*. Lima: INEI.
- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. (2014). *Manual de Carreteras:Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.Sección Suelos y Pavimentos*. Lima.
- Federal Highway Administration. (1986). *Aggregate and Paved Surface Design and Rehabilitation Manual for Low-Volume Roads*. Austin, Texas: ARE Inc.
- Federal Highway Administration. (1996). *Earth and Aggregate surfacing design guide for Low Volume Roads*. Washington,DC.
- García López , H. (1997). Principios básicos del diseño de pavimentos. *Asociacion peruana de caminos*, 27-45.
- Garnica Anguas, P., & Correa, A. (2004). *Concepto mecanistas en pavimentos*. Sanfandila: Secretaría de comunicaciones y transportes Instituto mexicano del transporte.
- Huamán Guerrero, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú (Tesis de Maestría)*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Lay, M. (2009). *Handbook of Road Technology 4th edition*. New York: Spon Press.
- Le Vern, M., Doré, G., & Bilodeau, J.-P. (2016). *Mechanistic-Empirical Design of Unpaved Roads*. Toronto: Transportation Association of Canada.
- Llamazares Gómez, O. (1966). Sobre el cálculo de pavimentos flexibles. *Revista de Obras Publicas 1853-1957*, 21-29.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (1978). *Normas para el diseño de caminos vecinales*. Lima: Ministerio de transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2001). *Manual de carreteras Diseño Geometrico DG-2001*. Lima.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2005). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de Bajo Volumen*. Lima.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de Bajo Volumen*. Lima.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*. Lima.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras Diseño Geometrico DG-2018*. Lima.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Padilla, A. R. (2007). *Deformaciones Plásticas en capas de rodadura en pavimentos asfálticos*. México: Universidad Politécnica del centro.
- Peltier, R. (1962). *Evolution des méthodes de calcul des chaussées souples*. *Revue Général des Routs et des Aerodromes*. Paris: Revista de Obras Publicas.
- Quintana López, J. K. (2018). *Mortero asfáltico o slurry seal como tratamiento superficial para pavimentos de afirmado*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Research, A. T. (2009). *Unsealed roads manual : guidelines to good practice*. Australia: ARRB Group.
- Reyes Lizcano, F., & Rondón Quintana, H. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Reyes, F. A. (2004). *Diseño Racional de pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- T. Visser, A., Queiroz, C., & Hudson, W. (1983). *Performance, Design, and Maintenance Relationship for Unpaved Low-Volume Roads*. Transportation Research Record 898.
- US Army Corps of Engineers. (1966). *Elaboracion de planes, seleccion del sitio y diseño de caminos, de campos de aviacion y de helipuertos en el teatro de operaciones*. Washington , DC: U.S. Government printing office.
- US Army Corps of Engineers. (1989). *Design Criteria for aggregate-surfaced roads and airfields*. Vicksburg, Mississippi: Geotechnical Laboratory.

Valle, R. R. (1976). *Carreteras, calles y aeropistas : principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles*. Caracas: El ateneo.

## ANEXOS

ANEXO 1	: CUADRO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE BAJO VOLUMEN .....	251
ANEXO 2	: CUADRO COMPARATIVO DE ESPESORES PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN .....	252
ANEXO 3	: PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 1 .....	253
ANEXO 4	: PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 2 .....	254
ANEXO 5	: PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 3 .....	255
ANEXO 6	: PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 4 .....	256
ANEXO 7	: OBJETIVOS DE LAS SOLUCIONES BÁSICAS .....	257
ANEXO 8	: ESTUDIOS DE SUELOS .....	258
ANEXO 9	: ESTUDIOS DE CANTERAS .....	272
ANEXO 10	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO CBR .....	291
ANEXO 11	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO USACE .....	312
ANEXO 12	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO PELTIER .....	333
ANEXO 13	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO AASHTO .....	354
ANEXO 14	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO TRRL .....	459
ANEXO 15	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO AUSTROADS ..	480
ANEXO 16	: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO NAASRA (MTC) .....	501
ANEXO 17	: ECUACIONES DE LAS CURVAS DEL MÉTODO TRRL .....	522

**ANEXO 1**

**CUADRO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE BAJO VOLUMEN**

		MTC	Gravel Roads	Aggregate Surfaced Roads	Caminos Rurales	AASHTO	Pavimentos Bajo Volumen Tránsito	Metodos de diseño Estructural			Const.Caminos en Cuencas Hidrograficas
		PERÚ	US.DEP.TRANSPORTATION	US.ARMY	España	U.S.A.	Argentina	Venezuela			FAO
CRITERIOS BASICOS	TRAFICO	Clasificación del tráfico: IMDa, Nº vehículos pesados y Nº repeticiones ejes equivalentes	Nº de repeticiones de ejes equivalentes	Nº vehículos por día % vehículos pesados y tipo de vehículos que pasan	Clasificación del tráfico :I.M.D Nº de repeticiones de ejes equivalente		Categorías o clasificación tránsito	P.D.T. vehículos por día Nº de repeticiones de ejes equivalentes	P.D.T. vehículos por día Nº de repeticiones de ejes equivalentes	P.D.T. vehículos por día Nº de repeticiones de ejes equivalentes	Volumen del tráfico y el Peso del vehículo (Carga por tipo de rueda)
	CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO	CBR de la subrasante. Clasificación de la subrasante	Mr de la subrasante	CBR de la subrasante para zonas No heladas FASSI usado para zonas heladas	Met 1 -CBR de la subrasante Met 2-IG de la explanación		Categorización de la subrasante: Realacionado con el CBR	CBR y/o el uso de la clasificación de los suelos	CBR y/o el uso de la clasificación de los suelos	CBR y/o el uso de la clasificación de los suelos	Esfuerzo cortante Resistencia cohesiva del suelo Uso:suelos blandos
	CLIMA	Dirigida a zonas Heladas y No Heladas	Se divide : 6 regiones del Perú	Dirigidas a zonas Heladas y No Heladas	No especifica		Categorización del drenaje	Dirigida a climas secos y/o húmedos	Dirigida a climas secos y/o húmedos	Dirigida a climas secos y/o húmedos	No especifica
PRINCIPIOS	SERVICIABILIDAD	No especifica	Rango entre 0-5 >2.5 para diseños de autopistas =2 para diseños caminos de bajo volumen de tránsito	No especifica	No especifica		No especifica	1.5 para superficies asfálticas Uso de estos valores para diseños de catalogos	3.0 para superficies asfálticas Uso de estos valores para diseños de catalogos	3.0 para superficies asfálticas Uso de estos valores para diseños de catalogos	No especifica
	AHUELLAMIENTO PERMISIBLE RD		Rango entre 1" - 2"	No especifica	No especifica	Rango entre 1"-2"	No especifica	No especifica	No especifica	Rango entre 5 -8cm	<5cm poco profundo >10cm gran profundidad
	PERDIDA DE AGREGADOS GL	No especifica	Considera GL = 1"	No especifica	No especifica	Usa formulas	No especifica	No especifica	No especifica	Usa formula	No especifica
MODELOS	Uso formula australiana Emin = 15cm . Catalogos de secciones basados en la formula ya mencionada.	Uso de cartillas abacos	Uso de abacos tanto para zonas Heladas y No herladas e min= 10cm	Uso de abacos Uso de formulas Emin = 15-20cm Secciones según CBR		Catalogos de secciones: Emin = 15cm	Uso de ábacos: Emin = 10cm Esp.min para capas de asfalto	Uso de ábacos: Emin = 10cm	Uso de ábacos: Emin = 10cm	Uso de abacos	
ALTERNATIVAS	Macadam granular Estabilizaciones: Para subrasantes,bases y capas de rodadura	No especifica	No especifica	Estabilizaciones: Para subrasates, bases y capas de rodadura . Sugerencia: caminos de tierra	Estabilizaciones: Para bases y capas de rodadura	Estabilizaciones: Para bases y capas de rodadura	Mezclas Asfálticas y Tratamiento Superficial Uso de catalogos			Uso de geotextiles	

Fuente: Estudio comparativo de normas de diseño geométrico y pavimentos de caminos de bajo volumen de tránsito. Caso: carretera Lancarolla-Mungui (2009)

**ANEXO 2**

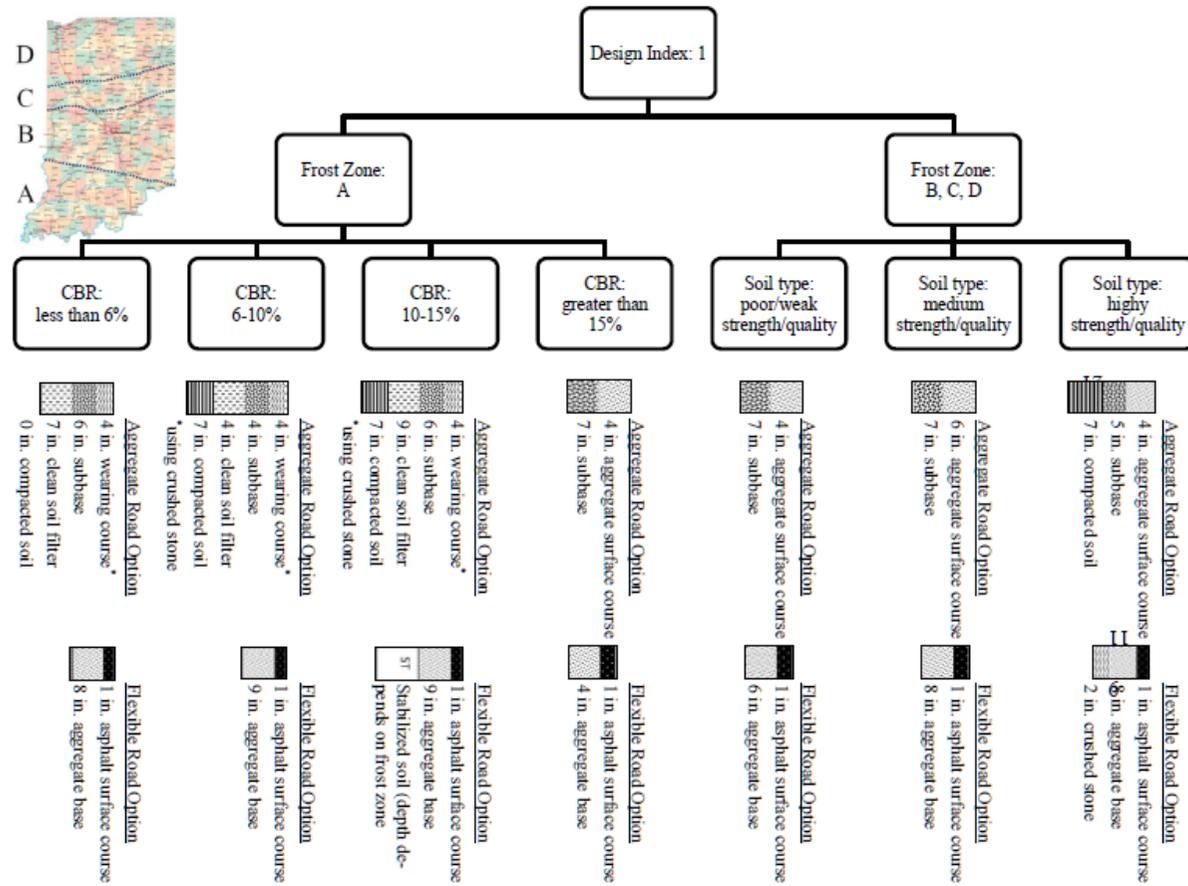
**CUADRO COMPARATIVO DE ESPESORES PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN**

Lancarolla - Mungui, Dist. Pampamarca, Prov. La Union - Dpto. Arequipa		MTC	Gravel Roads	Aggregate Surfaced Roads	Caminos Rurales	AASHTO	Pavimentos Bajo Volumen Transito	Metodos de Diseño Estructural		Const. Caminos en Cuencas Hidrogr. Fragiles
		PERU	US.Dep. Transportation	US. Army	España	U.S.A.	Argentina	Venezuela		FAO
ESPESORES	Reales	11.18	1.27cm	6.02cm	13.46cm	Aplicación para uso de Perdida de Agregados	Manual aplicado para suelos finos	22.7cm	10cm	Manual aplicado para suelos finos Usa la veleta
	Minimos	15	-	10.16cm	15cm			10 cm	10cm	
	Finales a usar	15	1.27cm	10.16cm	15cm			22.7cm	10cm	
	Inc. Otro Metodo	Catalogo :15cm	-	-	Met Ing Barrio:25cm			-	-	

Fuente: Estudio comparativo de normas de diseño geométrico y pavimentos de caminos de bajo volumen de tránsito. Caso: carretera Lancarolla-Mungui (2009)

ANEXO 3

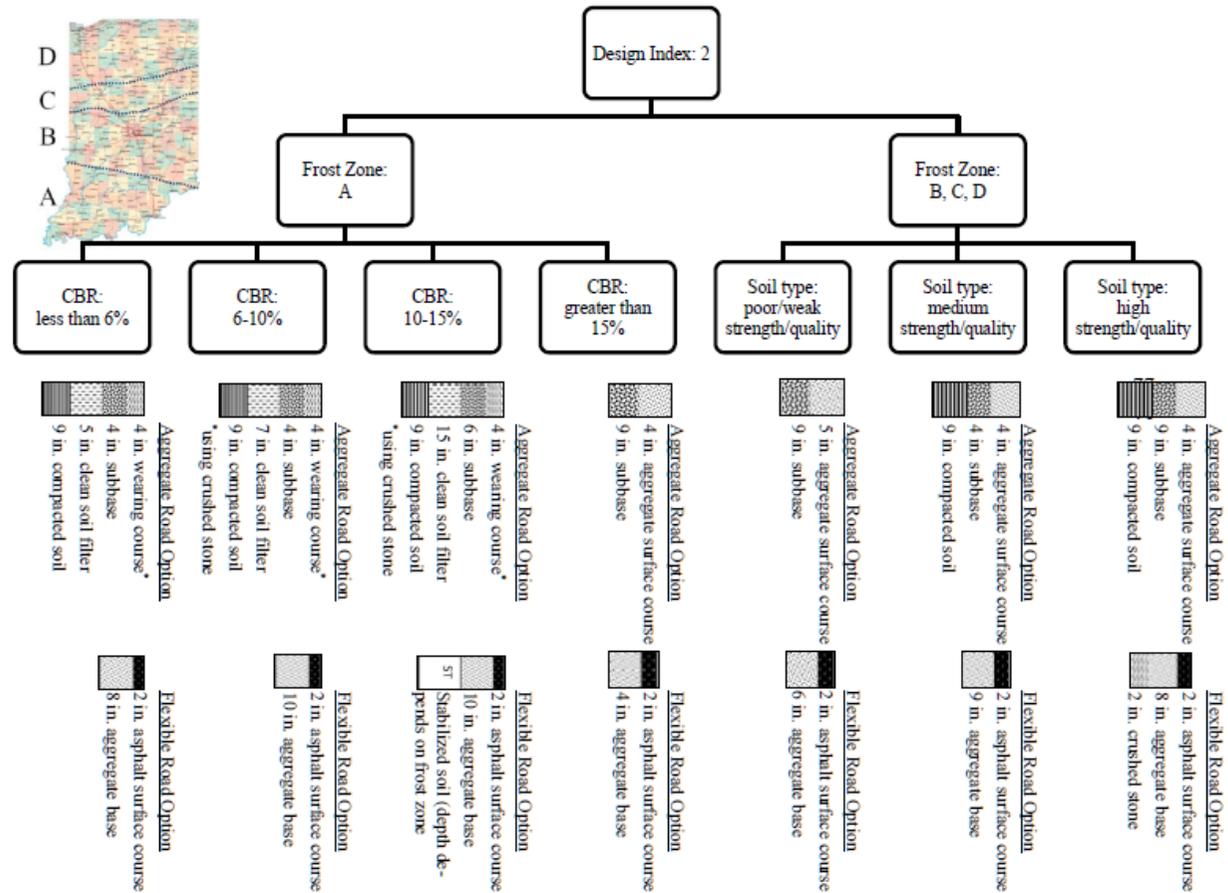
PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 1



Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

ANEXO 4

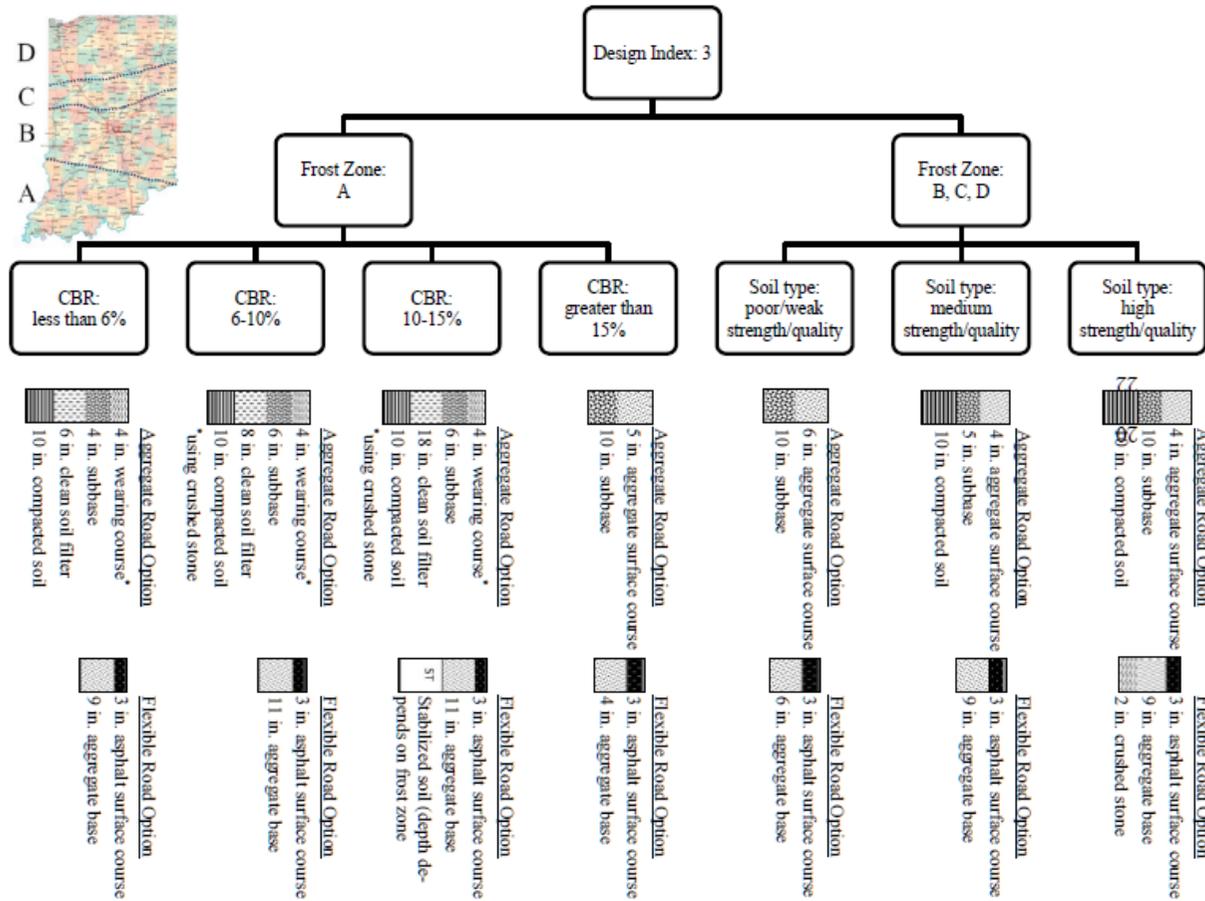
PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 2



Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

ANEXO 5

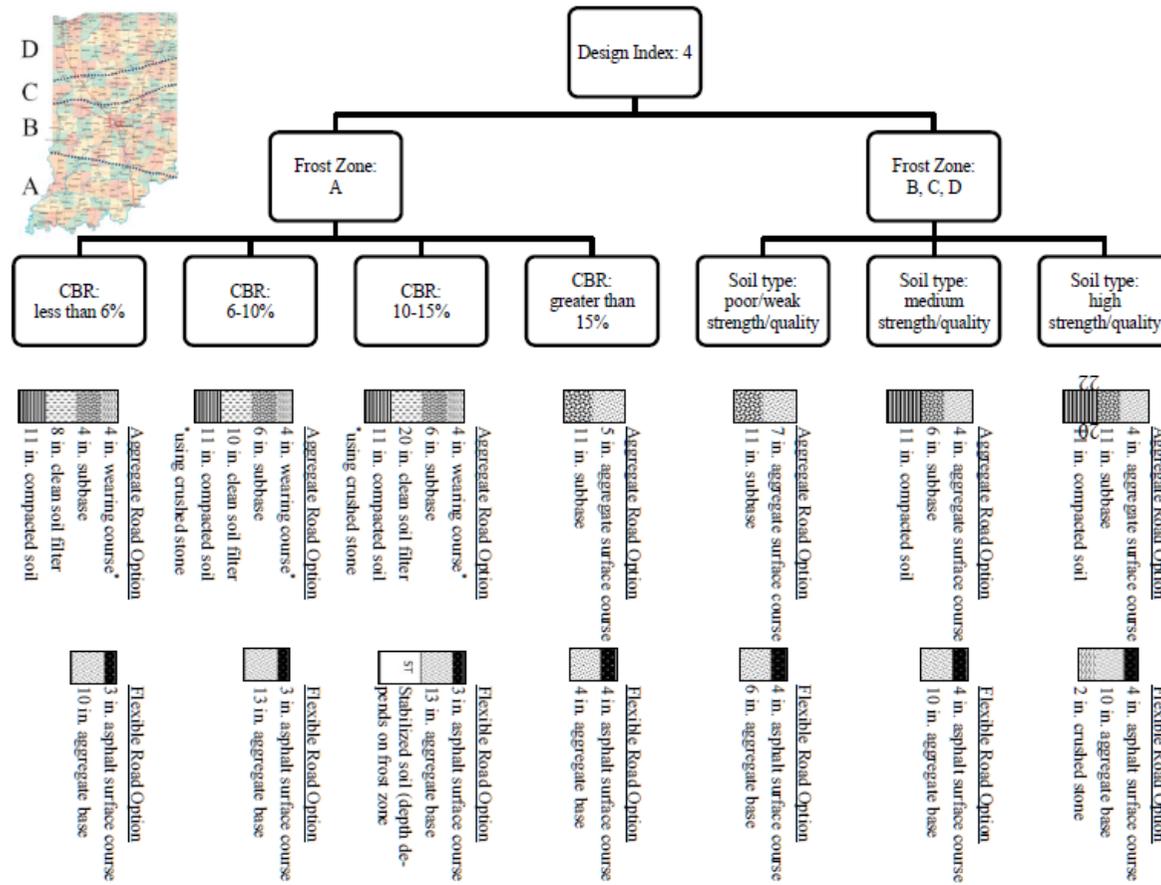
PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 3



Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

ANEXO 6

PROPUESTA PARA PAVIMENTOS CON UN ÍNDICE DE DISEÑO 4



Fuente: Abdel, Anastasopoulos & Haddock (2015)

## ANEXO 7

### OBJETIVOS DE LAS SOLUCIONES BÁSICAS



PERÚ  
Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”  
“Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación”

- c. Ejecución de ensayos a nivel de laboratorio, evaluando como mínimo tres (03) tipos de estabilizadores de suelos, aplicables de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del presente Documento Técnico, a fin de seleccionar la solución básica aplicable, teniendo en consideración lo siguiente:
- El procedimiento de mezclado de los suelos y el estabilizador a nivel de laboratorio debe ser coherente o representar las condiciones reales de trabajo en obra.
  - Para la obtención de la dosificación óptima que debe aplicarse, se emplearán como mínimo 04 dosificaciones diferentes, con cuyos valores se trazará la curva: Dosificación vs CBR y/o Resistencia a Compresión Simple; de cada uno de los estabilizadores utilizados. Para suelos que presentan índice de plasticidad, debe medirse resistencia y expansión.
  - Los parámetros de resistencia y/o expansión de la muestra del suelo estabilizado compactado, se obtendrán después de un periodo de curado húmedo de siete (07) días.
  - Solamente para la ejecución del ensayo de CBR a nivel de laboratorio, se sumergirá en agua durante 96 horas (04 días) la muestra de suelo estabilizado compactado, inmediatamente después de cumplir su periodo de curado. Se exceptuará de este paso los suelos estabilizados con sales.
- d. El procedimiento de selección del estabilizador de suelos, puede dar como resultado, más de una alternativa técnica de solución aplicable, en cuyo caso debe optarse por la de menor costo.
- e. Seleccionado el estabilizador a emplearse (sólido y/o líquido), debe indicarse la **Fórmula de Trabajo** de la capa estabilizada, que comprenderá:
- Dosificación del estabilizador y modo de aplicación (líquido en el agua del camión cisterna y sólido sobre el suelo a estabilizarse).
  - Suelo o dosificación de suelos a utilizarse.
  - Procedimiento de mezclado (en planta o sobre plataforma).
  - Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la mezcla (estabilizador más suelo).
  - Grado de compactación del suelo estabilizado colocado y compactado.
- f. El espesor de la capa de rodadura será calculado para un periodo de diseño de 10 años, considerando frecuencias de mantenimiento periódico cada 04 años.
- g. El diseño del espesor se realizará según los ejes equivalentes proyectados:
- Para ejes equivalentes inferiores o iguales a 10<sup>6</sup>, se empleará los métodos USACE y NAASRA.
  - Para ejes equivalentes superiores a se empleará el método AASHTO 1993, que establece el empleo de Número Estructural.
- h. El presente Documento Técnico abarca las soluciones básicas de la capa de rodadura; sin embargo, para que su comportamiento estructural sea adecuado, es necesario que la subrasante cumpla con las características mínimas establecidas en los Manuales de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para



ANEXO 8

ESTUDIOS DE SUELOS

Continúa

ESTUDIO DE SUELOS DE LAS CARRETERAS EN LIMA PROVINCIAS								
PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Barranca	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	-	-	0.25 - 1.50	-	20 - 40	A-4 (2)	SM
		-	-	0.20 - 1.50	-	20 - 40	A-4 (1)	SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	35 - 60	A-1a (0)	GP
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	01+200	Der	0.30 - 0.70	47.7	23.6	A-2-4 (0)	SM - SC
		03+450	Izq.	0.30 - 1.00	20.1	11.6	A-4 (6)	CL
		04+600	Der	0.30 - 1.80	68.6	32.9	A-2-4 (0)	GC
		05+650	Izq.	0.20 - 1.80	56.2	31.1	A-4 (0)	GM - GC
		06+750	Izq.	0.50 - 1.80	42.8	20.5	A-4 (2)	SM - SC
		07+000	Der	0.40 - 0.70	48.2	27.4	A-4 (1)	SM - SC
		07+550	Izq.	0.80 - 1.60	33.5	16.9	A-4 (3)	CL
		08+550	Izq.	0.30 - 0.80	47.6	23.2	A-4 (2)	SM - SC
		09+750	Izq.	0.20 - 0.60	35.8	16.3	A-4 (2)	SC
		10+500	Der	0.40 - 1.00	9.2	4	A-6 (9)	CL
		11+350	Izq.	0.30 - 1.10	42	26.5	A-4 (1)	SM - SC
		12+250	Izq.	0.50 - 0.90	19.4	9.3	A-6 (7)	CL
		13+650	Izq.	0.40 - 0.80	100.3	39	A-2-4 (0)	SM - SC
		14+550	Izq.	0.35 - 1.20	18.4	10.9	A-4 (6)	CL
		15+600	Der	0.25 - 1.40	12.6	5.7	A-6 (9)	CL
		16+700	Der	0.50 - 1.40	20	8.8	A-6 (8)	CL
17+650	Izq.	0.40 - 1.50	11.1	5	A-6 (9)	CL		
18+050	Izq.	0.30 - 1.00	19	9.7	A-6 (6)	CL		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	19+550	Izq.	0.40 - 1.80	13.9	7.9	A-6 (9)	CL
		20+350	Izq.	0.30 - 1.80	28	12.8	A-4 (6)	CL
		21+600	Der	0.50 - 1.80	33.2	13.3	A-4 (5)	CL
		23+400	Der	0.60 - 1.80	15.8	8.1	A-6 (9)	CL
		24+100	Der	0.40 - 1.00	93.5	44.3	A-1-a (0)	SP - SM
		25+050	Izq.	0.40 - 1.10	49.8	20.4	A-4 (2)	SM - SC
		26+350	Izq.	0.30 - 1.40	81.5	37.5	A-1-b (0)	SP - SM
		28+300	Der	0.40 - 1.80	33.4	19	A-4 (2)	SM - SC
		29+700	Der	0.30 - 1.80	36.2	17.1	A-4 (2)	SC
		32+000	Der	0.40 - 1.80	17.3	9.5	A-4 (7)	CL
		33+100	Der	0.60 - 1.80	21.7	10	A-6 (7)	CL
		34+000	Der	0.70 - 1.80	30.4	13.5	A-4 (5)	CL
		36+350	Izq.	0.60 - 1.80	24	12.5	A-4 (6)	CL
		39+200	Der	0.50 - 1.80	49.9	25.6	A-2-4 (0)	SM - SC
		40+400	Der	0.30 - 1.20	68.2	28.2	A-1-b (0)	SP - SM
		41+400	Der	0.60 - 1.80	32.3	15.1	A-4 (4)	CL
		42+650	Izq.	0.40 - 1.80	45	22.5	A-4 (1)	SM - SC
		43+700	Der	1.00 - 1.80	46.6	24.4	A-4 (1)	SM - SC
		46+500	Der	0.00 - 1.30	69.4	29.6	A-1-b (0)	SM
		48+500	Der	0.00 - 1.50	47.7	20.4	A-4 (0)	SM - SC
50+250	Izq.	0.30 - 1.50	24.2	12.3	A-4 (6)	CL		
56+500	Der	0.40 - 1.50	55.9	29.3	A-1-b (0)	SM		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	62+250	Izq.	0.20 - 1.50	60.9	36.1	A-2-4 (0)	SM
		65+750	Izq.	0.30 - 1.50	87.1	45.3	A-1-b (0)	GM
		69+250	Izq.	0.40 - 1.50	60.5	27.2	A-2-4 (0)	SM - SC
		72+750	Izq.	0.30 - 1.50	80.5	40.7	A-2-4 (0)	SC
		74+250	Izq.	0.20 - 1.50	102.7	48.2	A-1-a (0)	GM - GC
		75+750	Izq.	0.20 - 1.50	121.7	50.6	A-1-a (0)	GW - GM
		77+750	Izq.	0.00 - 1.50	113.9	56.3	A-1-a (0)	GW - GM
		79+000	Der	0.40 - 1.50	106.7	52	A-1-a (0)	GW - GM
		79+750	Izq.	0.00 - 1.50	106	57	A-1-a (0)	GM
		85+750	Izq.	0.30 - 1.50	135.7	68.2	A-1-a (0)	GW - GM
		87+750	Izq.	0.00 - 1.20	108	55	A-1-a (0)	GP - GM
		91+000	Der	0.00 - 1.20	104	44	A-1-b (0)	GM
		93+000	Der	0.20 - 1.50	123.8	50.9	A-1-a (0)	GP - GM
		95+000	Der	0.30 - 1.50	77.8	32.6	A-2-4 (0)	GM
		99+750	Izq.	0.70 - 1.50	26.7	12	A-4 (1)	GM - GC
		101+750	Izq.	0.00 - 1.50	67.1	25.5	A-1-b (0)	GM - GC
	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	0+500	Der	0.20-0.80	19.60	11.50	A-3 (0)	SP - SM
		2+500	Der	0.00 - 0.60	18.40	15.90	A-3 (0)	SP - SM
		0+980	Izq.	0.20-0.70	18.10	11.60	A-3 (0)	SP - SM
		2+480	Der	0.15-1.50	16.20	10.60	A-3 (0)	SP
0+500		Der	0.00-1.50	20.80	11.70	A-3 (0)	SP	

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huaura	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	5+000	Izq.	0.00-1.50	20.10	11.40	A-3 (0)	SP
		7+500	Der	0.40-1.50	20.40	12.00	A-3 (0)	SP
		11+000	Der	0.30-1.50	20.30	12.00	A-3 (0)	SP
Cajatambo	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	-	-	0.00 - 1.10	-	60 - 80	-	GW
		-	-	0.00 - 1.30	-	40 - 80	-	GW - GM
		-	-	0.00 - 1.20	-	40 - 80	-	GW - GM
		-	-	0.00 - 1.20	-	40 - 80	-	GM
Oyón	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 40	A-4 (0)	SC - SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-2-4 (0)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-2-6 (0)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	20 - 40	A-2-4 (0)	SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-4 (2)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-4 (1)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 40	A-4 (0)	SC - SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-6 (1)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 40	A-4 (3)	SC - SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 40	A-1-b (0)	SC - SM
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-2-4 (0)	SC
		-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 40	A-1-b (0)	SC - SM
-	-	0.00 - 1.50	-	10 - 20	A-2-4 (0)	SC		

Fuente: Elaboración propia (2017)

## ANEXO 8

## ESTUDIOS DE SUELOS

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Oyón	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	-	-	0.00 - 1.50	-	48	A-2-4 (0)	GC
		-	-	0.00 - 1.50	-	-	A-4 (3)	CL
		-	-	0.00 - 1.50	-	-	A-4 (3)	CL
		-	-	0.00 - 1.50	-	-	A-4 (3)	CL
		-	-	0.00 - 1.50	-	29	A-4 (3)	CL
		-	-	0.00 - 1.50	-	-	A-4 (4)	CL
		-	-	0.00 - 1.50	-	-	A-2-4 (0)	GC
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	106+000	-	0.15 - 1.50	27.7	15.3	A-1-b (0)	GM
		108+000	-	0.00 - 1.50	Roca	Roca	Roca	Roca
		110+000	-	0.25 - 1.50	42.9	37.9	A-2-4 (0)	SM
		112+000	-	0.25 - 1.50	41.2	19.3	A-1-b (0)	SM
		114+000	-	0.25 - 1.50	45.2	19.1	A-2-4 (0)	SM
		116+000	-	0.35 - 1.50	23	15.1	A-1-b (0)	GM
		118+000	-	0.25 - 1.50	25.2	14.7	A-2-6 (0)	GP - GM
		120+000	-	0.15 - 1.50	39.8	36.7	-	-
		122+000	-	0.25 - 1.50	41.9	32.3	A-1-a (0)	CM - GC
		124+000	-	0.30 - 1.50	99.9	25.7	A-1-b (0)	GM - GC
		126+000	-	0.20 - 1.50	15.2	7.5	A-2-4 (0)	GC
		128+000	-	0.55 - 1.50	>100	62.7	A-1-a (0)	GM
		130+000	-	0.20 - 1.50	>100	41.2	A-1-b (0)	GM

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huaral	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	2+350	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP
		3+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SW
		3+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SP
		4+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SP
		4+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SW
		5+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SP
		5+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-3 (0)	SP
		6+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SM
		6+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SM
		7+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP-SM
		7+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP
		8+000	-	0.20 - 1.50	33.1	15.2	A-1-b (0)	SP
		8+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-2-4 (0)	SP
		9+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-3 (0)	SP
		9+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-3 (0)	SP
		10+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SW-SM
		10+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP-SM
		11+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP
		11+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SM
		12+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	GM
12+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	SP-SM		
13+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	GM		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huaral	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	02+500	Izq.	0.20-1.50	-	17.0	A-1-b (0)	SM
		04+000	Der	0.20-1.50	-	12.0	A-4 (2)	SM
		06+000	Der	0.30-1.50	-	20.0	A-1-b (0)	SW
		08+000	Der	0.30-1.50	-	22.8	A-1-b (0)	SP - SM
		10+000	Der	0.20-1.50	-	15.0	A-1-b (0)	SW - SM
		12+000	Izq.	0.30-1.50	-	13.7	A-1-b (0)	SW - SM
		14+000	Izq.	0.00-1.50	-	18.5	A-1-a (0)	SP
		16+000	Izq.	0.00-0.50	-	14.0	A-1-b (0)	SW - SM
		18+000	Der	0.30-0.80	-	18.5	A-1-a (0)	SM
		20+000	Der	0.40-1.50	-	12.4	A-1-b (0)	SW - SM
		26+000	Der	0.15-1.50	-	35.0	A-1-a (0)	SP
		28+000	Der	0.00-1.50	-	15.0	A-1-b (0)	SW
		30+000	Der	0.20-1.50	-	19.3	A-1-b (0)	SW
		32+000	Der	0.00-1.00	-	20.0	A-2-4 (0)	SM
		34+000	Izq.	0.00-1.20	-	24.7	A-1-b (0)	SW
		36+000	Izq.	0.00-1.50	-	8.0	A-7-5 (7)	ML
		38+000	Izq.	0.15-1.50	-	12.0	A-7-6 (5)	SM
40+000	Izq.	0.20-1.50	-	11.0	A-7-6 (11)	CL		
42+000	Izq.	0.60-1.50	-	22.5	A-1-b (0)	SM		

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 8

ESTUDIOS DE SUELOS

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Canta	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima	0+010	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SC-SM
		0+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	GC-GM
		1+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-a (0)	SP-SM
		1+250	-	0.20 - 1.50	33.9	16.7	A-1-b (0)	SC-SM
		1+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	GC-GM
		2+000	-	0.20 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	GC-GM
		2+250	-	0.20 - 1.50	-	-	A-2-4 (0)	GC-GM
		2+500	-	0.20 - 1.50	-	-	A-2-4 (0)	SC-SM
	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	0+010	-	0.00 - 0.60	-	-	A-2-4 (0)	SC
		1+000	-	0.00 - 0.70	-	-	A-2-4 (0)	GC
		2+000	-	0.00 - 0.90	-	-	A-2-4 (0)	GC
		3+000	-	0.00 - 1.50	-	-	A-2-4 (0)	GC
		4+000	-	0.00 - 1.40	45.0	31.0	A-2-6 (0)	SC
		5+000	-	0.00 - 1.00	-	-	A-2-6 (0)	GC
		6+000	-	0.00 - 1.20	-	-	A-2-4 (0)	SC
		7+000	-	0.00 - 0.90	-	-	A-2-6 (0)	GC
		8+000	-	0.00 - 1.20	-	-	A-2-6 (0)	SC
		9+000	-	0.00 - 1.00	53.0	43.0	A-2-6 (0)	GC
		10+000	-	0.00 - 1.20	-	-	A-2-6 (0)	GC
		11+000	-	0.00 - 0.90	-	-	A-2-6 (0)	GC
		12+000	-	0.00 - 0.90	-	-	A-2-6 (0)	GC
		13+000	-	0.00 - 0.70	-	-	A-2-6 (0)	GC

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Canta	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	14+000	-	0.00 - 0.90	57.0	45.0	A-2-6 (0)	GC
		15+000	-	0.00 - 0.60	-	-	A-1-a (0)	GM
		17+000	-	0.00 - 0.70	-	-	A-1-b (0)	GM
		18+000	-	0.00 - 0.65	-	-	A-1-a (0)	GM
		19+000	-	0.00 - 0.40	71.0	56.0	A-1-a (0)	GP
		20+000	-	0.00 - 0.60	-	-	A-1-a (0)	GP
		22+000	-	0.00 - 1.10	-	-	A-1-b (0)	GM
		23+000	-	0.00 - 1.50	-	-	-	ROCA
		24+000	-	0.00 - 1.50	-	-	-	ROCA
		25+000	-	0.00 - 1.50	-	-	-	ROCA
		26+000	-	0.00 - 1.10	-	-	A-1-b (0)	GP
		27+000	-	0.00 - 1.20	-	-	A-1-a (0)	GP
		28+000	-	0.00 - 1.50	-	-	A-1-b (0)	GM
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	0+200	-	0.00-1.50	-	-	A-5 (8)	ML
		0+460	-	0.00-1.50	-	10.50	A-7-6 (7)	ML
		0+640	-	0.00-1.50	-	13.96	A-7-6 (9)	ML
		0+860	-	0.00-1.50	-	-	A-2-5	SM
		1+140	-	0.00-1.50	-	15.04	A-2-4	SM
		1+480	-	0.00-1.50	-	15.04	A-1b	GC-GM
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	02+000	Der	0.00-1.50	62.2	36.1	A-1-a (0)	GP
		03+750	Izq	0.00-1.50	79.0	33.5	A-1-a (0)	GM

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Canta	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	06+000	Izq	0.00-1.60	7.0	3.8	A-4 (7)	ML
		08+000	Der	0.00-1.50	62.9	38.7	A-2-4 (0)	GM
		09+500	Der	0.00-1.00	48.6	28.2	A-2-4 (0)	SM - SC
		10+750	Der	0.00-1.50	12.1	7.2	A-4 (6)	CL
		12+000	Der	0.00-1.80	12.0	9.3	A-4 (7)	CL
		14+250	Izq	0.00-1.70	24.3	8.5	A-4 (3)	SC
		15+750	Izq	0.00-1.70	8.7	2.9	A-4 (4)	ML
		18+250	Der	0.90-1.50	26.7	8.3	A-4 (2)	SM
		20+250	Der	0.00-1.40	10.1	8.2	A-4 (8)	CL
		21+750	Der	0.00-1.50	6.2	3.6	A-4 (6)	ML - CL
		23+500	Der	0.00-1.60	8.9	6.8	A-4 (8)	CL
		24+500	Der	0.20-1.50	11.4	6.5	A-4 (7)	CL
		26+000	Izq	0.00-1.50	73.4	56.4	A-1-a (0)	GP - GM
		30+000	Izq	0.00-1.50	75.5	53.4	A-2-4 (0)	GP - GC
		31+750	Der	0.00-1.30	46.7	24.1	A-2-4 (0)	GC
		33+750	Der	0.00-1.60	56.5	33.5	A-1-b (0)	GM
		35+750	Izq	0.80-1.50	22.1	7.2	A-4 (3)	SM
		37+250	Der	0.00-1.40	75.5	50.1	A-1-a (0)	GP - GM
39+250	Der	0.00-0.70	92.0	53	A-1-a (0)	GP - GM		

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 8

ESTUDIOS DE SUELOS

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Huarochirí	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	-	-	0.00-0.60	-	40 - 80	-	GW - GM
		-	-	0.20 - 1.00	-	40 - 80	-	GW - GM
		-	-	0.10 - 1.00	-	40 - 80	-	GM
		-	-	0.10 - 1.00	-	40 - 80	-	GM
		-	-	0.00-1.00	-	20 - 40	-	SW-SM
		-	-	0.10-1.00	-	20 - 40	-	SW
		-	-	0.10 - 1.00	-	20 - 40	-	SM
		-	-	0.00-1.50	-	35 - 80	-	GP-GM
		-	-	0.00-1.00	-	20 - 40	-	SM
		-	-	0.00-1.50	-	20 - 40	-	SW-SM
	-	-	0.00-1.00	-	15 - 40	-	SP-SM	
	-	-	0.30-1.00	-	20 - 40	-	SW - SM	
	Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa	0+056	-	-	-	20-80	A-1-a (0)	GM-GC
0+680		-	-	-	20-80	A-1-a (0)	GM-GC	
-		-	-	-	-	-	-	
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	0+000	Izq	0.00 - 0.70	10.33	8.62	A-4 (8)	ML
		0+000	Izq	0.70 - 1.50	11.52	9.16	A-4 (8)	ML
		2+000	Der	0.00 - 0.80	20.7	17.94	A-4 (1)	SM
		2+000	Der	0.80 - 1.50	12.76	9.96	A-4 (5)	ML
		4+000	Izq	0.60-1.00	16.3	14.27	A-4 (2)	SM
		4+000	Izq	1.00-1.50	9.75	7.67	A-6 (4)	CL

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	6+000	Der	0.00 - 1.50	44.58	36.46	A-2-4(0)	GM
		8+000	Der	0.00 - 1.50	39.3	31.88	A-2-4(0)	GM
		10+000	Der	0.00 - 1.50	36.49	20.28	A-1-a (0)	GP-GM
		12+000	Izq	0.00 - 1.50	42.6	35.56	A-1-b (0)	GM
		14+000	Izq	0.30 - 1.50	77.86	56.51	A-1-b (0)	GM
		16+000	Der	0.00 - 0.70	40.43	35.4	A-2-4 (0)	GM
		16+000	Der	0.70 - 1.50	-	30	ROCA	ROCA
		18+000	Izq	0.00-0.50	23.21	17.90	A-4 (2)	SM
		18+000	Izq	0.50 -1.50	12.75	10.39	A-4 (4)	CL-ML
		20+000	Izq	0.00 - 0.90	54.12	47.41	A-1-a (0)	GP-GM
		20+000	Izq	0.90 - 1.50	-	30	BOLONERIA >10"	BOLONERIA >10"
		22+000	Izq	0.00-0.40	65.02	55.04	A-1-b (0)	GM
		22+000	Izq	0.40 - 1.50	-	30	ROCA	ROCA
		24+000	Izq	0.00 - 1.50	23.13	18.36	A-2-4 (0)	SM
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	6+000	Der	0.55 - 1.50	17.6	12.4	-	-
		11+000	Izq	0.25 - 1.50	38.8	27.6	-	-
		16+000	Der	0.56 - 1.50	70.6	47	-	-
		19+750	Der	0.65 - 1.50	63.8	31.2	-	-
		21+000	Izq	0.57 - 1.50	74.4	41	-	-
		21+320	Der	0.55 - 1.50	65.4	39	-	-

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**

**ESTUDIOS DE SUELOS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Cañete	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	23+600	Izq	0.66 - 1.50	77.9	41.5	-	-
		23+800	Izq	0.55 - 1.50	51.8	41.5	-	-
		26+000	Der	0.46 - 1.40	62.3	33.7	-	-
		28+800	Der	0.65 - 1.50	65.9	41	-	-
		29+300	Der	0.60 - 1.50	69.7	49	-	-
		31+000	Izq	0.57 - 1.50	84.7	55	-	-
		33+550	Izq	0.56 - 1.50	48.2	29	-	-
		34+130	Der	0.80 - 1.50	86.5	62.5	-	-
		34+620	Izq	0.44 - 1.50	55.4	37.5	-	-
		36+000	Der	0.47 - 1.50	40.7	18.9	-	-
		36+230	Der	0.56 - 1.50	59.3	34	-	-
		38+150	Izq	0.56 - 1.50	33.3	15.2	-	-
		41+000	Izq	1.20 - 1.50	63.2	27.3	-	-
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	-	-	0.00 - 1.00	40	16	A-2-4 (0)	SM - SC
		-	-	0.00 - 1.00	39.6	26.34	A-2-4 (0)	SM - SC
		-	-	0.00 - 1.00	38	16.2	A-2-4 (0)	SM - SC
		-	-	0.00 - 1.10	46	16.45	A-2-4 (0)	SM - SC
		-	-	0.00 - 0.70	42	16.00	A-2-4 (0)	SM - SC

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 8**  
**ESTUDIOS DE SUELOS**

PROVINCIA	EXPEDIENTE	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		CLASIFICACIÓN	
					100%	95%	AASHTO	SUCS
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete	3+640	-	-	20.2	12.10	A-4 (0)	ML
		5+610	-	-	50.4	30.60	A-1-b (0)	SW - SM
		8+640	-	-	53.2	30.60	A-1-b (0)	SM
		10+090	-	-	50.4	30.20	A-1-b (0)	SW - SM
		11+150	-	-	43.6	28.10	A-1-b (0)	SW - SM
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	0+038	-	1.10-1.50	56.08	39.50	-	SM
		0+756	-	0.60-2.00	35.02	23.50	-	SM
		0+994	-	0.70-1.40	10.01	7.50	-	CL
		1+738	-	0.50-2.00	5.08	5.30	-	CL
		2+186	-	0.80-2.00	10.01	8.30	-	CL-ML
		Plaza Bolognesi	-	0.70-2.00	10.01	7.50	-	CL
Yauyos	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	3+500	-	0.00 - 1.50	26.3	16.9	A-1-b (0)	SP - SM
		19+000	-	0.00 - 1.50	15.1	11	A-2-6 (0)	SC
		23+000	-	0.00 - 1.50	61	28	A-4 (1)	GM
		31+000	-	0.00 - 1.50	56	25	A-4 (1)	GM

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 9

ESTUDIOS DE CANTERAS

Continúa

ESTUDIO DE LAS CANTERAS EN LIMA PROVINCIAS								
PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Barranca	Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca - Lima	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán - Puente Tingo	Acaray - Ubicación: Quebrada Acaray	03+950	Izq.	0.00 - 3.00	57	26	-
			03+950	Izq.	0.00 - 1.50	50	20	-
			03+950	Izq.	0.00 - 3.00	48	24	-
			03+950	Izq.	0.00 - 2.40	86	26	-
			03+950	Izq.	0.00 - 3.00	46	26	-
		Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	73	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	74	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	50	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	82	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	84	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	80	54	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	80	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	83	57	-

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	83	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	47	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	70	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	68	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	70	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	70	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	54	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	72	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	69	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	72	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	74	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	84	64	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	82	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	84	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	82	61	-
21+060	Der	0.00 - 2.00	84	64	-			
21+060	Der	0.00 - 2.00	86	63	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	78	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	54	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	62	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	69	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	67	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	69	53	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	85	65	-
21+060	Der	0.00 - 2.00	79	57	-			
21+060	Der	0.00 - 2.00	79	57	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	75	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	80	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	64	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	76	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	83	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	63	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	83	60	-
21+060	Der	0.00 - 2.00	76	59	-			
21+060	Der	0.00 - 2.00	76	60	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	72	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	83	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	55	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	75	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	89	72	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	89	62	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	78	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	61	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	87	68	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	88	72	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	85	66	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	80	63	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	84	67	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	94	73	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	89	67	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	91	68	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	86	66	-
21+060	Der	0.00 - 2.00	77	52	-			
21+060	Der	0.00 - 2.00	92	69	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Huacán - Ubicación: Río Huaura	21+060	Der	0.00 - 2.00	86	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	77	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	83	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	88	59	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	60	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	79	56	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	85	64	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	87	65	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	80	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	74	58	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	74	57	-
			21+060	Der	0.00 - 2.00	73	57	-
		21+060	Der	0.00 - 2.00	74	57	-	
		Quipico - Ubicación: Río Huaura	36+310	Der	0.00 - 1.60	54	48	-
			36+310	Der	0.00 - 2.20	49	32	-
			36+310	Der	0.00 - 2.20	45	41	-
			36+310	Der	0.00 - 2.50	61	32	-
			36+310	Der	0.00 - 3.00	56	39	-
		Quintay - Ubicación: Quebrada de Quintay	49+890	Izq.	0.00 - 2.20	48	35	-
			49+890	Izq.	0.00 - 2.20	44	43	-
49+890	Izq.		0.70 - 3.00	40	18	-		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Quintay - Ubicación: Quebrada de Quintay	49+890	Izq.	0.40 - 2.20	37	21	-
			49+890	Izq.	0.00 - 2.20	39	18	-
		Pedregal - Ubicación: Río Huaura	55+800	Der	0.00-2.20	60	43	-
			55+800	Der	0.00-2.20	56	35	-
			55+800	Der	0.00-2.50	60	32	-
			55+800	Der	0.00-2.40	78	33	-
			55+800	Der	0.00-2.20	64	30	-
			55+800	Der	0.00-2.20	80	60	-
			55+800	Der	0.00-2.20	80	59	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	80	61	-
			55+800	Der	0.00-2.20	83	70	-
			55+800	Der	0.00-2.20	68	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	57	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	56	-
			55+800	Der	0.00-2.20	86	64	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	49	-
55+800	Der	0.00-2.20	73	48	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Pedregal - Ubicación: Río Huaura	55+800	Der	0.00-2.20	73	49	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	78	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	75	51	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	75	50	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	90	73	-
			55+800	Der	0.00-2.20	81	60	-
			55+800	Der	0.00-2.20	78	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	78	57	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	82	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	51	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	56	-
55+800	Der	0.00-2.20	73	53	-			
55+800	Der	0.00-2.20	74	53	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Pedregal - Ubicación: Río Huaura	55+800	Der	0.00-2.20	76	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	69	50	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	70	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	78	59	-
			55+800	Der	0.00-2.20	75	58	-
			55+800	Der	0.00-2.20	85	66	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	51	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	56	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	56	-
			55+800	Der	0.00-2.20	72	51	-
55+800	Der	0.00-2.20	75	56	-			
55+800	Der	0.00-2.20	88	65	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo	Pedregal - Ubicación: Río Huaura	55+800	Der	0.00-2.20	81	59	-
			55+800	Der	0.00-2.20	84	60	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	61	-
			55+800	Der	0.00-2.20	81	62	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	51	-
			55+800	Der	0.00-2.20	80	56	-
			55+800	Der	0.00-2.20	79	59	-
			55+800	Der	0.00-2.20	79	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	79	57	-
			55+800	Der	0.00-2.20	75	55	-
			55+800	Der	0.00-2.20	79	60	-
			55+800	Der	0.00-2.20	80	60	-
			55+800	Der	0.00-2.20	77	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	74	54	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	76	53	-
			55+800	Der	0.00-2.20	73	51	-
			55+800	Der	0.00-2.20	75	52	-
			55+800	Der	0.00-2.20	79	58	-
55+800	Der	0.00-2.20	80	57	-			
55+800	Der	0.00-2.20	71	53	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaura	Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado	-	-	-	-	-	-	-
Cajatambo	Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas	Cahua - Las Lomas	13+360	Der	0.00-2.50	-	40 - 80	GM
Oyón	Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	
	Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima	Acaray	-	-	-	96	78	-
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	El Horno	100+620	-	0.00-2.00	92.0	73.7	-
			100+620	-	0.00-2.00	93.0	73.4	-
			100+620	-	0.00-2.00	95.6	67.7	-
			100+620	-	0.00-2.00	96.0	79.4	-
			100+620	-	0.00-2.00	94.1	76.6	-
100+620			-	0.00-2.00	96.5	79.3	-	
100+620	-	0.00-2.00	98.0	75.8	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Oyón	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	El Horno	100+620	-	0.00-2.00	99.2	79.9	-
			100+620	-	0.00-2.00	99.9	76.6	-
			100+620	-	0.00-2.00	96.3	73.6	-
		Yanamayo	107+900	-	0.00-2.00	50.7	27.4	-
			107+900	-	0.00-2.00	56.3	45.1	-
			107+900	-	0.00-2.00	53.1	42.3	-
			107+900	-	0.00-2.00	52.9	44.7	-
			107+900	-	0.00-2.00	58.8	49.8	-
			107+900	-	0.00-2.00	87.6	67.3	-
			107+900	-	0.00-2.00	83.5	68.8	-
			107+900	-	0.00-2.00	95.6	76.0	-
			107+900	-	0.00-2.00	97.2	76.1	-
			107+900	-	0.00-2.00	96.7	78.0	-
		Matichacra	128+870	-	0.00-2.00	>100	57.3	-
			128+870	-	0.00-2.00	95.2	73.6	-
			128+870	-	0.00-2.00	96.7	72.5	-
			128+870	-	0.00-2.00	93.4	64.9	-
			128+870	-	0.00-2.00	81.2	61.1	-
			128+870	-	0.00-2.00	95.6	51.2	-
			128+870	-	0.00-2.00	>100	60.3	-

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Oyón	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131	Matichacra	128+870	-	0.00-2.00	99.5	52.1	-
			128+870	-	0.00-2.00	97.6	56.2	-
			128+870	-	0.00-2.00	>100	56.1	-
Huaral	Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000	Pampa de Perros	8+000	-	-	72.0	35.0	-
	El Ovalo	103+500 Carretera Panamericana Norte	-	0.00-3.00	35.0	20.0	-	
			-	0.00-3.00	37.0	26.0	-	
			-	0.00-3.00	24.0	21.0	-	
			-	0.00-3.00	31.0	24.0	-	
			-	0.00-3.00	38.0	26.0	-	
	La Loma	2+650	-	0.00-3.00	52.0	36.0	-	
			-	0.00-3.00	46.0	36.0	-	
			-	0.00-3.00	40.0	30.0	-	
			-	0.00-3.00	54.0	38.0	-	
			-	0.00-3.00	53.0	38.0	-	
	Manzana	29+930	-	0.00-3.00	47.0	67.0	-	
			-	0.00-3.00	60.0	41.0	-	
			-	0.00-3.00	61.0	43.0	-	
-			0.00-3.00	65.0	50.0	-		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Huaral	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán	Manzana	29+930	-	0.00-3.00	58.0	40.0	-
		Río Huaura	39+680	-	0.00-3.00	80.0	51.0	-
			39+680	-	0.00-3.00	75.0	57.0	-
			39+680	-	0.00-3.00	80.0	55.0	-
			39+680	-	0.00-3.00	83.0	59.0	-
			39+680	-	0.00-3.00	81.0	63.0	-
Canta	Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima	Terrazas de Apán	30+000	-	0.20 - 1.50	75.3	32	-
Canta	Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima	Apán	-	-	-	71.0	43.0	-
		Puruchuco	-	-	-	68.0	40.0	-
	Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	Trameq	01+700	Der	0.00-1.50	91.5	60.6	-
			01+700	Der	0.00-1.50	87.6	45.2	-
		Río Seco	10+150	Der	0.00-1.50	100.2	70.2	-
			10+150	Der	0.00-1.50	101.2	69.1	-
10+150			Der	0.00-1.50	100.3	61.3	-	
10+150	Der	0.00-1.50	98.8	68.5	-			

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS	
						100%	95%		
Canta	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish	Río Seco	10+150	Der	0.00-1.50	103.0	72.2	-	
			10+150	Der	0.00-1.50	104.7	72.6	-	
		Inversiones Minera San Juan	17+340	Izq	0.00-1.50	96.7	96.7	-	
			17+340	Izq	0.00-1.50	98.5	98.5	-	
			17+340	Izq	0.00-1.50	100.3	100.3	-	
			17+340	Izq	0.00-1.50	104.8	104.8	-	
			17+340	Izq	0.00-1.50	103.0	103.0	-	
			17+340	Izq	0.00-1.50	103.5	103.5	-	
		Leticia	31+320	Der	0.00-1.50	81.2	73.00	-	
			31+320	Der	0.00-1.50	79.0	67.50	-	
			31+320	Der	0.00-1.50	83.0	72.00	-	
			31+320	Der	0.00-1.50	81.0	70.00	-	
			31+320	Der	0.00-1.50	87.0	72.50	-	
		Huarochirí	Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-
-	-			-	-	-	-		
-	-			-	-	-	-		
Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa	-		-	-	-	-	-		
	-		-	-	-	-	-		
	-		-	-	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	5+415	5+415	Izq	0.00-1.50	87.4	50	-
			5+415	Izq	0.00-1.50	95.3	55.3	-
			5+415	Izq	0.00-1.50	93.8	55	-
			5+415	Izq	0.00-1.50	88.9	48.2	-
			5+415	Izq	0.00-1.50	92.3	58	-
		Río Mala	11+800	Izq	0.00-1.50	95.1	60.7	-
			11+800	Izq	0.00-1.50	98.4	60.8	-
			11+800	Izq	0.00-1.50	92.7	59.1	-
			11+800	Izq	0.00-1.50	90.7	63.6	-
			11+800	Izq	0.00-1.50	89.6	61.2	-
		14+860	14+860	Izq	0.00-1.50	92.2	58	-
			14+860	Izq	0.00-1.50	96.0	65.3	-
			14+860	Izq	0.00-1.50	92.6	52.6	-
			14+860	Izq	0.00-1.50	88.5	58.5	-
			14+860	Izq	0.00-1.50	93.1	63.1	-
			14+860	Izq	0.00-1.50	90.6	50.7	-
		17+860	17+860	Der	0.00-1.50	93.3	61.1	-
			17+860	Der	0.00-1.50	89.8	61.6	-
			17+860	Der	0.00-1.50	90.1	59.5	-

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Cañete	Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla	17+860	17+860	Der	0.00-1.50	94.7	40	-
			17+860	Der	0.00-1.50	87.2	46.5	-
	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	El Porvenir	16+510	-	-	47.74	34.70	-
			16+510	-	-	63.69	50.00	-
			16+510	-	-	40.35	25.00	-
			16+510	-	-	58.59	38.50	-
			16+510	-	-	58.12	45.80	-
		Caltopilla	19+090	-	-	87.54	50.00	-
			19+090	-	-	51.91	35.00	-
			19+090	-	-	70.81	49.50	-
			19+090	-	-	54.41	30.00	-
			19+090	-	-	68.56	38.50	-
			19+090	-	-	-	-	-
		Planta Chancadora	22+600	-	-	64.80	55.00	-
			22+600	-	-	74.50	48.70	-
			22+600	-	-	69.50	47.80	-
			22+600	-	-	83.10	51.70	-
	22+600		-	-	68.10	46.20	-	
	22+600		-	-	78.30	52.00	-	
	22+600		-	-	63.70	50.00	-	

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

Continúa

PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Cañete	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná	Planta Chancadora	22+600	-	-	69.10	54.50	-
			22+600	-	-	83.50	55.00	-
			22+600	-	-	73.90	56.00	-
		Roca Socsi	27+630	-	-	46.30	26.80	-
			27+630	-	-	42.57	30.00	-
			27+630	-	-	50.87	33.00	-
			27+630	-	-	46.44	36.70	-
			27+630	-	-	56.99	42.80	-
			27+630	-	-	50.28	39.50	-
			27+630	-	-	50.28	39.50	-
	Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
	Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete	Quilmana II	10+000	-	-	64.50	48.70	-
		Chaparral II	13+500	Der	-	98.30	63.90	-
		El Desierto II	22+700	-	-	64.50	48.70	-
	Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-	-	
-		-	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración propia (2017)

**ANEXO 9**

**ESTUDIOS DE CANTERAS**

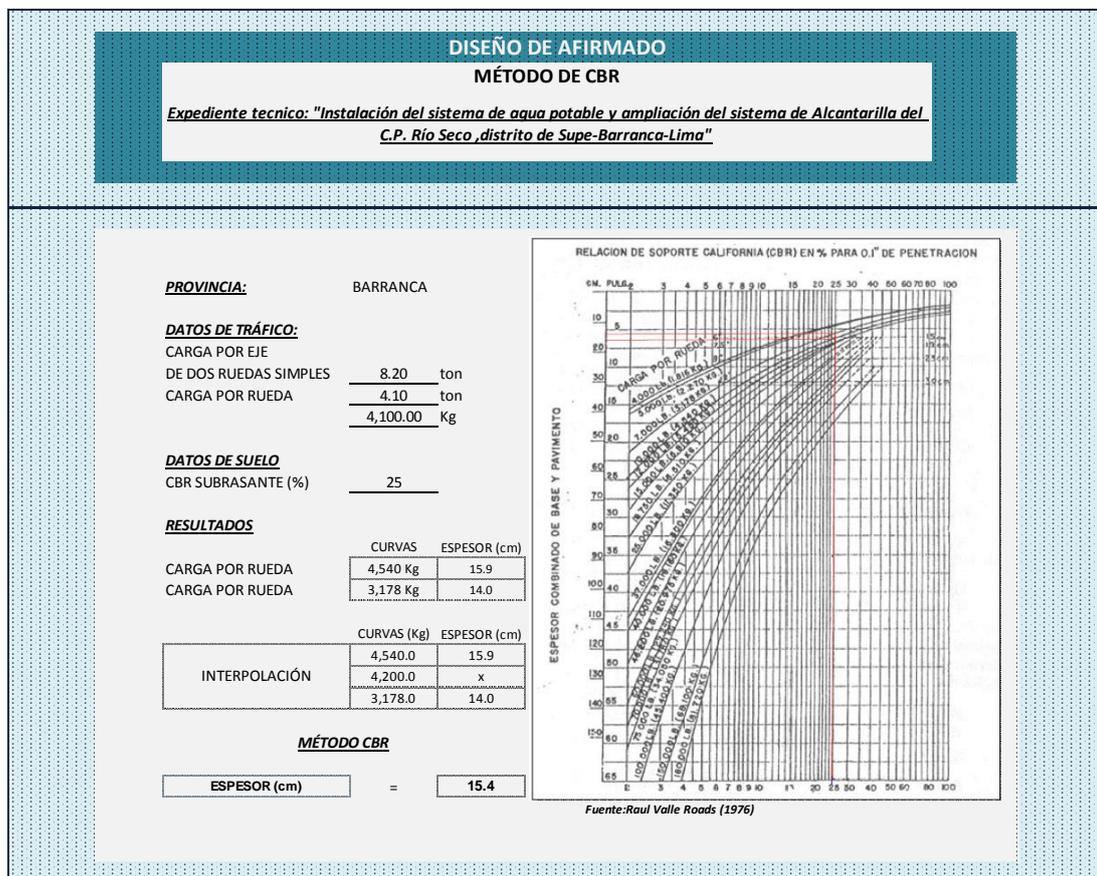
PROVINCIA	EXPEDIENTE	CANTERA	PROGRESIVA (km)	LADO	PROFUNDIDAD (m)	CBR 0.1"		SUCS
						100%	95%	
Yauyos	Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración Propia (2017)

## ANEXO 10

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO CBR

1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

**DISEÑO DE AFIRMACO**  
**MÉTODO DE CBR**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE DE DOS RUEDAS SIMPLES 8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA 4.10 ton  
4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	14.8
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	13.3

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	14.8
	4,200.0	x
	3,178.0	13.3

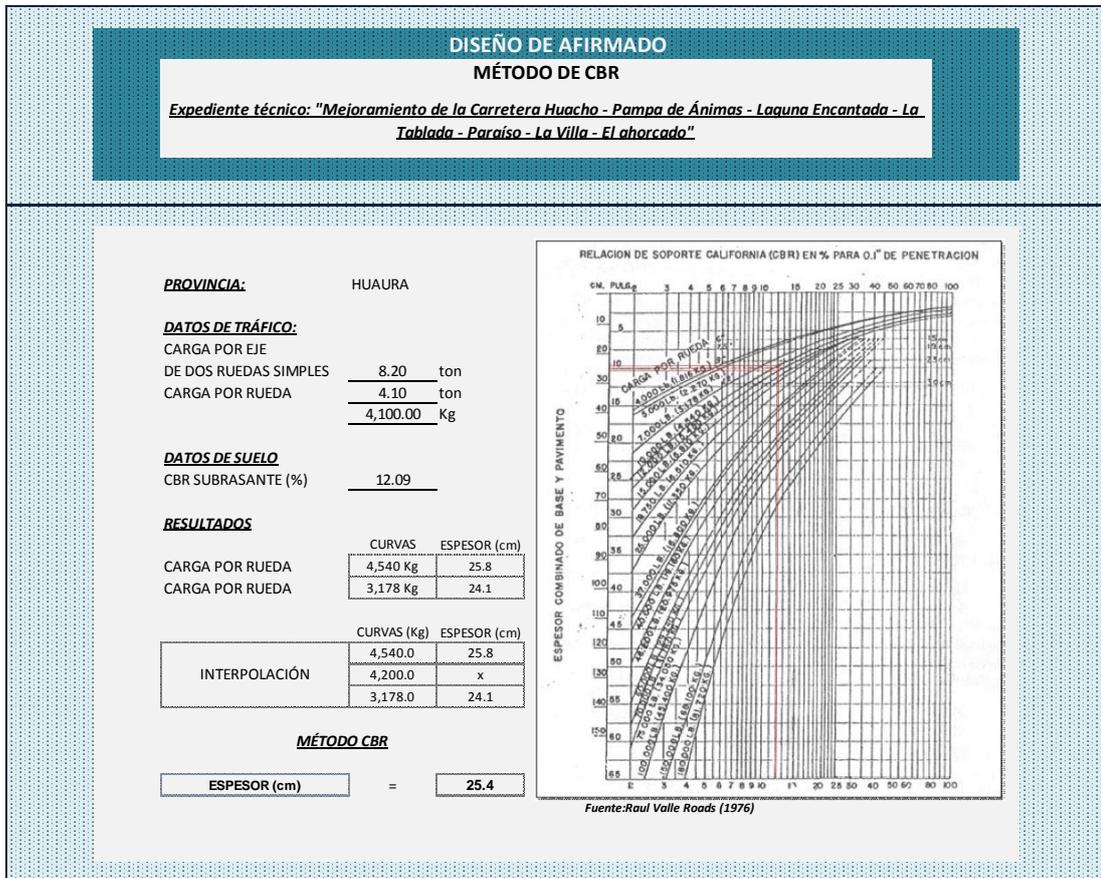
**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)	=	14.4
--------------	---	------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

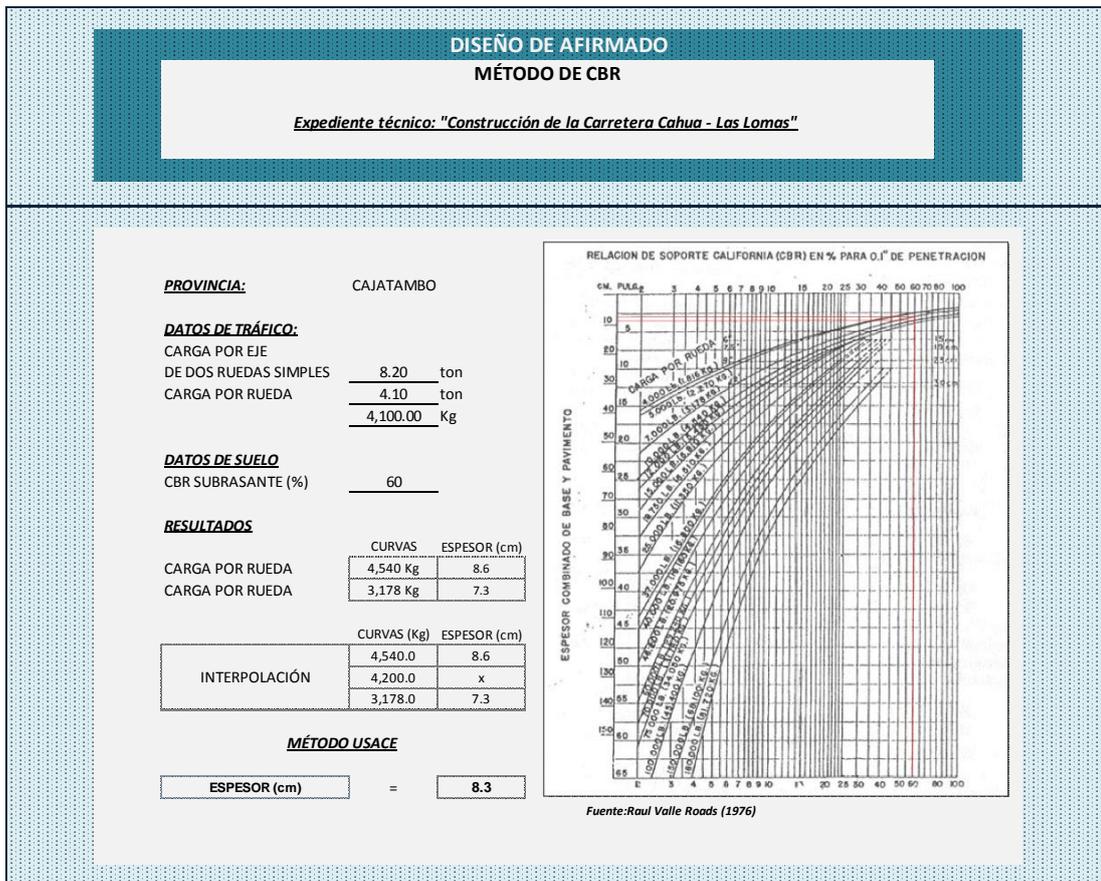
Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”



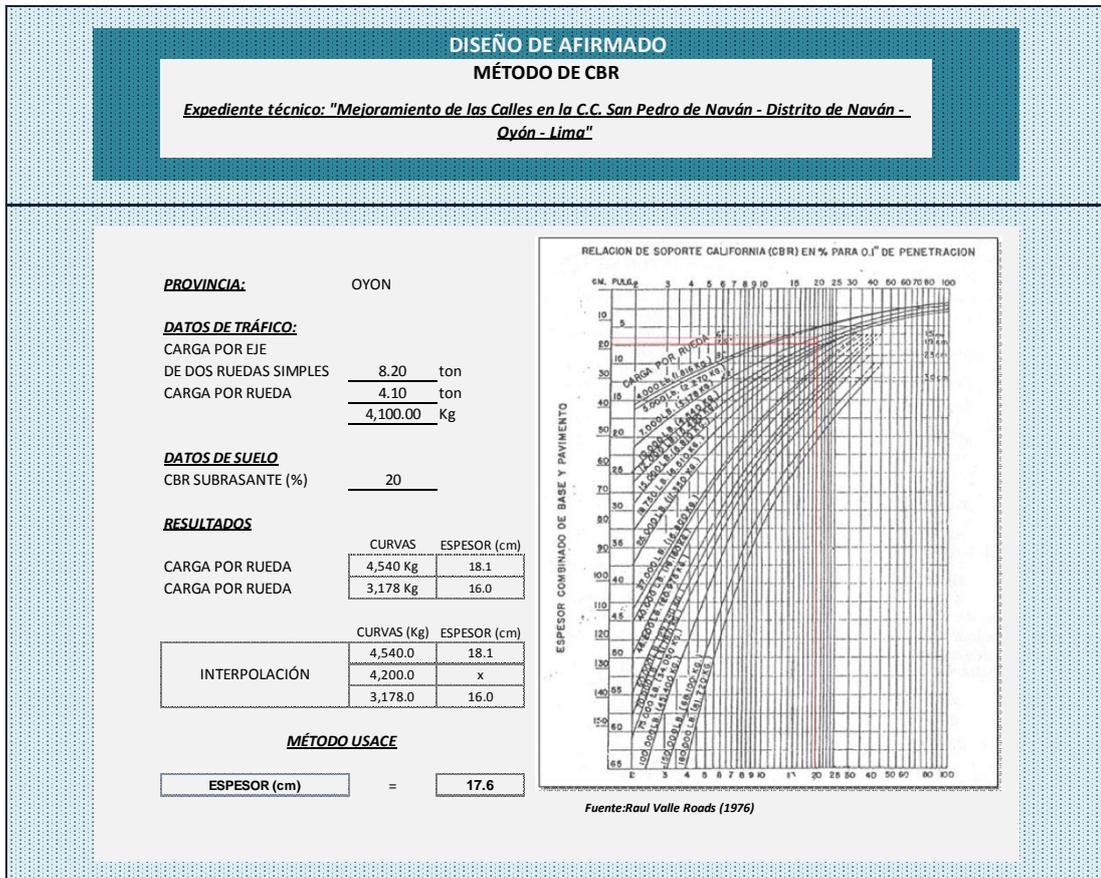
Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas”



Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

Expediente técnico: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**PROVINCIA:** OYON

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE  
 DE DOS RUEDAS SIMPLES      8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA              4.10 ton  
    4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%)            29

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	14.3
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	12.7

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	14.3
	4,200.0	x
	3,178.0	12.7

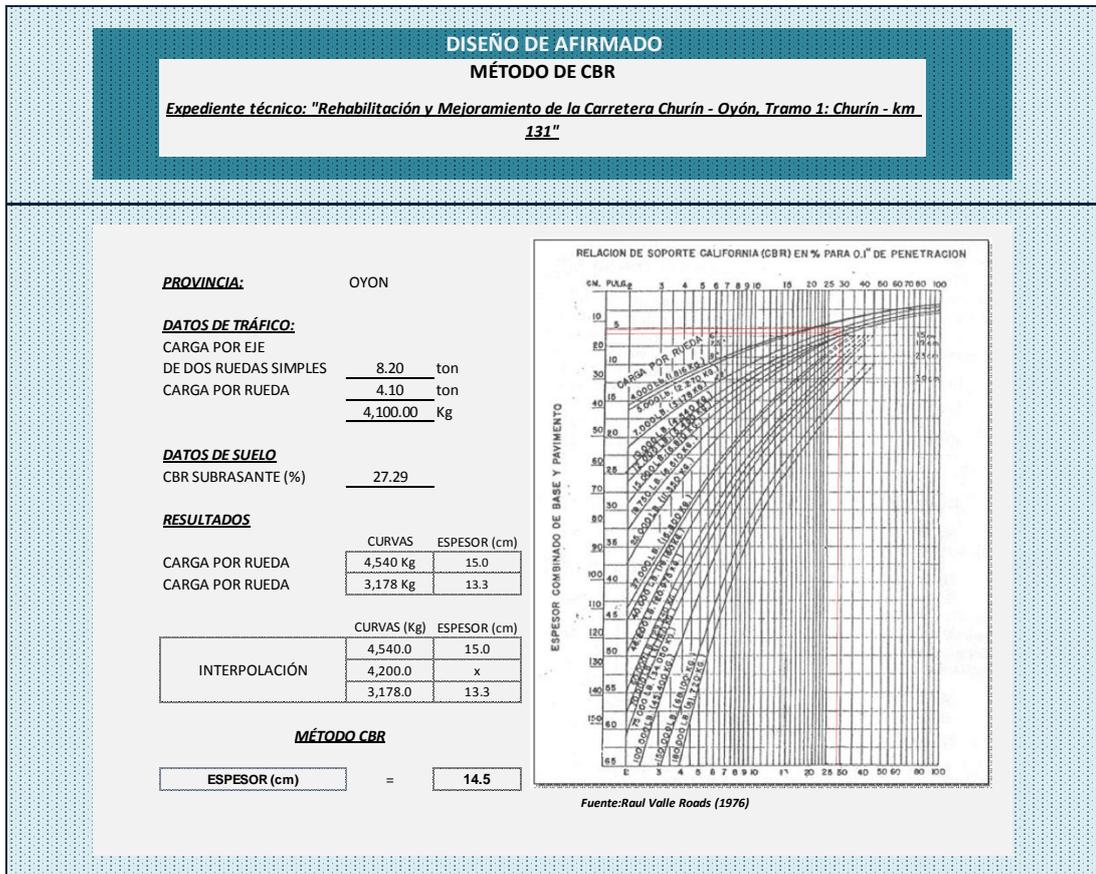
**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)	=	13.9
--------------	---	------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

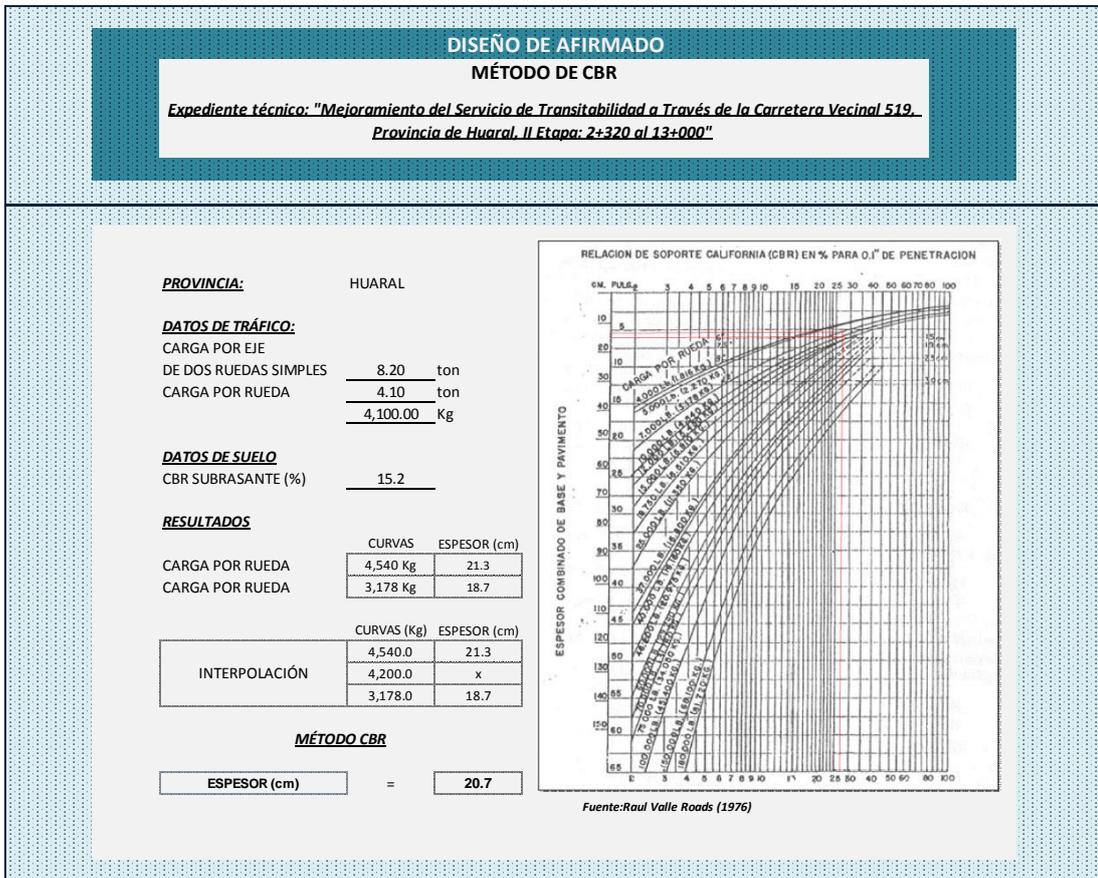
Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131”



Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”



Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**

CARGA POR EJE DE DOS RUEDAS SIMPLES 8.20 ton

CARGA POR RUEDA 4.10 ton  
4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**

CBR SUBRASANTE (%) 17.4

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	19.5
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	17.7

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	19.5
	4,200.0	x
	3,178.0	17.7

**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)	=	19.1
--------------	---	------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"**

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE  
 DE DOS RUEDAS SIMPLES      8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA              4.10 ton  
    4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%)            16.7

**RESULTADOS**

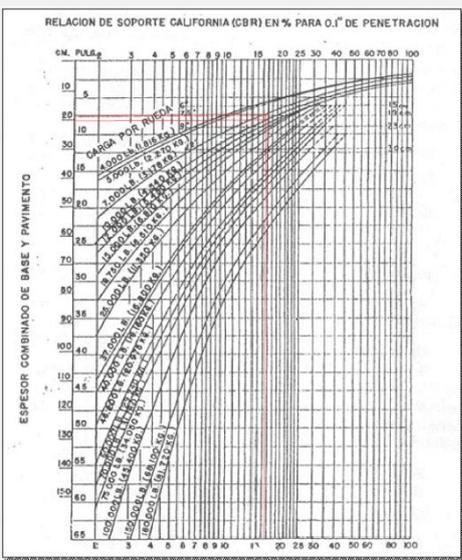
	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	20.3
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	18.2

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	20.3
	4,200.0	x
	3,178.0	18.2

**MÉTODO CBR**

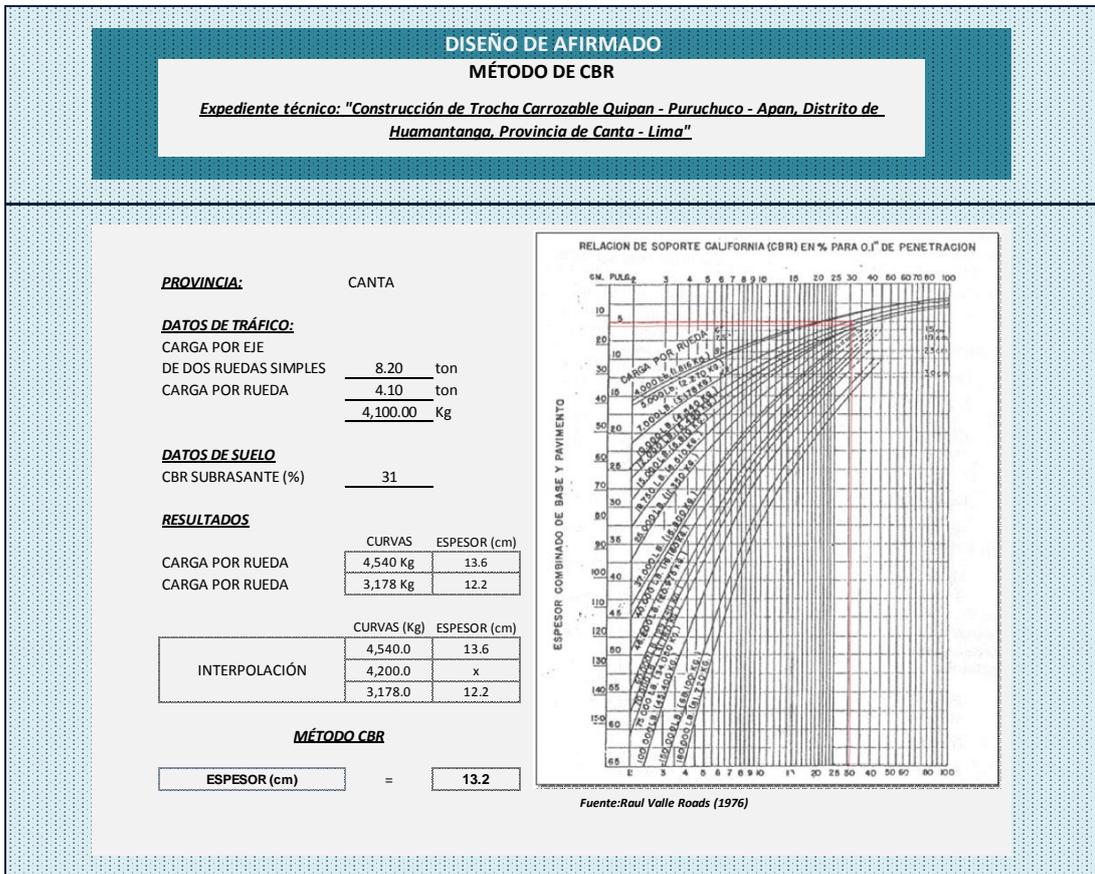
ESPESOR (cm)	=	19.8
--------------	---	------



Fuente: Raul Valle Roads (1976)

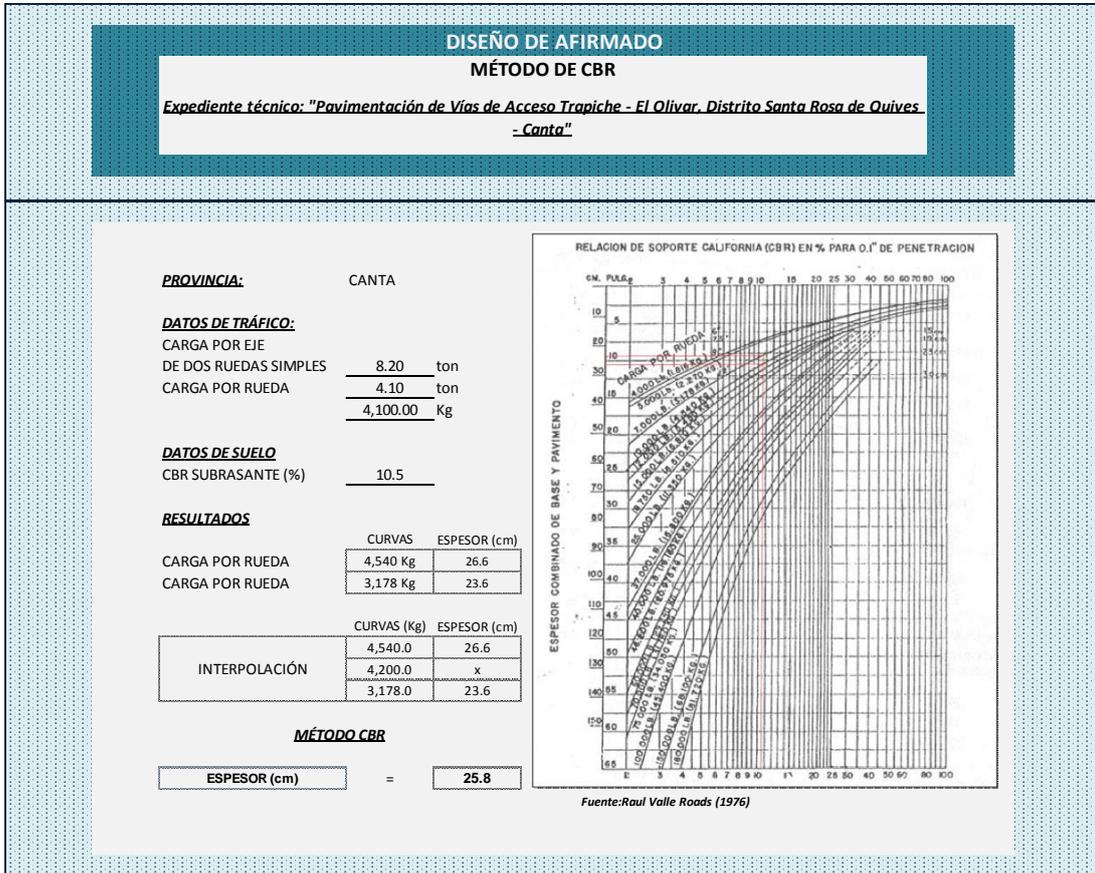
Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”



Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE DE DOS RUEDAS SIMPLES 8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA 4.10 ton  
4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 22.82

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	16.6
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	15.1

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	16.6
	4,200.0	x
	3,178.0	15.1

**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)

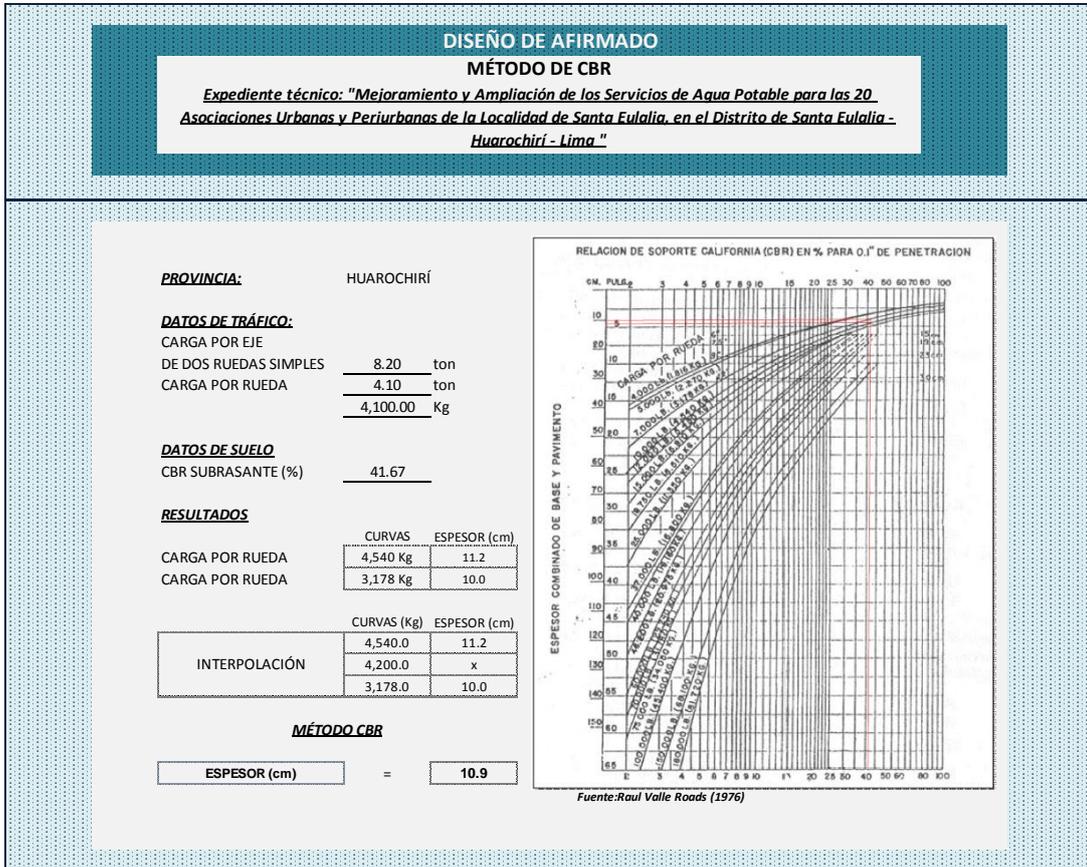
=

16.2

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

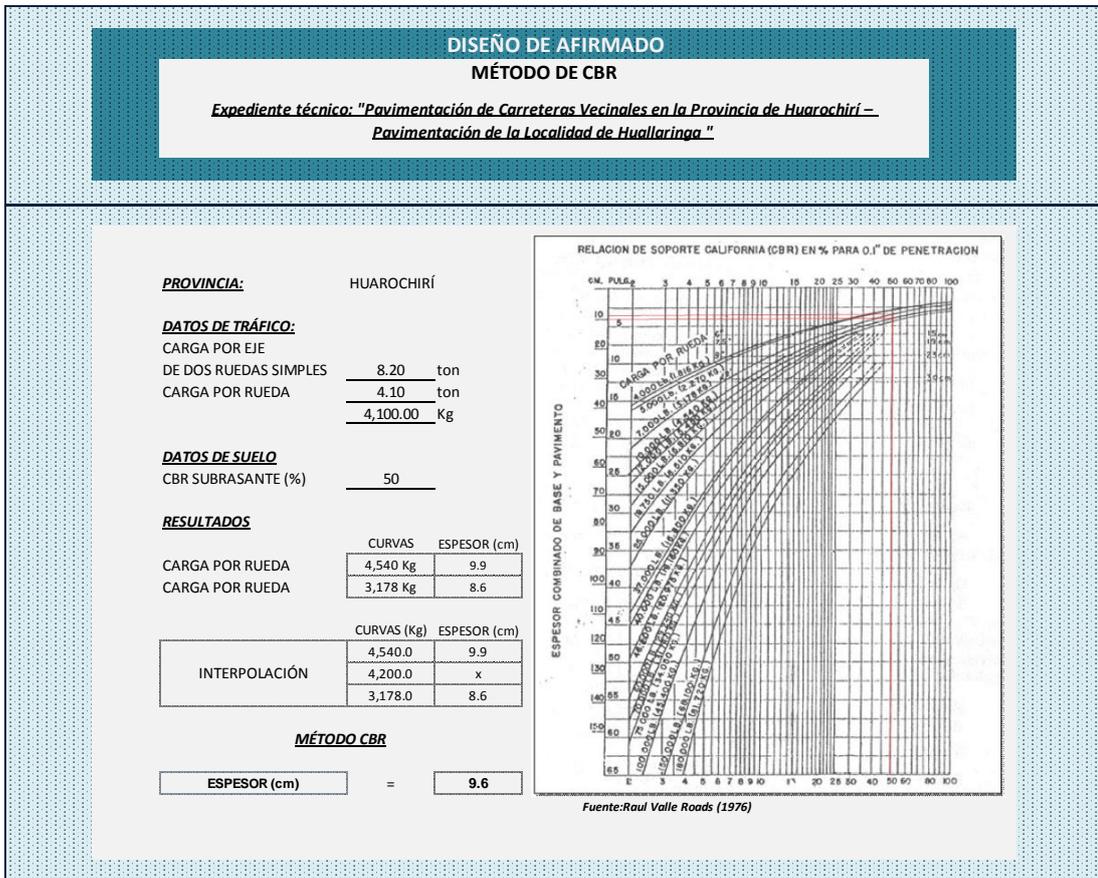
Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”



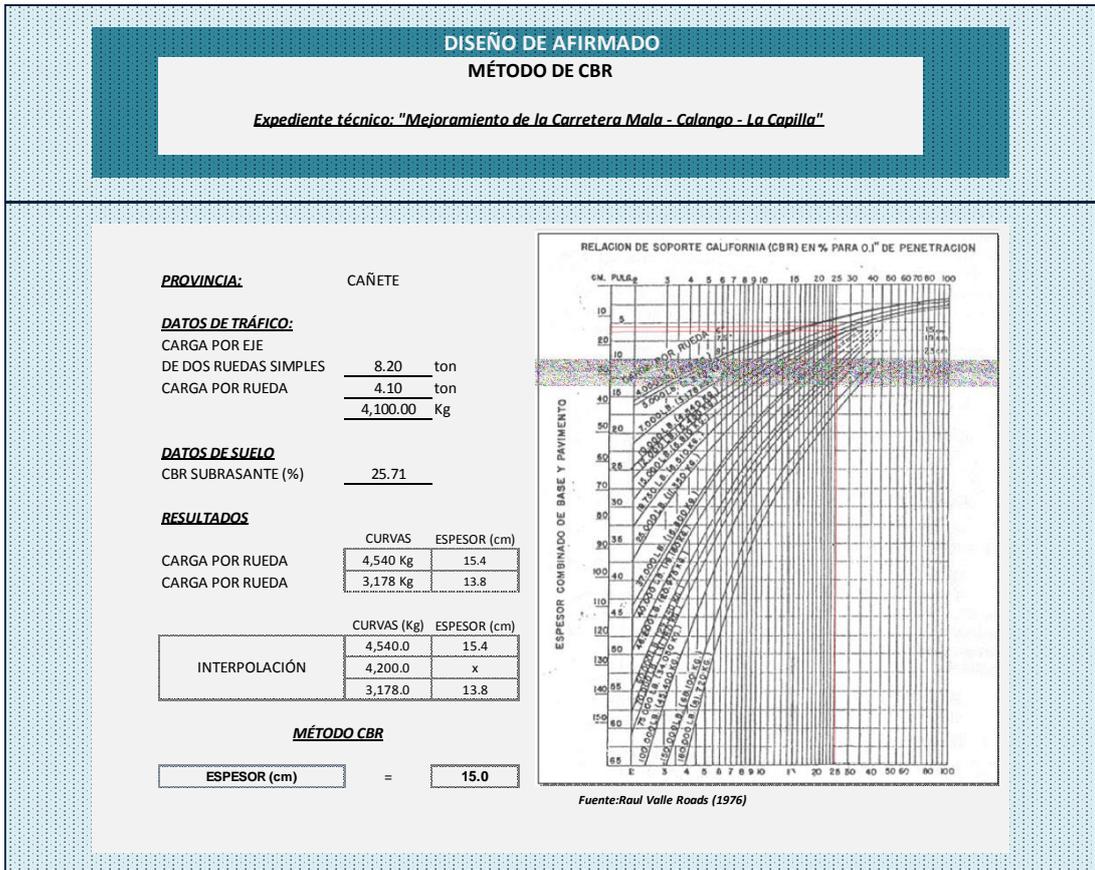
Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”



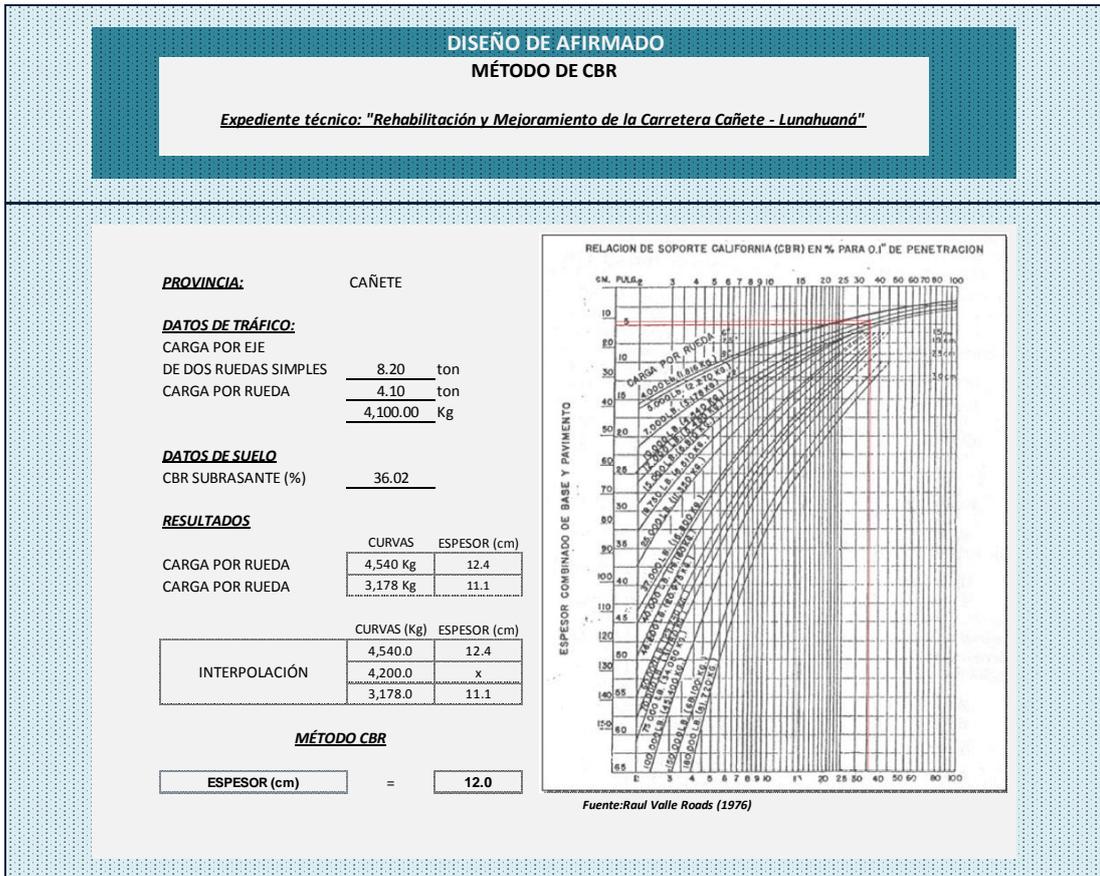
Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"



Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”



Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE  
 DE DOS RUEDAS SIMPLES      8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA              4.10 ton  
    4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%)            16

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	20.9
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	18.7

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	20.9
	4,200.0	x
	3,178.0	18.7

**MÉTODO CBR**

<b>ESPESOR (cm)</b>	=	<b>20.3</b>
---------------------	---	-------------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"

**DISEÑO DE AFIRMACO**  
**MÉTODO DE CBR**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE DE DOS RUEDAS SIMPLES 8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA 4.10 ton  
4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.1

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	24.5
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	21.8

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	24.5
	4,200.0	x
	3,178.0	21.8

**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)	=	23.8
--------------	---	------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMACO**  
**MÉTODO DE CBR**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"**

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE  
 DE DOS RUEDAS SIMPLES      8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA              4.10 ton  
    4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%)            15.27

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	21.3
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	18.9

	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	21.3
	4,200.0	x
	3,178.0	18.9

**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)	=	20.7
--------------	---	------

Fuente: Raul Valle Roads (1976)

Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO DE CBR**

**Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"**

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 CARGA POR EJE DE DOS RUEDAS SIMPLES 8.20 ton  
 CARGA POR RUEDA 4.10 ton  
4,100.00 Kg

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 11

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
CARGA POR RUEDA	4,540 Kg	25.8
CARGA POR RUEDA	3,178 Kg	23.0

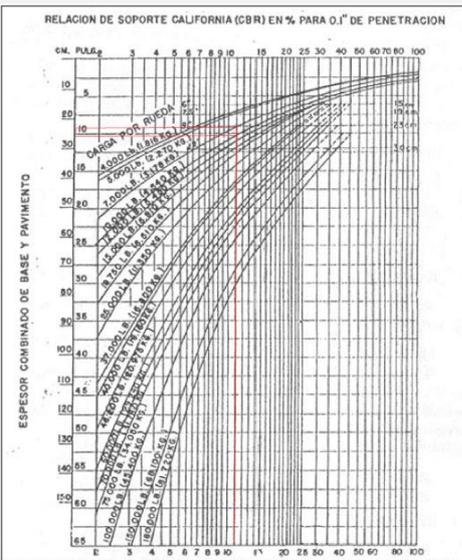
	CURVAS (Kg)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	4,540.0	25.8
	4,200.0	x
	3,178.0	23.0

**MÉTODO CBR**

ESPESOR (cm)

=

25.1



Fuente: Raul Valle Roads (1976)

Fuente: Elaboración propia (2017)

## ANEXO 11

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO USACE

**1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”**

DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 25

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.75 cm
Para un C1 = 20	t =	7.70 cm
Para un C1 = 30	t =	6.36 cm
Para un C1 = 40	t =	5.67 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHICULOS 400.00 veh/dia  
 POR DIA  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 25

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.8
ESPESOR (cm)	1.0	4.5

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = min **10.2** cm

Fuente: Manual técnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
t = Espesor de afirmado (cm)  
C1 = CBR del afirmado (%)  
C2 = CBR de la subrasante (%)  
R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.64 cm
Para un C1 = 20	t =	7.65 cm
Para un C1 = 30	t =	6.32 cm
Para un C1 = 40	t =	5.64 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
VEHÍCULOS  
POR DIA 400.00 veh/dia  
CLASE DE CARRETERA E  
CATEGORÍA I  
INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.7
ESPESOR (cm)	1.0	4.4

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.09

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	13.88 cm
Para un C1 = 20	t =	8.68 cm
Para un C1 = 30	t =	7.03 cm
Para un C1 = 40	t =	6.18 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS  
 POR DIA 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

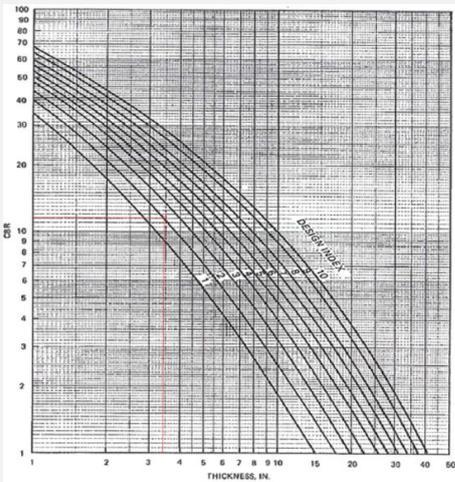
**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.09

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	3.4
ESPESOR (cm)	1.0	8.7

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	min 10.2	cm
---------	---	-------------	----



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

---

**PROVINCIA:** CAJATAMBO

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 60

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	9.82 cm
Para un C1 = 20	t =	6.76 cm
Para un C1 = 30	t =	5.71 cm
Para un C1 = 40	t =	5.16 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

---

**PROVINCIA:** CAJATAMBO

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DÍA 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

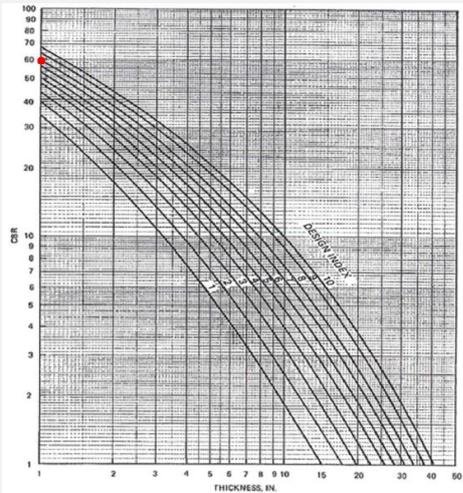
**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 60

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	0.0
ESPESOR (cm)	1.0	0.0

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 0.0 min cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:** EYES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 20

**FÓRMULA**

$$\text{Log } t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	12.34 cm
Para un C1 = 20	t =	7.98 cm
Para un C1 = 30	t =	6.55 cm
Para un C1 = 40	t =	5.81 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

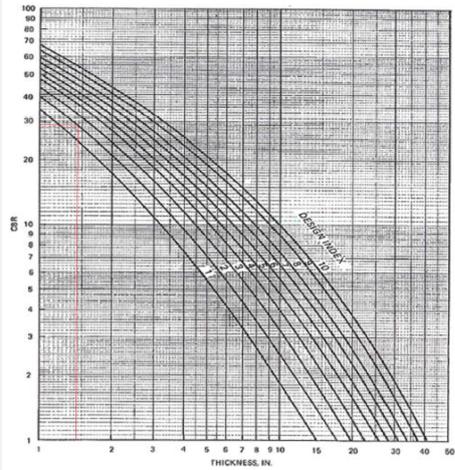
**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 20

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.1
ESPESOR (cm)	1.0	5.4

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	<div style="text-align: center;">min <b>10.2</b> cm</div>
---------	---	---



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:** EYES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 29

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.38 cm
Para un C1 = 20	t =	7.52 cm
Para un C1 = 30	t =	6.24 cm
Para un C1 = 40	t =	5.57 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

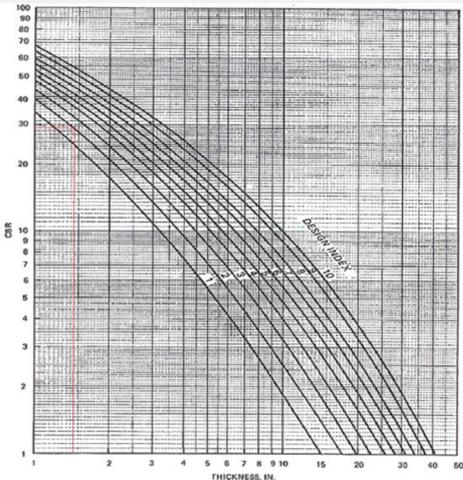
**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 29

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.5
ESPESOR (cm)	1.0	3.9

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	min <b>10.2</b> cm
---------	---	-----------------------



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"**

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 Ejes equivalentes: 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR subrasante (%): 27.29

**FÓRMULA**

$$\text{Log } t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.53 cm
Para un C1 = 20	t =	7.59 cm
Para un C1 = 30	t =	6.29 cm
Para un C1 = 40	t =	5.61 cm

(\*) Esta fórmula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"**

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA: 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA: E  
 CATEGORÍA: I  
 INDICE DE DISEÑO: 2.00

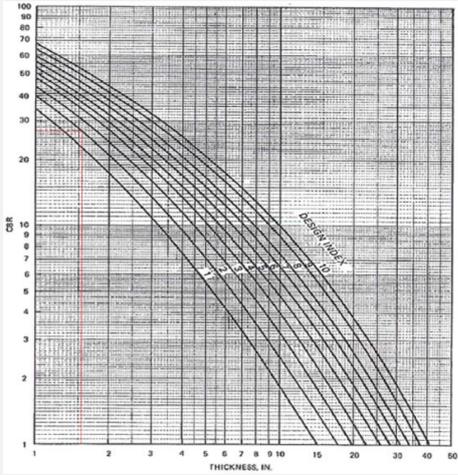
**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%): 27.29

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.6
ESPESOR (cm)	1.0	4.2

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	min <b>10.2</b> cm
---------	---	-----------------------



Fuente: Manual técnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 15.2

**FÓRMULA**

$$\text{Log } t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	13.14 cm
Para un C1 = 20	t =	8.35 cm
Para un C1 = 30	t =	6.80 cm
Para un C1 = 40	t =	6.01 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHICULOS 400.00 veh/dia  
 POR DIA  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

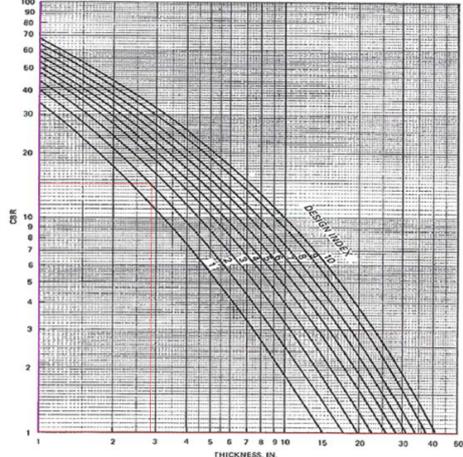
**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 15.2

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.9
ESPESOR (cm)	1.0	7.3

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:** Ejes equivalentes 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR subrasante (%) 17.4

**FÓRMULA**

$$\text{Log } t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	12.74 cm
Para un C1 = 20	t =	8.16 cm
Para un C1 = 30	t =	6.67 cm
Para un C1 = 40	t =	5.91 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DÍA 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

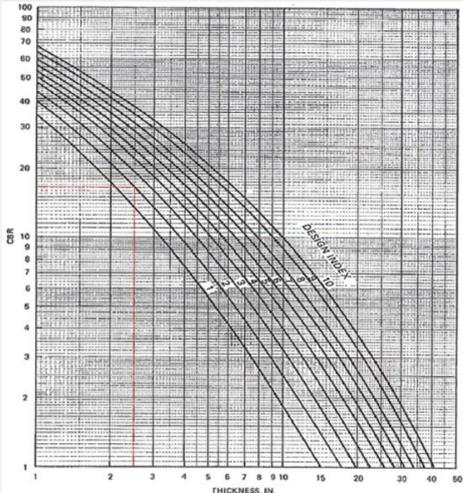
**DATOS DE SUELO:** CBR subrasante (%) 17.4

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.6
ESPESOR (cm)	1.0	6.5

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	<div style="display: inline-block; text-align: left;">             mín  <b>10.2</b> </div> cm
---------	---	---



Fuente: Manual técnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 16.7

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	12.86 cm
Para un C1 = 20	t =	8.22 cm
Para un C1 = 30	t =	6.71 cm
Para un C1 = 40	t =	5.94 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 16.7

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.7
ESPESOR (cm)	1.0	6.7

**MÉTODO USACE**

ESPESOR =  $\frac{m}{in}$  10.2 cm

The nomogram plots traffic volume (veh/dia) on the y-axis (log scale from 1 to 100) against pavement thickness in inches on the x-axis (log scale from 1 to 60). It includes curves for different CBR values and design indices. A vertical line is drawn at approximately 10.2 inches thickness, and a horizontal line is drawn at 400 veh/dia, intersecting the curves.

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 31

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.22 cm
Para un C1 = 20	t =	7.44 cm
Para un C1 = 30	t =	6.18 cm
Para un C1 = 40	t =	5.53 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

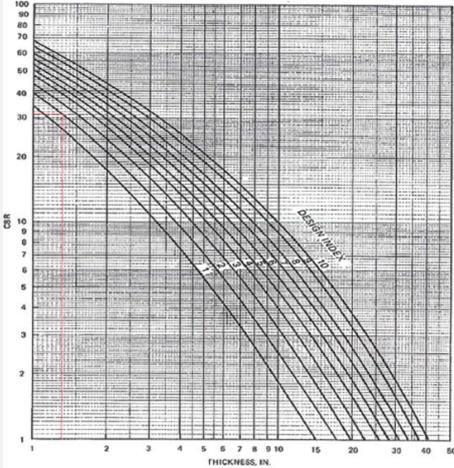
**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 31

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.4
ESPESOR (cm)	1.0	3.6

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = min **10.2** cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:** EYES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 10.5

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	14.37 cm
Para un C1 = 20	t =	8.90 cm
Para un C1 = 30	t =	7.17 cm
Para un C1 = 40	t =	6.30 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

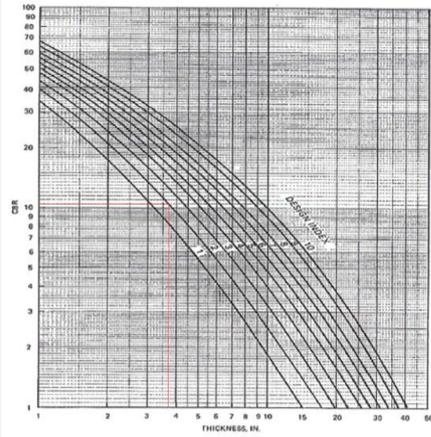
Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>	
VEHÍCULOS POR DIA	<u>400.00</u> veh/dia
CLASE DE CARRETERA	<u>E</u>
CATEGORÍA	<u>I</u>
INDICE DE DISEÑO	<u>2.00</u>
<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	<u>10.5</u>
<b>RESULTADOS</b>	
	CURVAS      ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0      3.8
ESPESOR (cm)	1.0      9.6
<b>MÉTODO USACE</b>	
ESPESOR	= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">10.2</span> <sup>min</sup> cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)



14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima "*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 41.67

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
t = Espesor de afirmado (cm)  
C1 = CBR del afirmado (%)  
C2 = CBR de la subrasante (%)  
R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	10.55 cm
Para un C1 = 20	t =	7.12 cm
Para un C1 = 30	t =	5.96 cm
Para un C1 = 40	t =	5.36 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima "*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
CLASE DE CARRETERA E  
CATEGORÍA 1  
INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 41.67

**RESULTADOS**

CURVAS	ESPESOR
1.0	0.0
1.0	0.0

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 0.0 cm

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 50

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	10.17 cm
Para un C1 = 20	t =	6.93 cm
Para un C1 = 30	t =	5.83 cm
Para un C1 = 40	t =	5.25 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHICULOS  
 POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 50

**RESULTADOS**

CURVAS	ESPESOR
1.0	0.0
1.0	0.0

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 0.0 min cm

Fuente:Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 25.71

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	11.68 cm
Para un C1 = 20	t =	7.66 cm
Para un C1 = 30	t =	6.33 cm
Para un C1 = 40	t =	5.65 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 25.71

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.7
ESPESOR (cm)	1.0	4.4

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	10.87 cm
Para un C1 = 20	t =	7.28 cm
Para un C1 = 30	t =	6.07 cm
Para un C1 = 40	t =	5.44 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	1.2
ESPESOR (cm)	1.0	3.0

**MÉTODO USACE**

ESPESOR	=	mín <b>10.2</b> cm
---------	---	-----------------------

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 16

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	12.99 cm
Para un C1 = 20	t =	8.28 cm
Para un C1 = 30	t =	6.75 cm
Para un C1 = 40	t =	5.97 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS  
 POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

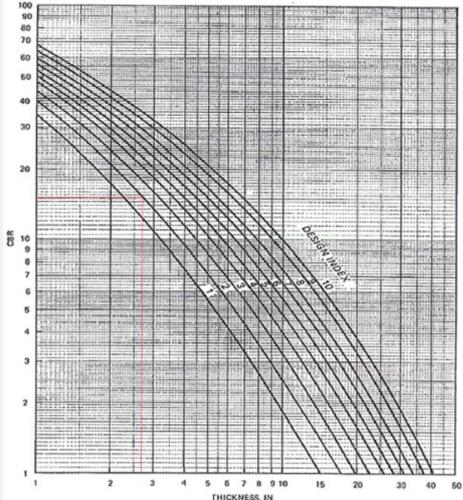
**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 16

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.8
ESPESOR (cm)	1.0	7.0

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 12.1

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	13.88 cm
Para un C1 = 20	t =	8.68 cm
Para un C1 = 30	t =	7.03 cm
Para un C1 = 40	t =	6.18 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS  
 POR DÍA 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.1

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	3.5
ESPESOR (cm)	1.0	8.8

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm

The nomogram plots traffic volume (log scale, 10,000 to 100,000) against CBR (log scale, 1 to 100) and thickness (log scale, 1 to 100). A vertical line is drawn at a traffic volume of 100,000. A horizontal line is drawn at a CBR of 12.1. The intersection of these lines falls on the curve for a design index of 2.00. From this point, a horizontal line is drawn to the right axis, indicating a required thickness of 10.2 cm.

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:** Ejes equivalentes 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR subrasante (%) 15.27

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	13.13 cm
Para un C1 = 20	t =	8.34 cm
Para un C1 = 30	t =	6.80 cm
Para un C1 = 40	t =	6.01 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/día  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

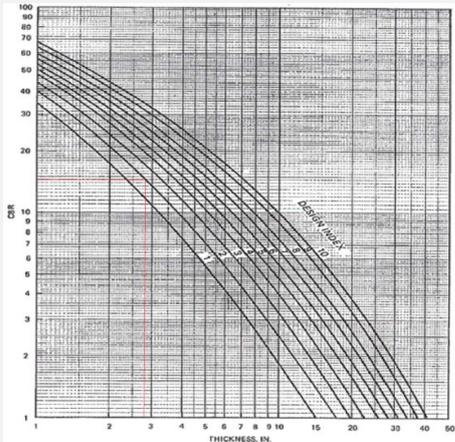
**DATOS DE SUELO:** CBR subrasante (%) 15.27

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	2.9
ESPESOR (cm)	1.0	7.3

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 min cm



Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:** EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 11

**FÓRMULA**

$$\text{Log}t = 1.7054 \times \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} \times C_2^{0.1423}}$$

Donde:  
 t = Espesor de afirmado (cm)  
 C1 = CBR del afirmado (%)  
 C2 = CBR de la subrasante (%)  
 R = Repeticiones de cargas (EE)

Para un C1 = 10	t =	14.20 cm
Para un C1 = 20	t =	8.83 cm
Para un C1 = 30	t =	7.12 cm
Para un C1 = 40	t =	6.26 cm

(\*) Esta formula toma en cuenta 2" de ahuellamiento

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO USACE**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 VEHÍCULOS POR DIA 400.00 veh/dia  
 CLASE DE CARRETERA E  
 CATEGORÍA I  
 INDICE DE DISEÑO 2.00

**DATOS DE SUELO:** CBR SUBRASANTE (%) 11

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR
ESPESOR (pulg)	1.0	3.7
ESPESOR (cm)	1.0	9.3

**MÉTODO USACE**

ESPESOR = 10.2 cm

Fuente: Manual tecnico TM 5-822-12

Fuente: Elaboración propia (2017)

## ANEXO 12

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO PELTIER

1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

**Expediente tecnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco , distrito de Supe-Barranca-Lima"**

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE VEHICULOS POR DIA 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 25

**RESULTADOS**

INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS	CURVAS	ESPESOR (cm)
	N = 500	18.5
	N = 300	16.1

INTERPOLACIÓN	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
	500.0	18.5
	400.0	x
	300.0	16.1

**MÉTODO PELTIER**

ESPESOR
=
17.3
cm

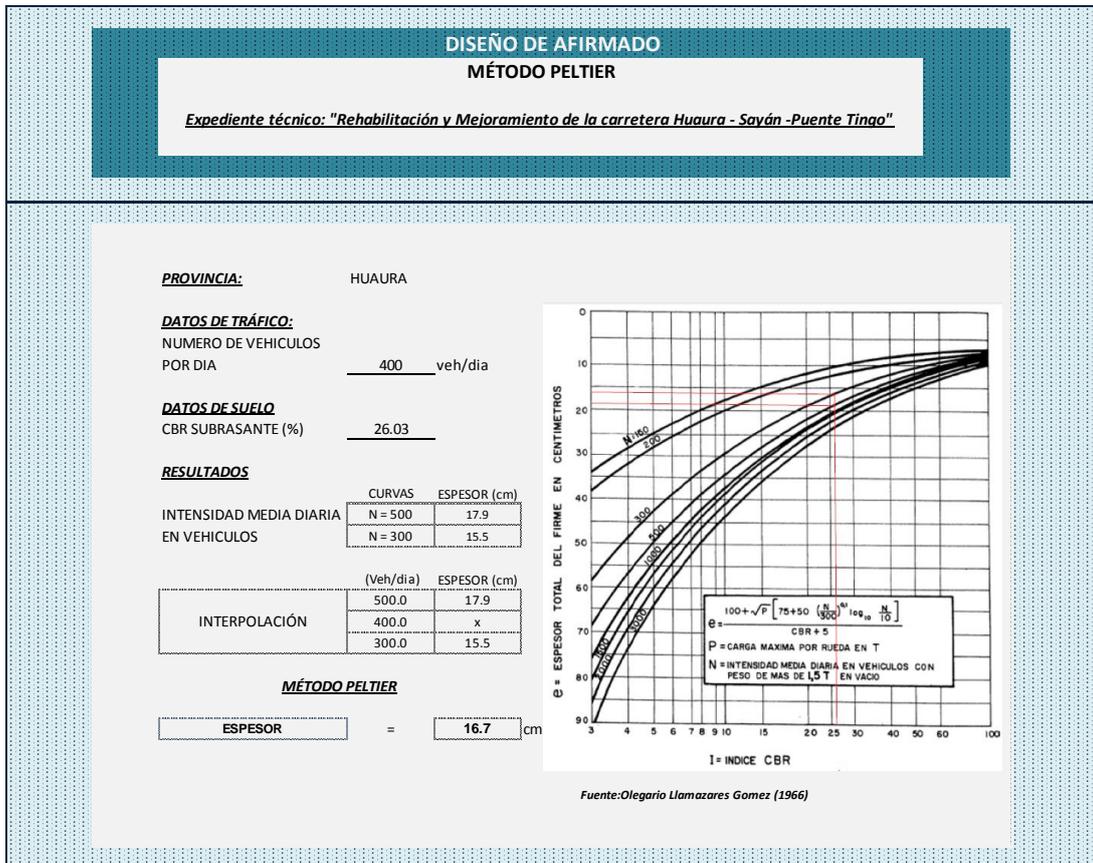
$$G = 100 + \sqrt{P \left[ 75 + 50 \left( \frac{N}{300} \right)^{0.4} \left( \frac{N}{100} \right)^{1.0} \right]}$$

P = CARGA MAXIMA POR RUEDA EN T  
 N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MAS DE 1,5 T EN VACIO

Fuente:Olegario Llamazares Gomez (1966)

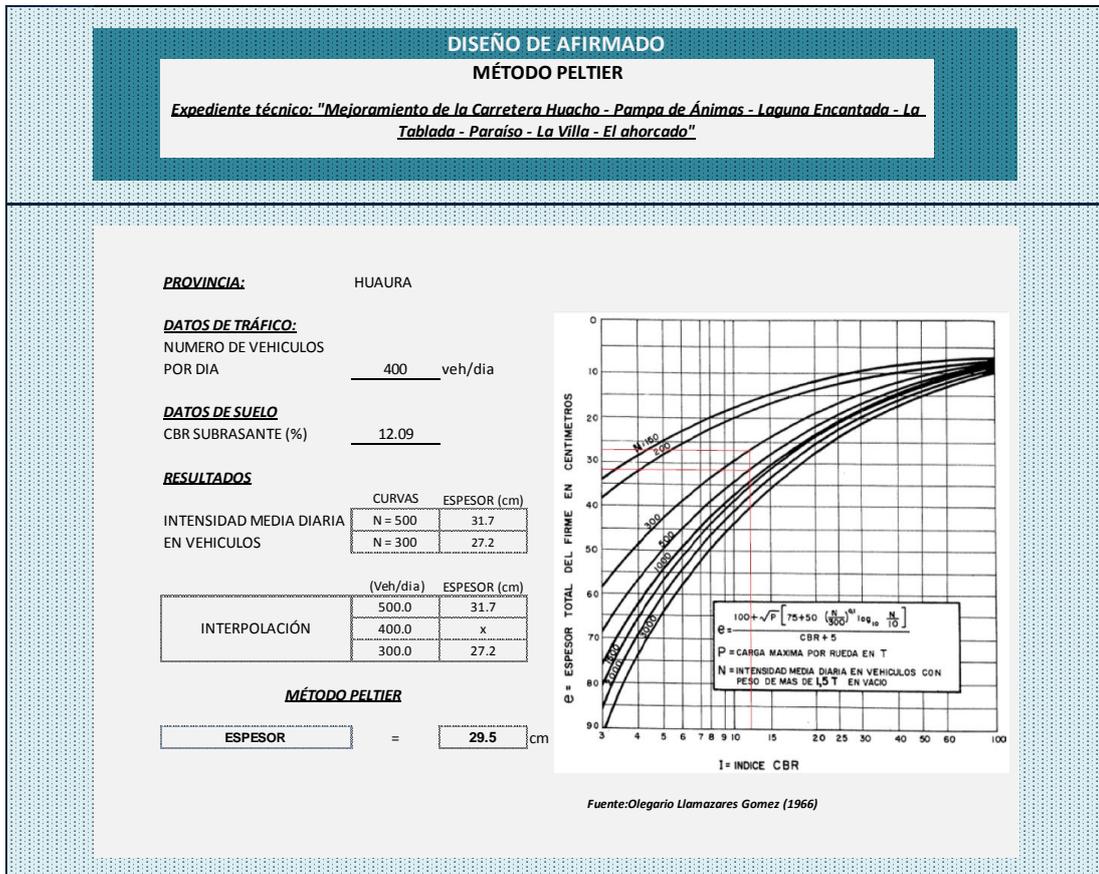
Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”



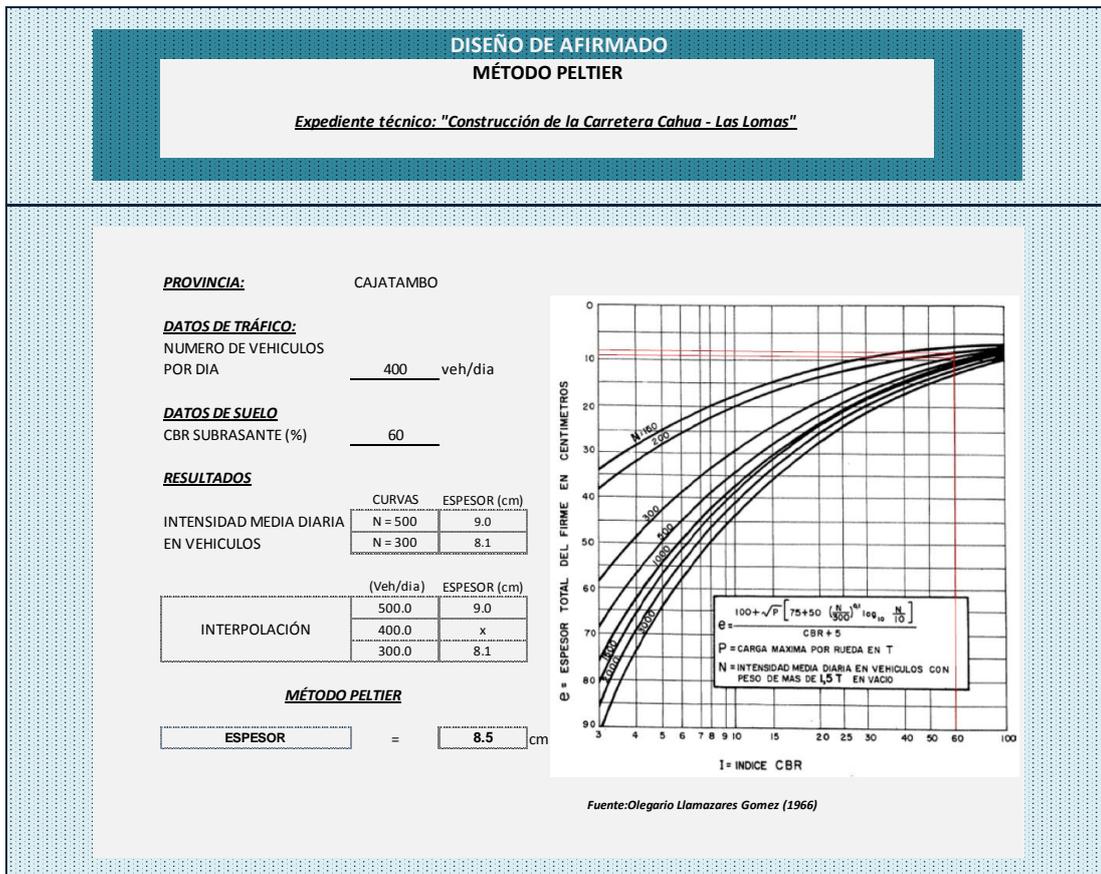
Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”



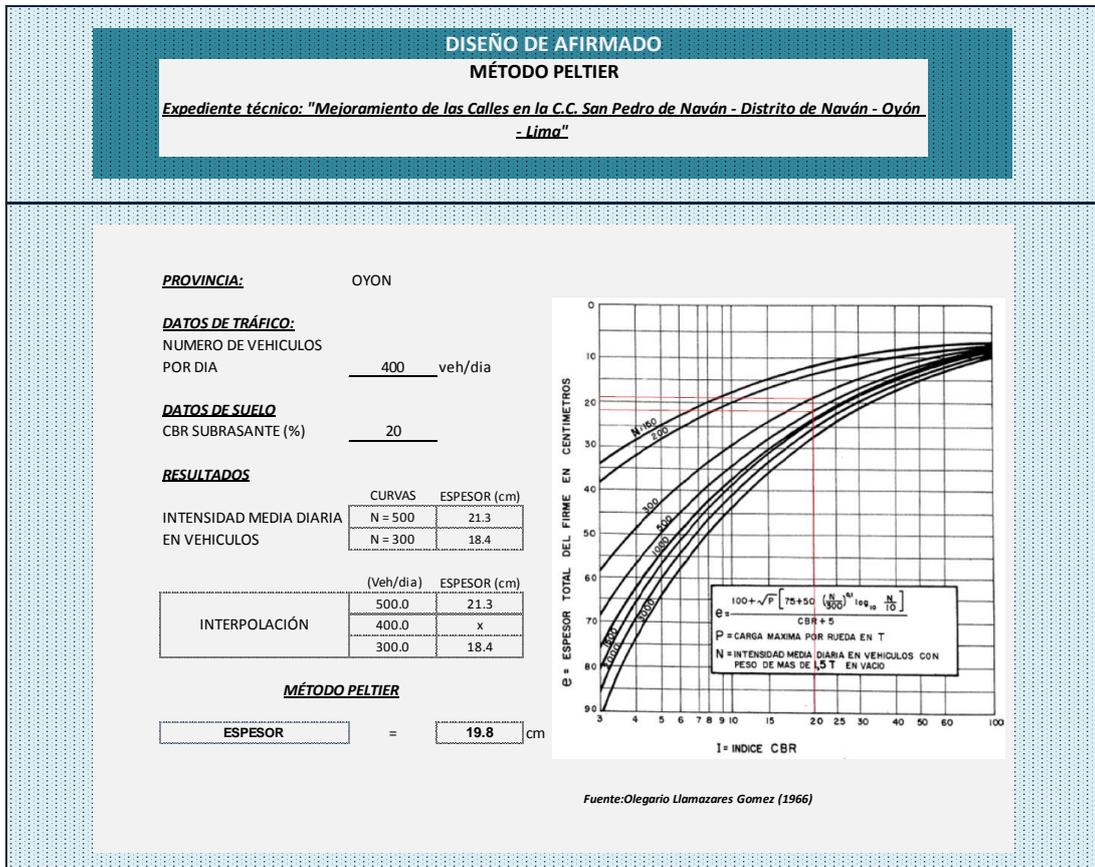
Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas”



Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

**PROVINCIA:** OYON

**DATOS DE TRÁFICO:**  
NUMERO DE VEHICULOS POR DIA 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 29

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS	N = 500	16.8
	N = 300	14.6

	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	500.0	16.8
	400.0	x
	300.0	14.6

**MÉTODO PELTIER**

ESPESOR = **15.7** cm

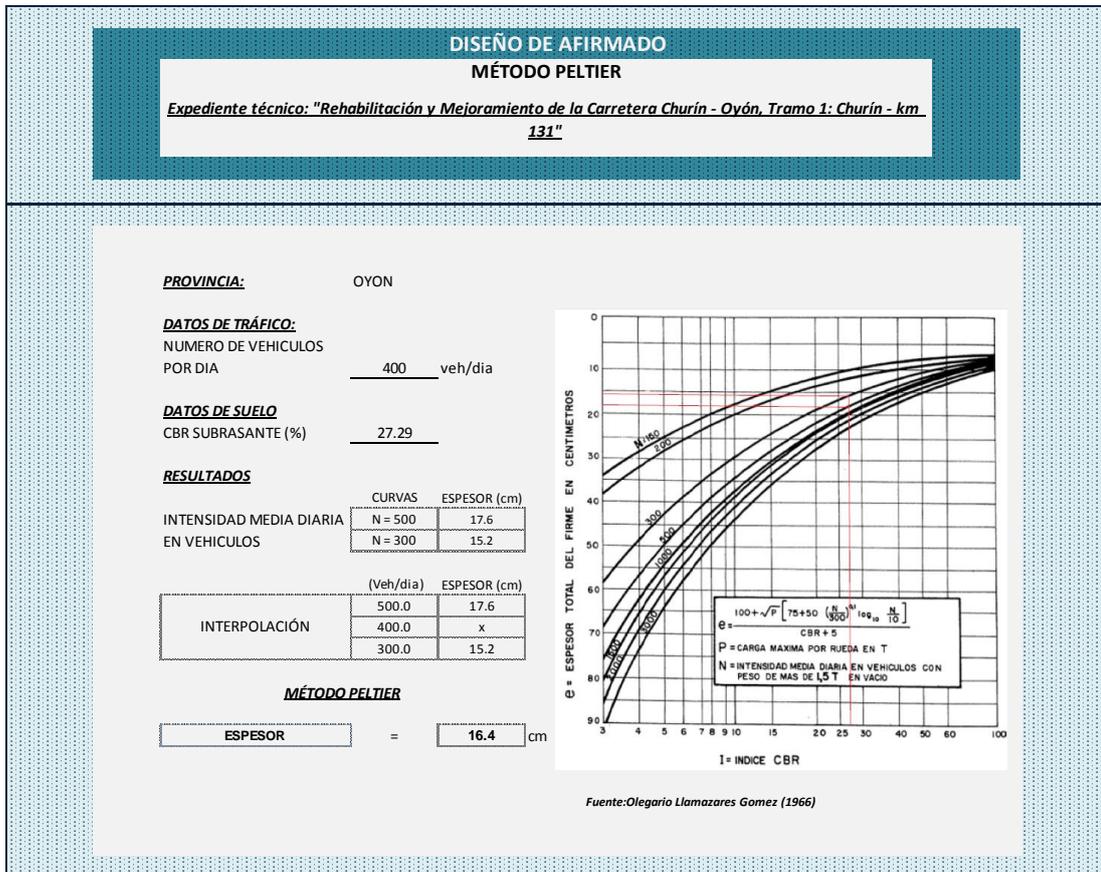
$$e = \frac{100 + \sqrt{F}}{75 + 50} \left[ \frac{P}{300} \right]^{0.5} \left[ \frac{N}{10} \right]$$

P = CARGA MAXIMA POR RUEDA EN T  
 N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MAS DE 1.5 T EN VACO

Fuente: Olegario Llamazares Gomez (1966)

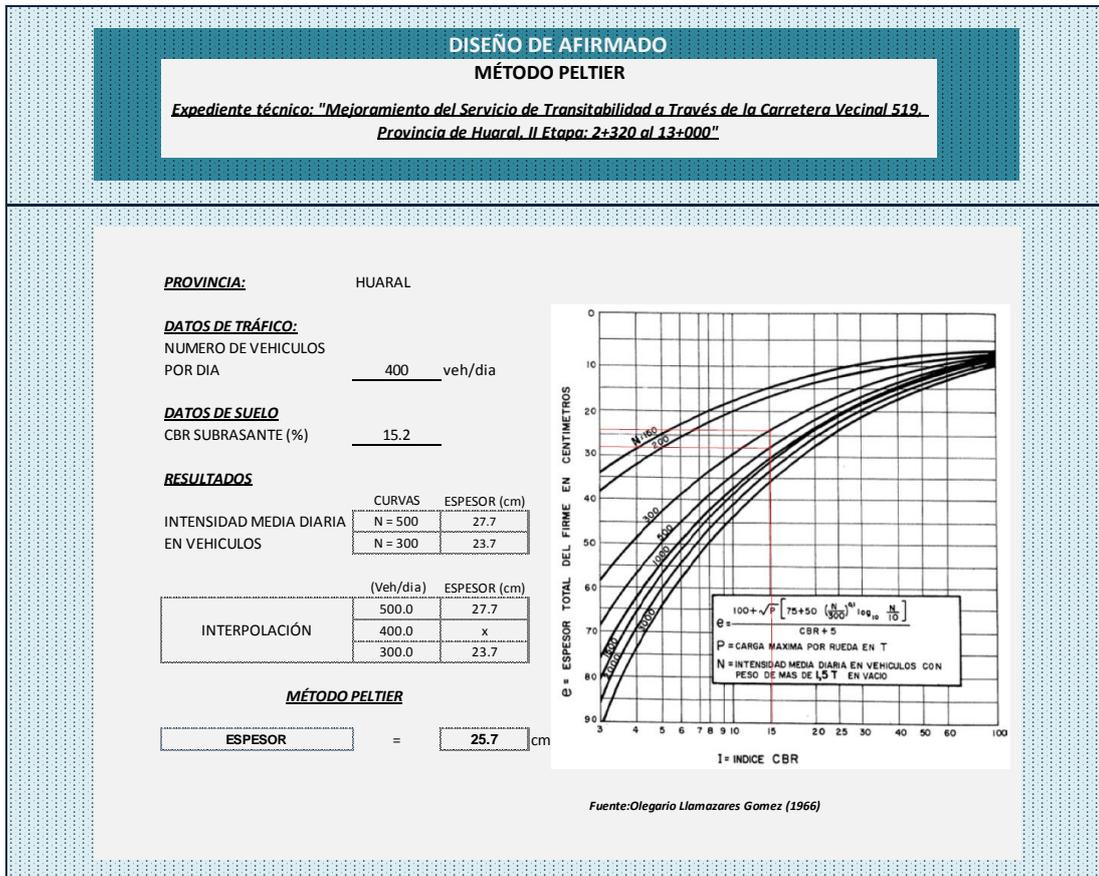
Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131”



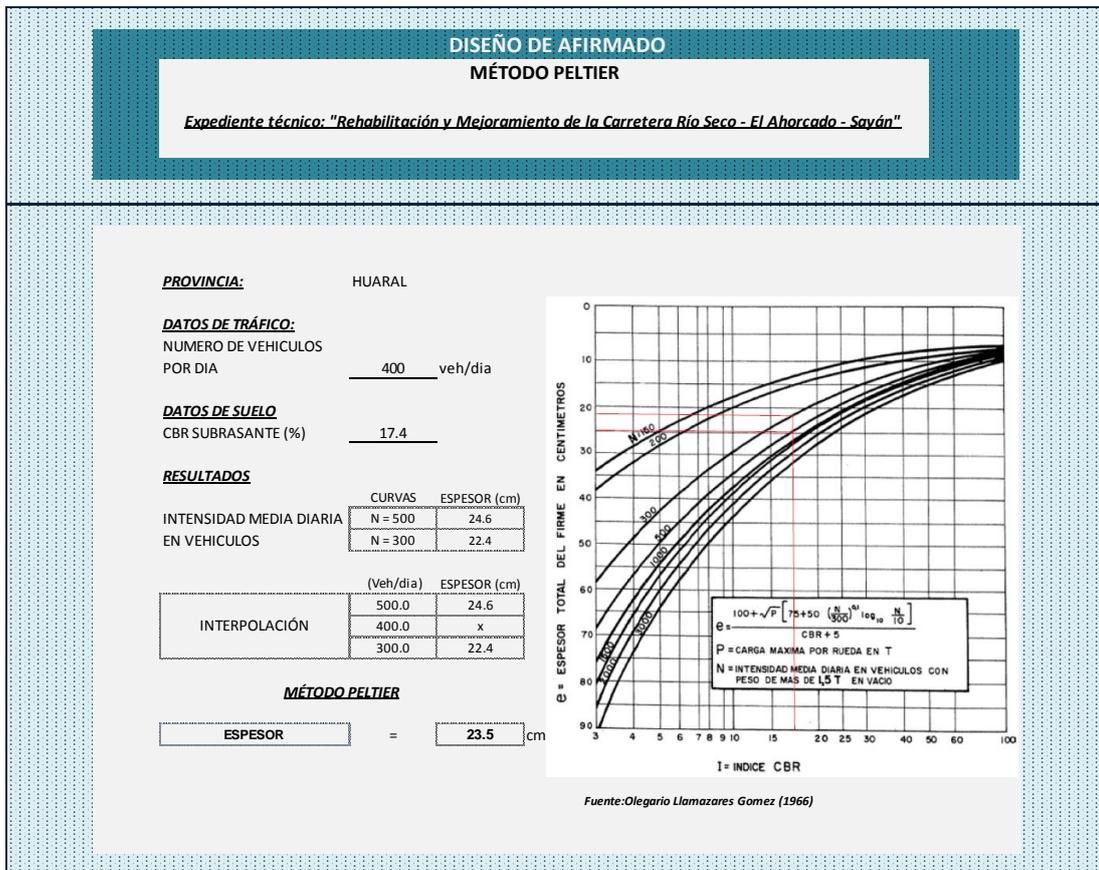
Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”



Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”



Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
NUMERO DE VEHICULOS POR DIA 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 16.7

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS	N = 500	22.0
	N = 300	25.6

	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	500.0	22.0
	400.0	x
	300.0	25.6

**MÉTODO PELTIER**

ESPESOR = **23.8** cm

$$E = \frac{100 + \sqrt{P}}{CBR + 5} \left[ \frac{75 + 50}{1000} \left( \frac{N}{10} \right)^{0.4} \right]$$

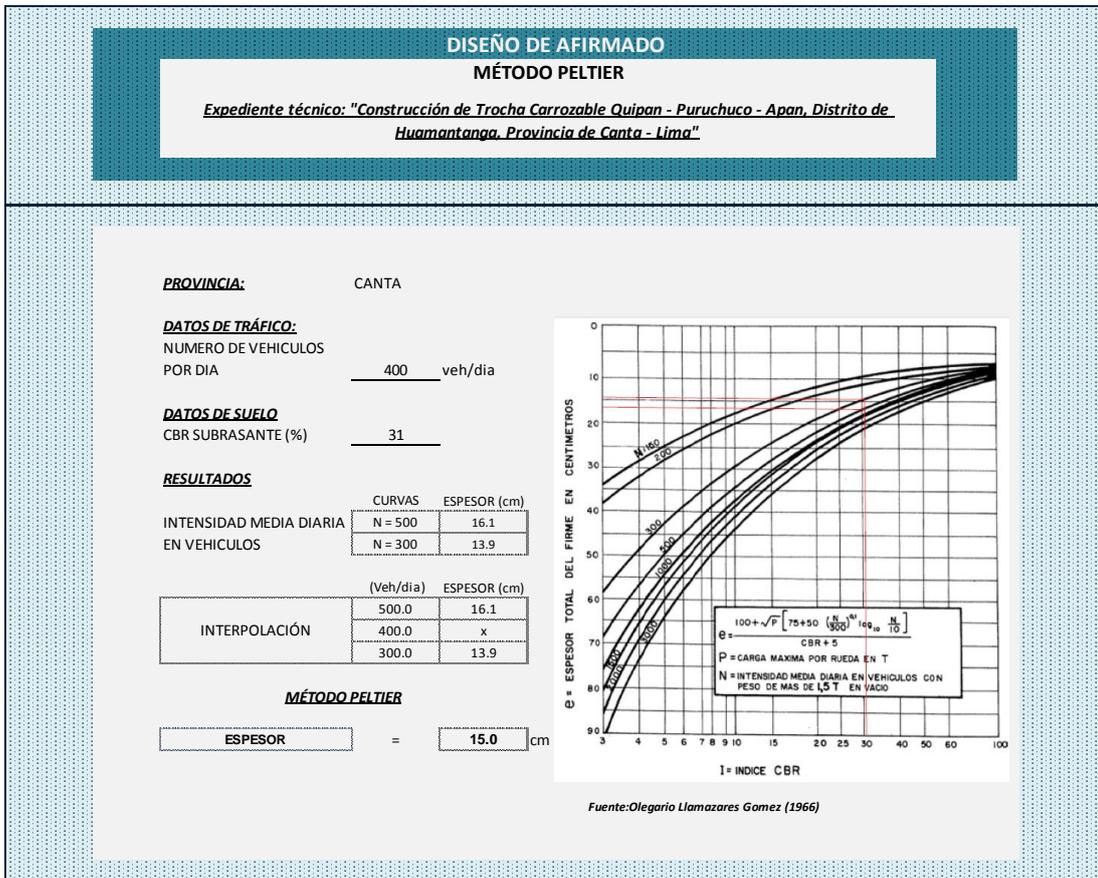
P = CARGA MÁXIMA POR RUEDA EN T  
N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MÁS DE 1,5 T EN VACÍO

I = ÍNDICE CBR

Fuente: Olegario Llamazares Gomez (1966)

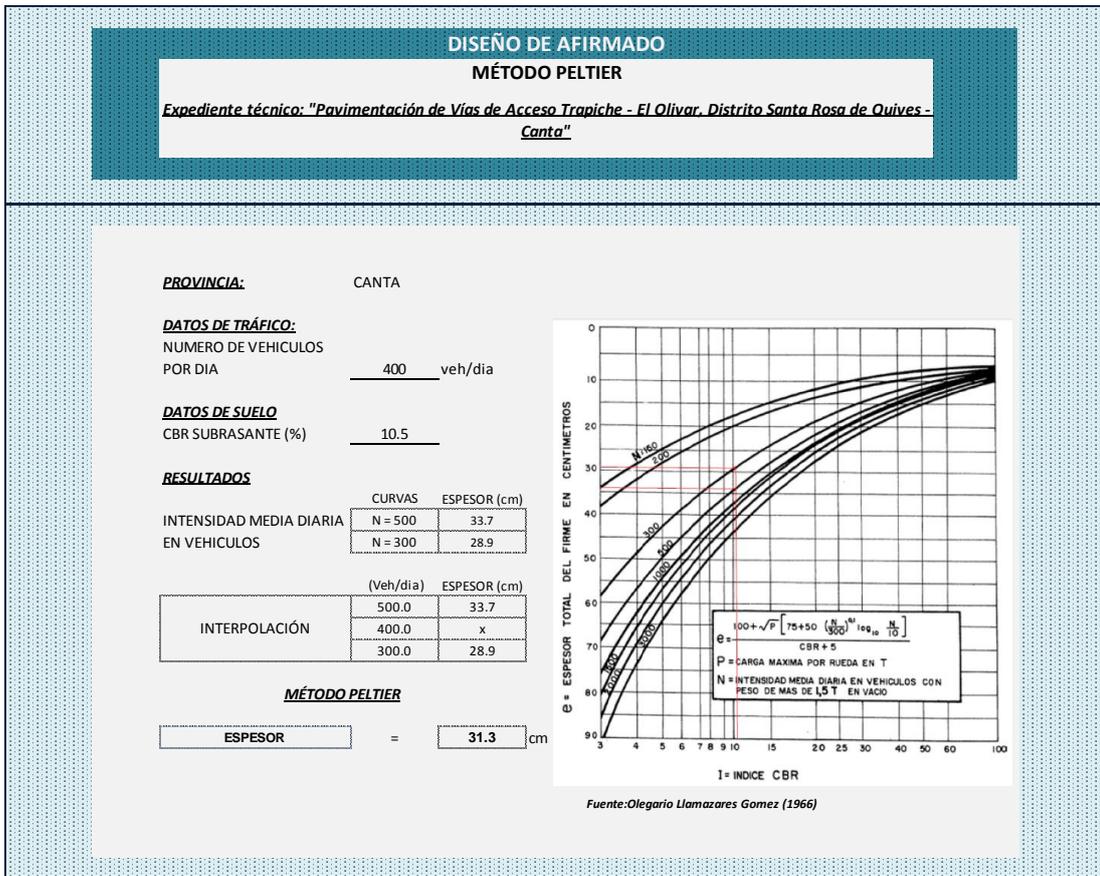
Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”



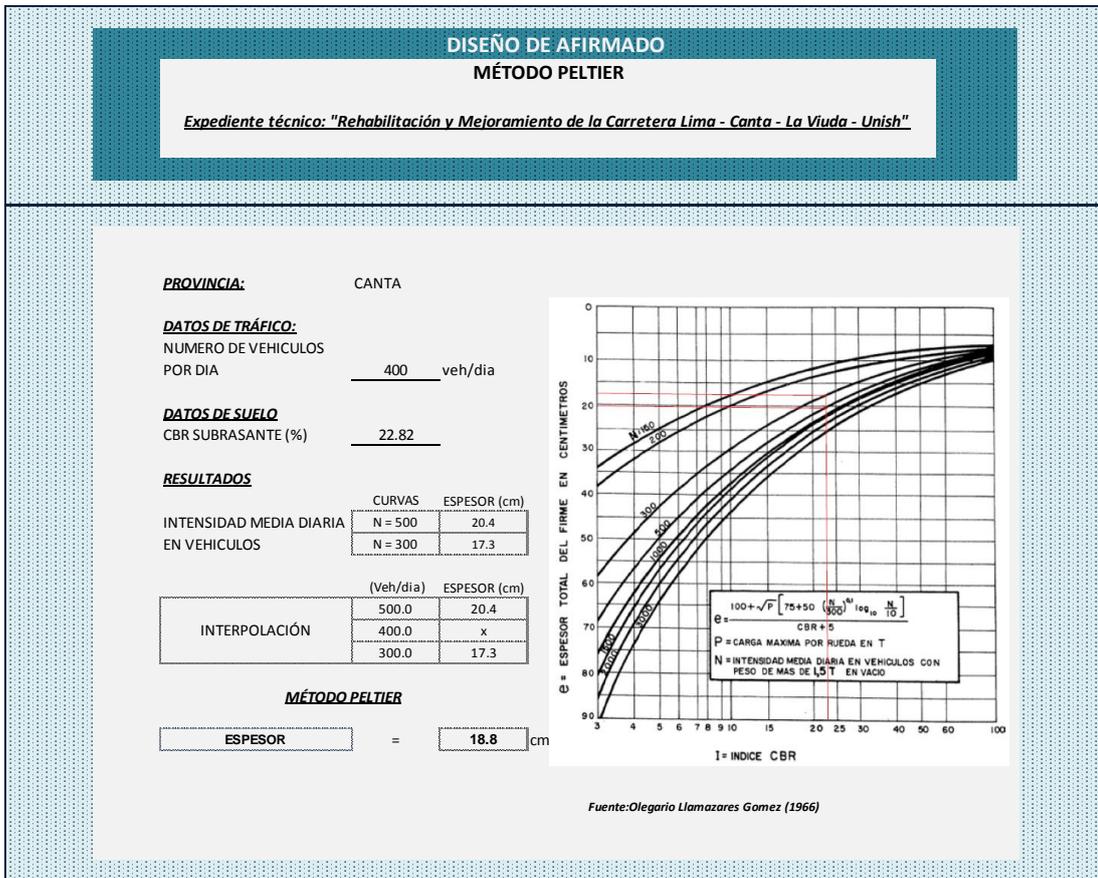
Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”



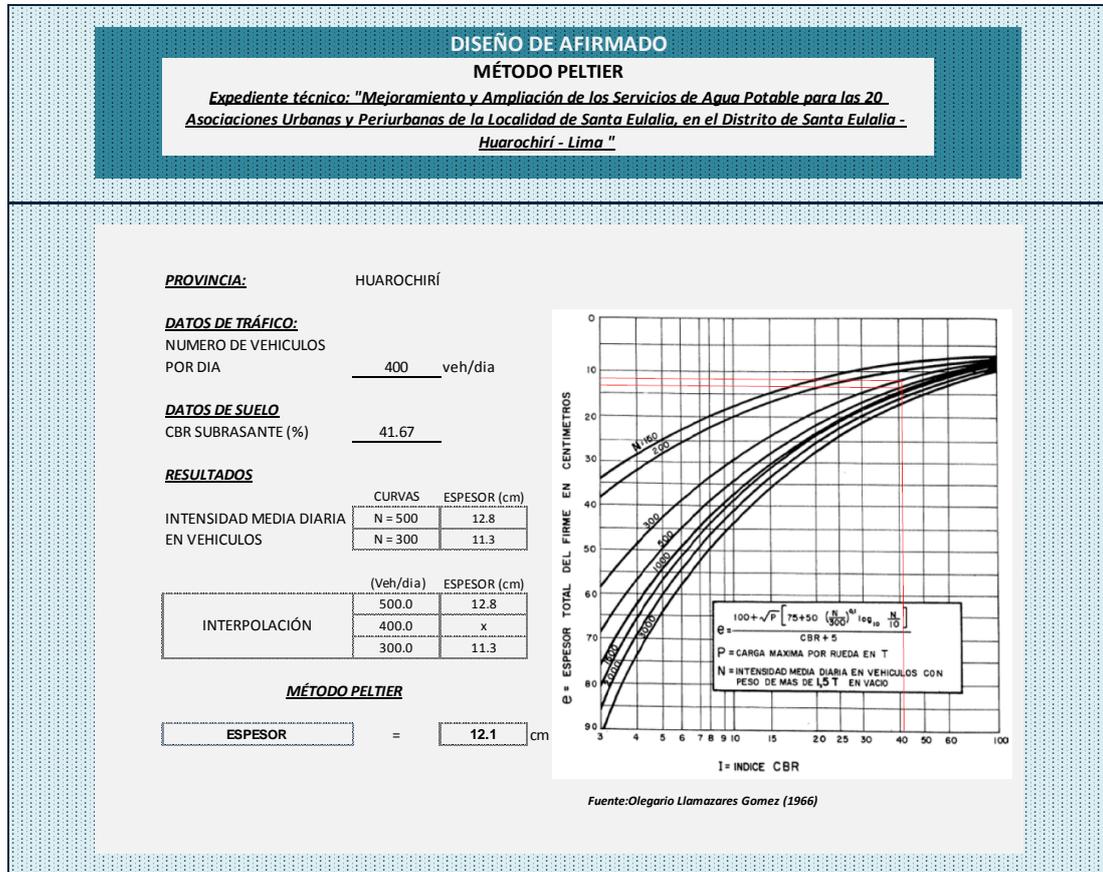
Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”



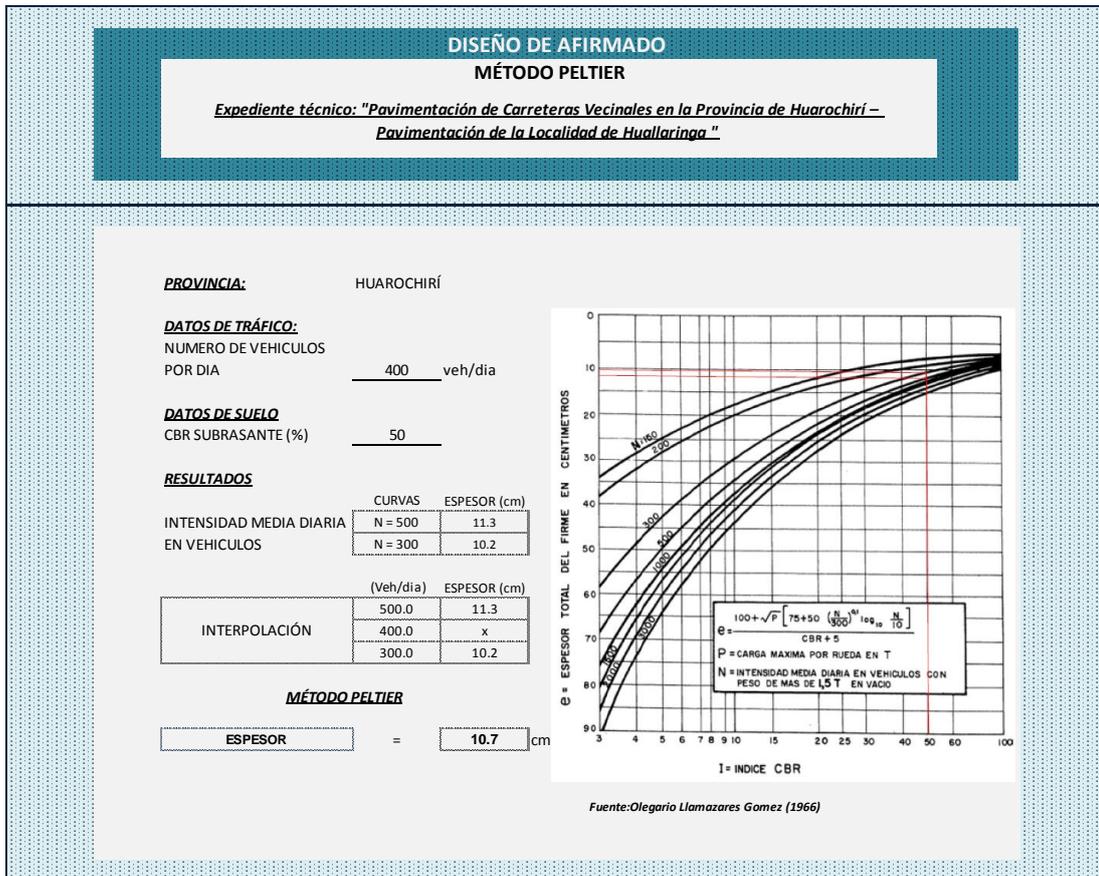
Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”



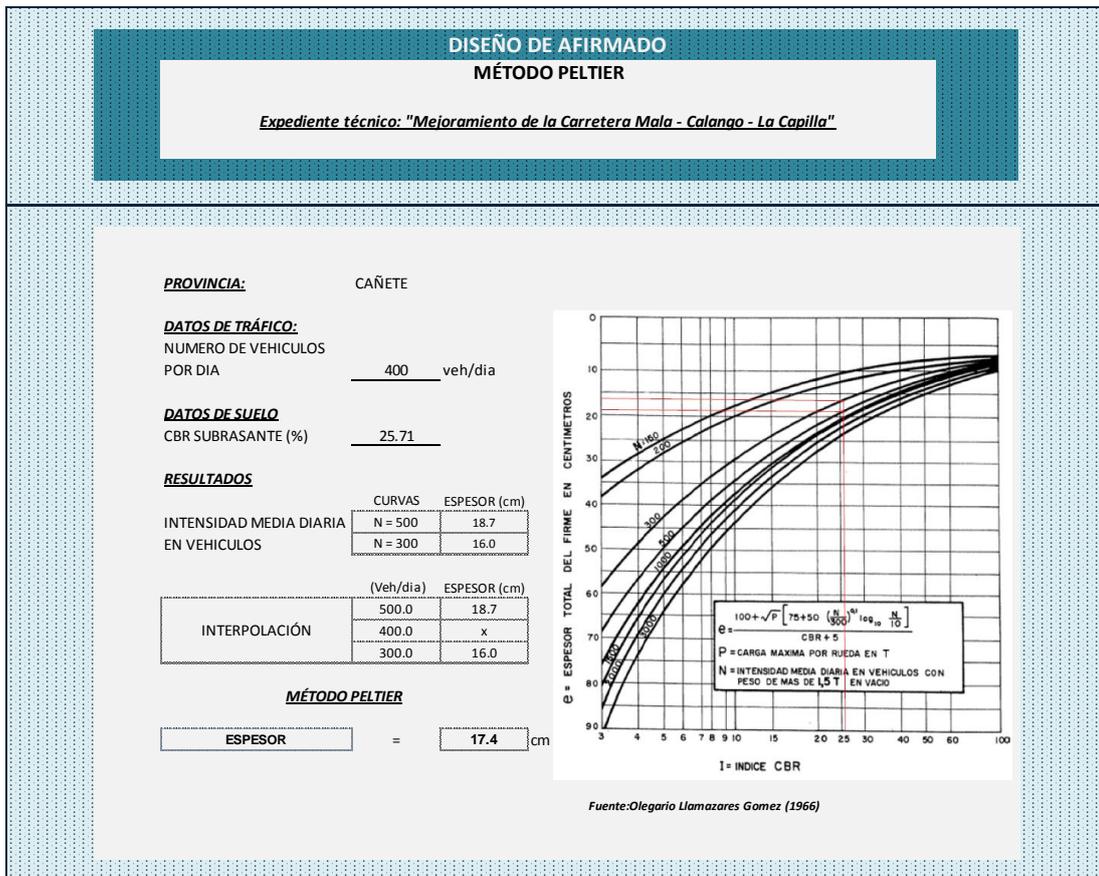
Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”



Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla”



Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE VEHICULOS POR DIA 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**RESULTADOS**

CURVAS	ESPESOR (cm)	
	N = 500	15.0
N = 300	12.5	

INTERPOLACIÓN	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
		500.0
	400.0	x
	300.0	12.5

**MÉTODO PELTIER**

ESPESOR	=	13.8	cm
---------	---	------	----

$$e = \frac{100 + \sqrt{P}}{CBR + 5} \left[ 75 + 50 \left( \frac{N}{300} \right)^{1.5} + 15 \left( \frac{N}{10} \right) \right]$$

P = CARGA MÁXIMA POR RUEDA EN T  
 N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MAS DE 15 T EN VACIO

Fuente: Olegario Llamazares Gomez (1966)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE VEHICULOS POR DIA: 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%): 16

**RESULTADOS**

INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS	CURVAS	ESPESOR (cm)
	N = 500	
N = 300		23.0

INTERPOLACIÓN	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
	500.0	26.6
	400.0	x
	300.0	23.0

**MÉTODO PELTIER**

**ESPESOR** = **24.8** cm

$$e = \frac{100 + \sqrt{P}}{75 + 50 \left( \frac{N}{300} \right)^{1.5} \left( \frac{I}{10} \right)^{0.5}}$$

P = CARGA MÁXIMA POR RUEDA EN T  
 N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MAS DE 1.5 T EN VACIO  
 CBR + 5

I = INDICE CBR

Fuente: Olegario Llamazares Gomez (1966)

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO PELTIER**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE VEHICULOS POR DIA: 400 veh/dia

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%): 12.1

**RESULTADOS**

	CURVAS	ESPESOR (cm)
INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS	N = 500	31.7
	N = 300	27.0

	(Veh/dia)	ESPESOR (cm)
INTERPOLACIÓN	500.0	31.7
	400.0	x
	300.0	27.0

**MÉTODO PELTIER**

ESPESOR = **29.3** cm

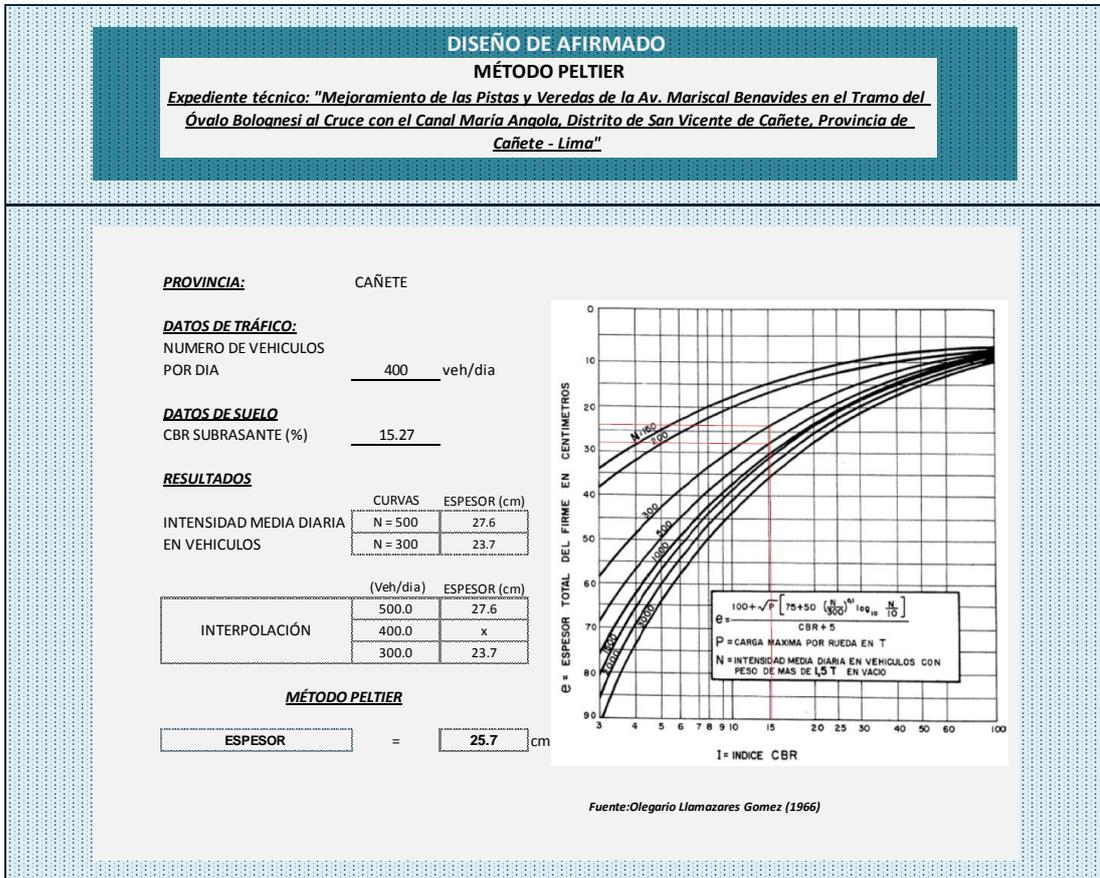
$$G = \frac{100 + \sqrt{P} \left[ 75 + 50 \left( \frac{N}{300} \right)^{1.09} \left( \frac{N}{10} \right) \right]}{CBR + 5}$$

P = CARGA MÁXIMA POR RUEDA EN T  
 N = INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN VEHICULOS CON PESO DE MAS DE 1,5 T EN VACIO

Fuente: Olegario Llamazares Gomez (1966)

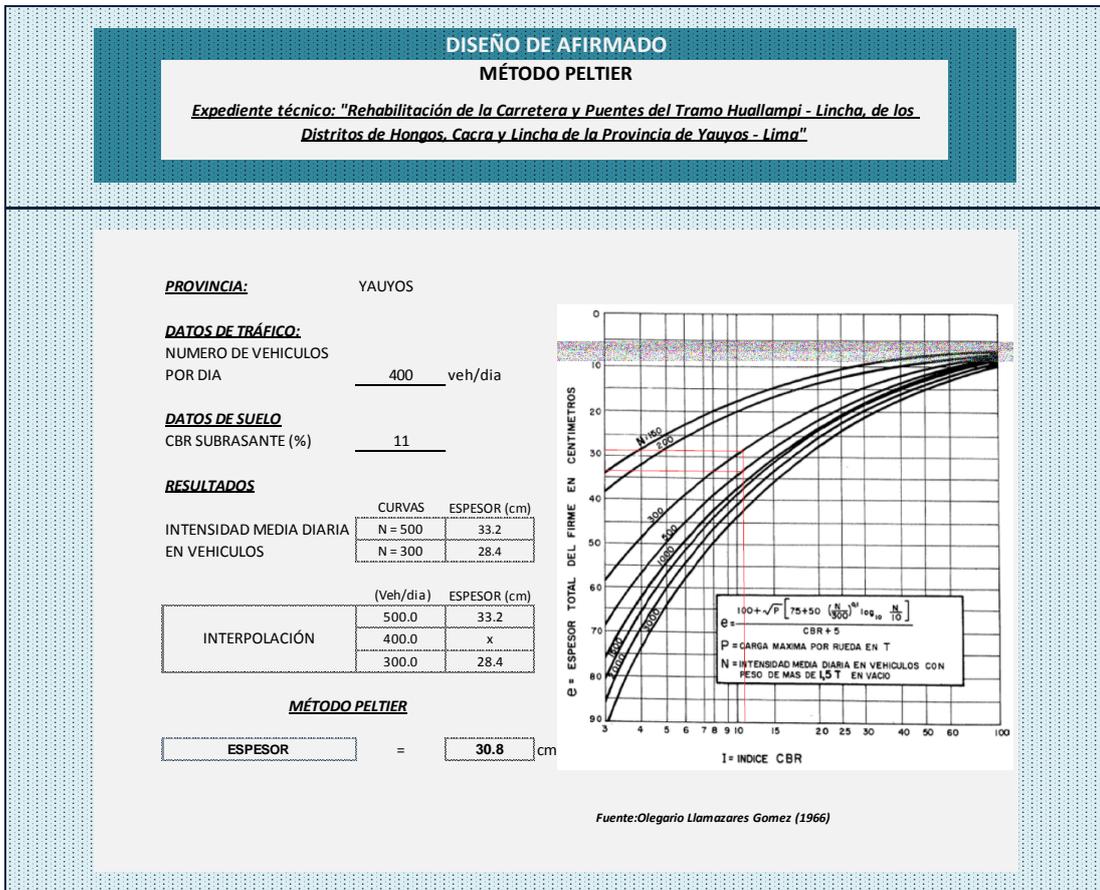
Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 13

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO AASHTO

1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES: 100,000.00 EE  
EJES EQUIVALENTES: 100.00 EE (miles)  
NÚMERO DE CAMIONES: 14.60 LT  
CARGADOS (MILES)  
**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%): 25

**DATOS DEL AGREGADO**  
MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs): 30000  
AHUELLAMIENTO: 2 pulg.  
CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD: 2 PSI  
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL): **GL = 0.12+0.1223\*(LT)**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterio de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)		(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18		(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	
(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	20000	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	249927.22	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	0.00
(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	30000		2518.24		32356.32
(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$			15612.33		0.00
Invierno (Helado)	20000		66666.67		0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500		249927.22		3573.41
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000		249927.22		12553.44
Verano (Seco)	20000		66666.67		32356.32
<b>Tráfico Total =</b>	<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO MÉTODO AASHTO

***Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"***

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)/PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)/AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18

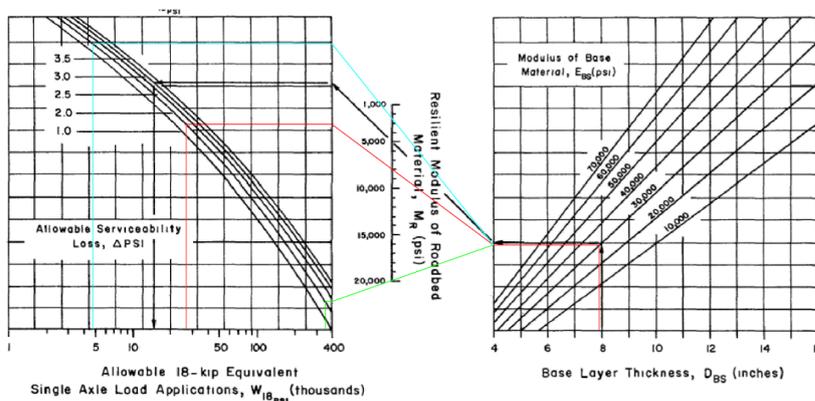


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

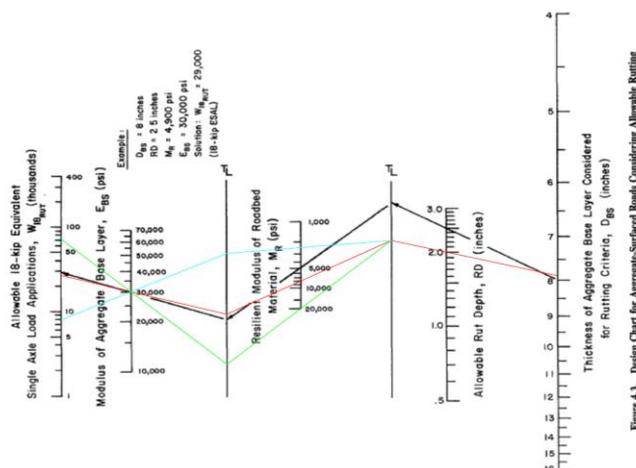


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO MÉTODO AASHTO

***Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"***

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)/PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)/AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24

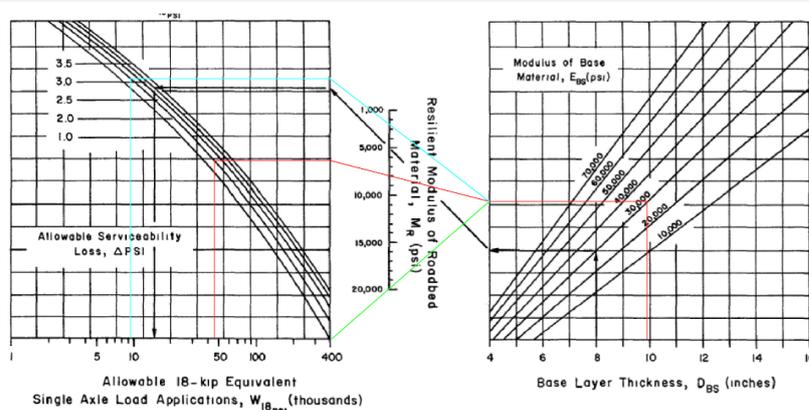


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

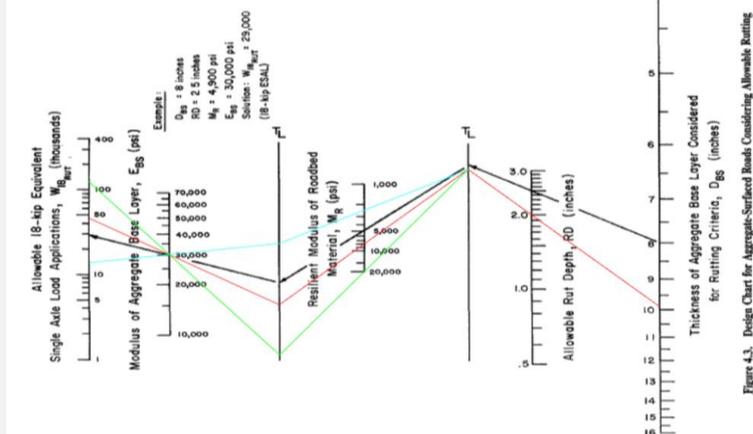


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Road Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

***Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"***

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)/PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18) AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

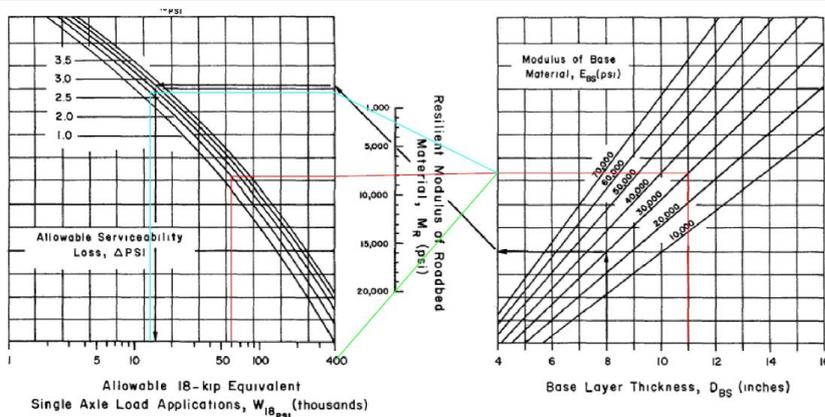


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

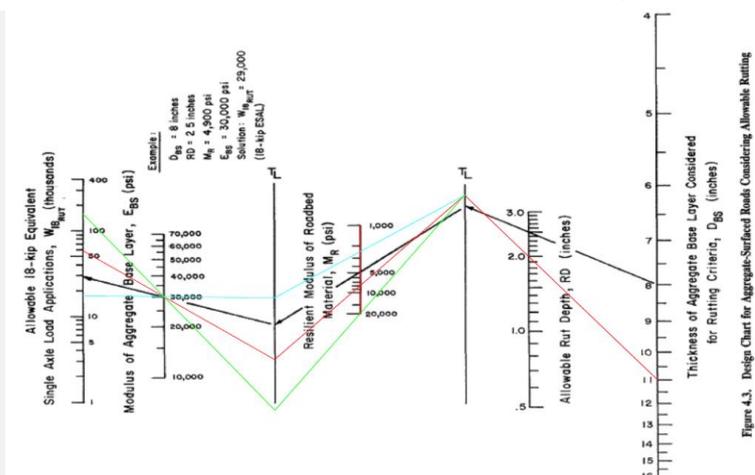


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

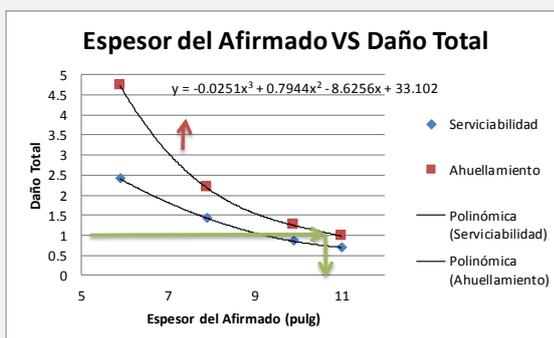
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente tecnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
<b>5.90</b>	2.40	4.72
<b>7.90</b>	1.42	2.18
<b>9.90</b>	0.86	1.24
<b>11.00</b>	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DbS  pulg  
 PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)  pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7 pulg

#### MÉTODO AASHTO

=  cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Saván -Puente Tingo"*

<b>PROVINCIA:</b>	HUAURA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES	<u>100,000.00</u> EE	AHUPELLAMIENTO <u>2</u> pulg
EJES EQUIVALENTES	<u>100.00</u> EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES	<u>14.60</u> LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%)	<u>26.03</u>	

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, AP SI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUPELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUPELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
			<b>Tráfico Total = 100000.00</b>	<b>Daño Total = 2.40</b>		<b>Daño Total = 4.72</b>	

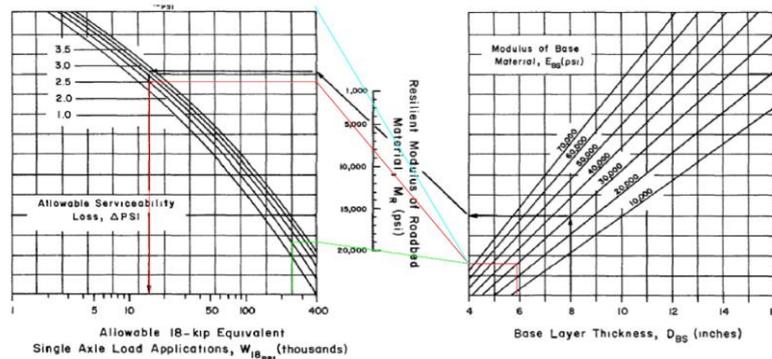


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

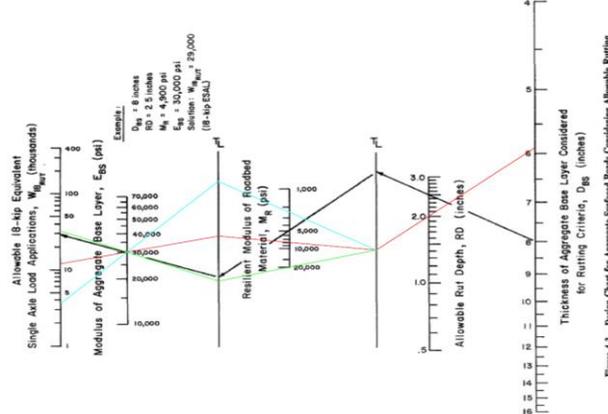


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Saván - Puente Tingo"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

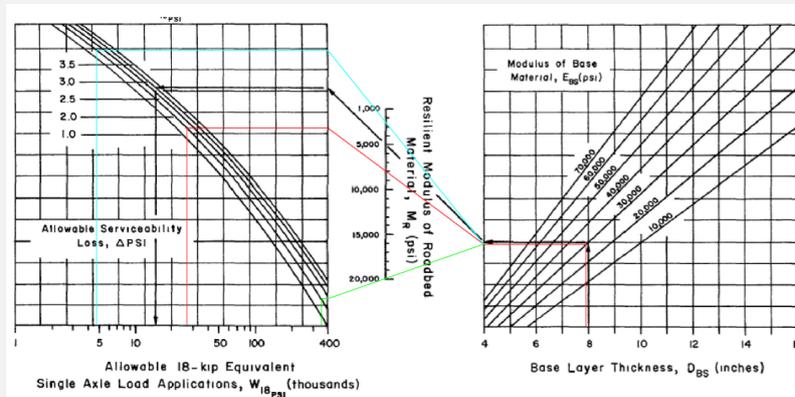


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

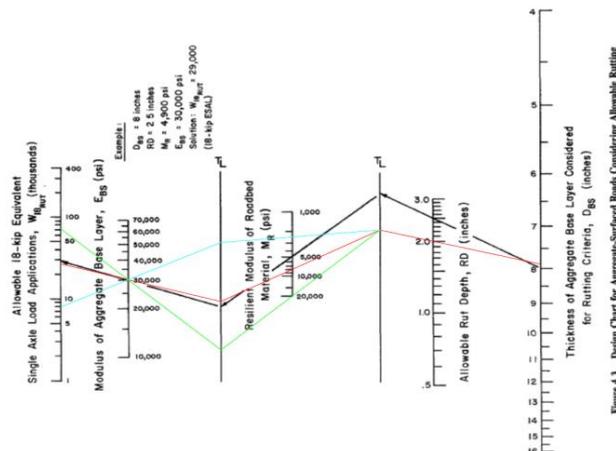


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Saván -Puente Tingo"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

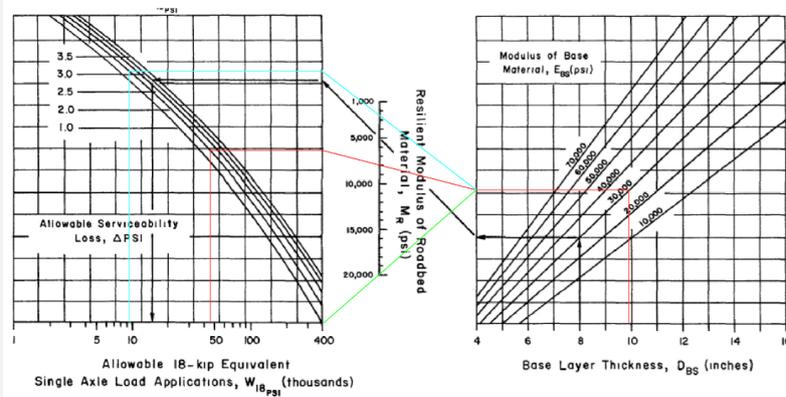


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

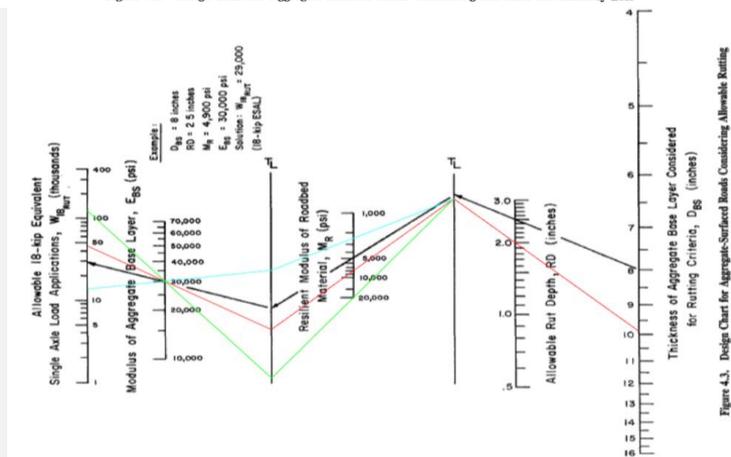


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Saván -Puente Tingo"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

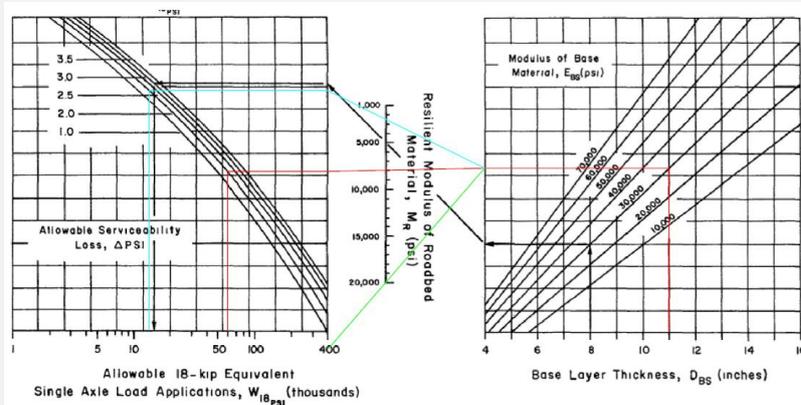


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

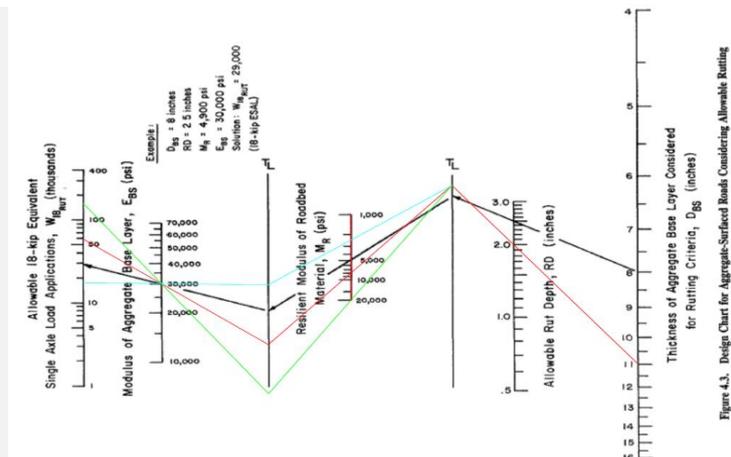


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

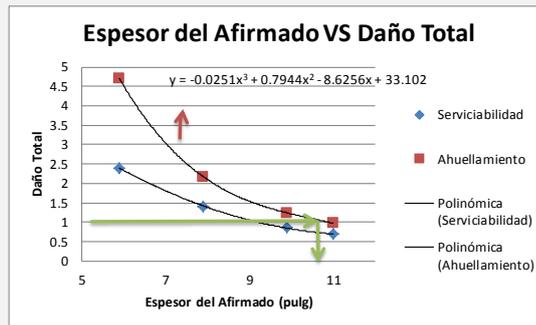
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Saván - Puente Tingo"

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**            **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DbS	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7      pulg

**MÉTODO AASHTO**

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”*

<b>PROVINCIA:</b>	HUAURA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs)	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES CARGADOS (MILES)	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	16		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	3.40	Daño Total =	3.42

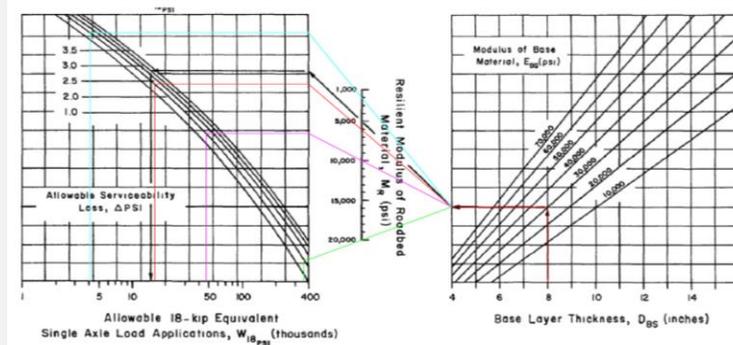


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

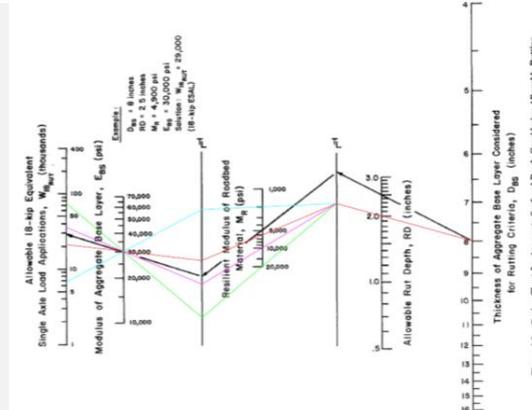


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraiso - La Villa - El ahorcado"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	333333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62

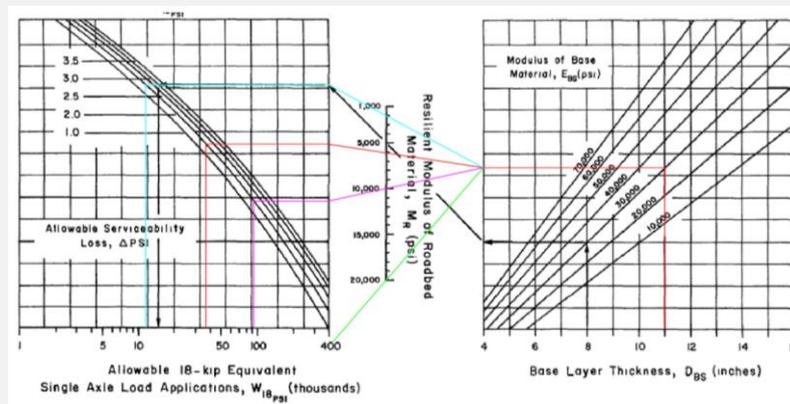


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

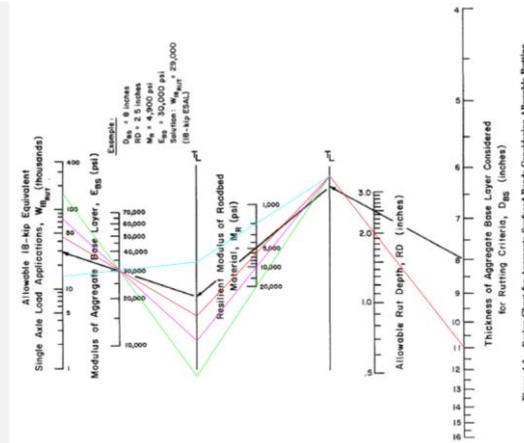


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraiso - La Villa - El ahorcado"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

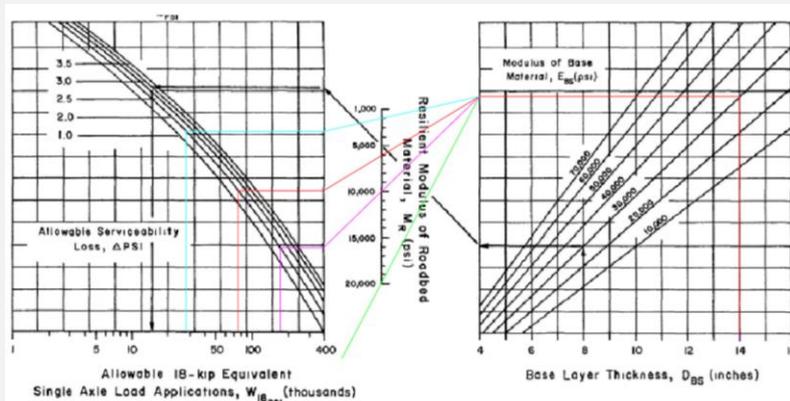


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

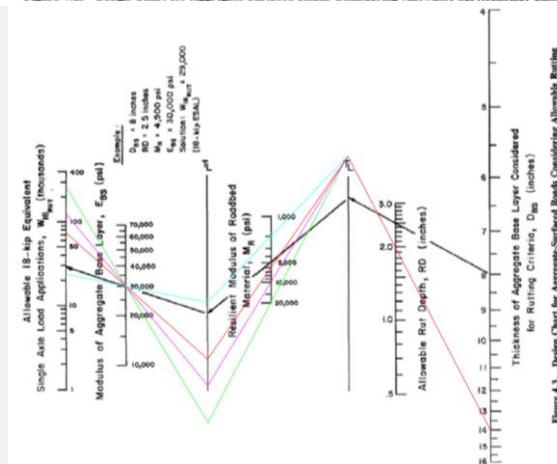


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraiso - La Villa - El ahorcado"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89

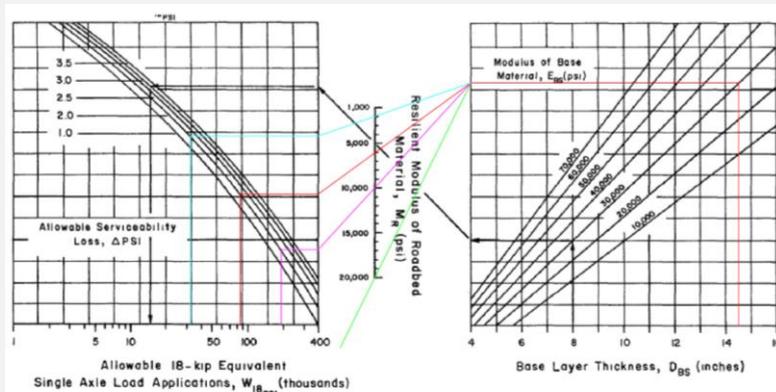


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

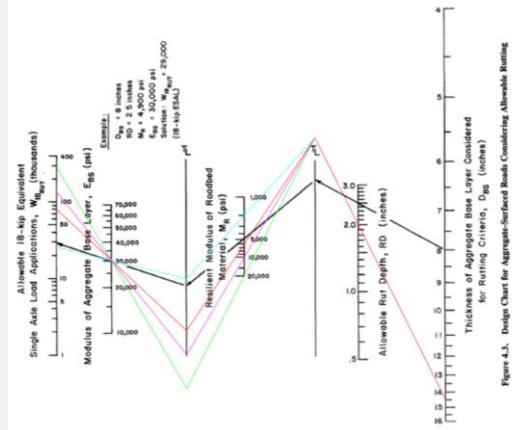


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

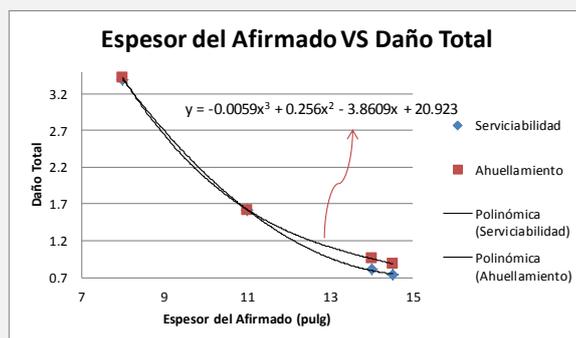
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraiso - La Villa - El ahorcado"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DBs**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DBs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$14.1 \quad \text{pulg}$$

#### MÉTODO AASHTO

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AASHTO**  
*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAJATAMBO	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>sub</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00	AHUELLAMIENTO	2 pulg
EJES EQUIVALENTES	100.00	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	60		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =				5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W <sub>18</sub>	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06	
<b>Tráfico Total =</b>				<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>

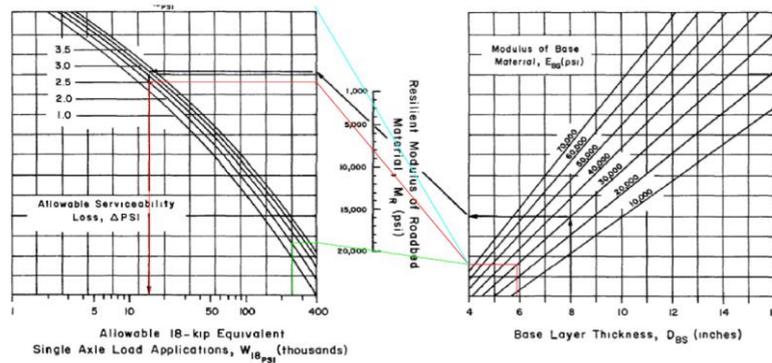


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

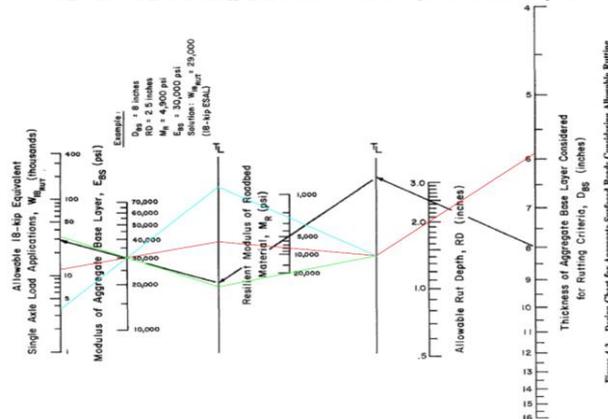


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	333333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

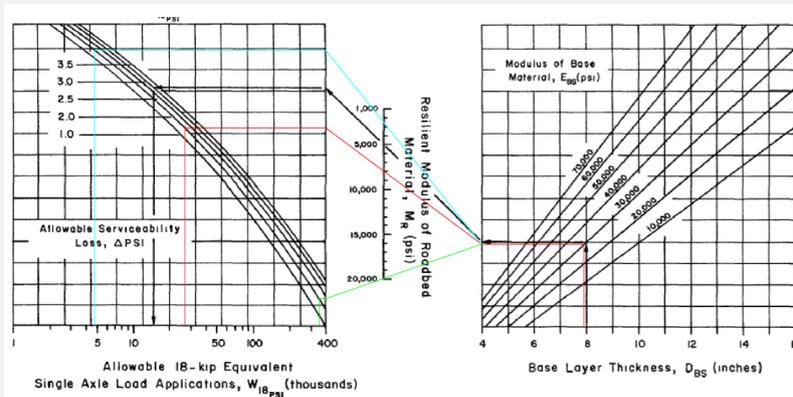


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

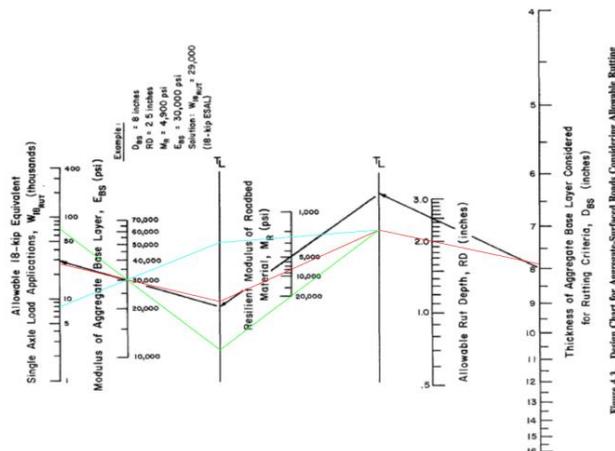


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

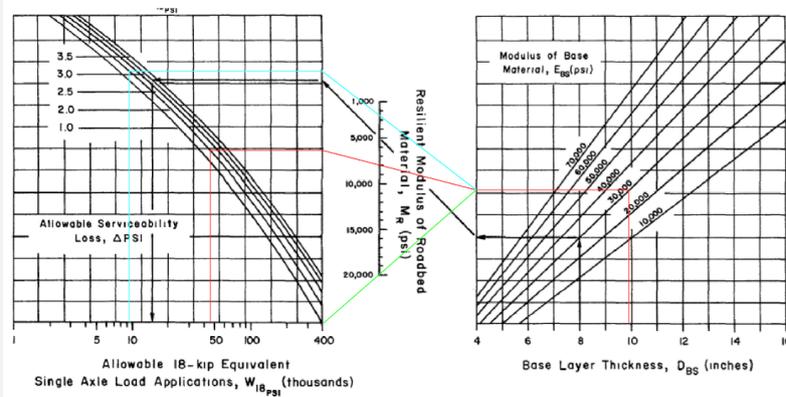


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

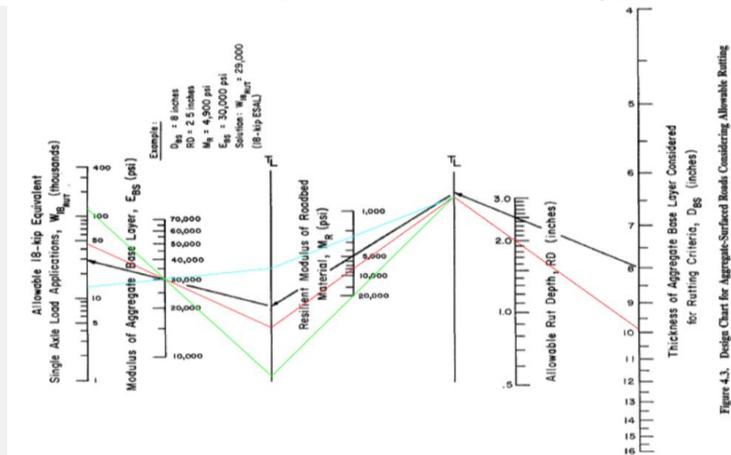


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

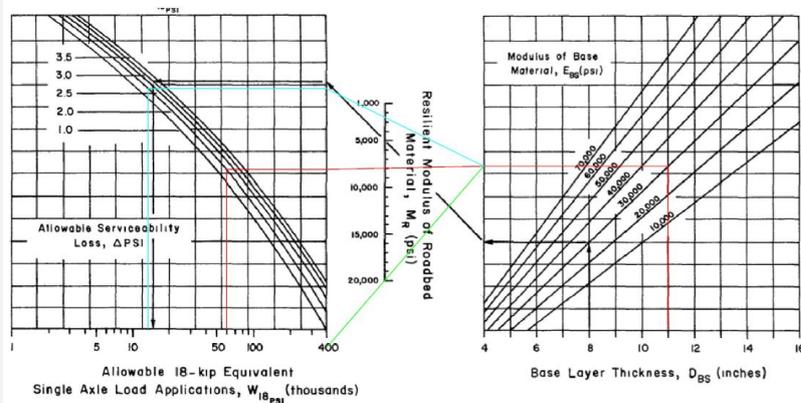


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

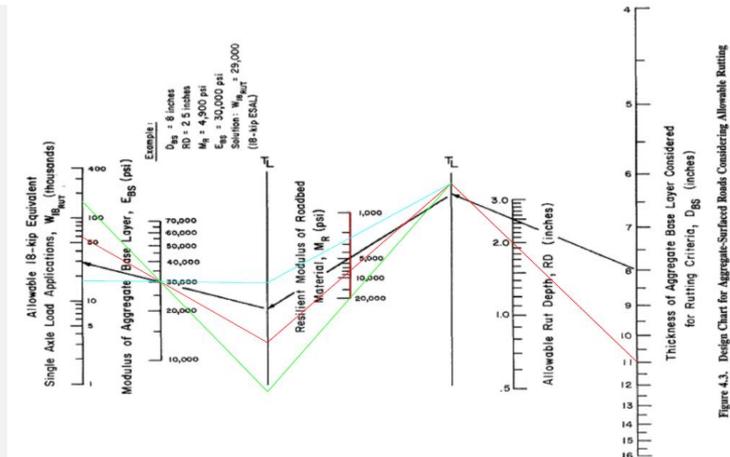


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

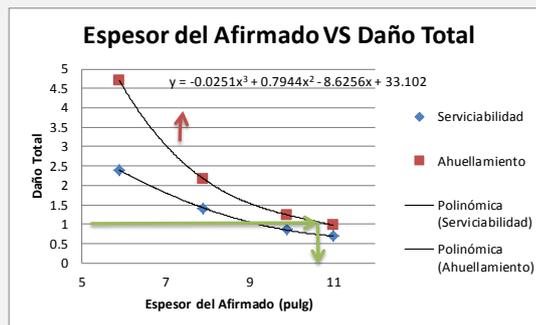
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**Db<sub>s</sub>**        **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR Db <sub>s</sub>	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7    pulg

**MÉTODO AASHTO**

   =        cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	OYÓN	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	20		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =		Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W <sub>18</sub>	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>

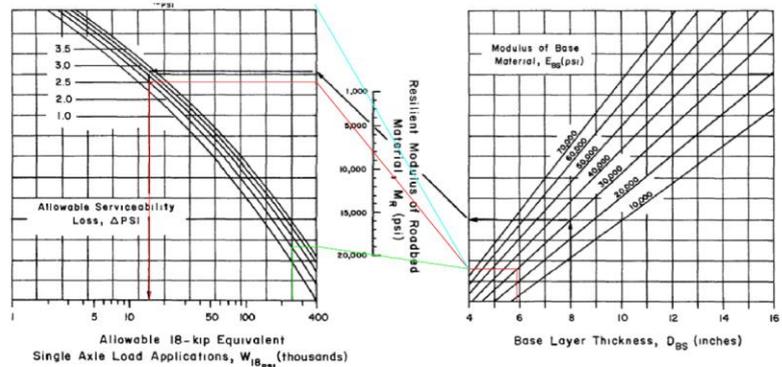


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

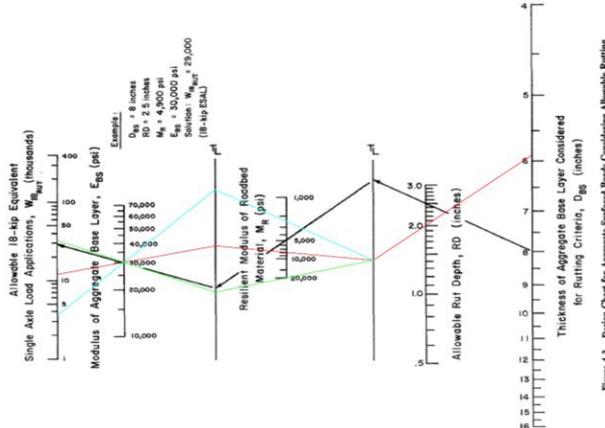


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Road Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

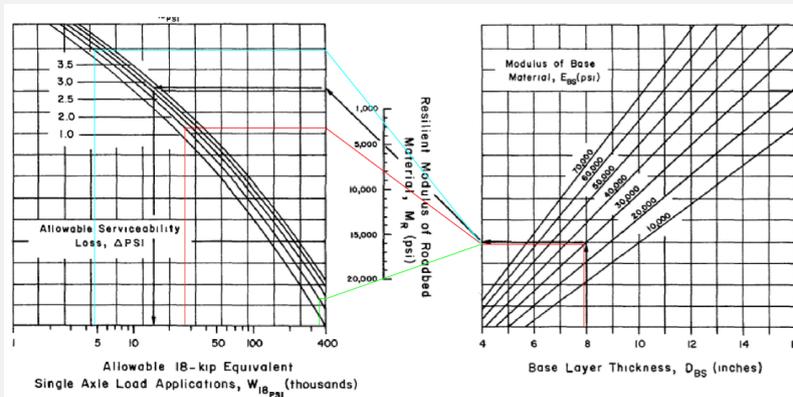


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

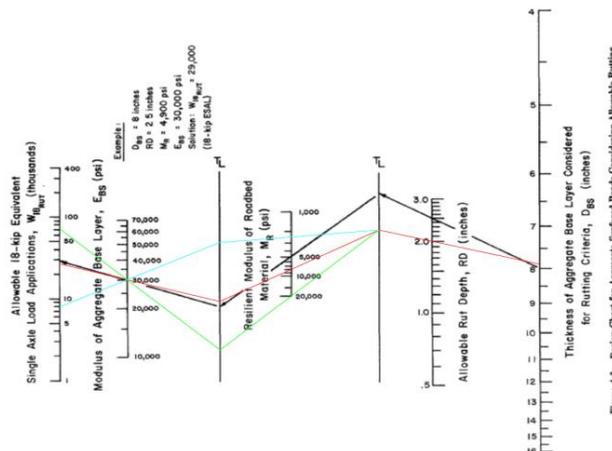


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

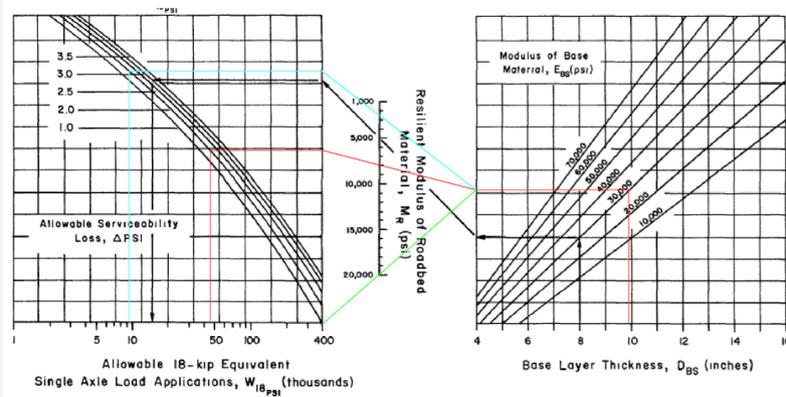


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

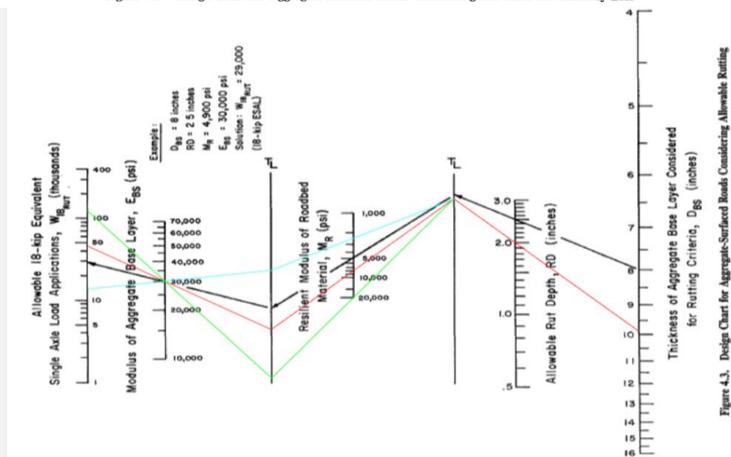


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

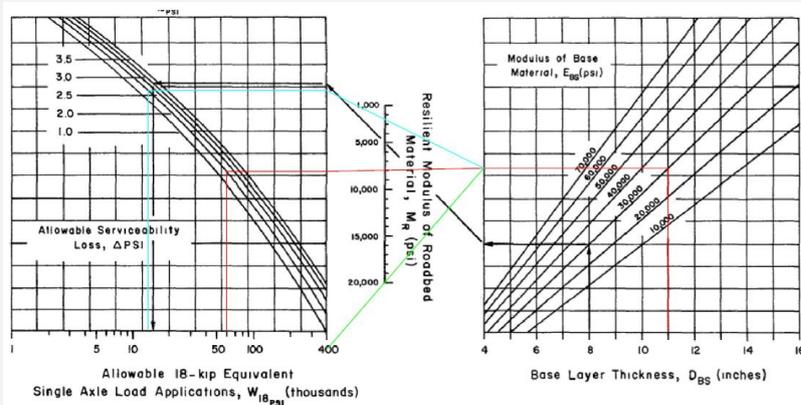


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

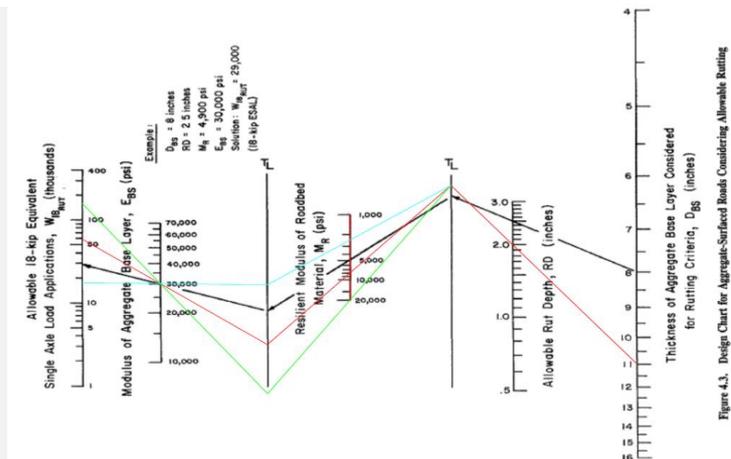


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

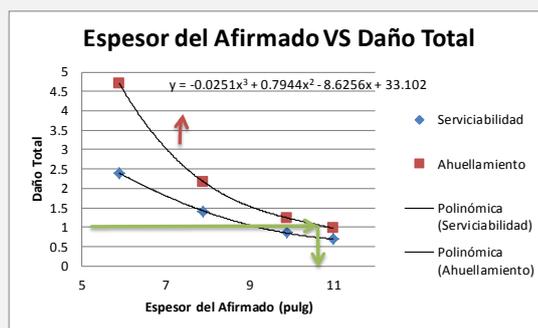
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DbS	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$11.7 \quad \text{pulg}$$

#### MÉTODO AASHTO

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AASHTO**  
*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	OYÓN	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ees)	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>	
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	29		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =		5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06	
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>	

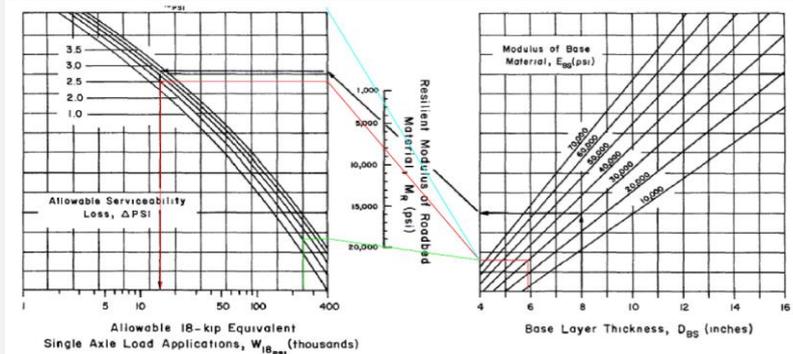


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

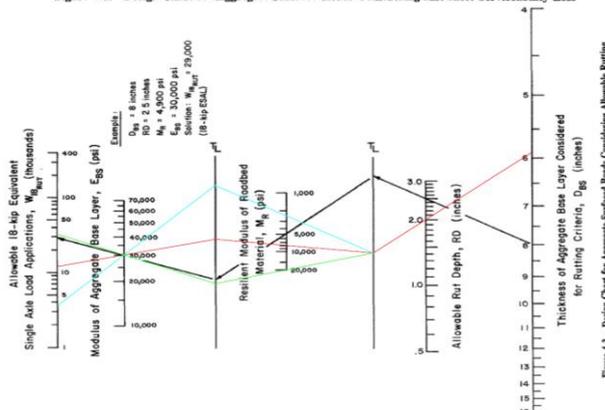


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

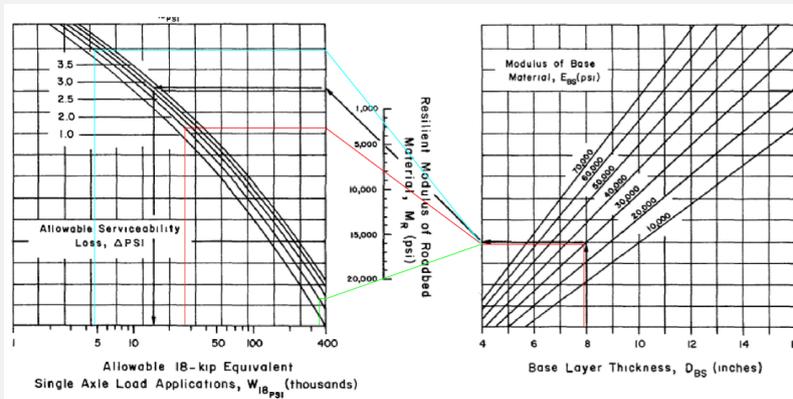


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

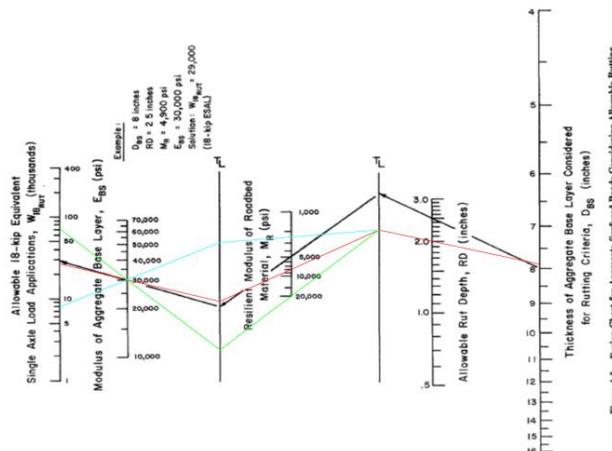


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

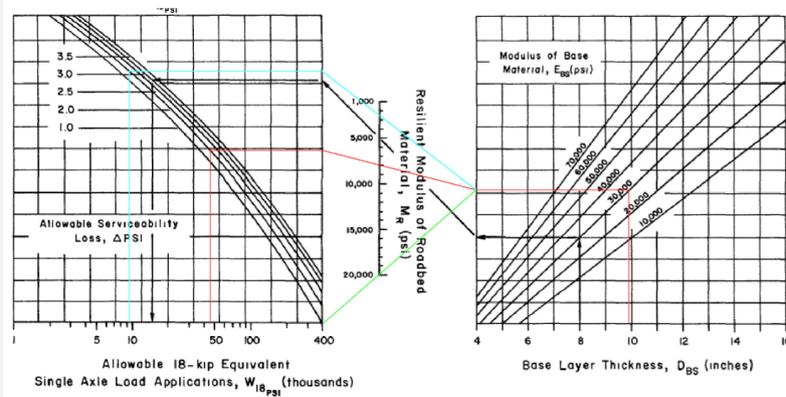


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

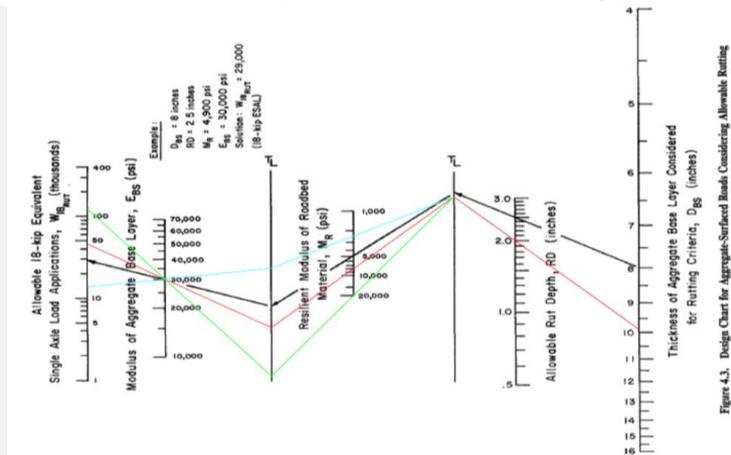


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

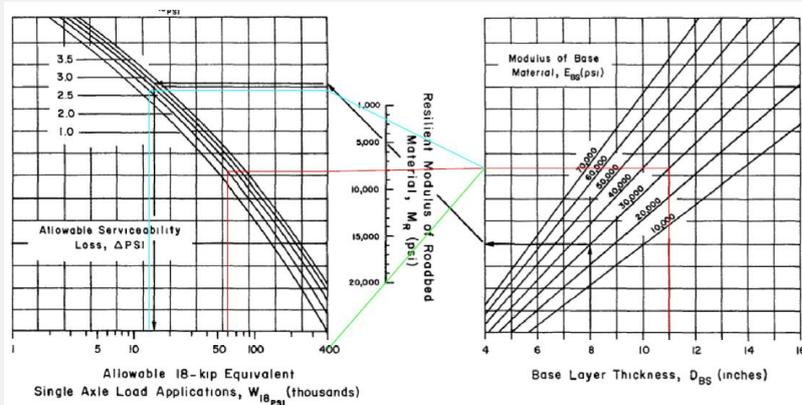


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

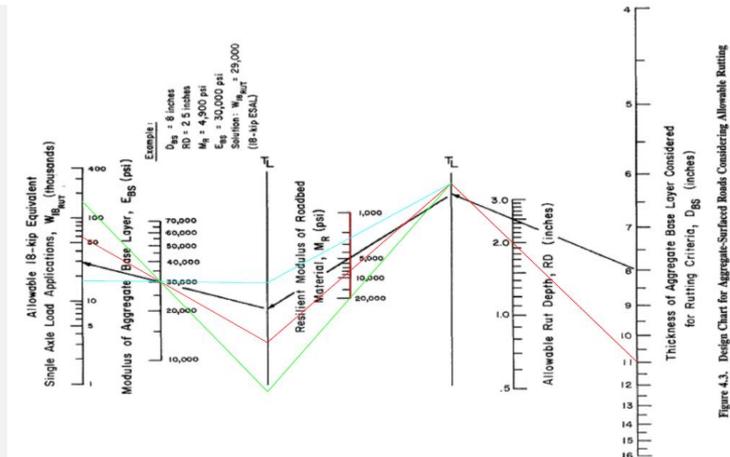


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

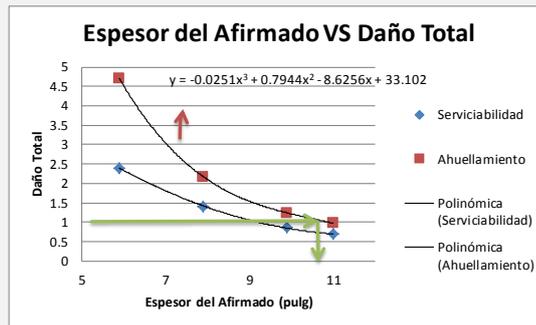
Fuente: Manual AASHTO 1993

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DBs**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DBs	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$11.7 \quad \text{pulg}$$

#### MÉTODO AASHTO

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"*

<b>PROVINCIA:</b>	OYÓN	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES	<u>100,000.00</u> EE	AHUELLAMIENTO <u>2</u> pulg
EJES EQUIVALENTES	<u>100.00</u> EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES	<u>14.60</u> LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%)	<u>27.29</u>	

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
<b>Tráfico Total =</b>		<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>	

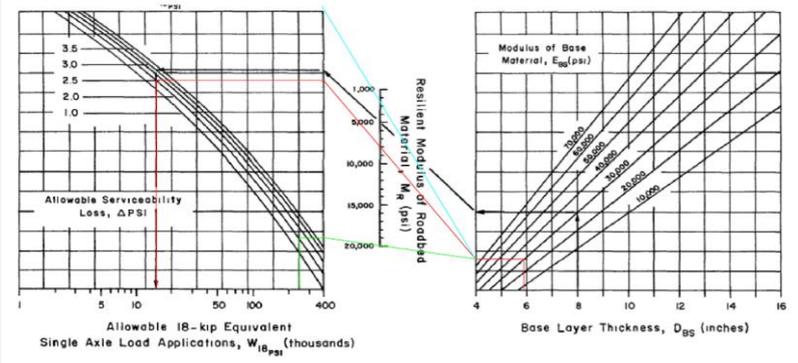


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

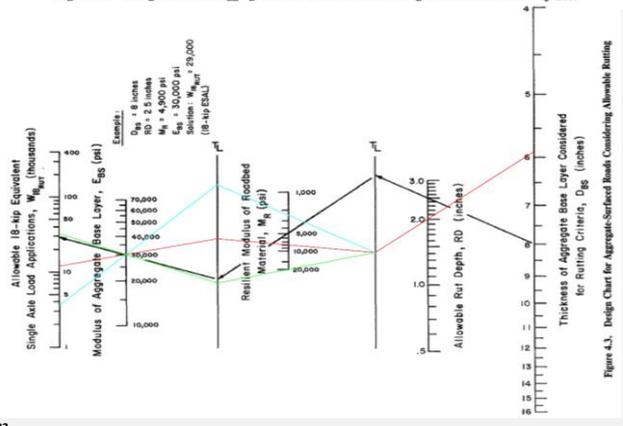


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Meioramiento de la Carretera Churín - Ovón, Tramo 1: Churín - km 131"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

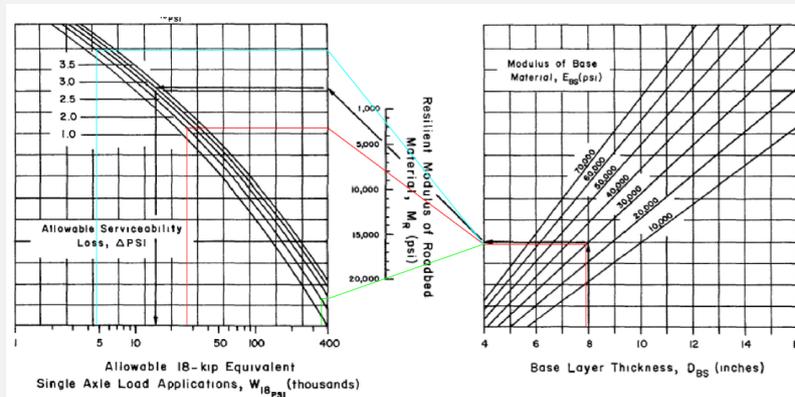


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

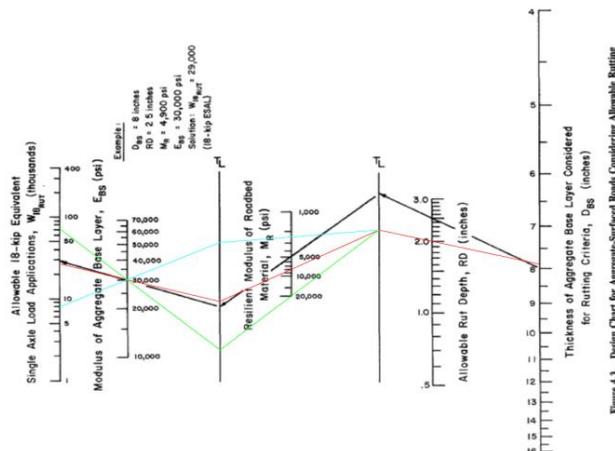


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Meioramiento de la Carretera Churín - Ovón, Tramo 1: Churín - km 131"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

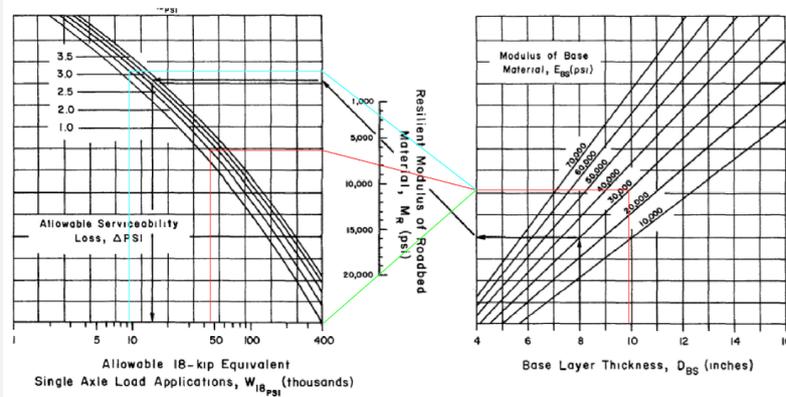


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

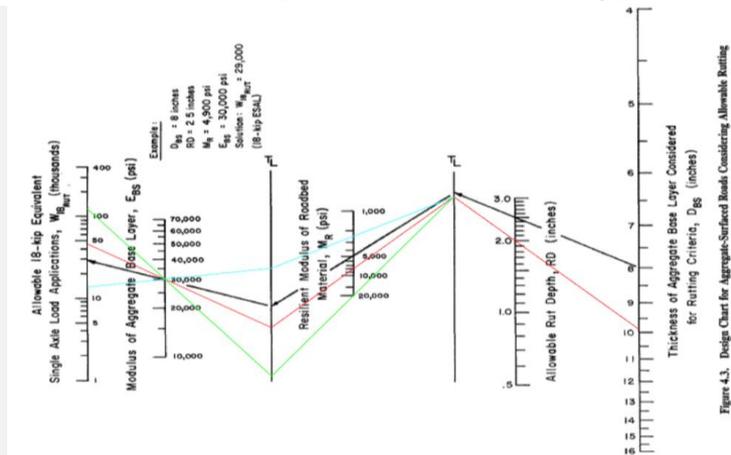


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Meioramiento de la Carretera Churín - Ovón, Tramo 1: Churín - km 131"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

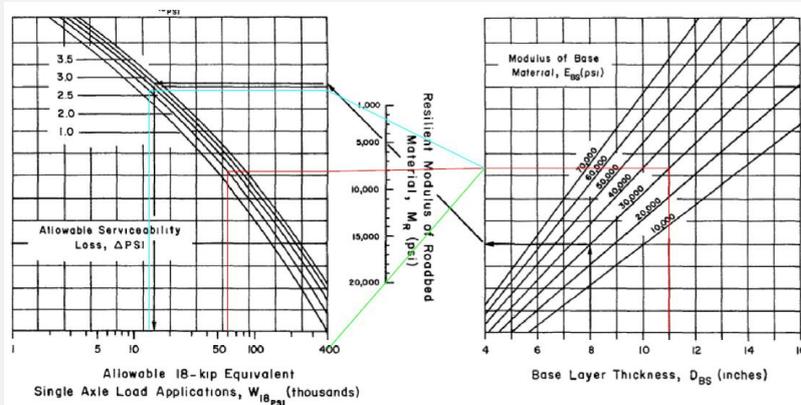


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

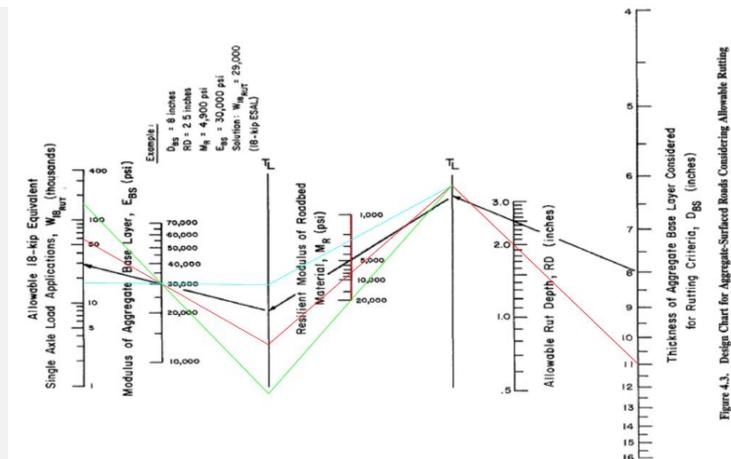


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

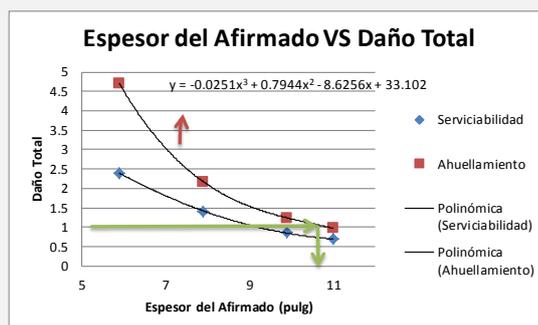
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Ovón, Tramo 1: Churín - km 131"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**            **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DbS	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7      pulg

#### MÉTODO AASHTO

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"*

<b>PROVINCIA:</b>	HUARAL	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	15.2		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2			
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56	
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85	
			<b>Tráfico Total =</b>	<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.42</b>

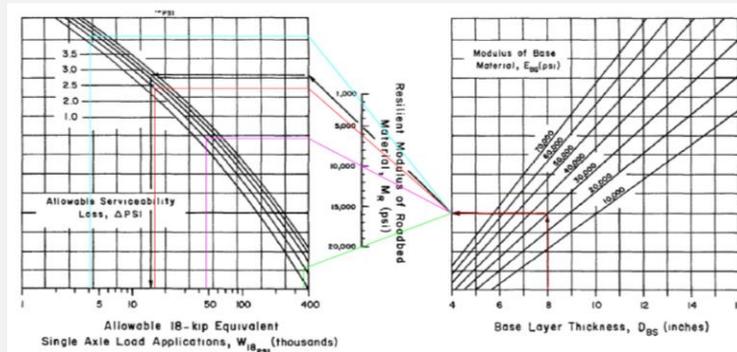


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

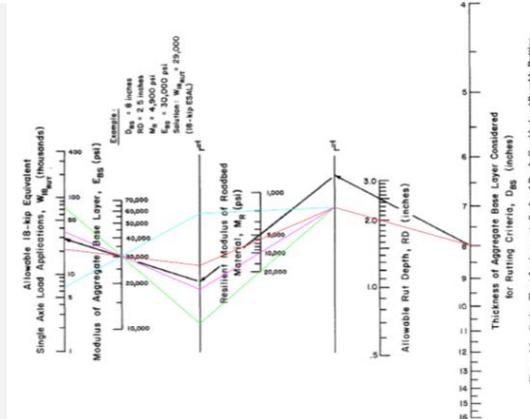


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00		Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2		Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$					
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00					
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00					
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74					
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88					
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62					

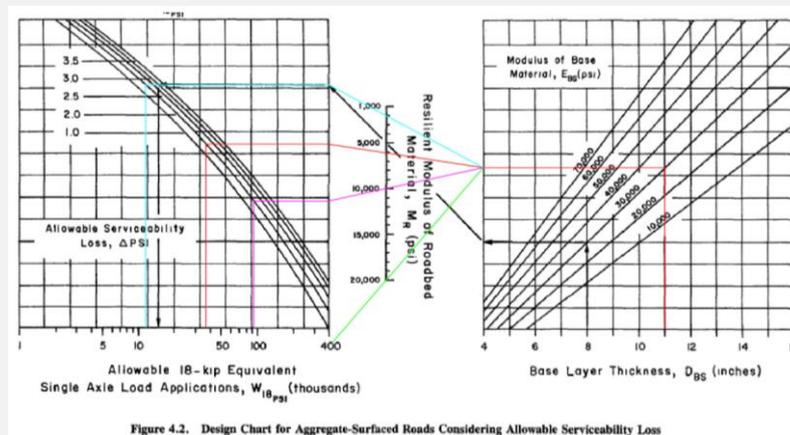


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

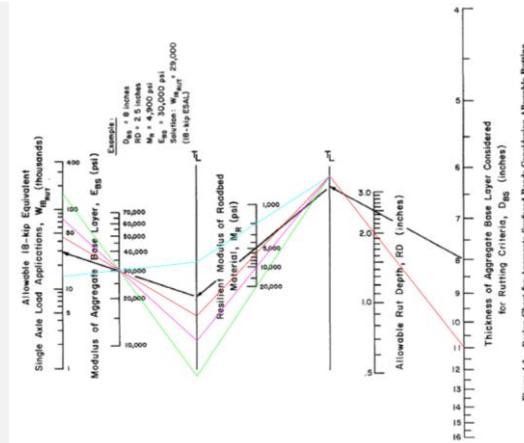


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

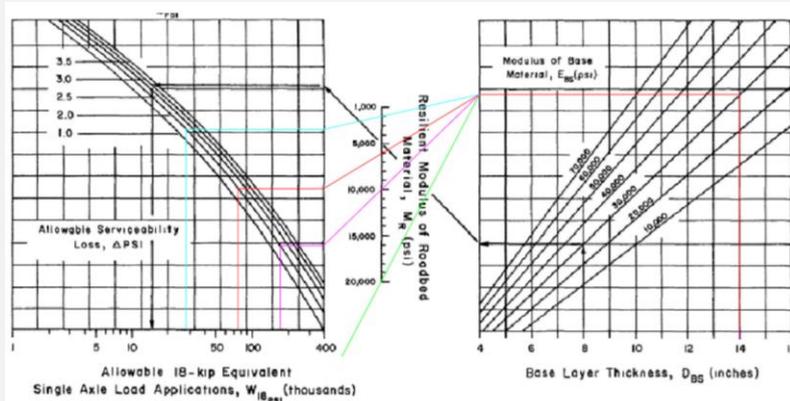


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

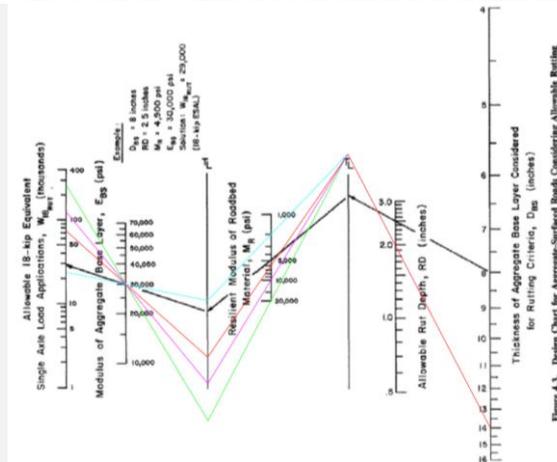


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50		Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89	

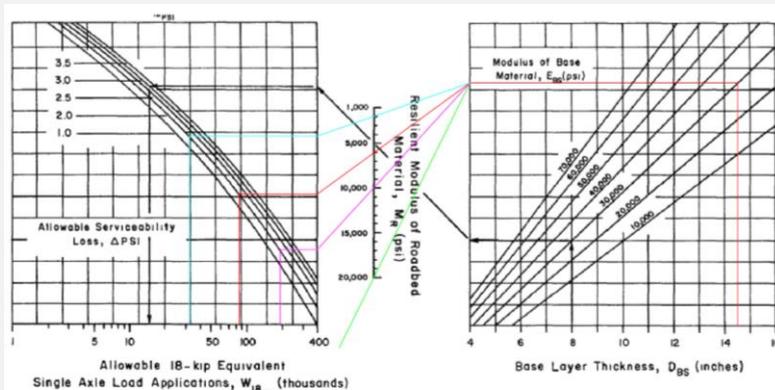


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

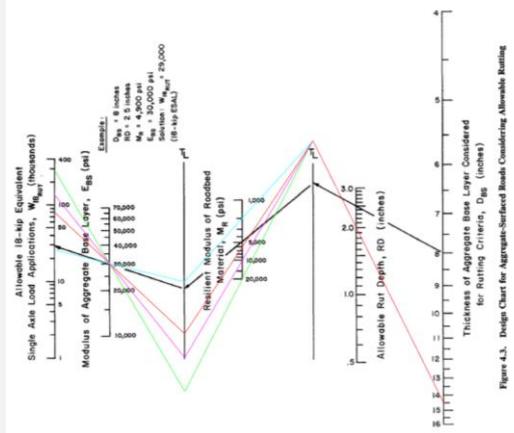


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

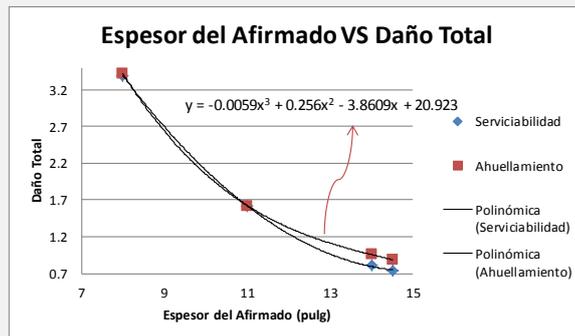
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huoraj, II Etapa: 2+320 al 13+000"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**Dbs**            **pulg**

#### **RESULTADOS**

ESPESOR Dbs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1      pulg

#### **MÉTODO AASHTO**

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

**Expediente técnico: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”**

<b>PROVINCIA:</b>	HUARAL	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
CARGADOS (MILES)		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	
<b>DATOS DE SUELO</b>		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	17.4		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.42</b>

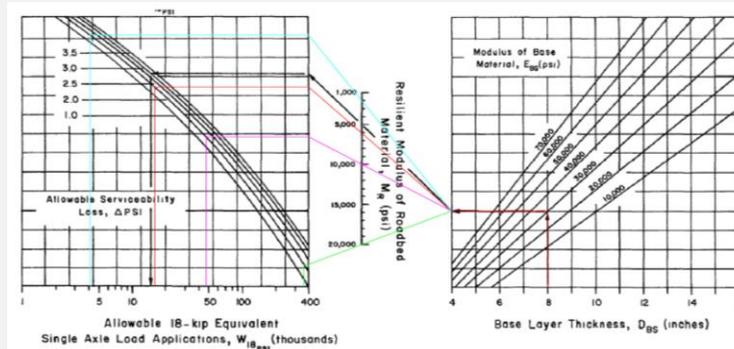


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

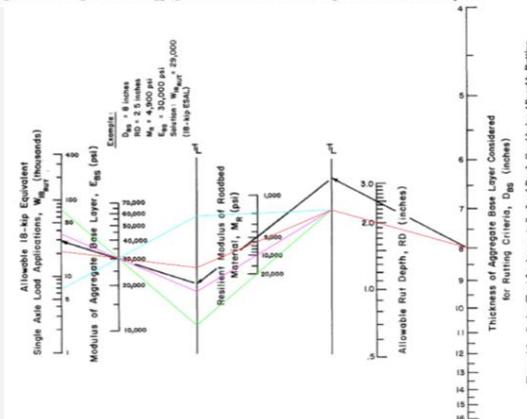


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74		
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62		

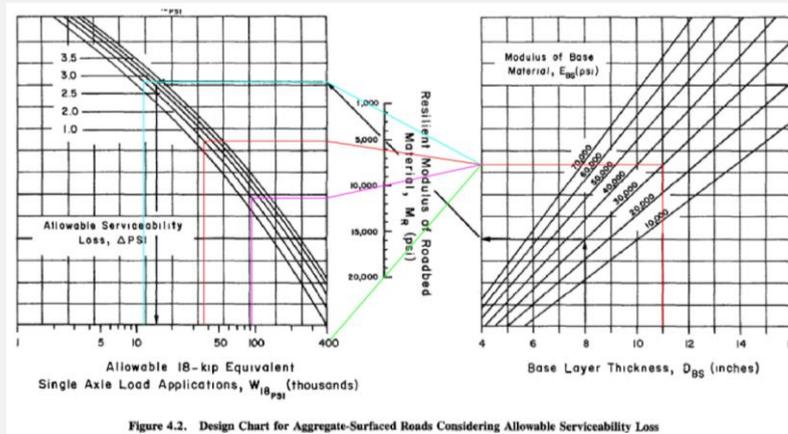


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

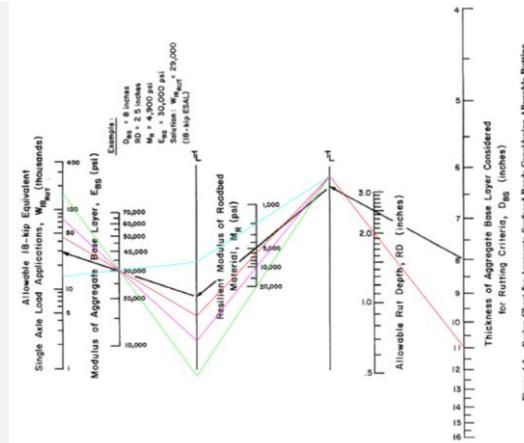


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

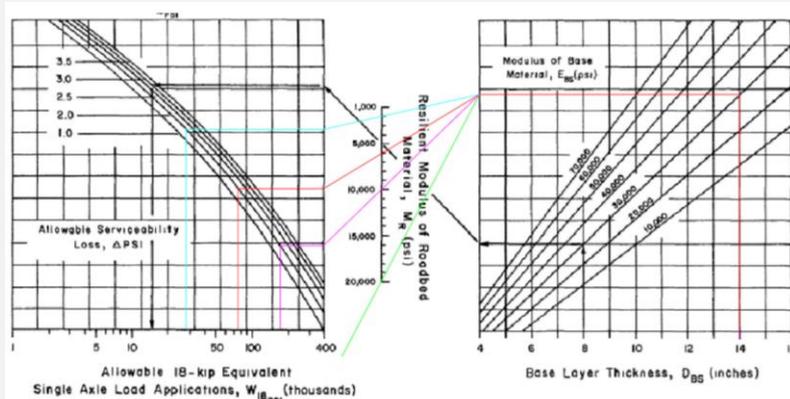


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

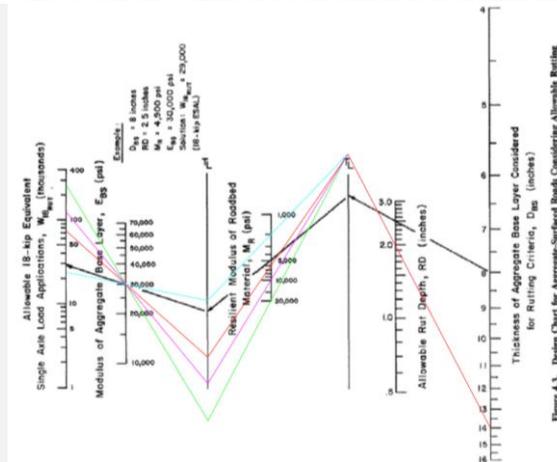


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50		Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89	

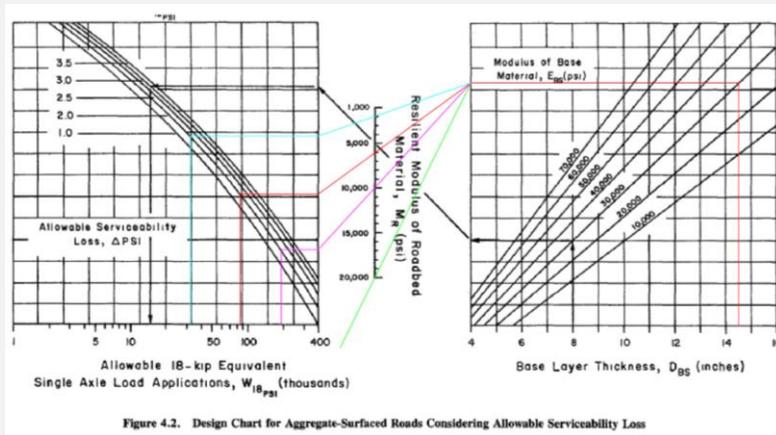


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

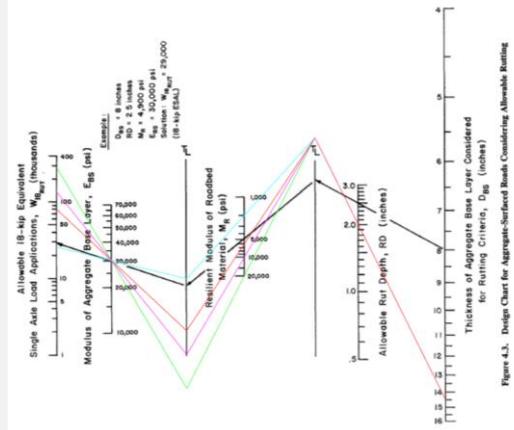


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

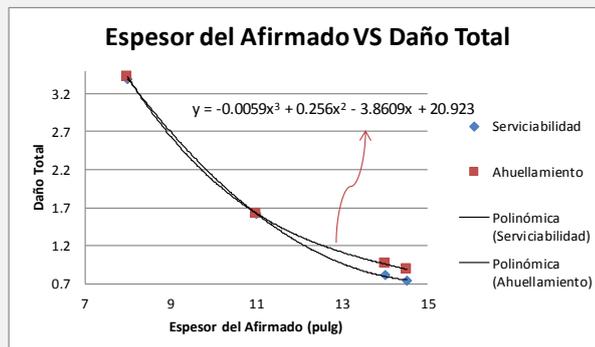
Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DbS**  **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DbS  pulg  
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)  pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1 pulg

**MÉTODO AASHTO**

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Eas) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES <u>100,000.00</u> EE		AHUELLAMIENTO <u>2</u> pulg.
EJES EQUIVALENTES <u>100.00</u> EE (miles)		CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES <u>14.60</u> LT		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%) <u>16.7</u>		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
<b>Tráfico Total =</b>		<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.42</b>	

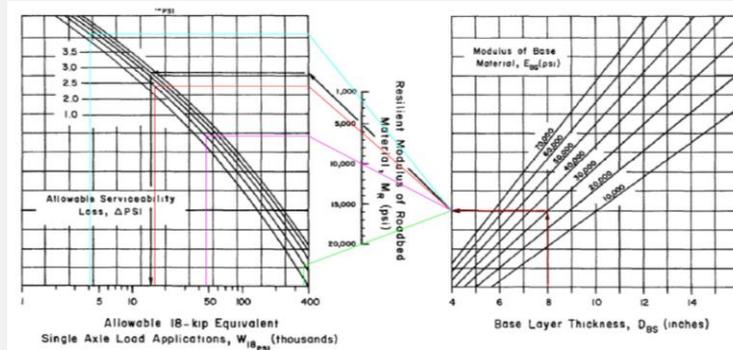


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

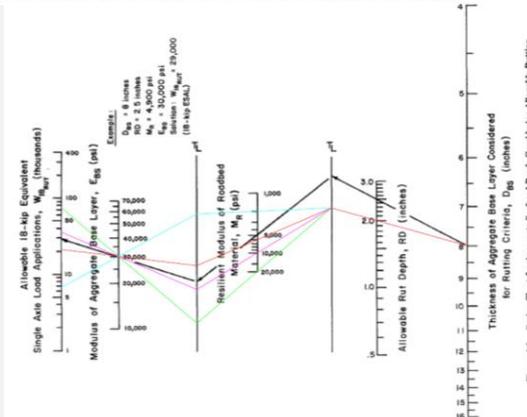


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

***Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"***

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	333333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74		
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62		

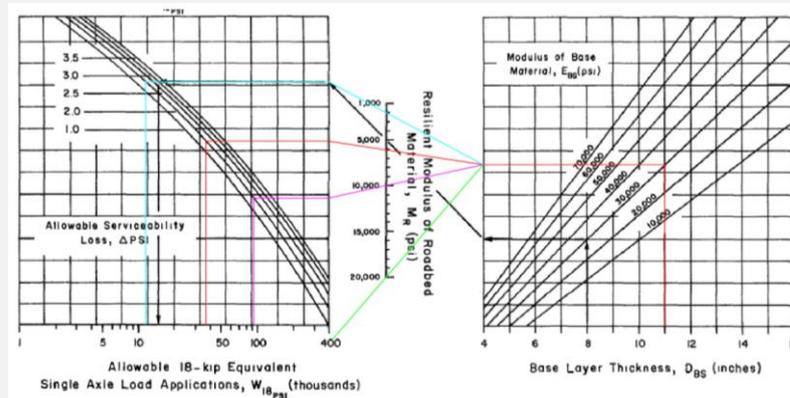


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

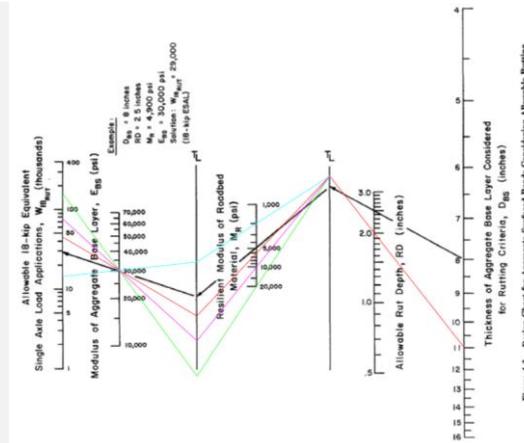


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

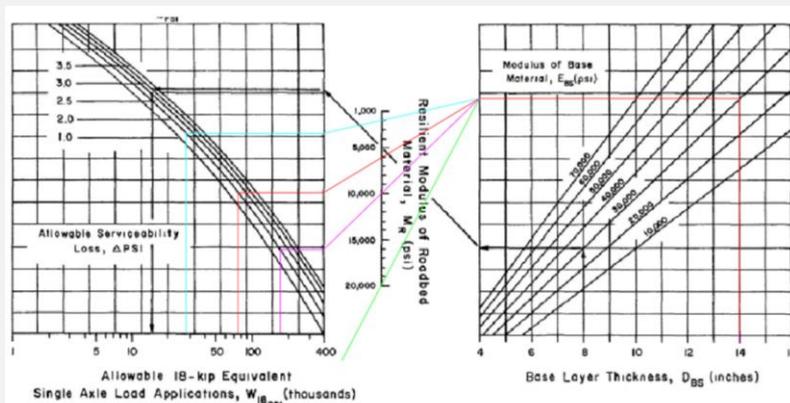


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

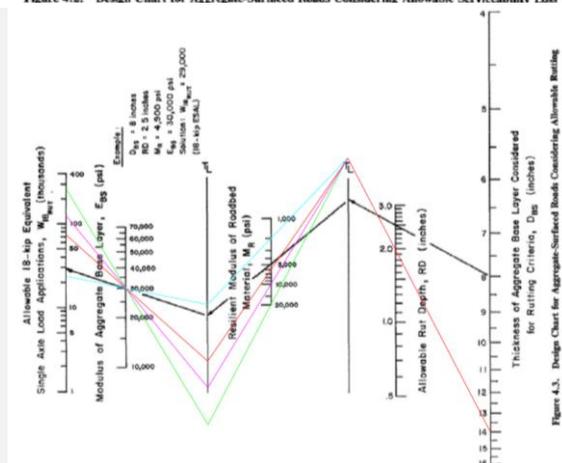


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

***Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"***

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89		

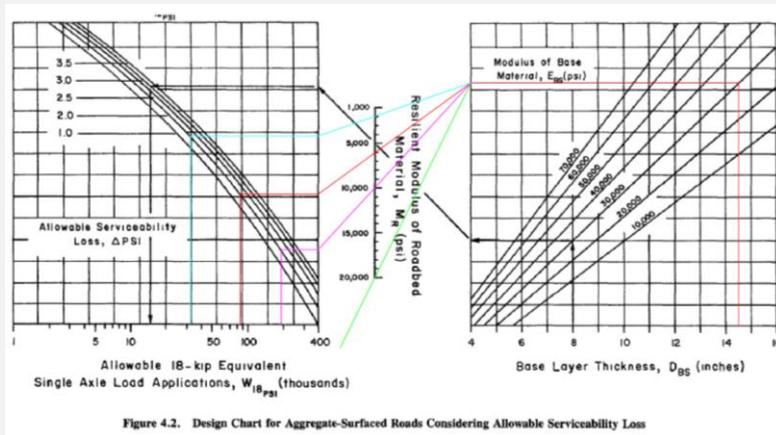


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

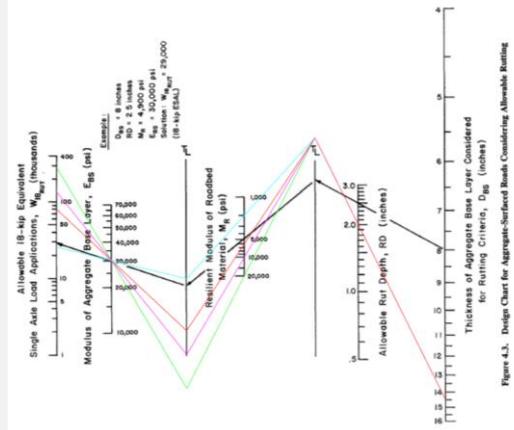


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

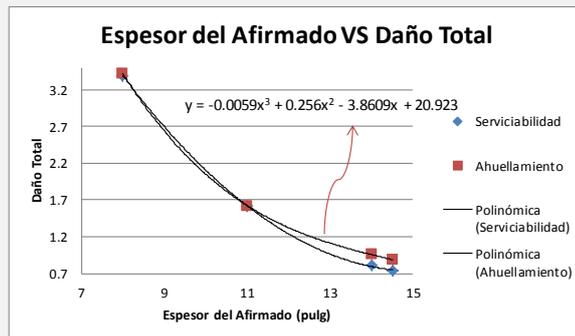
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**Dbs**        **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR Dbs     pulg  
 PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)     pulg

**DBS = DBS+0.5\*(GL)**

14.1    pulg

**MÉTODO AASHTO**

**ESPESOR FINAL**    =     cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AASHTO**  
*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) = 30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO = 2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD = 2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL) = 0.12+0.1223*(LT)
CARGADOS (MILES)		
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%)	31	

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) = 5.90				Criterios de Servicio, AP SI = 2		Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) = 2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
<b>Tráfico Total = 100000.00</b>			<b>Daño Total = 2.40</b>		<b>Daño Total = 4.72</b>		

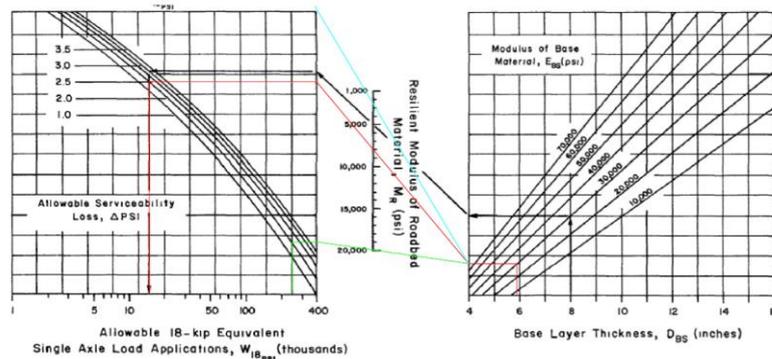


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

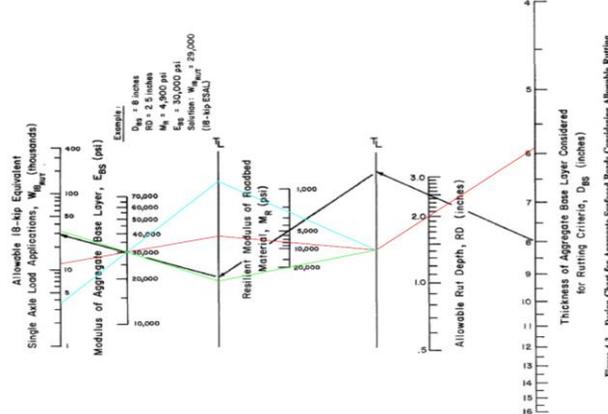


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipan - Puruchuco - Apan, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	333333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

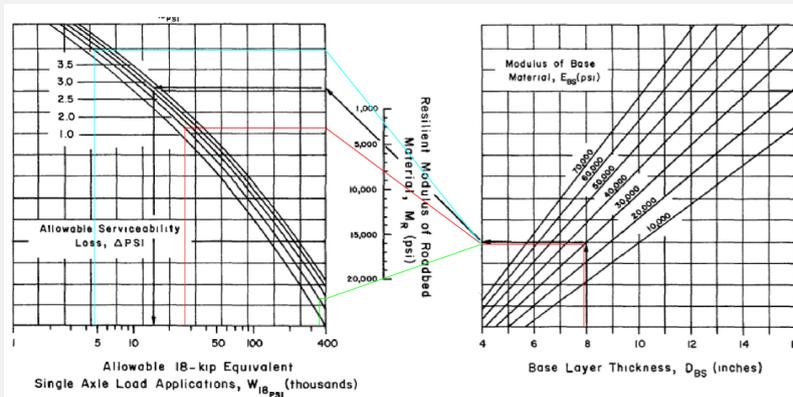


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

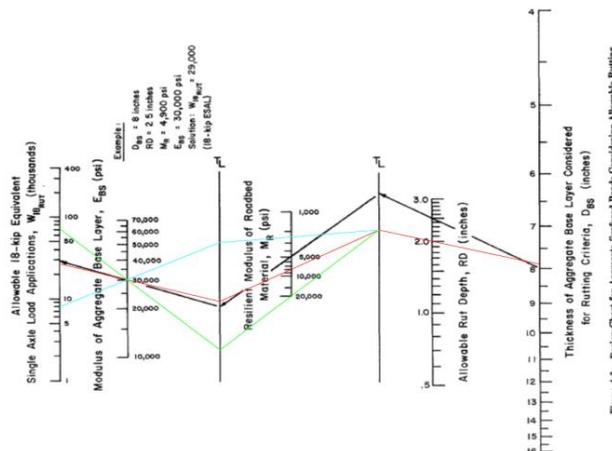


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipan - Puruchuco - Apan, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.86	Daño Total =	1.24		

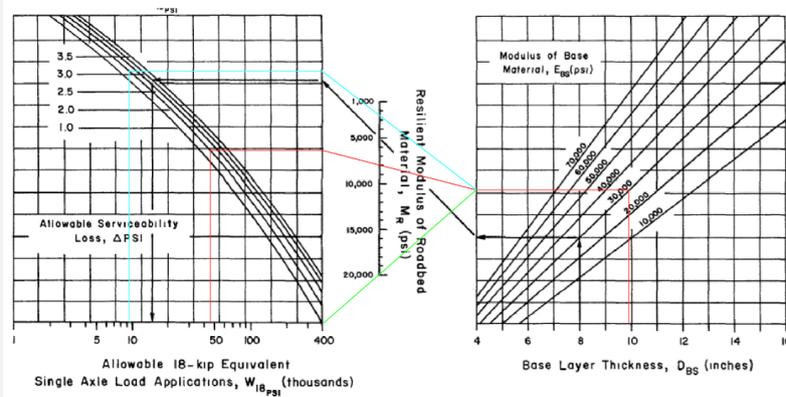


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

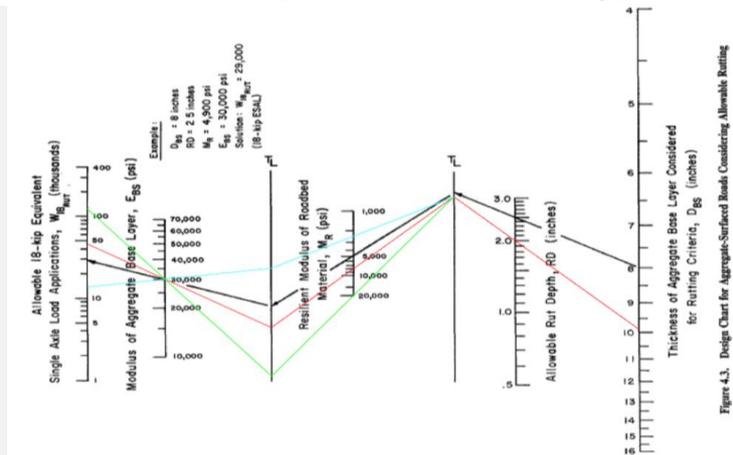


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipan - Puruchuco - Apan, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

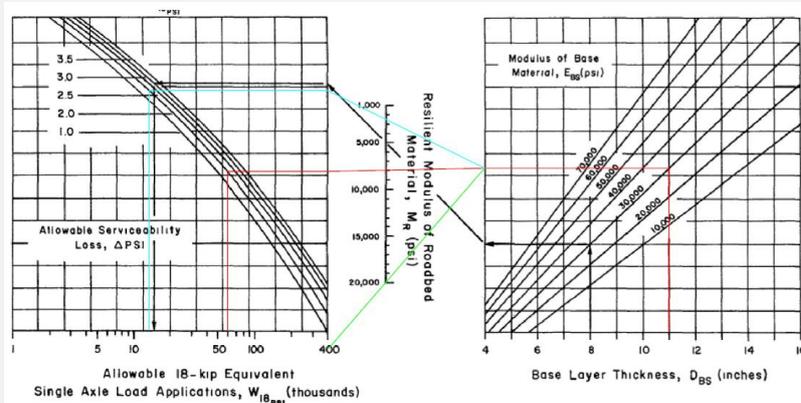


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

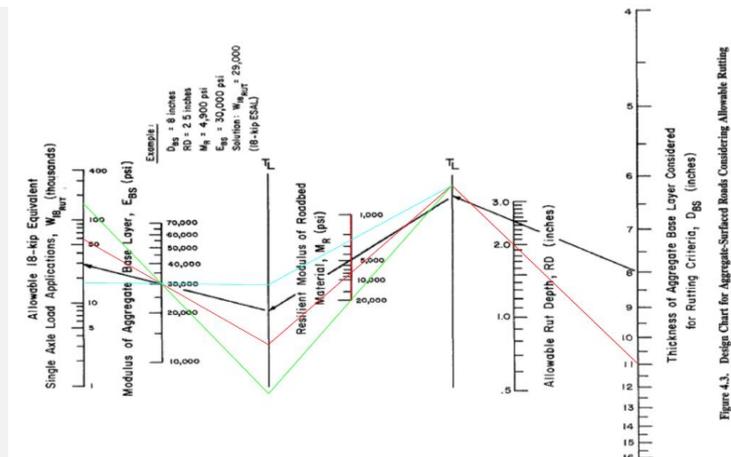


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

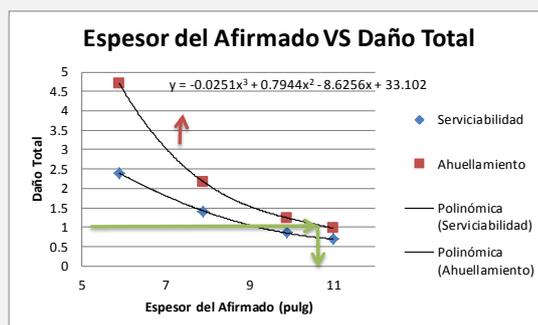
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipan - Puruchuco - Apan, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**Db<sub>s</sub>**        **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR Db <sub>s</sub>	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7    pulg

**MÉTODO AASHTO**

   =        cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

**Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"**

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES <u>100,000.00</u> EE		AHUELLAMIENTO <u>2</u> pulg.
EJES EQUIVALENTES <u>100.00</u> EE (miles)		CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES CARGADOS (MILES) <u>14.60</u> LT		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL) <b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%) <u>10.5</u>		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	8.00		Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Desehielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
			<b>Tráfico Total = 100000.00</b>	<b>Daño Total = 3.40</b>		<b>Daño Total = 3.42</b>	

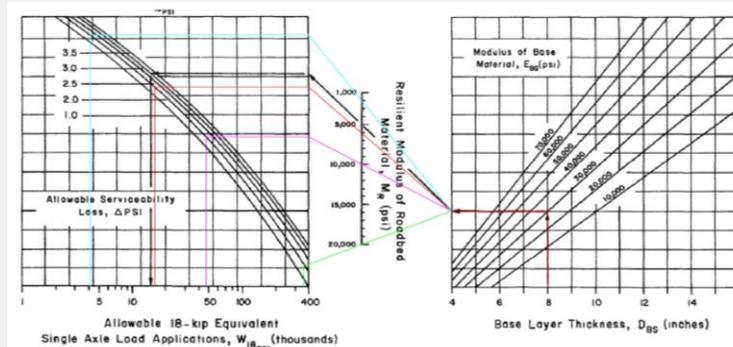


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

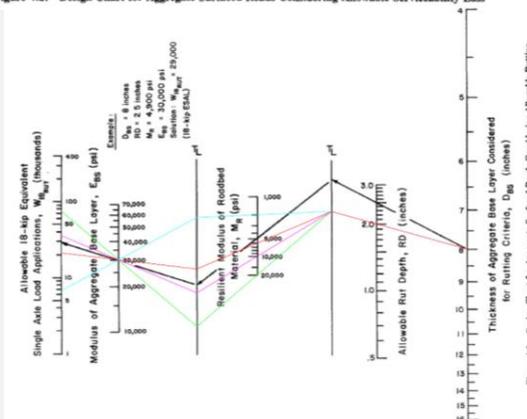


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62

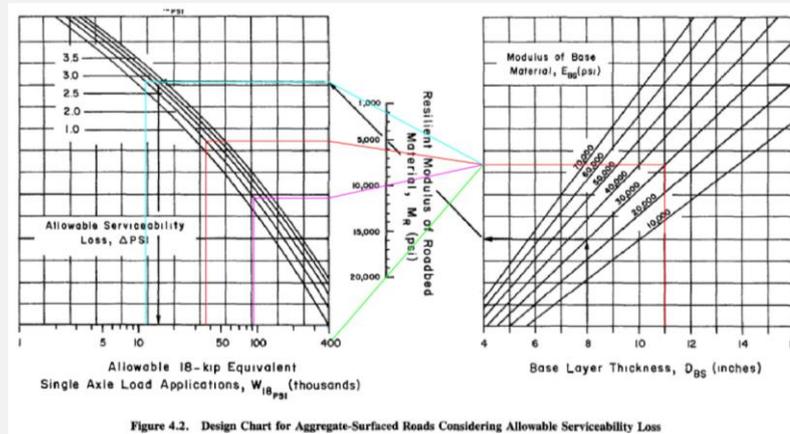


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

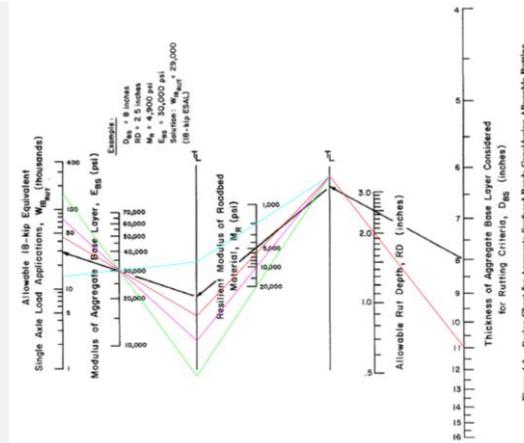


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

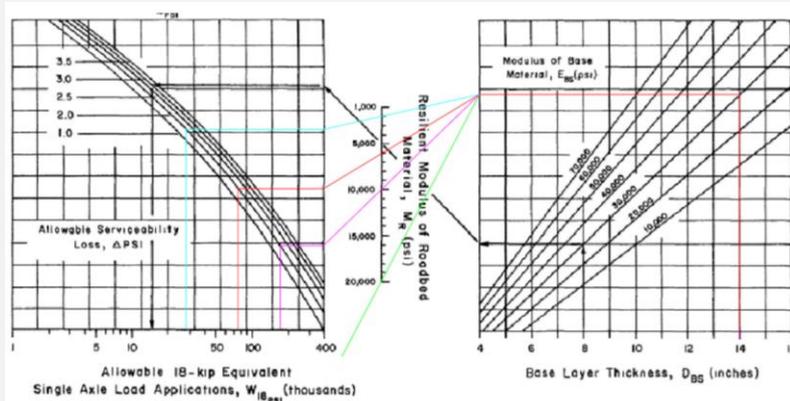


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

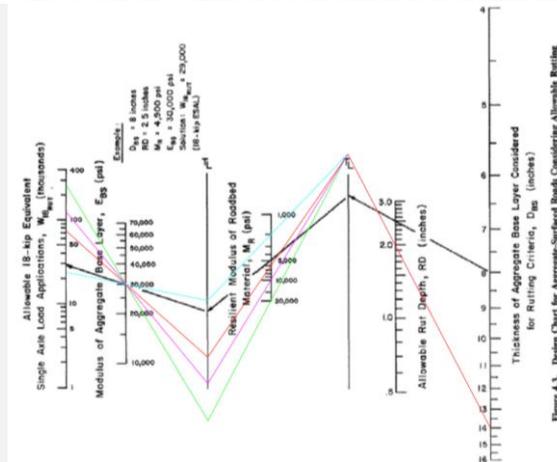


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

**Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89

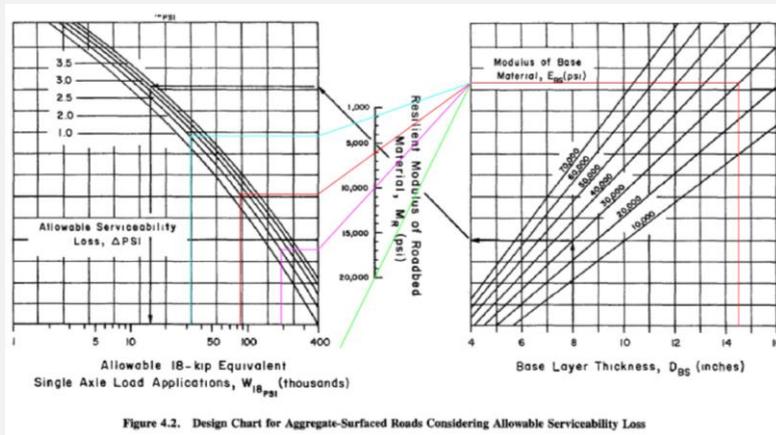


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

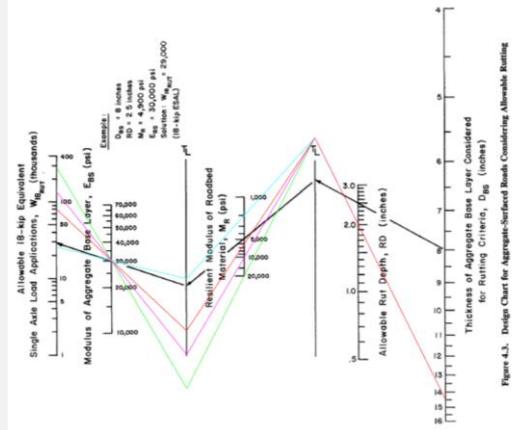


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

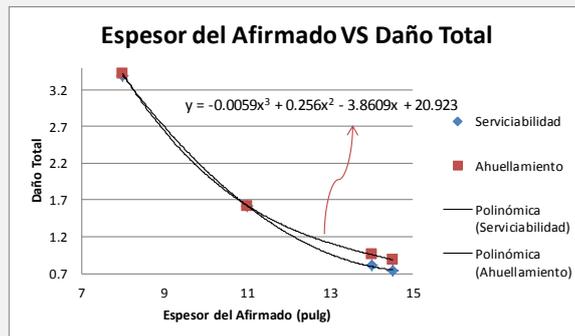
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DbS**            **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DbS	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1      pulg

**MÉTODO AASHTO**

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish”*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs)
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	30000
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	AHUELLAMIENTO
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	2 pulg.
CARGADOS (MILES)		CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD
		2 PSI
<b>DATOS DE SUELO</b>		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)
CBR SUBRASANTE (%)	22.82	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Desehielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>

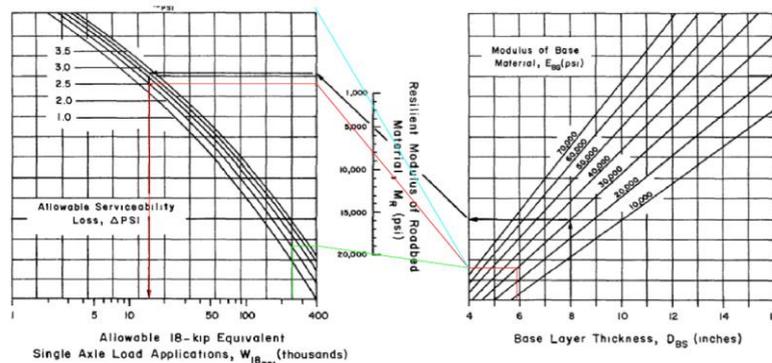


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

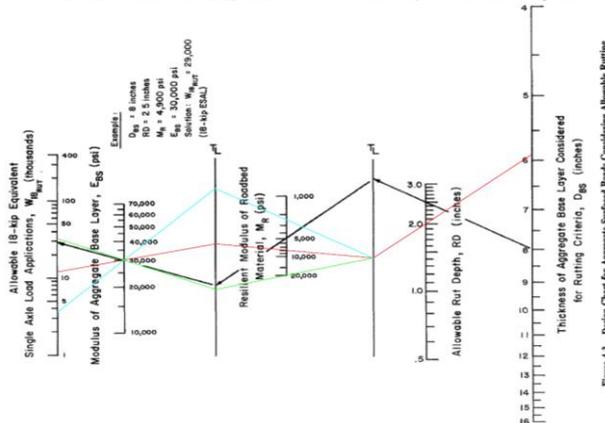


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	333333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18		

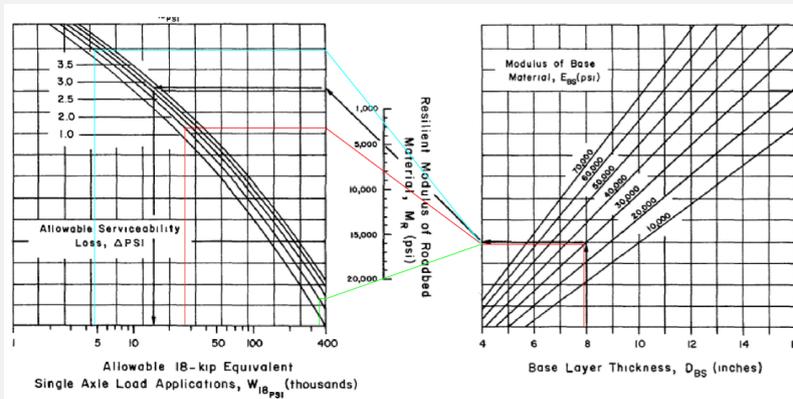


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

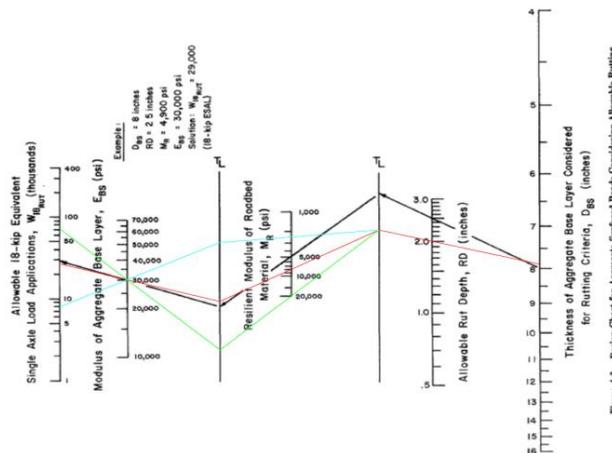


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		0.86	Daño Total =		1.24

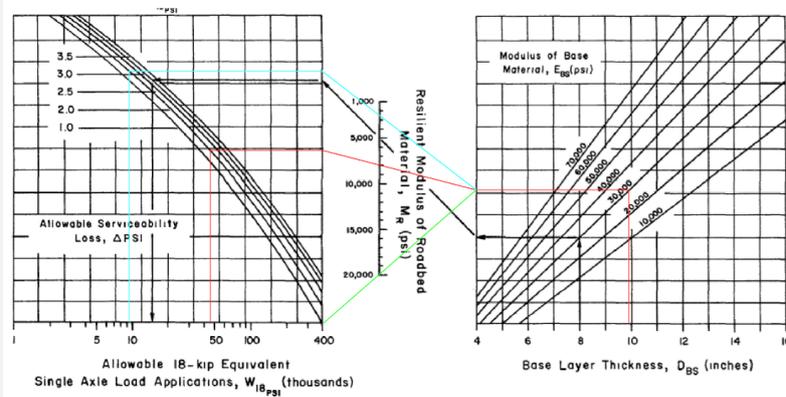


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

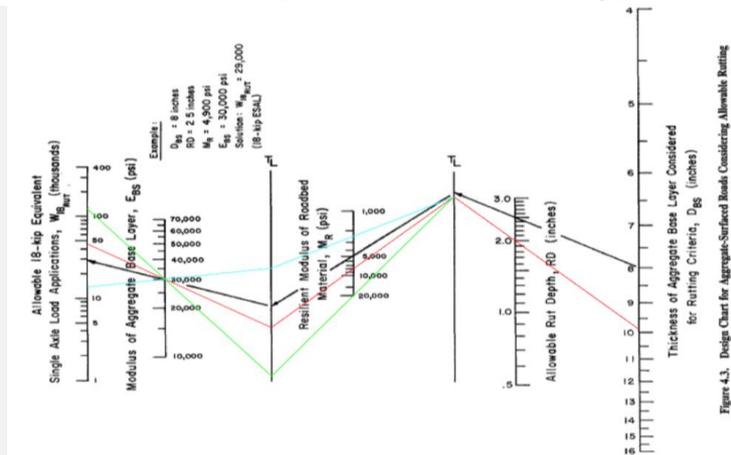


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

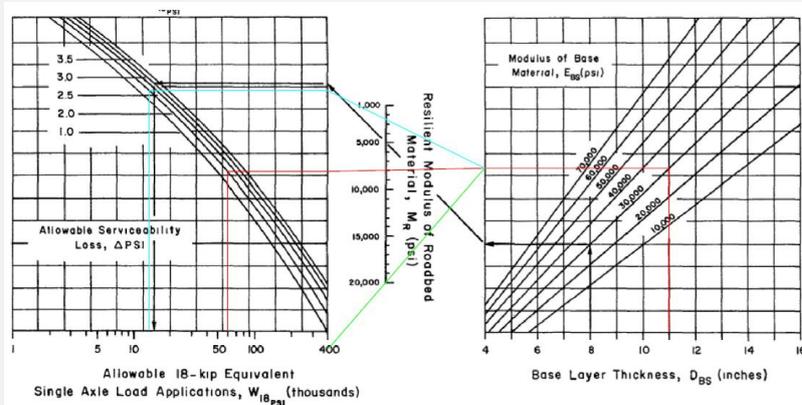


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

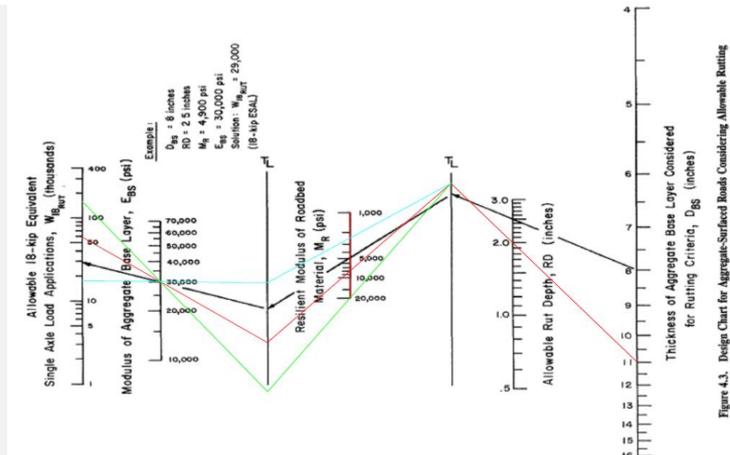


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

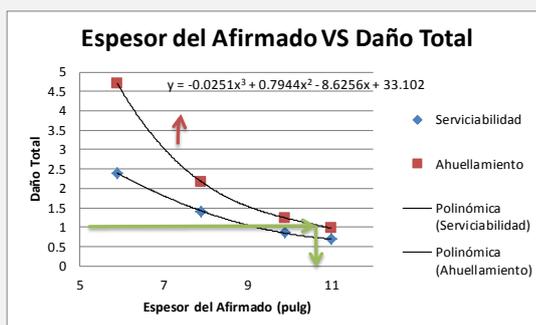
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**            **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DbS	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7      pulg

#### MÉTODO AASHTO

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMACO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochirí - Lima "*

<b>PROVINCIA:</b>	HUAROCHIRÍ	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs)	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	GL = 0.12+0.1223*(LT)
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	41.67		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =		5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	2.40	Daño Total =	4.72	

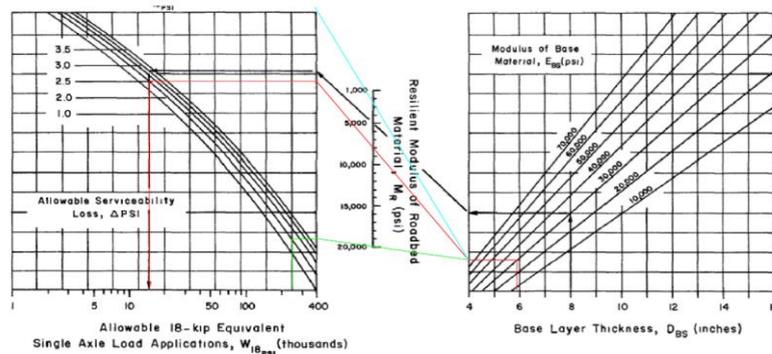


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

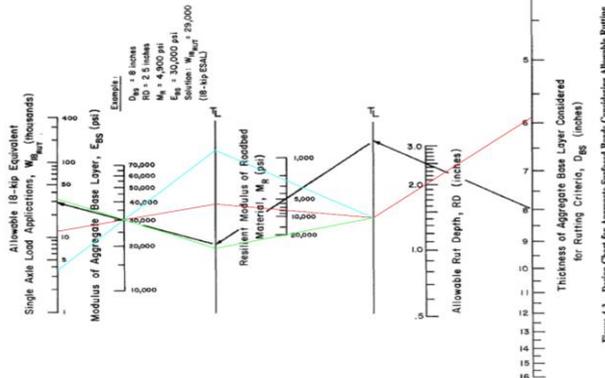


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Road Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochiri - Lima "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18

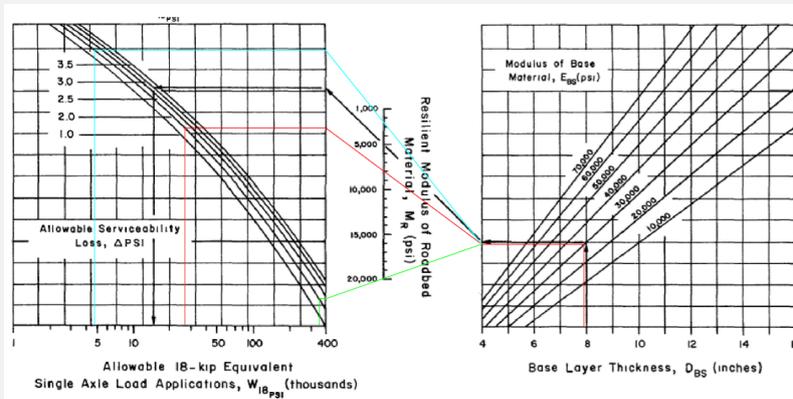


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

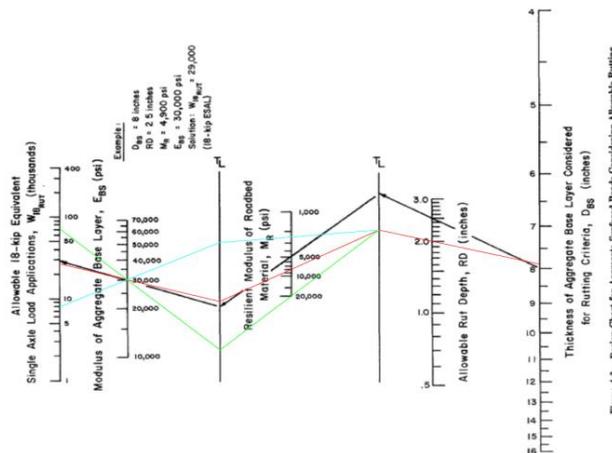


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochiri - Lima "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		0.86	Daño Total =		1.24

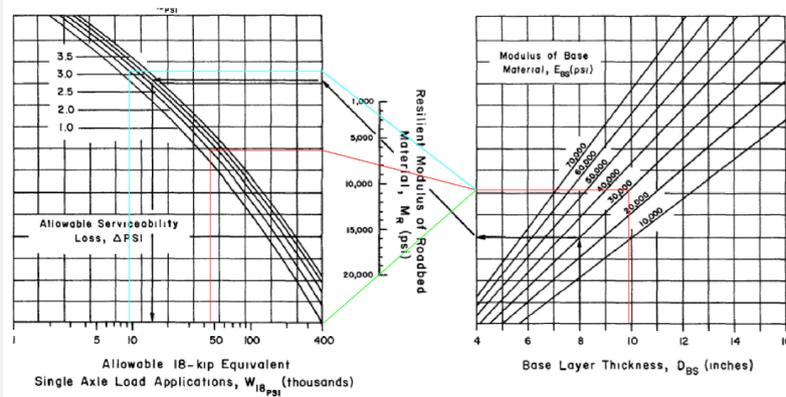


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

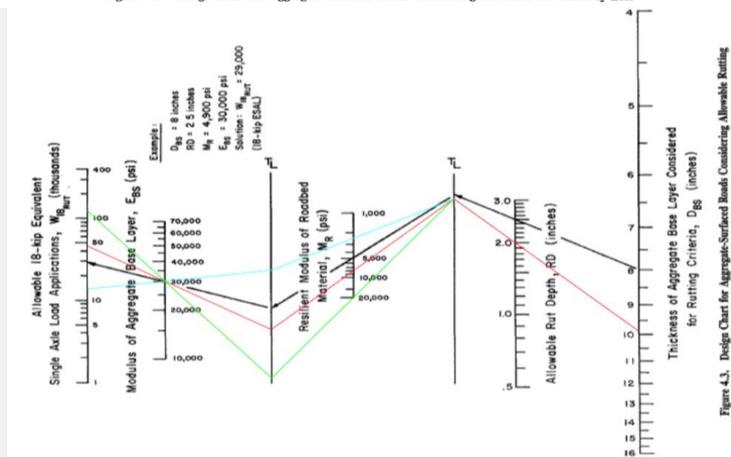


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochiri - Lima "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

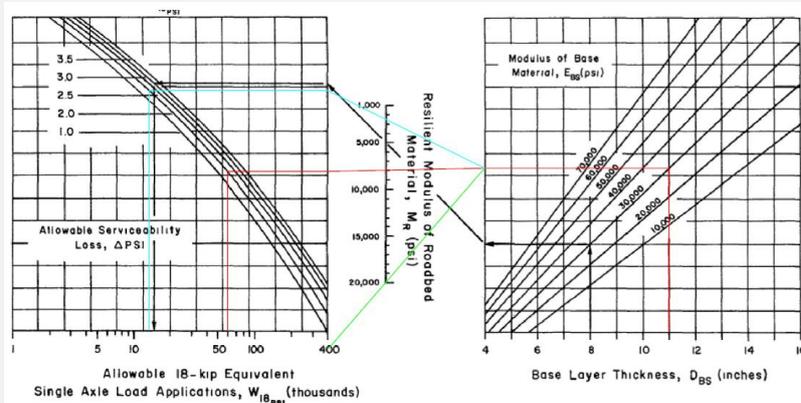


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

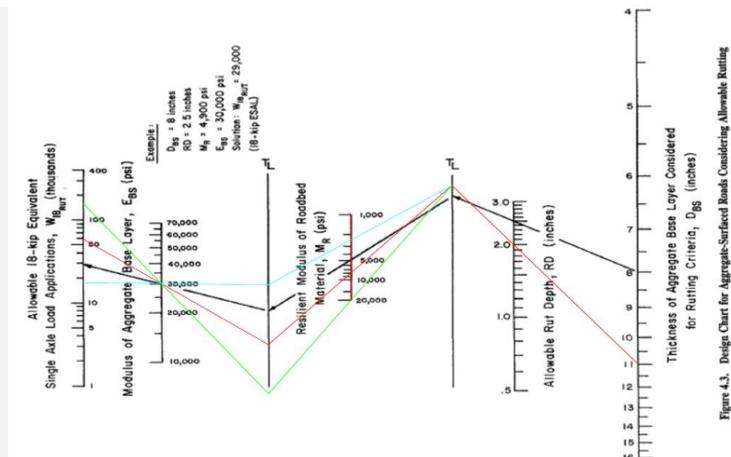


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

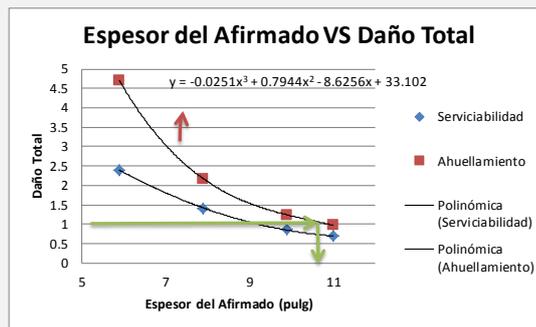
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochiri - Lima "*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DBs**            **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DBs	<input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7      pulg

**MÉTODO AASHTO**

<b>ESPESOR FINAL</b>	=	<b>29.6</b>	cm
----------------------	---	-------------	----

Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa"*

<b>PROVINCIA:</b>	HUAROCHIRÍ	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs)	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	50		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =				5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06	
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>	

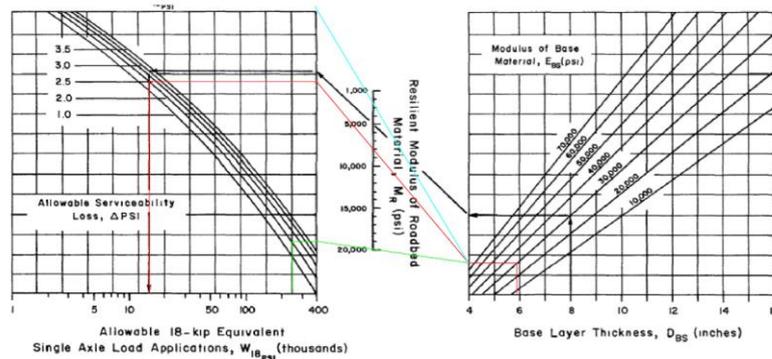


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

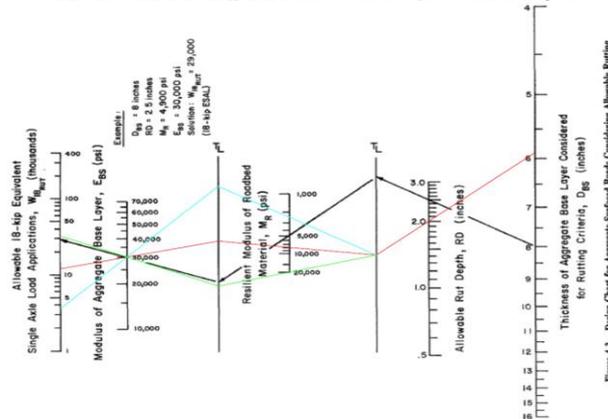


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochiri – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	333333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18

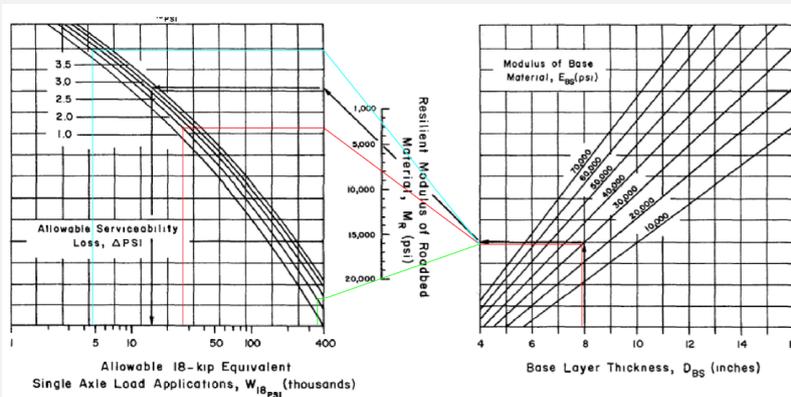


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

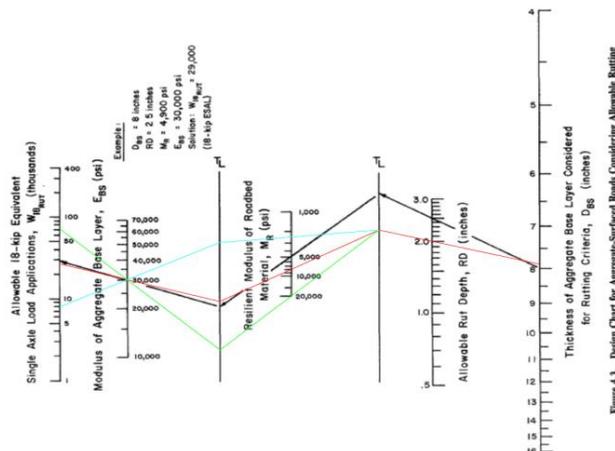


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochiri – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		0.86	Daño Total =		1.24

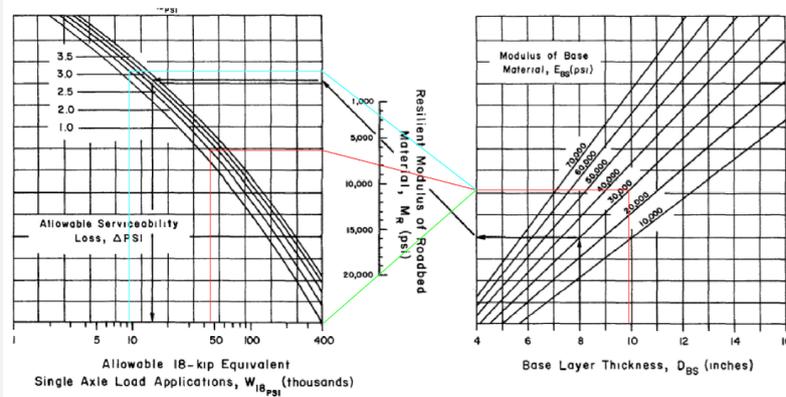


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

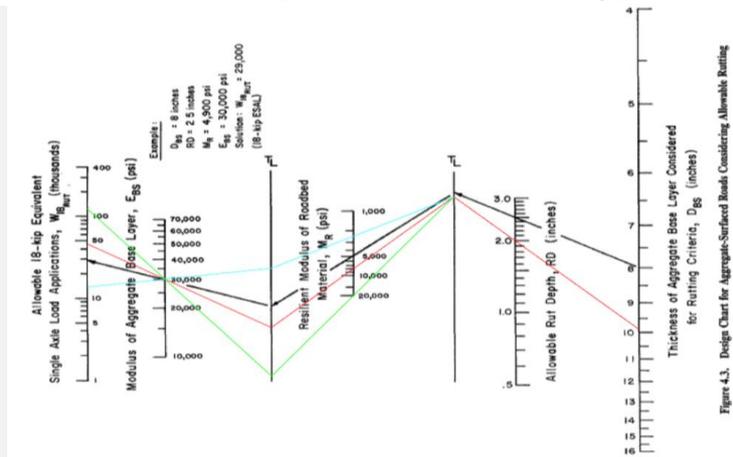


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochiri – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

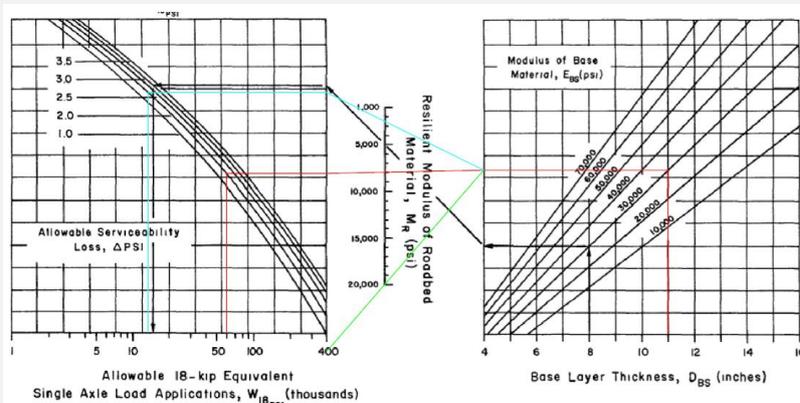


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

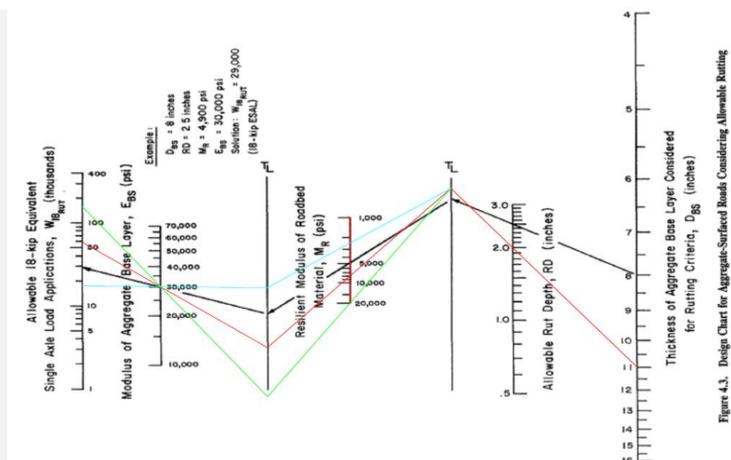


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

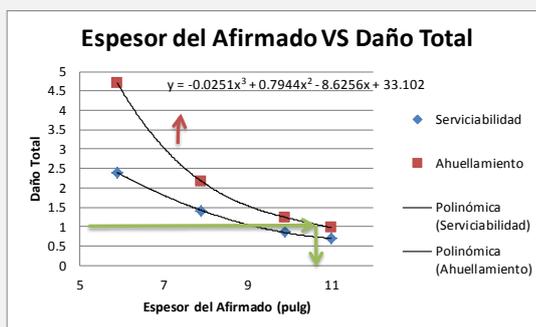
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochiri – Pavimentación de la Localidad de Huallarina"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DBs**            **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DBs       pulg  
 PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)       pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

11.7      pulg

**MÉTODO AASHTO**

     =       cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs)	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	25.71		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
		Tráfico Total =	100000.00	Daño Total =	2.40	Daño Total =	4.72

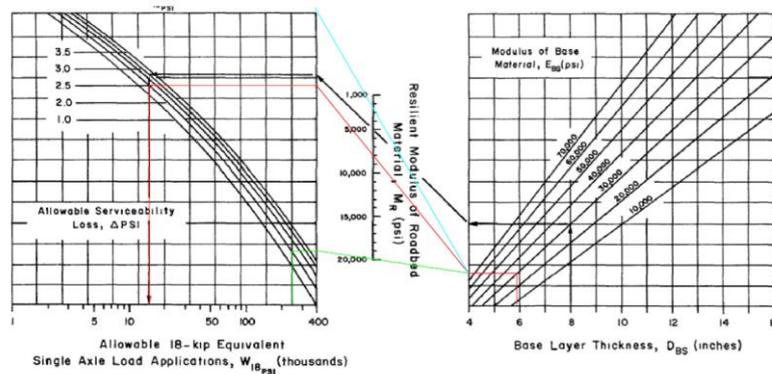


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

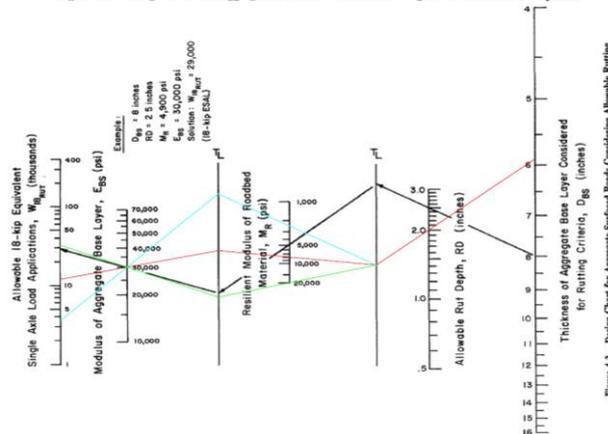


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		1.42	Daño Total = 2.18		

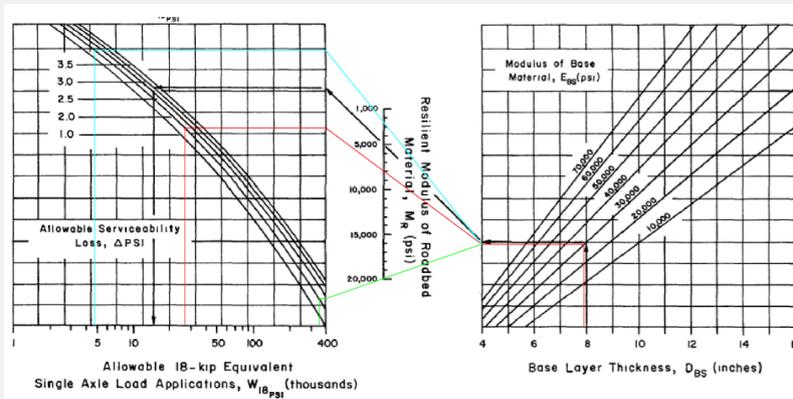


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

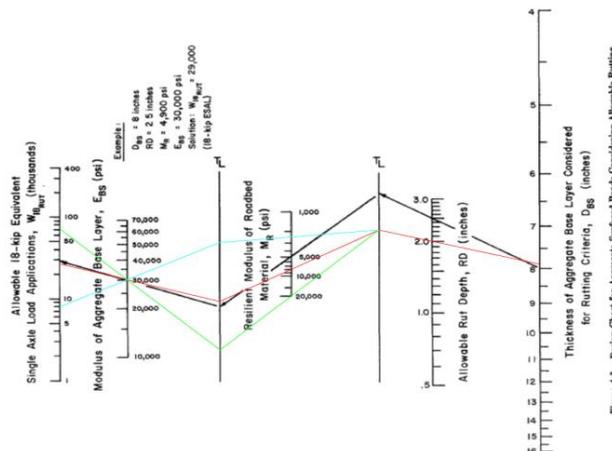


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		0.86	Daño Total =		1.24

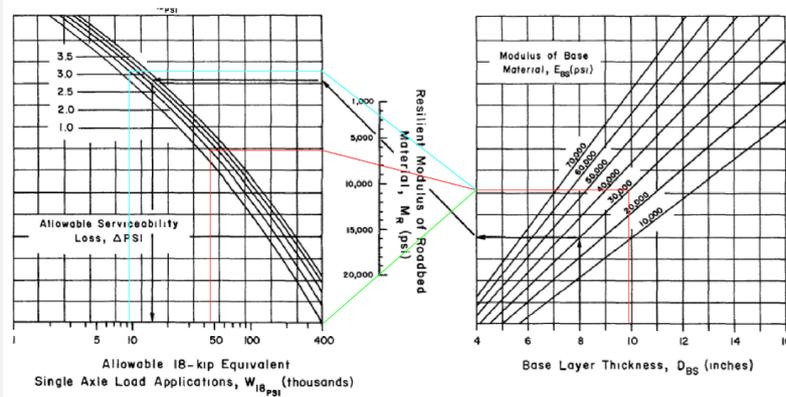


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

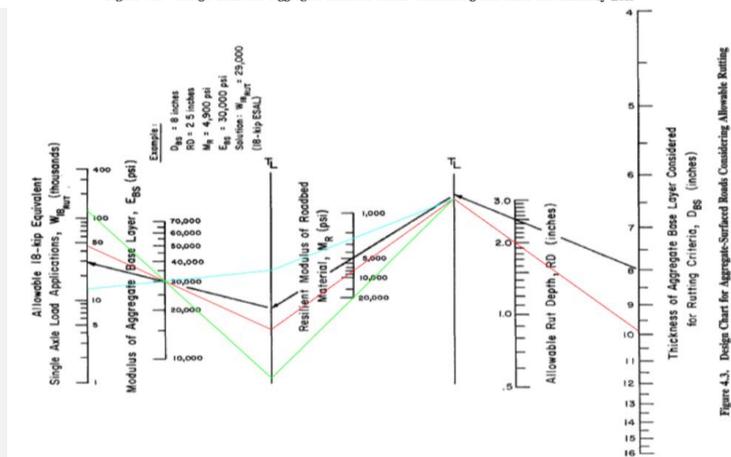


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

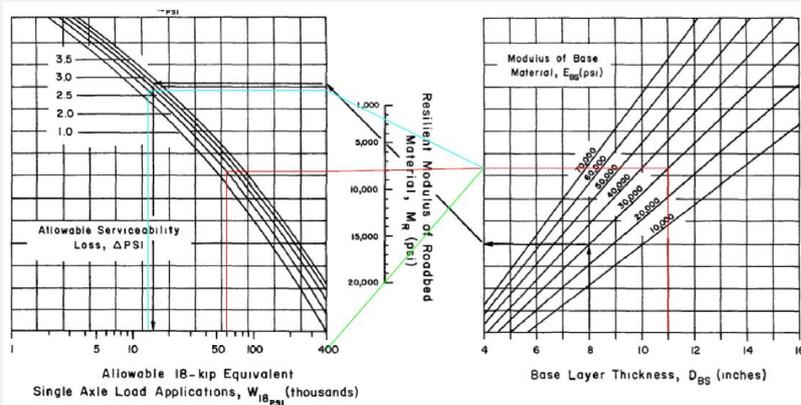


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

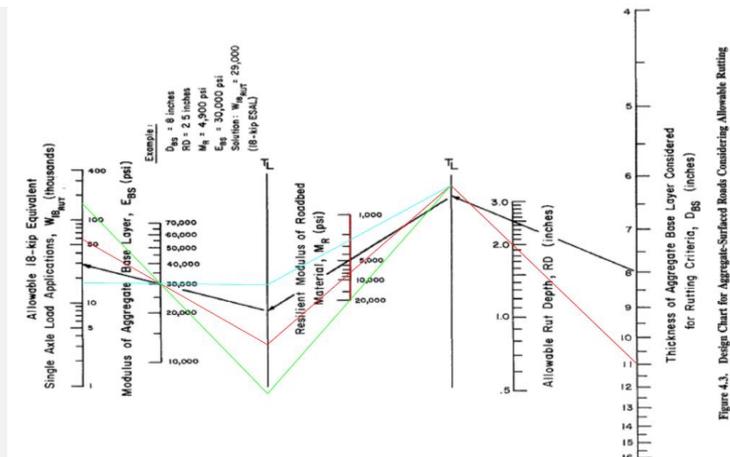


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

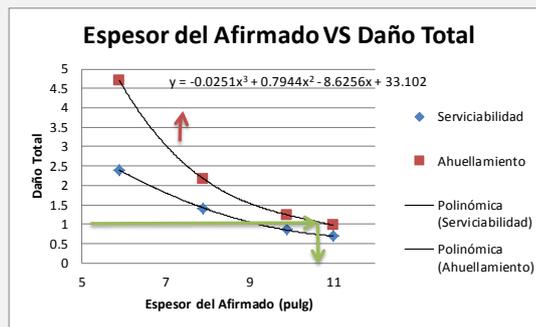
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DBs**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DBs	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$11.7 \quad \text{pulg}$$

#### MÉTODO AASHTO

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>	
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	36.02		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	5.90	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W <sub>18</sub>	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	249927.22	0.00	32356.32	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	2518.24	0.00	3573.41	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	15612.33	2.14	12553.44	2.66
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	249927.22	0.27	32356.32	2.06
<b>Tráfico Total =</b>			<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>2.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>4.72</b>

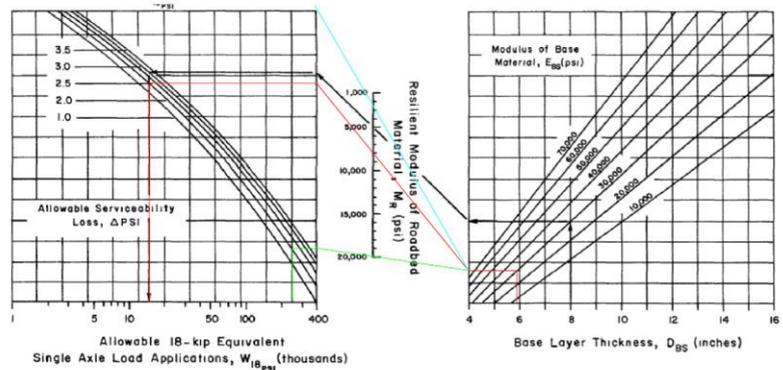


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

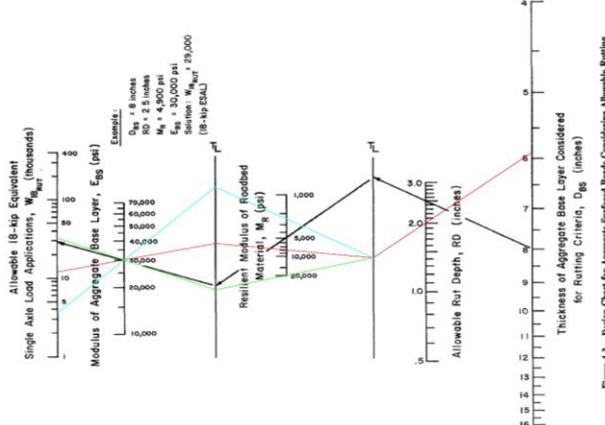


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			7.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	358705.36	0.00	71030.30	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	4771.93	0.00	7852.76	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	27084.55	1.23	26873.75	1.24
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	358705.36	0.19	71030.30	0.94
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.42	Daño Total =	2.18

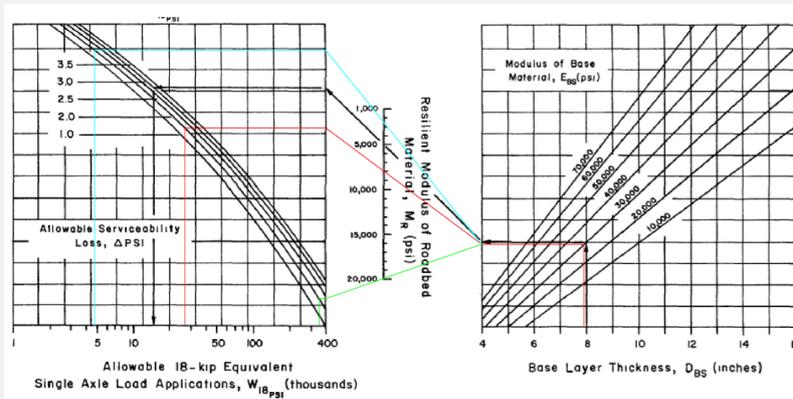


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

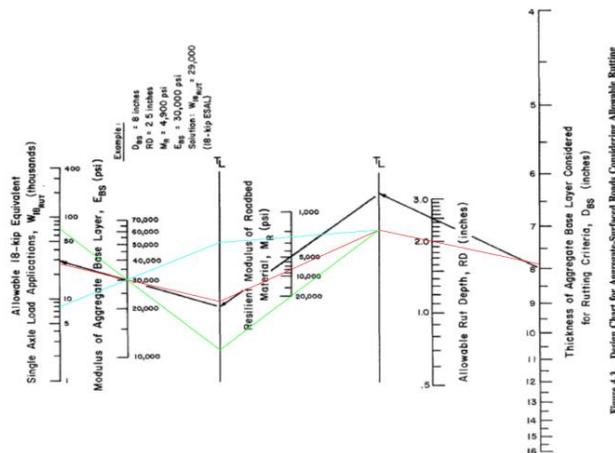


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			9.90	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	129809.98	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	9427.03	0.00	14453.68	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	45797.10	0.73	45622.78	0.73		
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	129809.98	0.51		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		0.86	Daño Total =		1.24

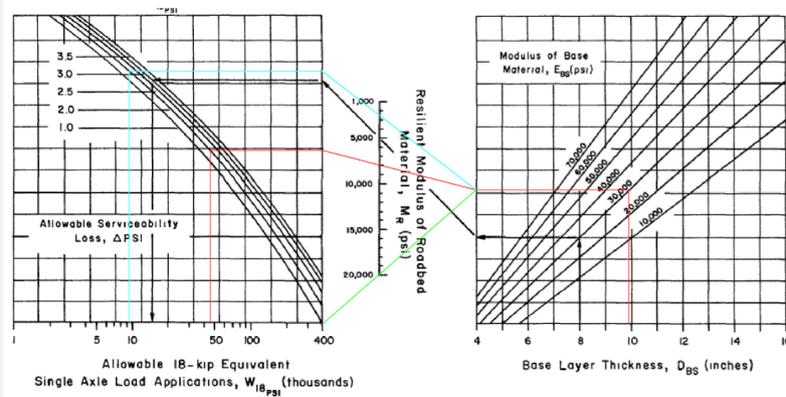


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

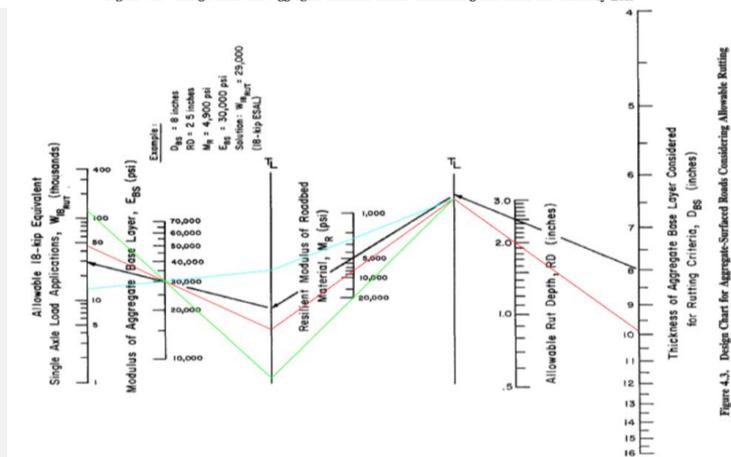


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	165083.14	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	14211.45	0.00	18016.63	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	59555.56	0.56	58160.38	0.57
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	500000.00	0.13	165083.14	0.40
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.69	Daño Total =	0.98

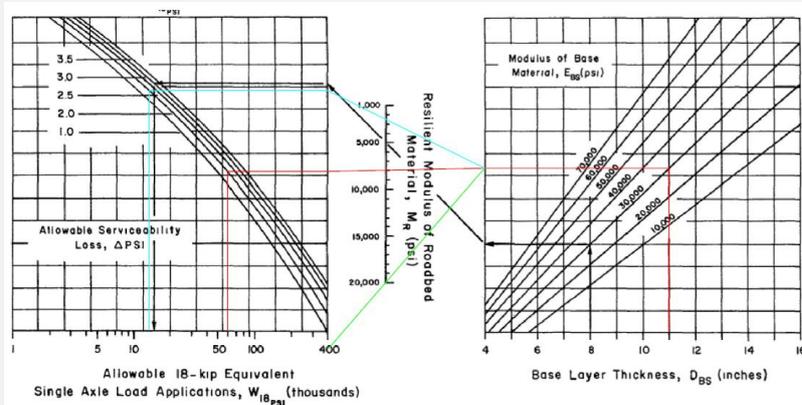


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

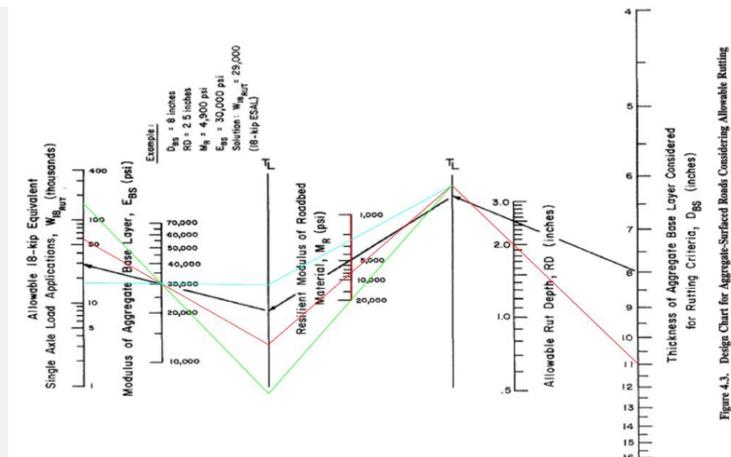


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

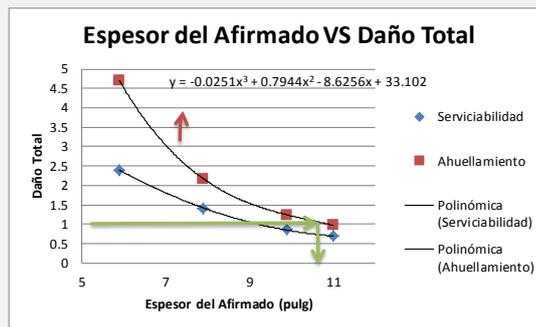
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	2.40	4.72
7.90	1.42	2.18
9.90	0.86	1.24
11.00	0.69	0.98



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0251x^3 + 0.7944x^2 - 8.6256x + 33.102$$

$$y = 1 \quad x = 10.74$$

**DbS**  **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR Dbs	<input type="text" value="10.7"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$11.7 \quad \text{pulg}$$

#### MÉTODO AASHTO

=  cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	GL = 0.12+0.1223*(LT)
CARGADOS (MILES)			
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	12.09		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =		8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W <sub>18</sub>	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W <sub>18</sub> )AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56		
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =		3.40	Daño Total =		3.42

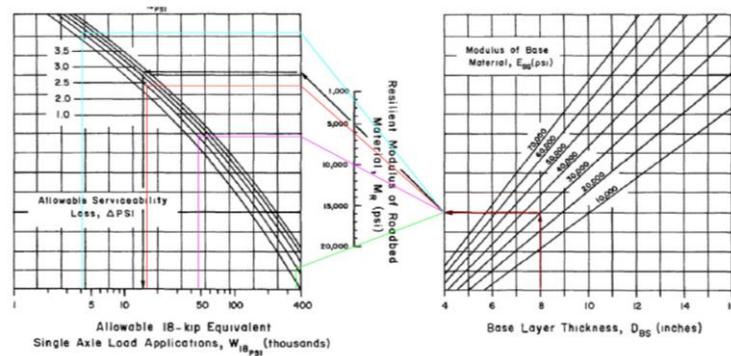


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

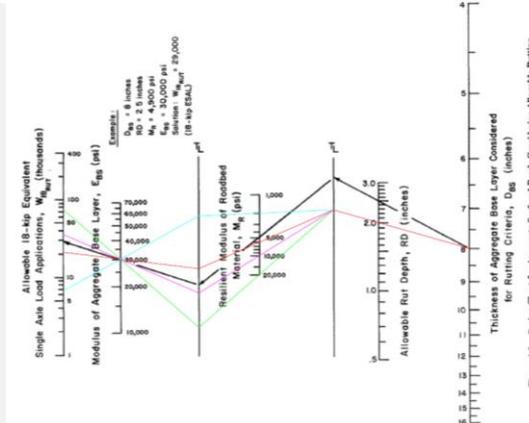


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$		
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00		
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00		
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74		
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88		
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62		

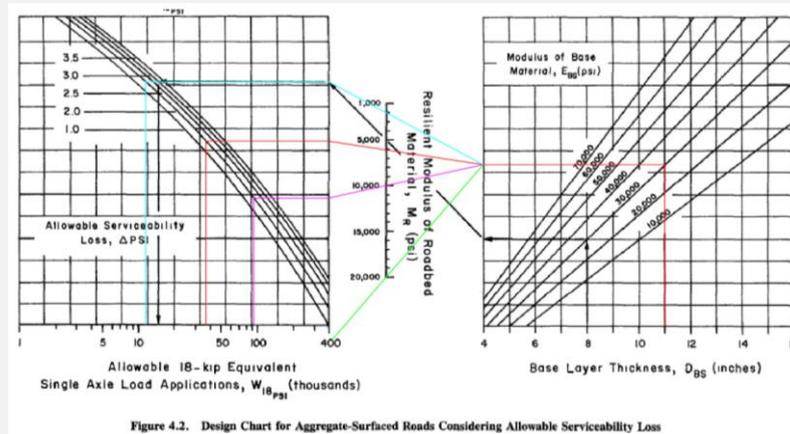


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

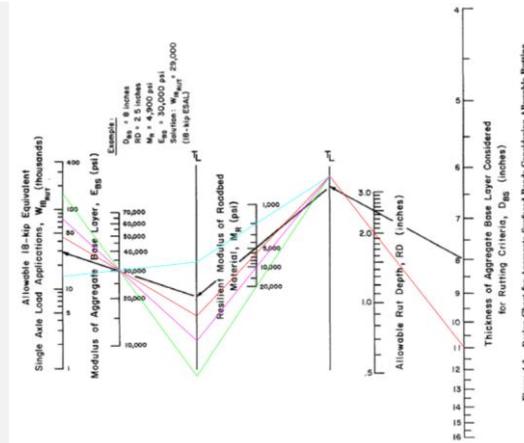


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

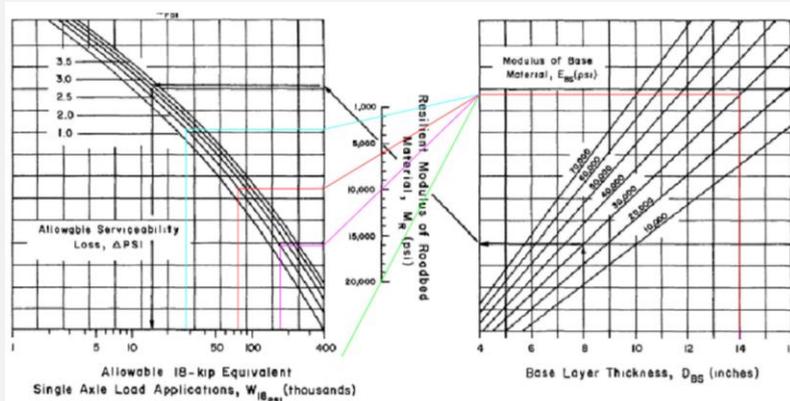


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

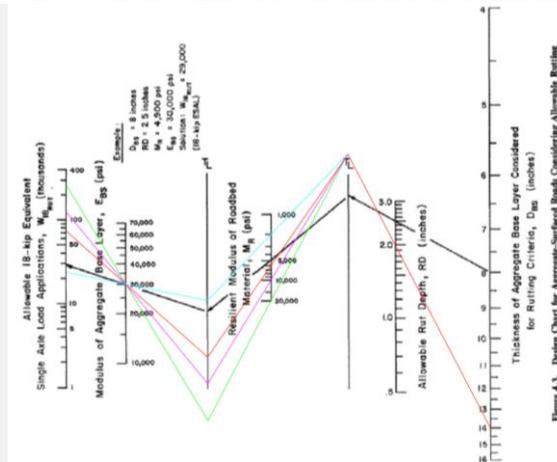


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50		Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89	

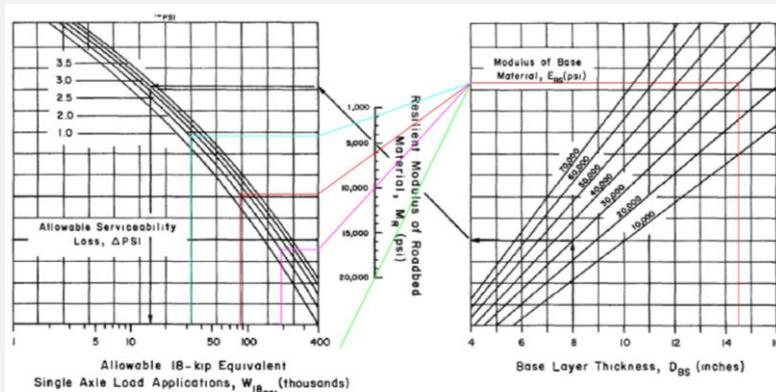


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

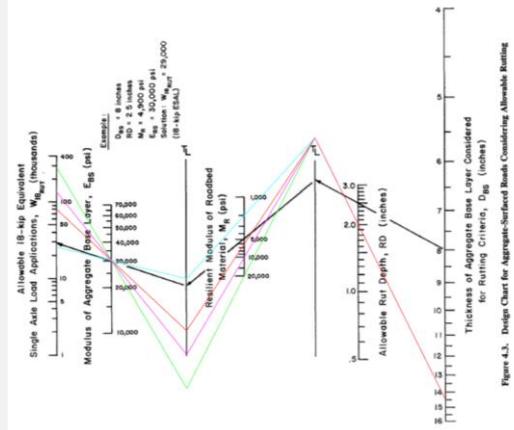


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

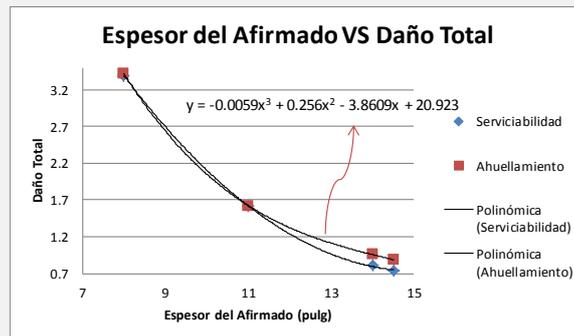
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolarse un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DBs**  **pulg**

#### **RESULTADOS**

ESPESOR DBs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1    pulg

#### **MÉTODO AASHTO**

**ESPESOR FINAL**    =     **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES <u>100,000.00</u> EE		AHUELLAMIENTO <u>2</u> pulg.
EJES EQUIVALENTES <u>100.00</u> EE (miles)		CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES <u>14.60</u> LT		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)
CARGADOS (MILES)		<b>GL = 0.12+0.1223*(LT)</b>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%) <u>12.1</u>		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =	8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2		
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
<b>Tráfico Total =</b>		<b>100000.00</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.40</b>	<b>Daño Total =</b>	<b>3.42</b>	

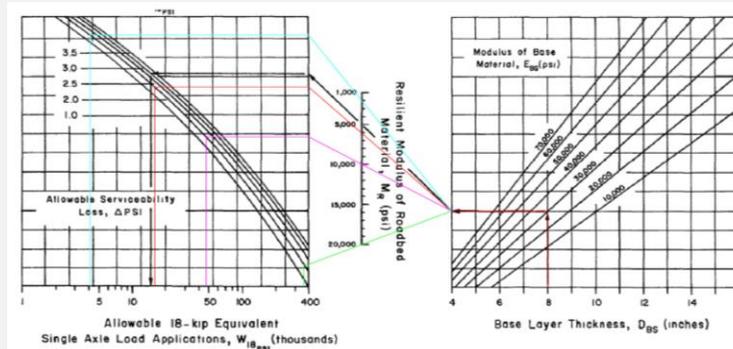


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

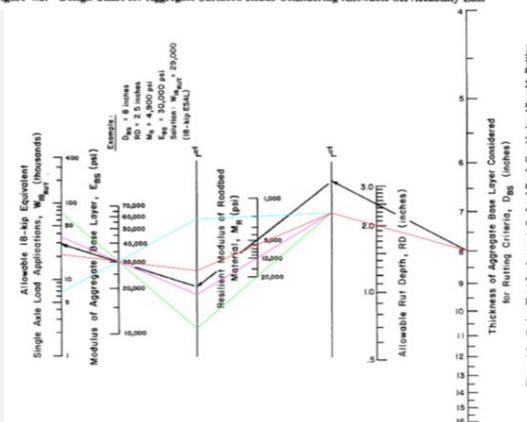


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00		Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$		2		Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2	
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$					
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00					
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00					
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74					
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88					
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62					

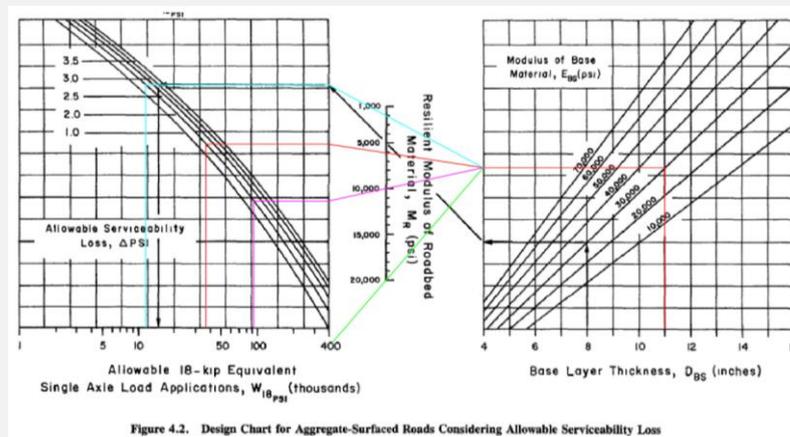


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

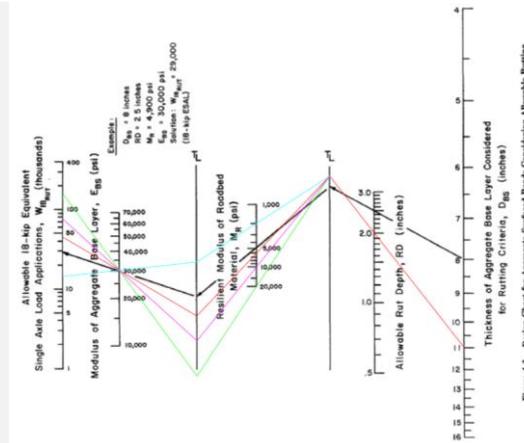


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

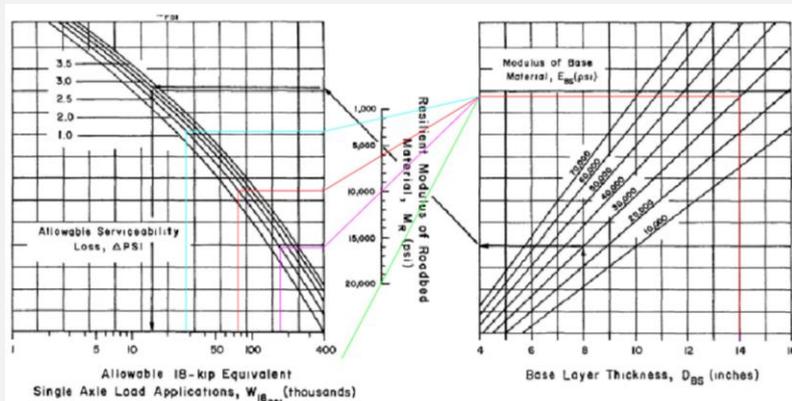


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

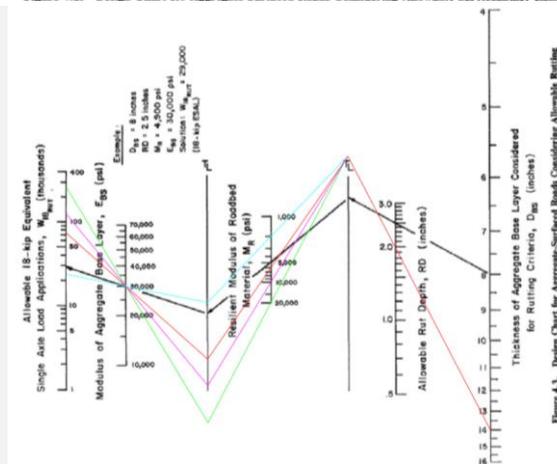


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50		Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42	
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89	

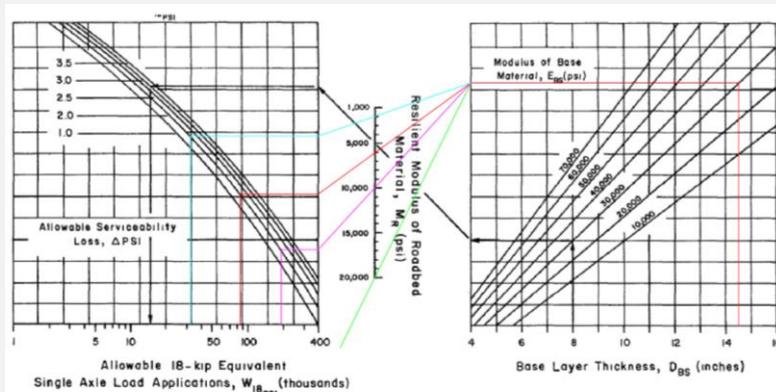


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

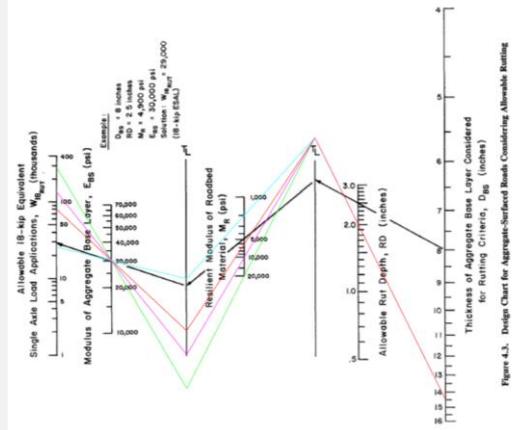


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

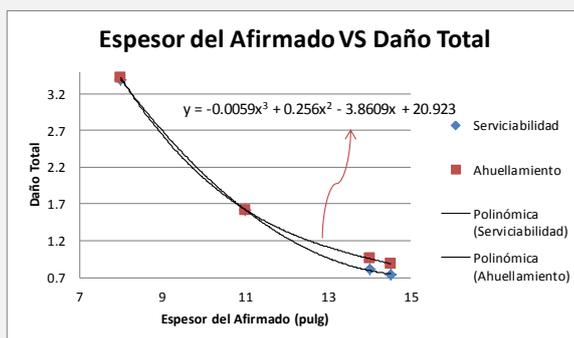
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DBs**            **pulg**

#### RESULTADOS

ESPESOR DBs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1      pulg

#### MÉTODO AASHTO

**ESPESOR FINAL**      =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (E <sub>as</sub> )	30000
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE	AHUPELLAMIENTO	2 pulg.
EJES EQUIVALENTES	100.00 EE (miles)	CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD	2 PSI
NÚMERO DE CAMIONES CARGADOS (MILES)	14.60 LT	PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	GL = 0.12+0.1223*(LT)
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	15.27		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =		8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =		2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =		2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectoado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{ES}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$	
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00	
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00	
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56	
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85	
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	3.40	Daño Total =	3.42	

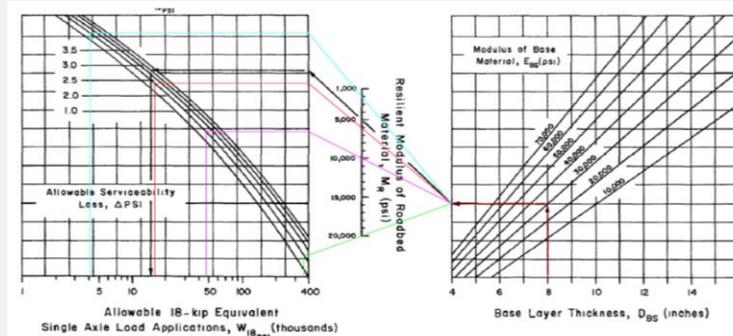


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

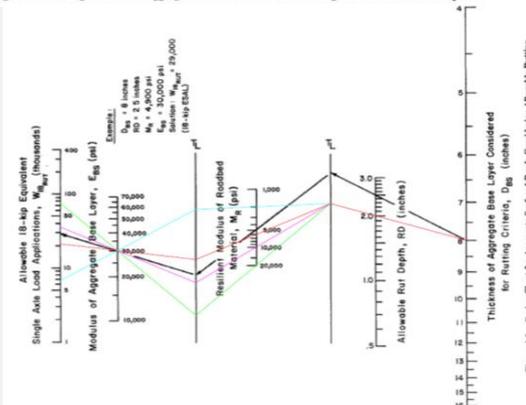


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62

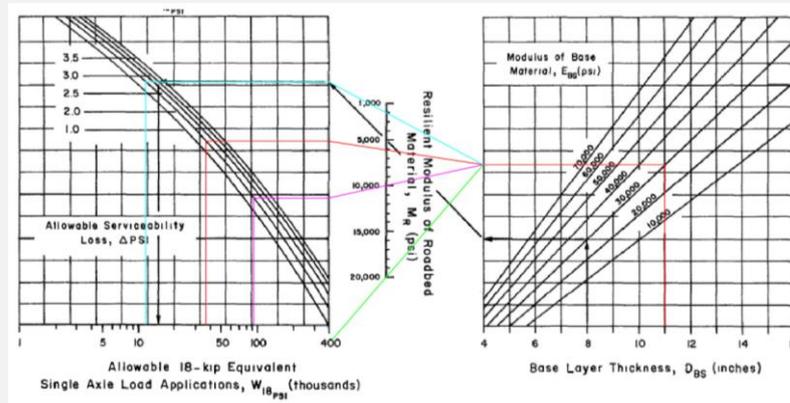


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

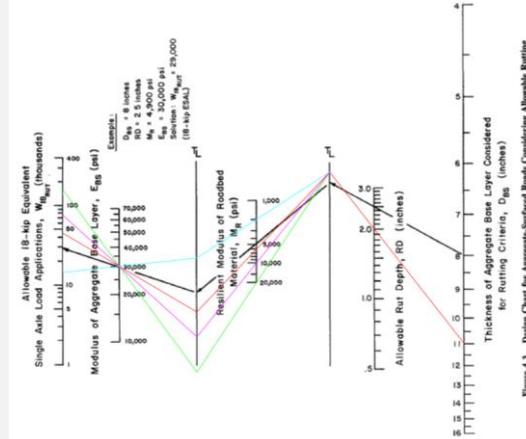


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

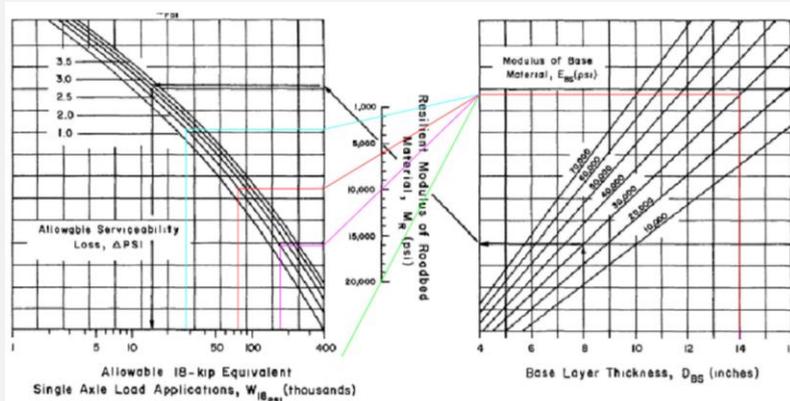


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

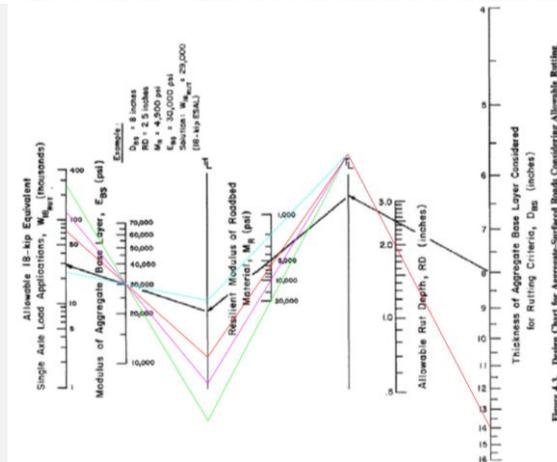


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89

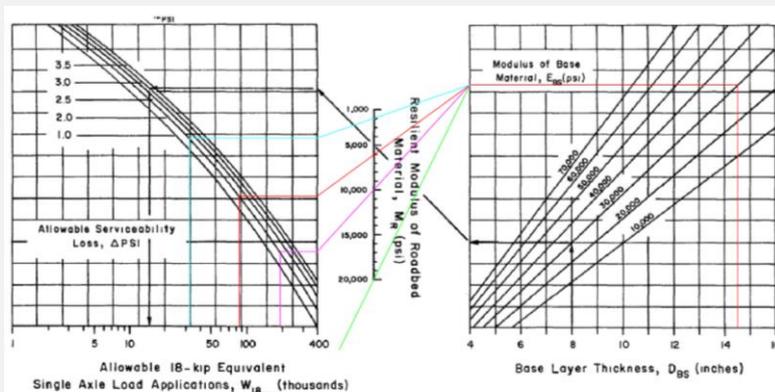


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

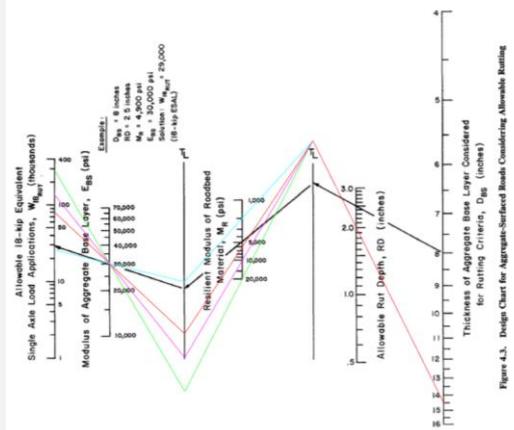


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

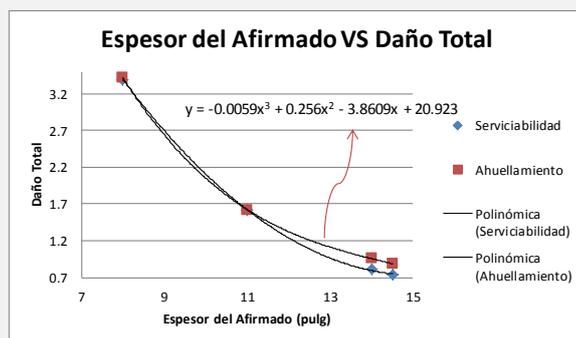
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

Espesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DBs**            **pulg**

**RESULTADOS**

ESPESOR DBs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

14.1      pulg

**MÉTODO AASHTO**

     =            cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO AASHTO**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	YAUYOS	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		MODULO DE LA CAPA DE AGREGADO (Ebs) <u>30000</u>
EJES EQUIVALENTES <u>100,000.00</u> EE		AHUELLAMIENTO <u>2</u>
EJES EQUIVALENTES <u>100.00</u> EE (miles)		CRITERIOS DE SERVICIABILIDAD <u>2</u> PSI
NÚMERO DE CAMIONES CARGADOS (MILES) <u>14.60</u> LT		PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL) <u>GL = 0.12+0.1223*(LT)</u>
<b>DATOS DE SUELO</b>		
CBR SUBRASANTE (%) <u>11</u>		

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			8.00	Criterios de Servicio, ΔPSI =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	367706.01	0.00	74484.85	0.00
Primavera / Desecho (Saturado)	2000	30000	0.00	4119.19	0.00	6746.03	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	16757.71	1.99	21322.65	1.56
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	47383.72	1.41	35948.28	1.85
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	3.40	Daño Total =	3.42

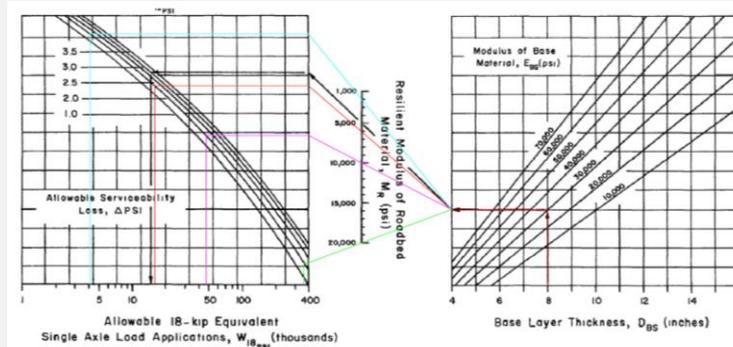


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

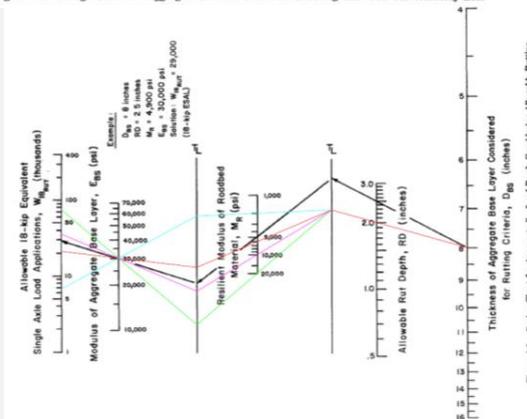


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongo, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			11.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, ( $W_{18}$ )PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, ( $W_{18}$ )AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	166863.91	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	11982.38	0.00	15261.90	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	333333.33	36919.83	0.90	44964.54	0.74
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	93582.89	0.71	75454.55	0.88
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	1.62	Daño Total =	1.62

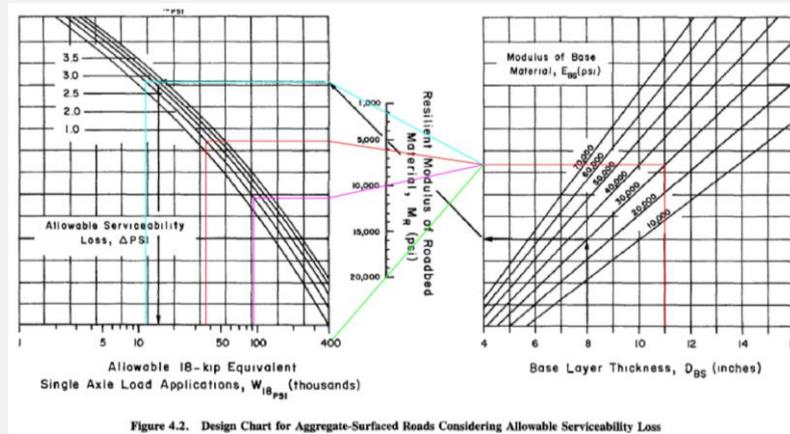


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

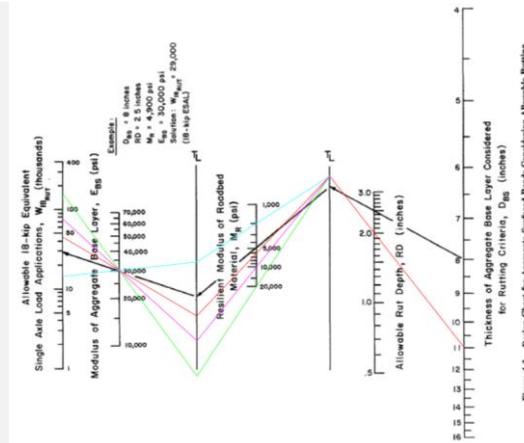


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongo, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.00	Criterios de Servicio, $\Delta PSI =$	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, W18	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)PSI	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, (W18)AHUELLAMIENTO	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	267342.80	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2000	30000	0.00	28221.57	0.00	24308.62	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	6000	30000	33333.33	75593.22	0.44	73393.94	0.45
Verano (Seco)	10000	30000	66666.67	179255.32	0.37	132544.38	0.50
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.81	Daño Total =	0.96

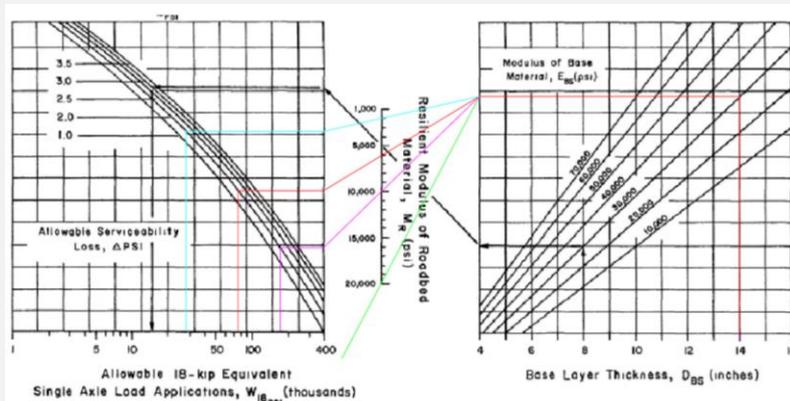


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

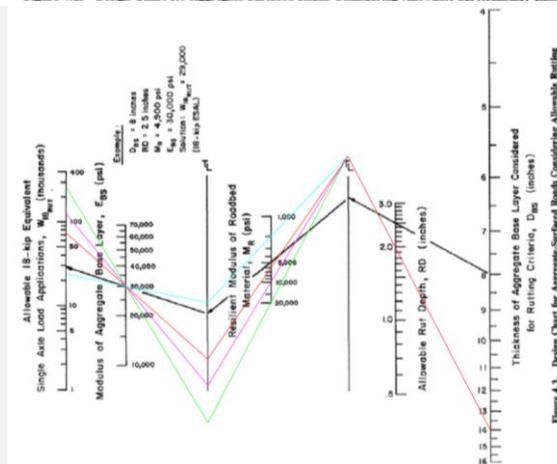


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Bending

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

**Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongo, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"**

Tabla 4.4. Carta para Calcular el Daño Total del Pavimento (Bajo los Criterios de Serviciabilidad y Ahuellamiento) Basado en un Espesor de Prueba de la Base Granular

ESPESOR DE BASE DE ENSAYO, DBS (pulgadas) =			14.50	Criterios de Servicio, $\Delta PSI$ =	2	Criterio de Ahuellamiento RD (pulgadas) =	2
(1) Temporada (condición de la humedad del suelo)	(2) Módulo Resiliente, MR (PSI)	(3) Módulo Elástico Base, EBS (PSI)	(4) Tráfico Proyectado 18-kip ESAL, $W_{18}$	(5) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{PSI}$	(6) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{PSI}}$	(7) Tráfico Admisible 18-kip ESAL, $(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}$	(8) Daño Estacional, $\frac{W_{18}}{(W_{18})_{AHUELLAMIENTO}}$
Invierno (Helado)	20000	30000	0.00	500000.00	0.00	284989.86	0.00
Primavera / Deshielo (Saturado)	2500	30000	0.00	32320.68	0.00	26052.10	0.00
Primavera / Otoño (Húmedo)	8000	30000	33333.33	85217.39	0.39	79090.91	0.42
Verano (Seco)	20000	30000	66666.67	194091.71	0.34	142721.89	0.47
Tráfico Total =			100000.00	Daño Total =	0.73	Daño Total =	0.89

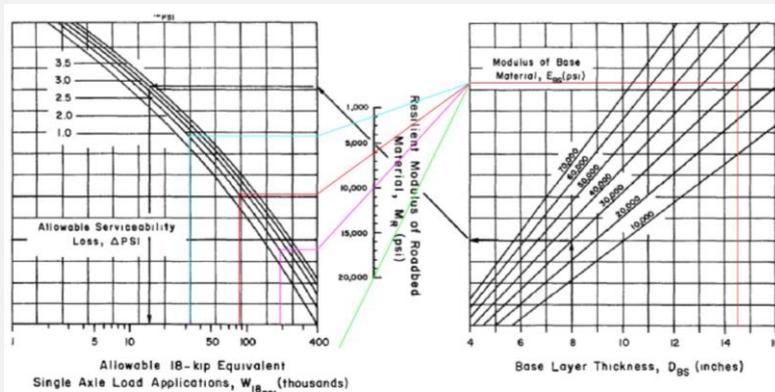


Figure 4.2. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Serviceability Loss

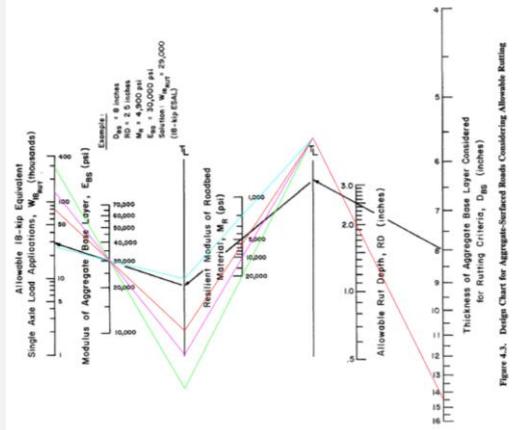


Figure 4.3. Design Chart for Aggregate-Surfaced Roads Considering Allowable Rutting

Fuente: Manual AASHTO 1993

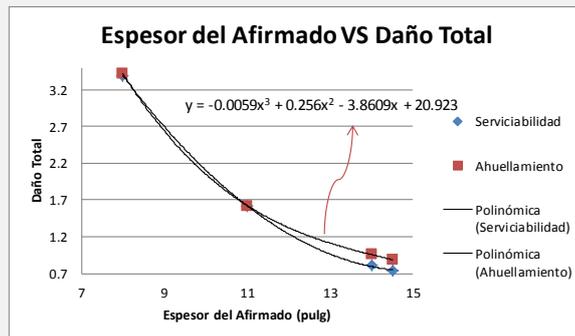
Fuente: Elaboración propia (2017)

## DISEÑO DE AFIRMADO

### MÉTODO AASHTO

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongo, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

Esesor de Afirmado (pulg)	Serviciabilidad	Ahuellamiento
5.90	3.40	3.42
7.90	1.62	1.62
9.90	0.81	0.96
11.00	0.73	0.89



Usaremos la fórmula polinómica del ahuellamiento ya que al interpolar un daño total a 1 la curva de ahuellamiento nos dará un mayor espesor de afirmado.

$$y = -0.0059x^3 + 0.256x^2 - 3.8609x + 20.923$$

$$y = 1 \quad x = 13.17$$

**DBs**  **pulg**

#### **RESULTADOS**

ESPESOR DBs	<input type="text" value="13.2"/>	pulg
PÉRDIDA DE AGREGADOS (GL)	<input type="text" value="1.9"/>	pulg

$$DBS = DBS + 0.5 * (GL)$$

$$14.1 \quad \text{pulg}$$

#### **MÉTODO AASHTO**

**ESPESOR FINAL**  **cm**

Fuente: Elaboración propia (2017)

## ANEXO 14

### CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO TRRL

#### 1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 25

**FÓRMULA**  
CURVA : C

$$y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

$$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 25

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 140.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 14.0 cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$

$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Course Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"*

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 130.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 13.0 cm

Fuente: Provias Nacional

Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado"*

---

**PROVINCIA:** HUAURA

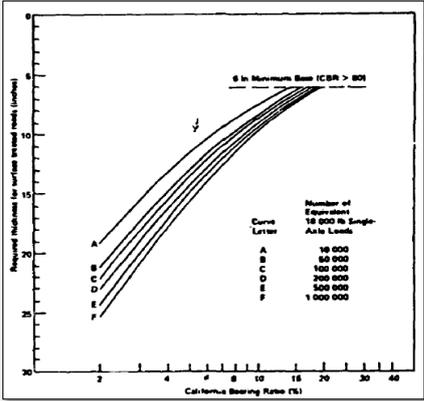
**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 12.09

**FÓRMULA:**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS:**

ESPOSOR = 14.97 cm



Curve Letter	Number of Equivalent 18,000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado"*

---

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 12.09

**DATOS DEL AGREGADO:**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA:**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS:**

ESPOSOR 210.0 mm

Fuente: Google Earth Pro



**MÉTODO TRRL**

ESPOSOR = 21.0 cm

Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: “Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAJATAMBO
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>	
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE
<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	60
<b>FÓRMULA</b>	
CURVA : C	
	$y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$
	$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	11.43 cm

Curve Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axle Loads
A	18 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAJATAMBO
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>	
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE
<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	60
<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
AHUELLAMIENTO (Máx)	40 mm
AHUELLAMIENTO (Máx)	1.5 pulg
<b>FÓRMULA</b>	
$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$	
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	80.0 mm
<b>MÉTODO TRRL</b>	
ESPESOR	8.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

---

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 20

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Curve	Number of Equivalent Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	300 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

---

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 20

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 160.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 16.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

---

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 29

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Curve Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

---

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 29

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 120.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 12.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"*

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 27.29

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"*

**PROVINCIA:** OYÓN

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 27.29

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 130.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 13.0 cm

Fuente: Manual AASHTO 1993

Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 15.20

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 12.74 cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 15.2

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 180.0 mm

MÉTODO TRRL

ESPESOR = 18.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 17.40

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Curve Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

---

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 17.4

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 170.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 17.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 16.70

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.93 cm

Curve	Number of Equivalent Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 16.7

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 170.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 17.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

---

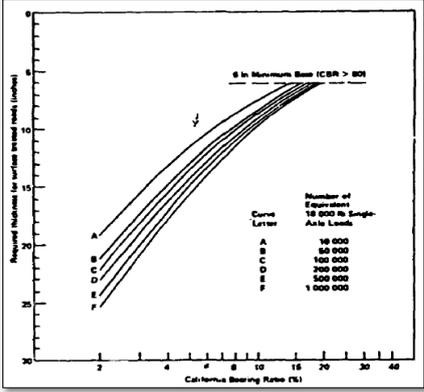
**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 31.00

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**  
ESPESOR = 11.43 cm



Curve	Number of Equivalent Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 31

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**  
$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**  
ESPESOR 120.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 12.0 cm



Fuente: Google Earth Pro

Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

---

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 10.50

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**  
ESPESOR = 16.53 cm

6 in Minimum Base (CBR > 80)

Curve	Number of Equivalent Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

---

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 10.5

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**  
ESPESOR 230.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 23.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b> EJES EQUIVALENTES	<u>100,000.00</u> EE
<b>DATOS DE SUELO</b> CBR SUBRASANTE (%)	<u>22.82</u>
<b>FÓRMULA</b> CURVA : C	
$y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$	
$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$	
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	= 11.43 cm

Curve	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"*

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b> EJES EQUIVALENTES	<u>100,000.00</u> EE
<b>DATOS DE SUELO</b> CBR SUBRASANTE (%)	<u>22.82</u>
<b>DATOS DEL AGREGADO</b> AHUELLAMIENTO (Máx)	<u>40</u> mm
AHUELLAMIENTO (Máx)	<u>1.5</u> pulg
<b>FÓRMULA</b>	
$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$	
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	140.0 mm
<b>MÉTODO TRRL</b>	
ESPESOR	= 14.0 cm




Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima"*

---

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 41.67

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Curve Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	18 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia -Huarochirí - Lima"*

---

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 41.67

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 100.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 10.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "*

---

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 50.00

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

6 In Minimum Base (CBR > 80)

Curve Letter	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa "*

---

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 50

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 90.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 9.0 cm

**UBICACIÓN DEL PROYECTO**

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 25.71

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$

$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 11.43 cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 25.71

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 130.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 13.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$

$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

=  cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

=  mm

**MÉTODO TRRL**

=  cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>	
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE
<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	16.00
<b>FÓRMULA</b>	
CURVA : C	
	$y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$
	$E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	12.29 cm

6 in Minimum Base (CBR > 80)

Curve Letter	Number of Equivalents 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

<b>PROVINCIA:</b>	CAÑETE
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>	
EJES EQUIVALENTES	100,000.00 EE
<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR SUBRASANTE (%)	16
<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
AHUELLAMIENTO (Máx)	40 mm
AHUELLAMIENTO (Máx)	1.5 pulg
<b>FÓRMULA</b>	
	$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$
<b>RESULTADOS</b>	
ESPESOR	180.0 mm
	<b>MÉTODO TRRL</b>
ESPESOR	18.0 cm




Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 12.10

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 14.97 cm

Curve	Number of Equivalent Axle Loads
A	10 000
B	50 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmana - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmana, Provincia de Cañete"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 12.1

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 180.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 21.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 15.27

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**

ESPESOR = 12.70 cm

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"*

---

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
CBR SUBRASANTE (%) 15.27

**DATOS DEL AGREGADO:**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**

$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**

ESPESOR 180.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 18.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

---

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 11.00

**FÓRMULA**  
CURVA : C  
 $y = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$   
 $E = 0.00028164y^3 + 0.01511872y^2 - 1.57018055y + 29.77739664$

**RESULTADOS**  
ESPESOR = 16.00 cm

Curva	Number of Equivalent 18 000 lb Single-Axis Loads
A	10 000
B	60 000
C	100 000
D	200 000
E	500 000
F	1 000 000

Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1977)

(\*) El resultado final fue multiplicado por 0.78, ya que el gráfico es para carreteras tratadas superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2017)

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO TRRL**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

---

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:**  
EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
CBR SUBRASANTE (%) 11

**DATOS DEL AGREGADO**  
AHUELLAMIENTO (Máx) 40 mm  
AHUELLAMIENTO (Máx) 1.5 pulg

**FÓRMULA**  
$$\log N_{40} = \frac{h (CBR)^{0.63}}{190} - 0.24$$

**RESULTADOS**  
ESPESOR 220.0 mm

**MÉTODO TRRL**

ESPESOR = 22.0 cm

Fuente: Gobierno Regional de Lima

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 15

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO AUSTRROADS

1. Barranca, expediente: "Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTRROADS**

*Expediente técnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco ,distrito de Supe-Barranca-Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	BARRANCA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
		CONFIABILIDAD	80 %
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		<b>RESULTADOS</b>	
DISEÑO DE TRAFICO(N <sub>DT</sub> )	100,000.00 EE	<b>MÉTODO AUSTRROADS</b>	
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	60,000.00 DESA	ESPESOR	= 10.0 cm
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	25		

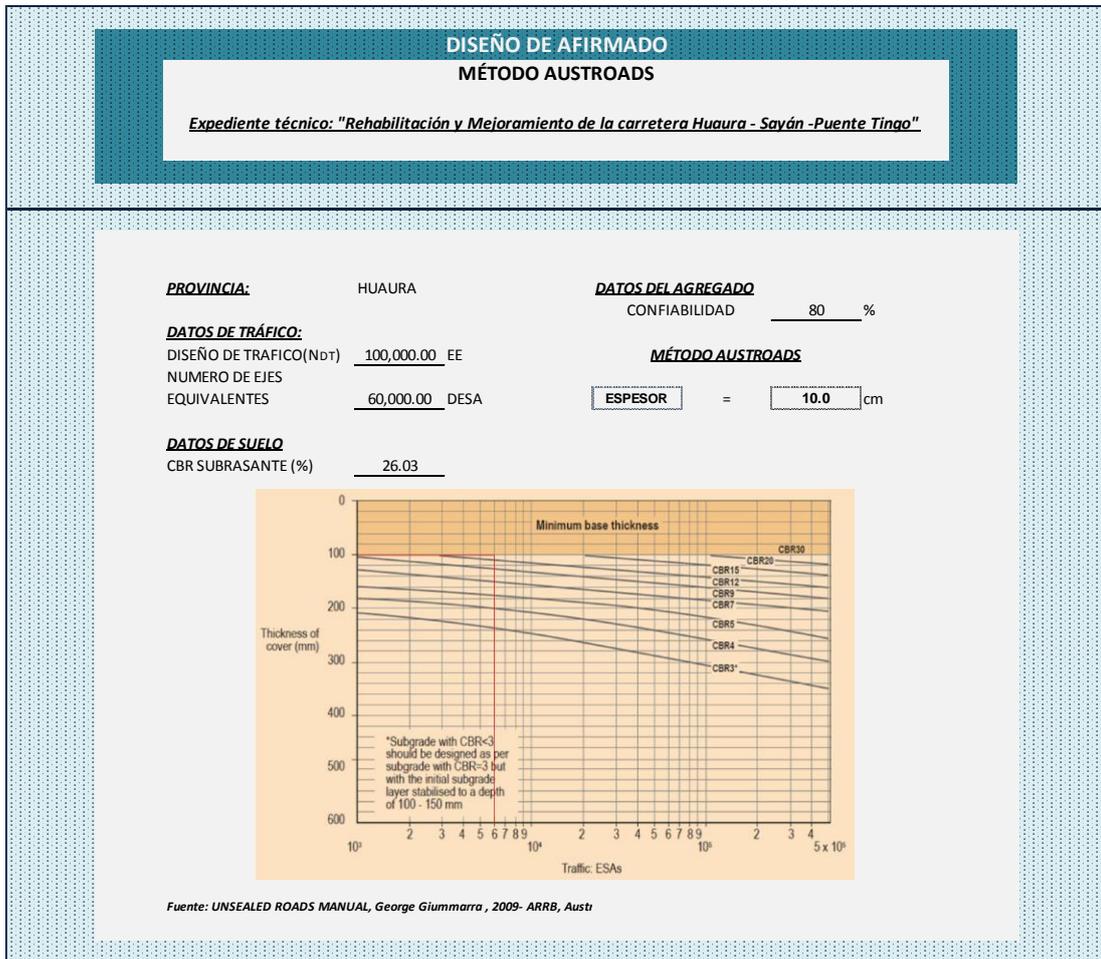
  

\*Subgrade with CBR<3 should be designed as per subgrade with CBR=3 but with the initial subgrade layer stabilised to a depth of 100 - 150 mm

Fuente: UNSEALED ROADS MANUAL, George Giummarra , 2009- ARRB, Australia.

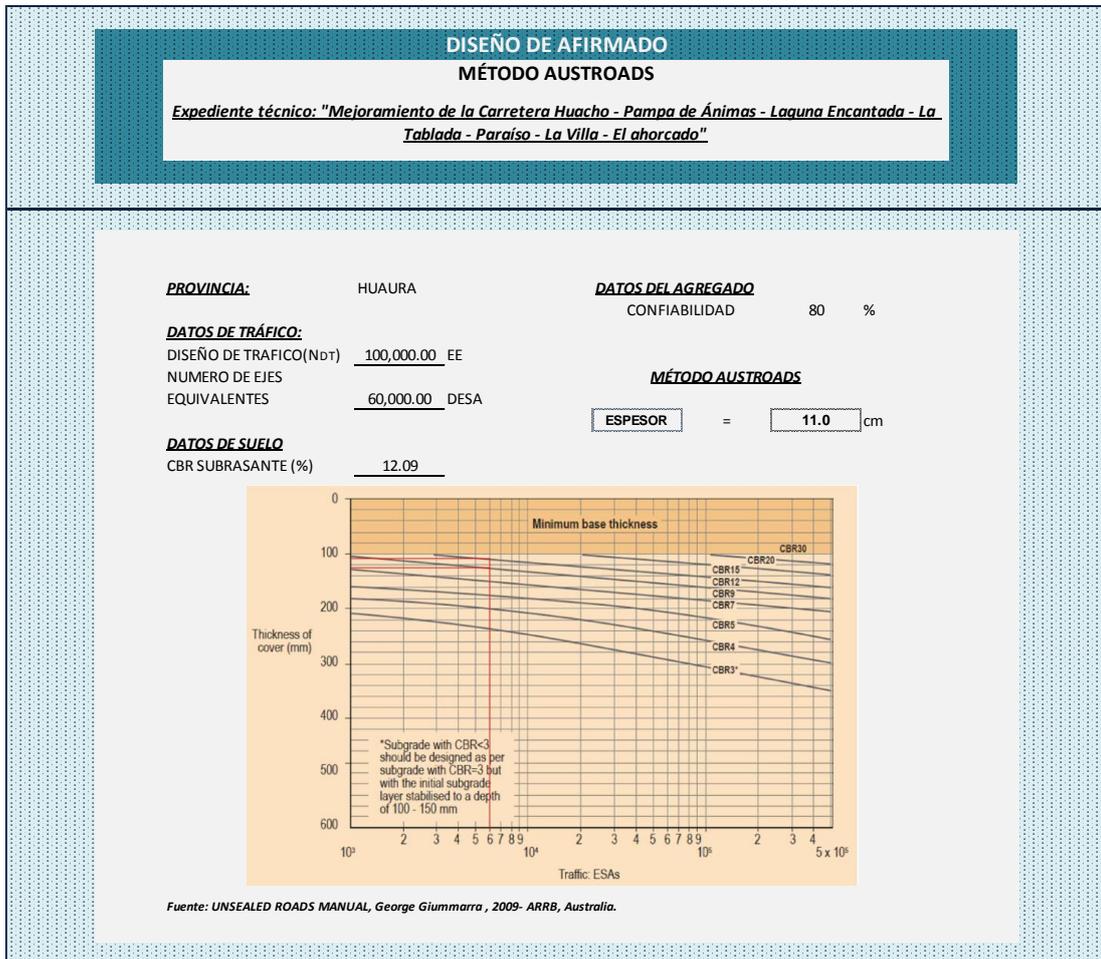
Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”



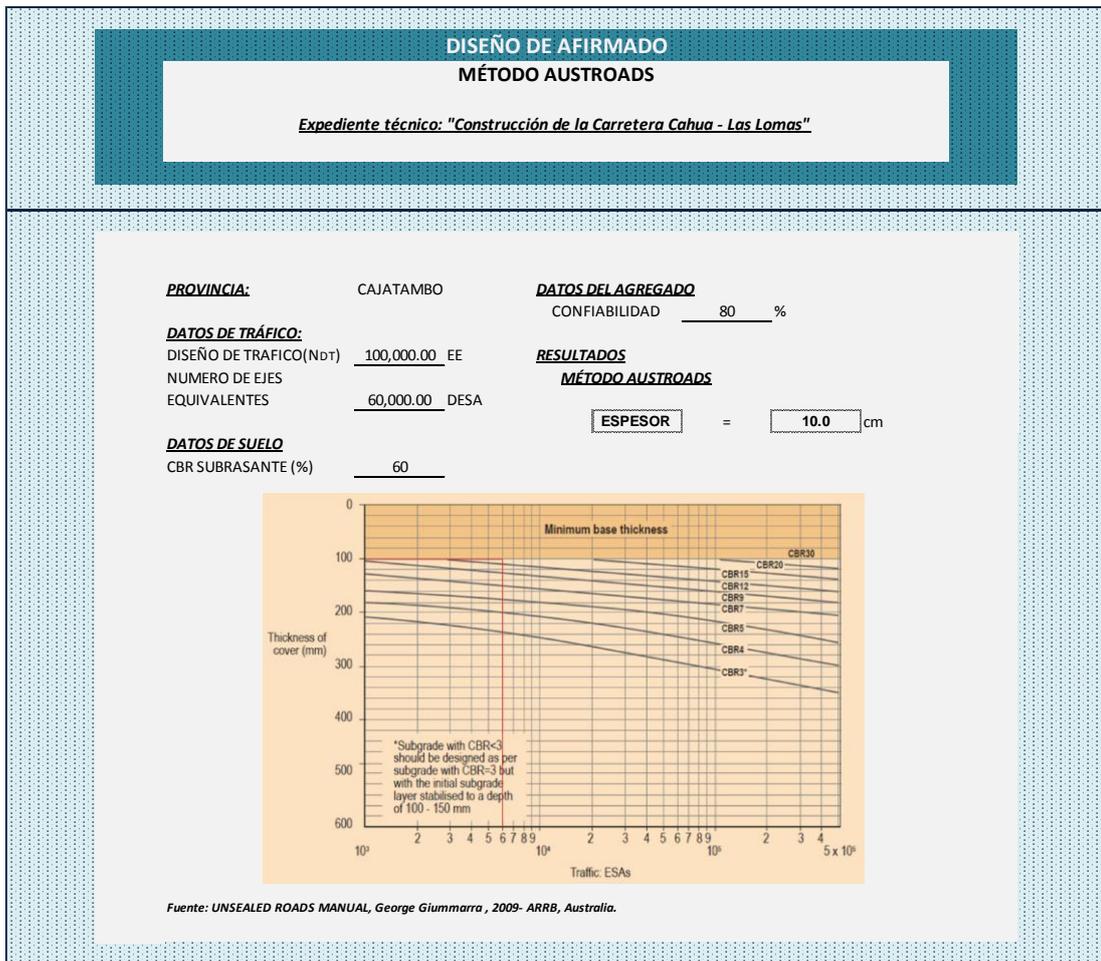
Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”



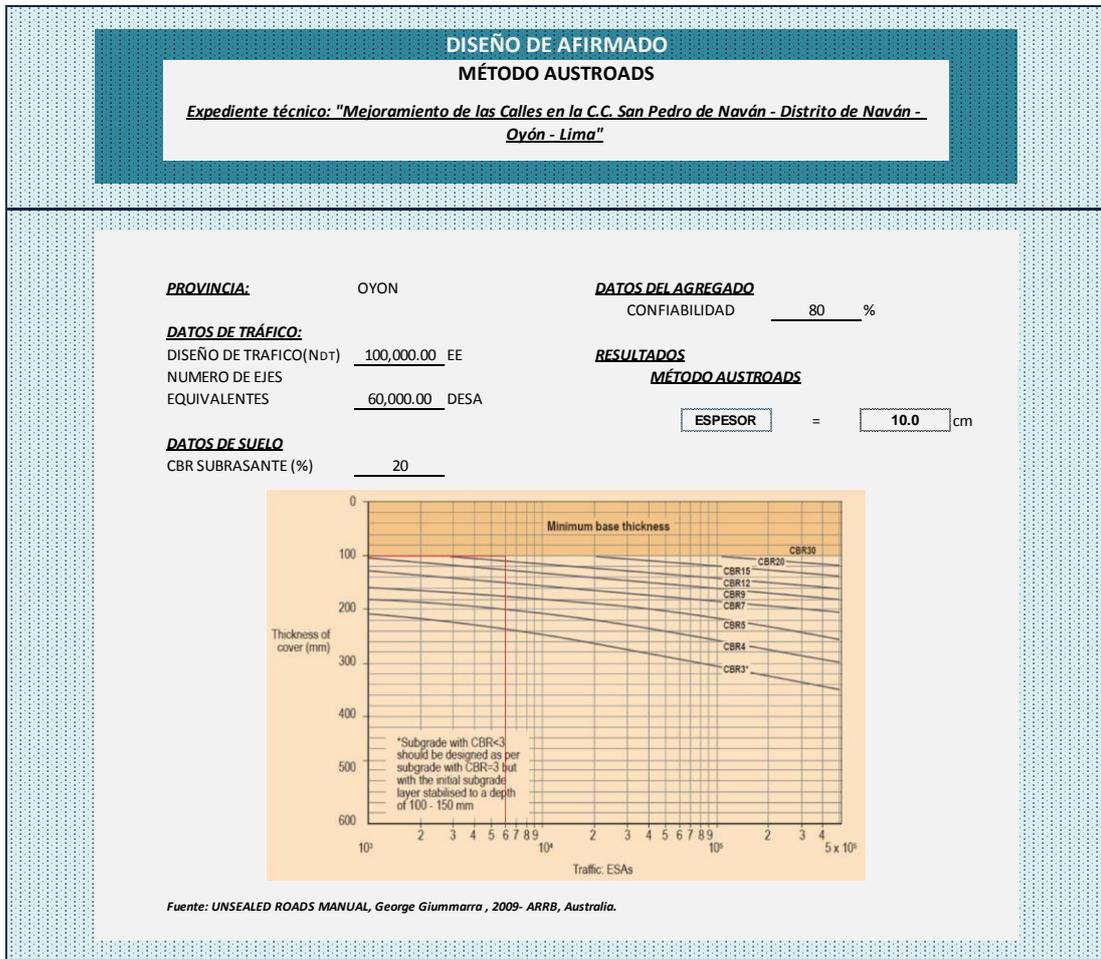
Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"



Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"



Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: “Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTROADS**

Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"

<b>PROVINCIA:</b>	OYON	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
		CONFIABILIDAD	80 %
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		<b>MÉTODO AUSTROADS</b>	
DISEÑO DE TRAFICO(NdT)	100,000.00 EE		
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	60,000.00 DESA	ESPESOR	= <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">10.0</span> cm
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	29		

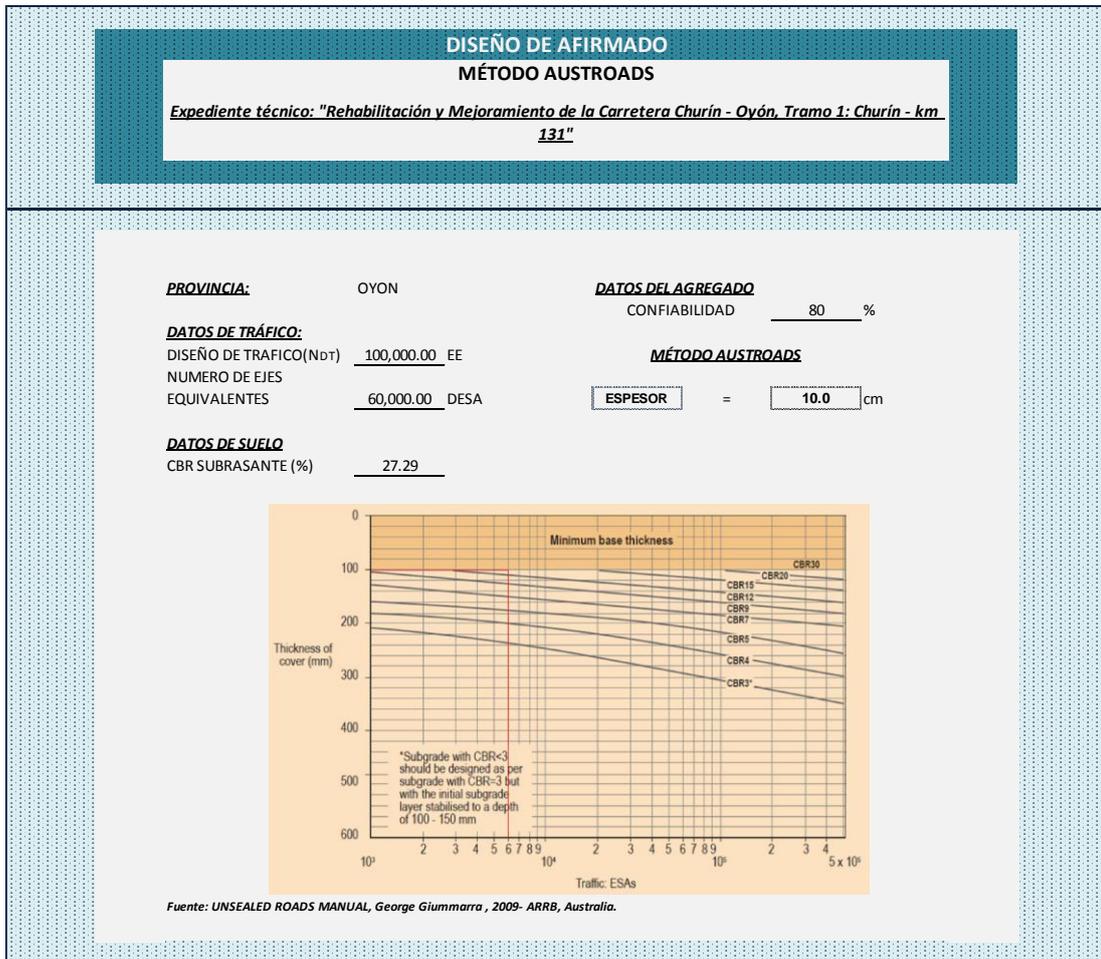
  

The chart plots 'Thickness of cover (mm)' on the y-axis (0 to 600) against 'Traffic: ESAs' on the x-axis (logarithmic scale from 10<sup>0</sup> to 5 x 10<sup>3</sup>). Multiple curves represent different CBR values: CBR3, CBR3\*, CBR4, CBR5, CBR7, CBR8, CBR9, CBR12, CBR15, CBR20, and CBR30. A vertical red line is drawn at approximately 60,000 DESA, intersecting the CBR30 curve at a thickness of about 100 mm.

Fuente: UNSEALED ROADS MANUAL, George Giummarra , 2009- ARRB, Australia.

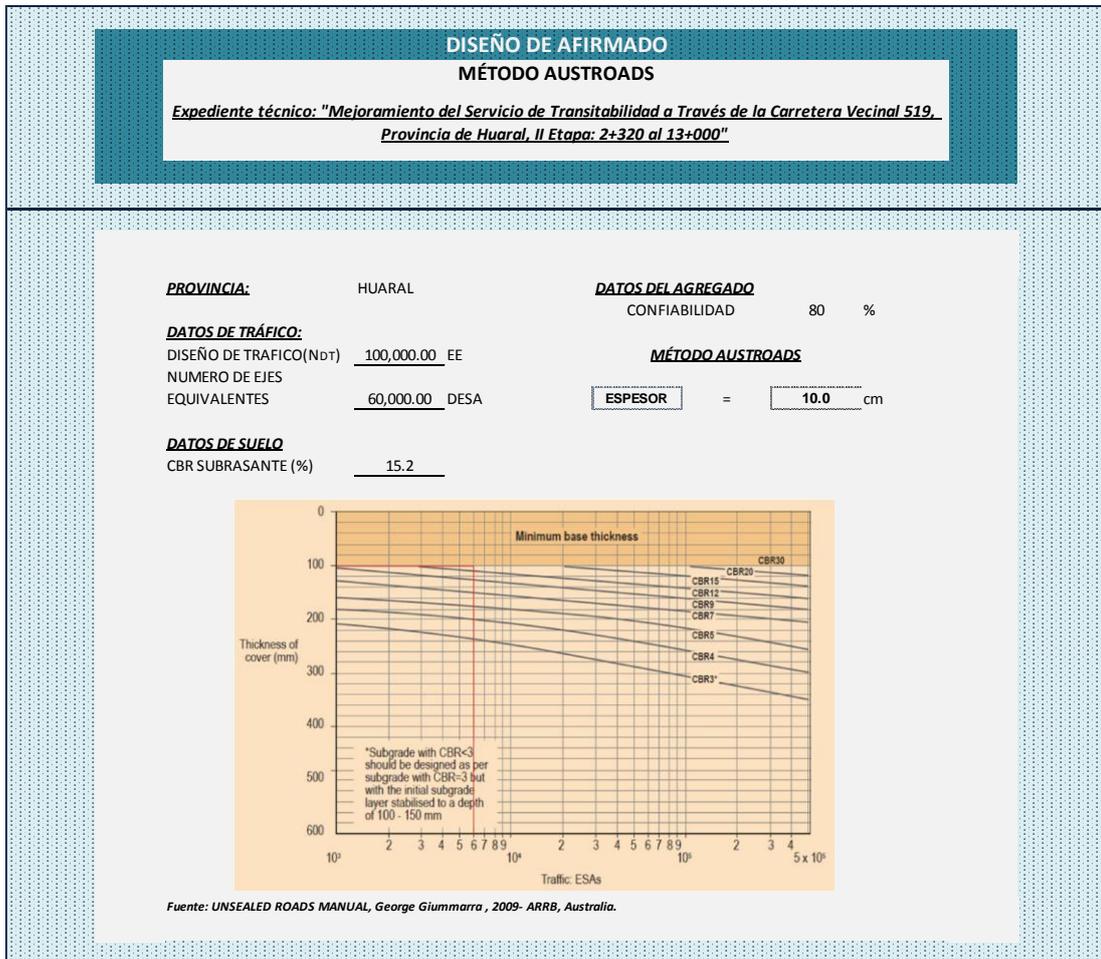
Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"



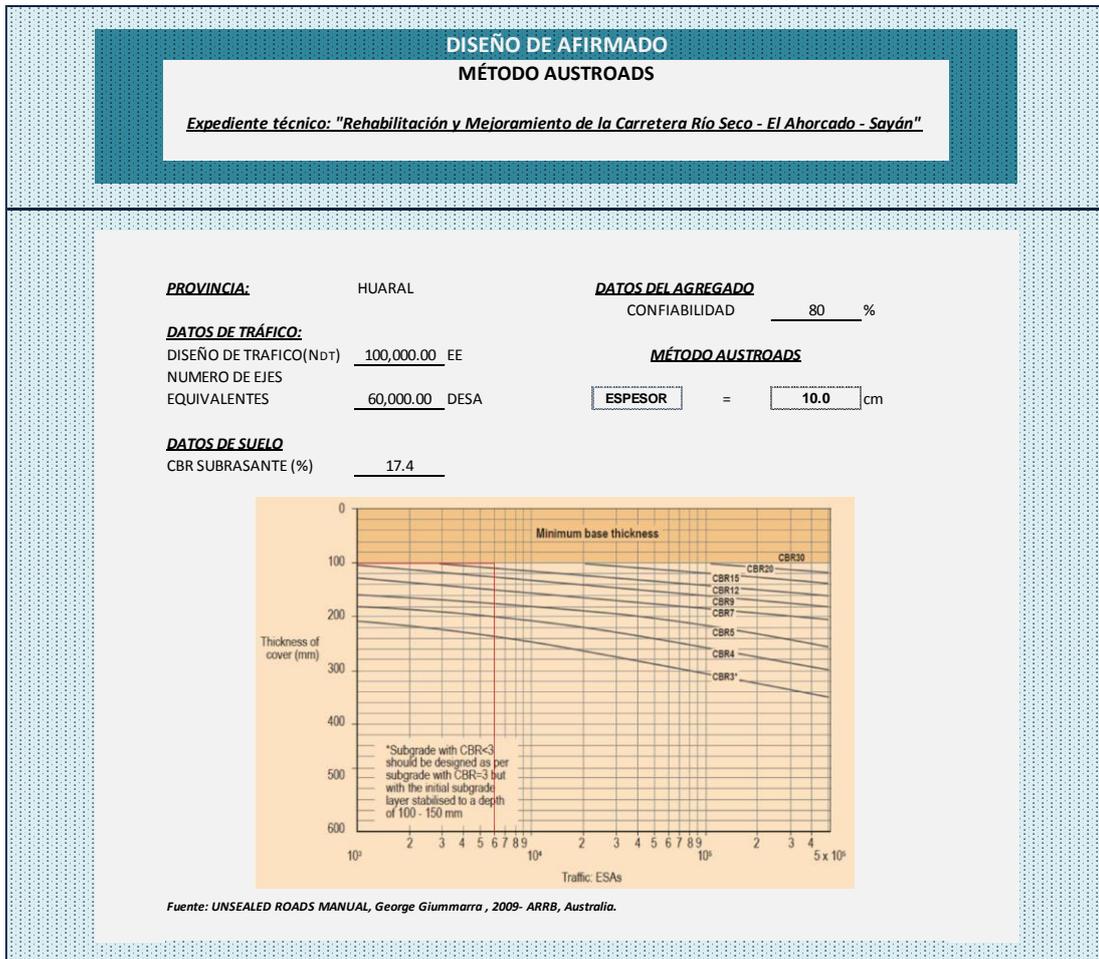
Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”



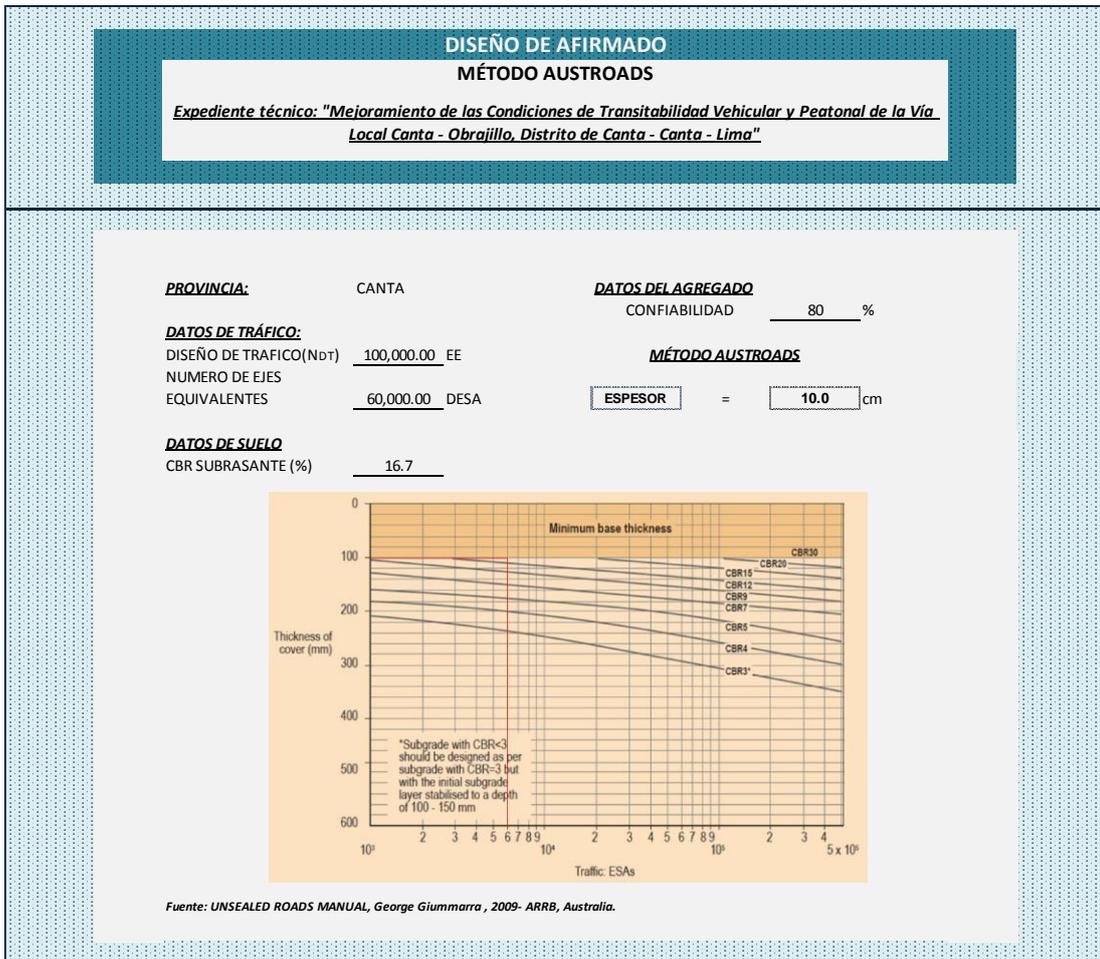
Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”



Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTROADS**

Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"

<b>PROVINCIA:</b>	CANTA	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>	
		CONFIABILIDAD	80 %
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		<b>MÉTODO AUSTROADS</b>	
DISEÑO DE TRAFICO (NDT)	100,000.00 EE		
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	60,000.00 DESA	<b>ESPEJOR</b>	= 10.0 cm
<b>DATOS DE SUELO</b>			
CBR SUBRASANTE (%)	31		

**Minimum base thickness**

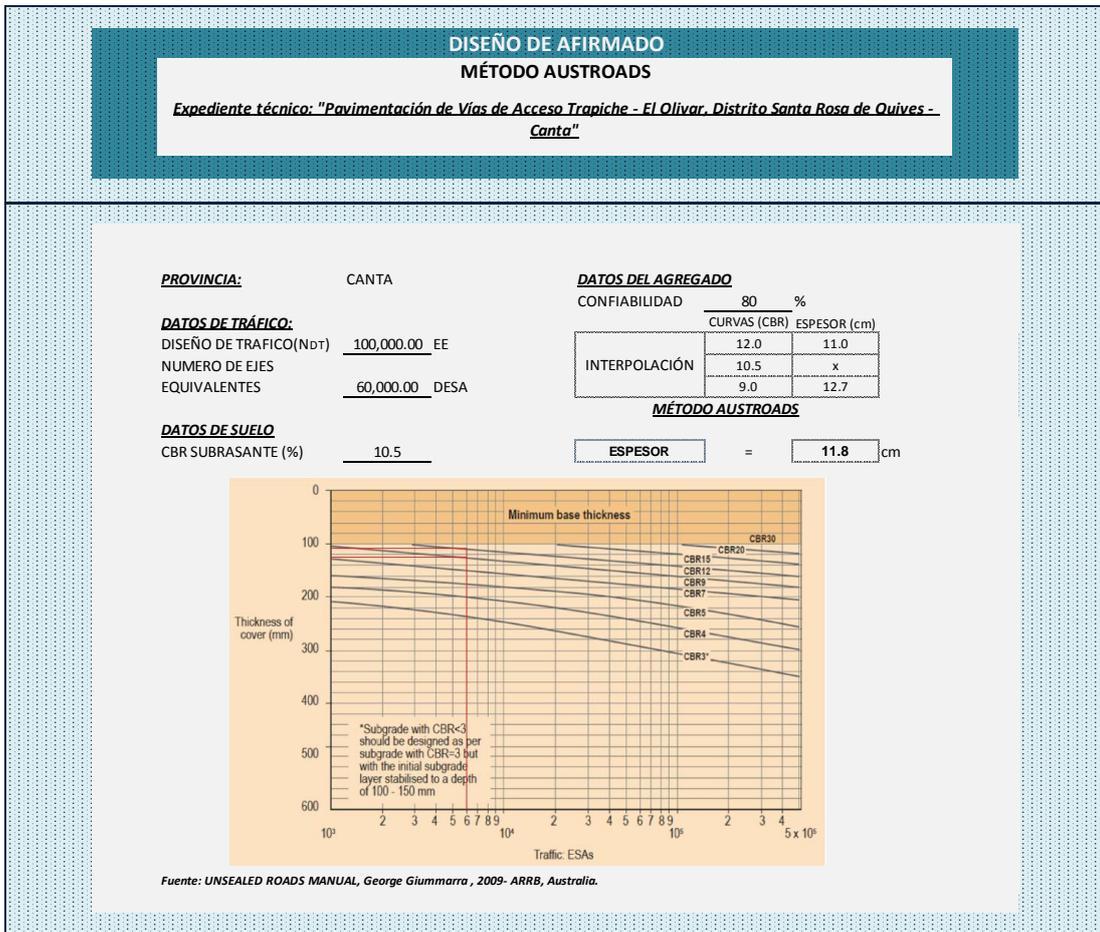
\*Subgrade with CBR<3 should be designed as per subgrade with CBR=3 but with the initial subgrade layer stabilised to a depth of 100 - 150 mm

Traffic: ESAs

Fuente: UNSEALED ROADS MANUAL, George Giumarra , 2009- ARRB, Australia.

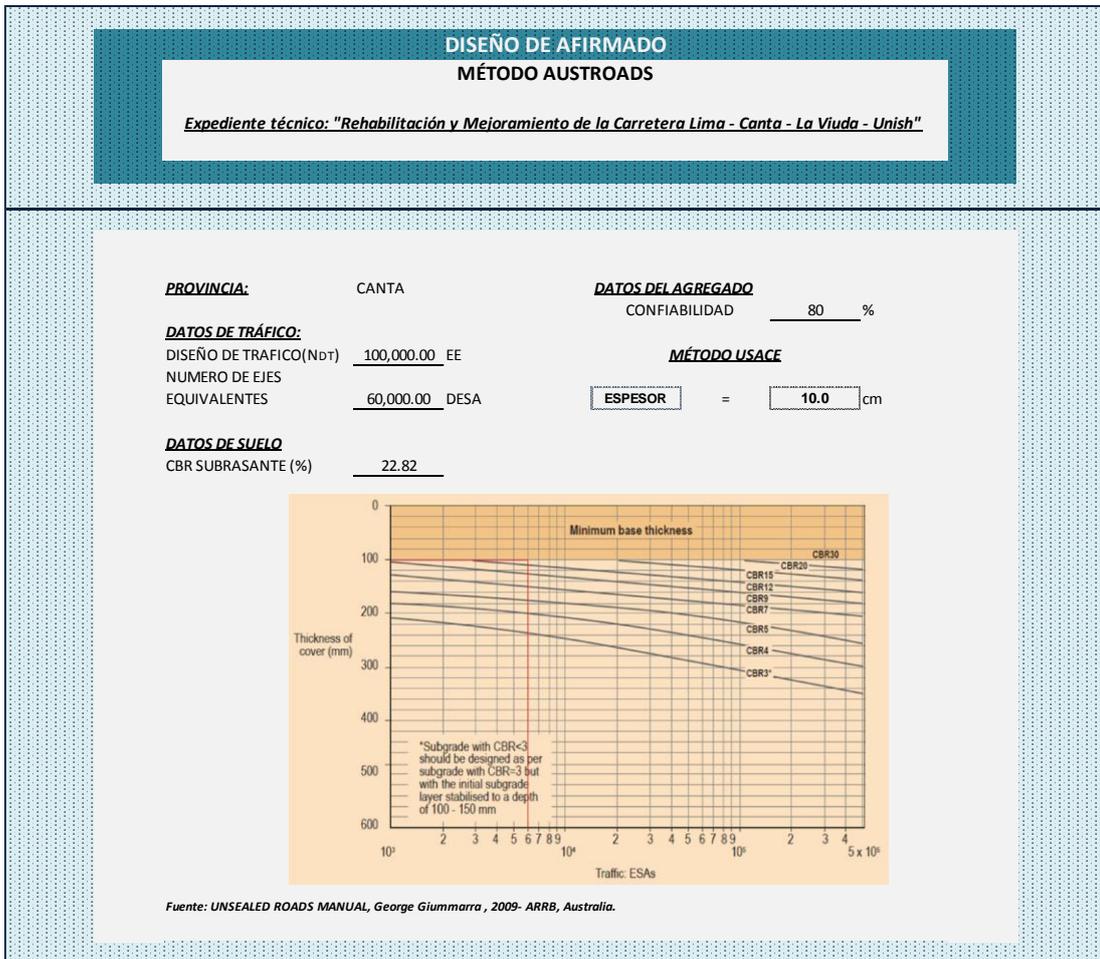
Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”



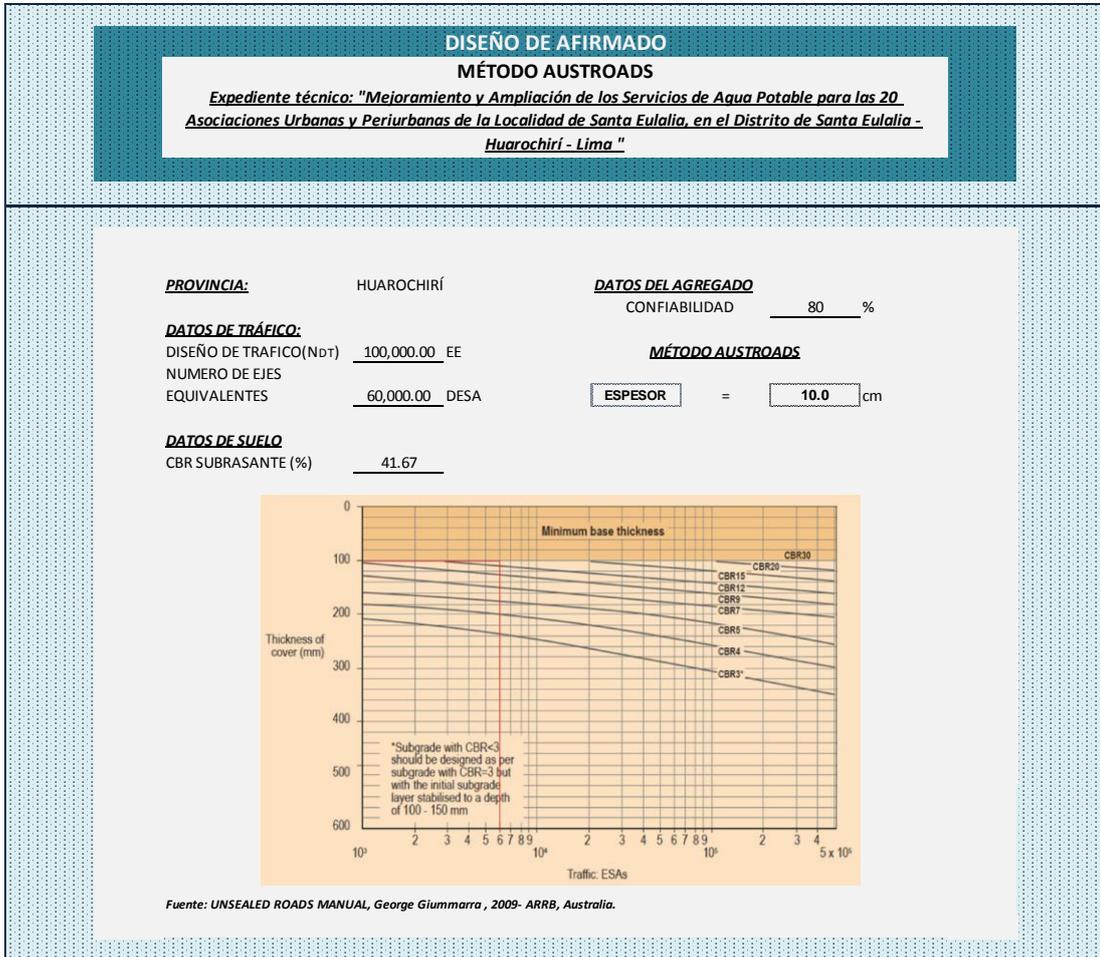
Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”



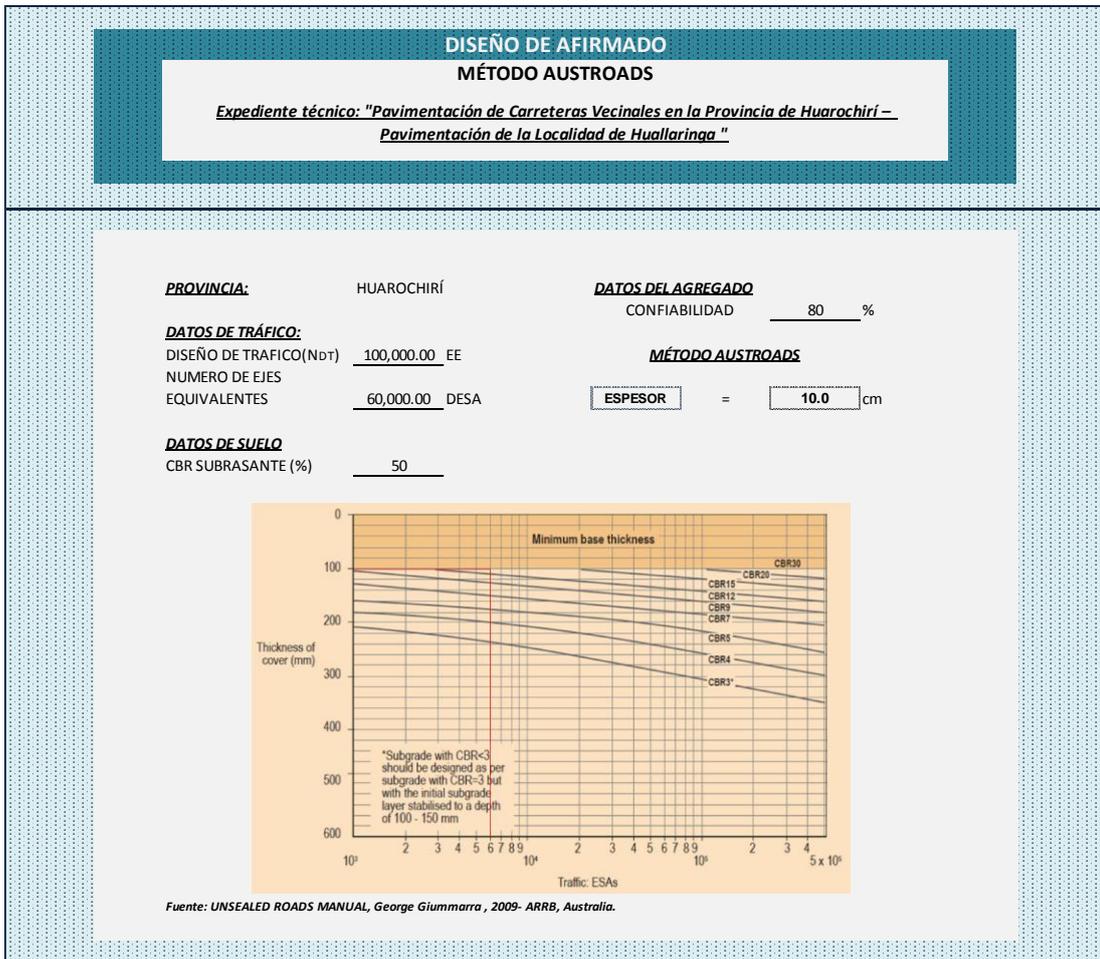
Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”



Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”



Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTRROADS**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE **DATOS DEL AGREGADO**

CONFIABILIDAD 80 %

**DATOS DE TRÁFICO:**

DISEÑO DE TRÁFICO (NDT) 100,000.00 EE **MÉTODO AUSTRROADS**

NUMERO DE EJES **ESPESOR** = **10.0** cm

EQUIVALENTES 60,000.00 DESA

**DATOS DE SUELO**

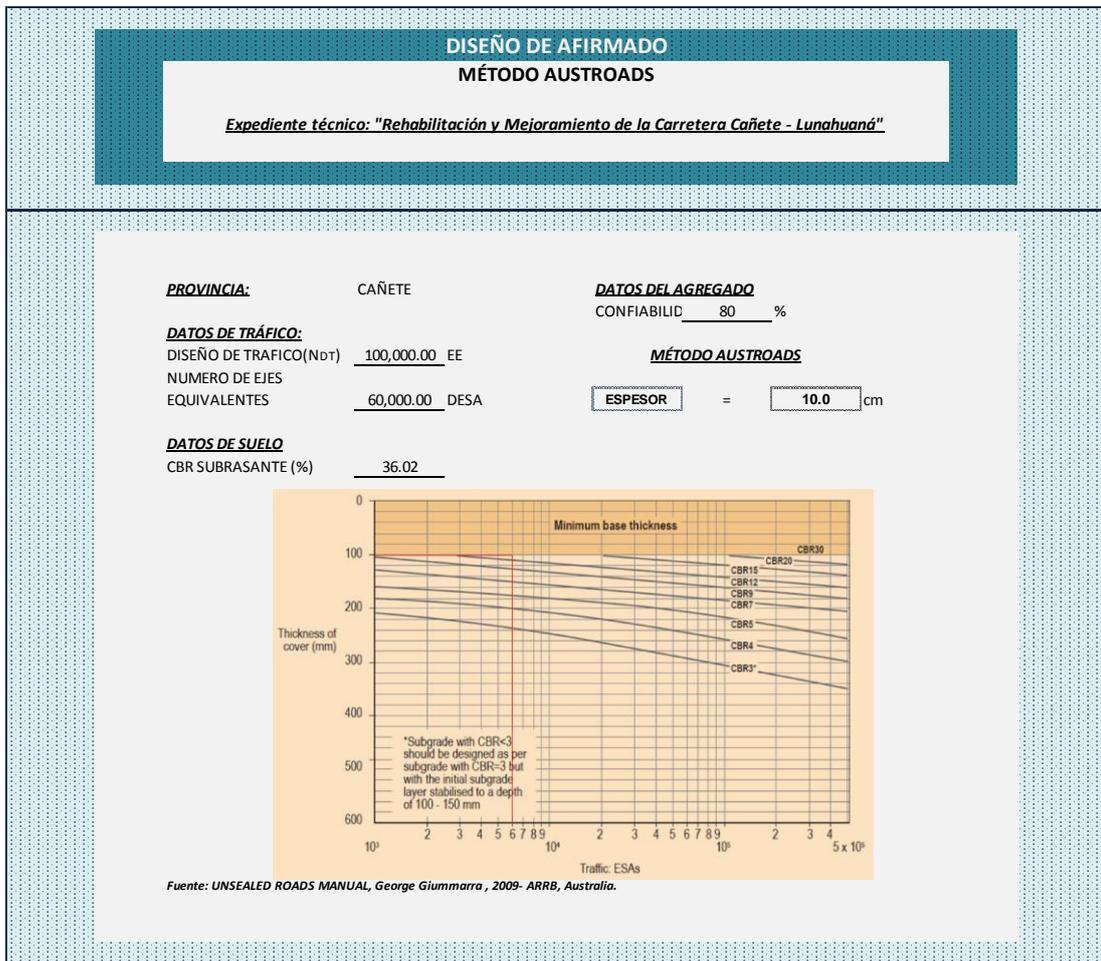
CBR SUBRASANTE (%) 25.71

\*Subgrade with CBR<3 should be designed as per subgrade with CBR=3 but with the initial subgrade layer stabilised to a depth of 100 - 150 mm

Fuente: UNSEALED ROADS MANUAL, George Giummarra, 2009- ARRB, Australia.

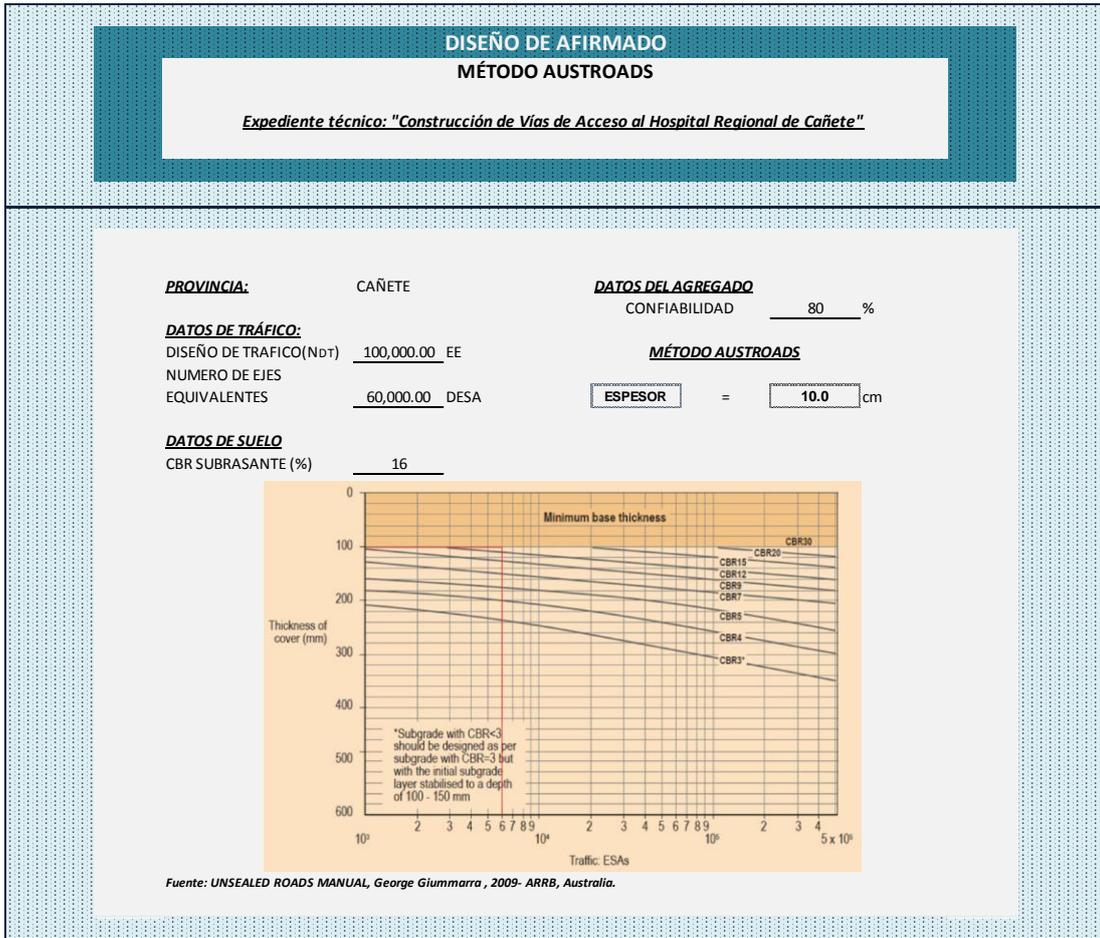
Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”



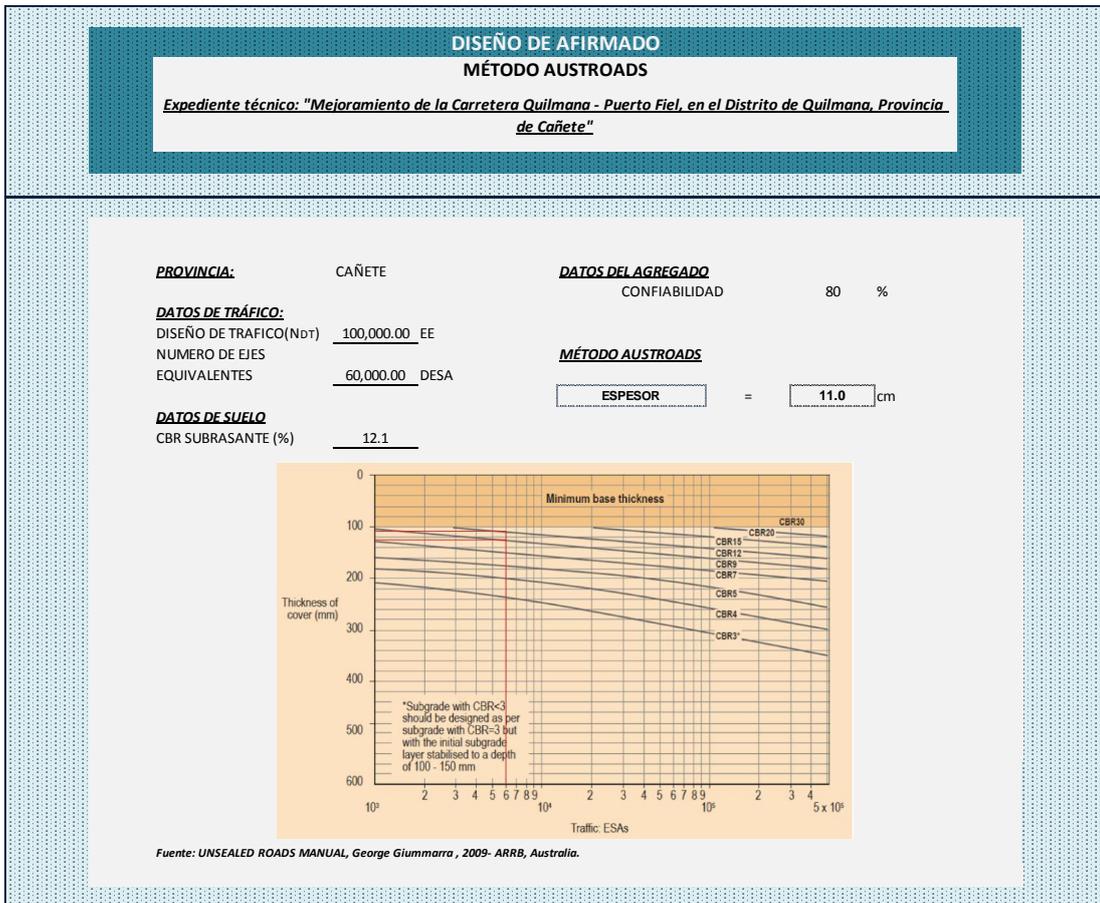
Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”



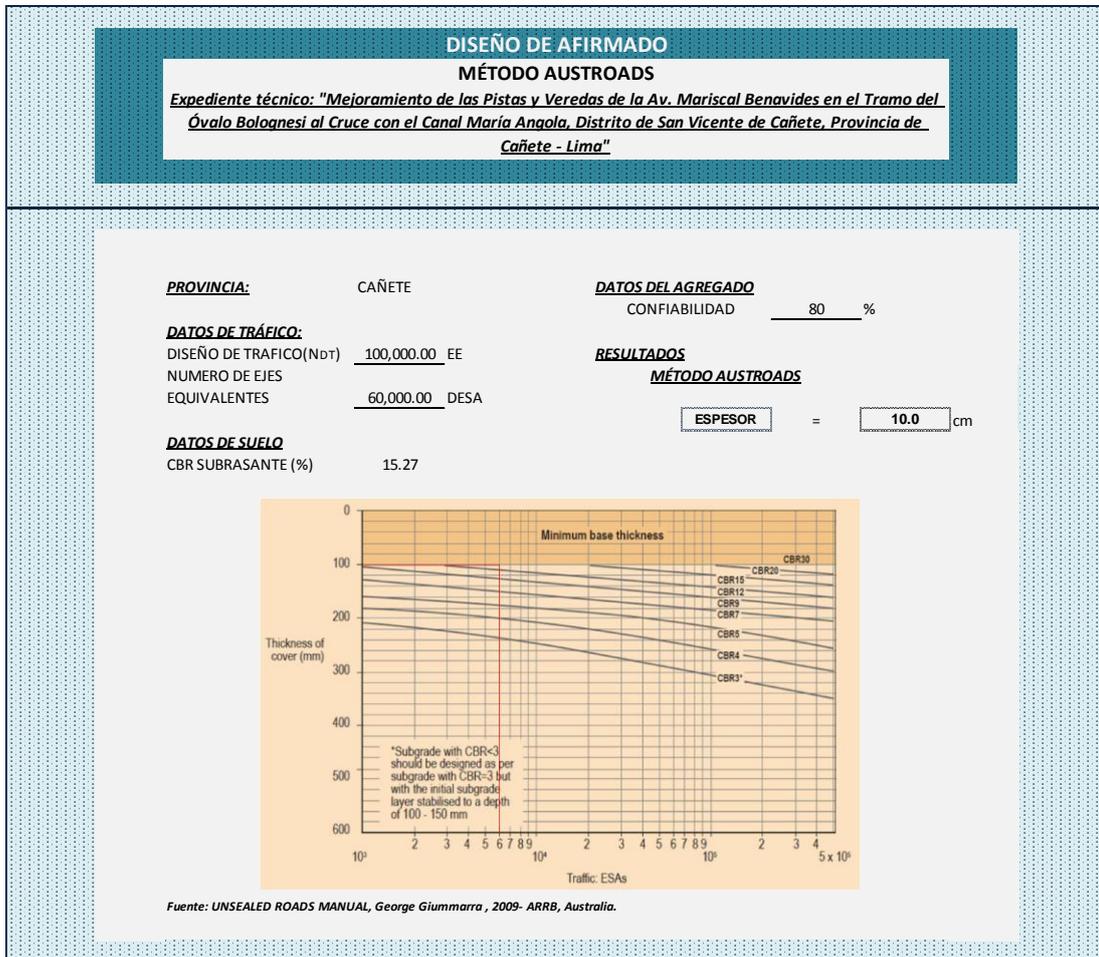
Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente “Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete”



Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"



Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTROADS**

*Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"*

<b>PROVINCIA:</b>	YAUYOS	<b>DATOS DEL AGREGADO</b>
<b>DATOS DE TRÁFICO:</b>		CONFIABILIDAD 80 %
DISEÑO DE TRAFICO (NDT)	100,000.00 EE	CURVAS (CBR) ESPESOR (cm)
NUMERO DE EJES		12.0 11.0
EQUIVALENTES	60,000.00 DESA	INTERPOLACIÓN 11.0 x
		9.0 12.7

**MÉTODO AUSTROADS**

<b>DATOS DE SUELO</b>		<b>ESPESOR</b> = <b>11.5</b> cm
CBR SUBRASANTE (%)	11	

\*Subgrade with CBR<3 should be designed as per subgrade with CBR=3 but with the initial subgrade layer stabilised to a depth of 100 - 150 mm

Fuente: UNSEALED ROADS MANUAL, George Giummarra, 2009- ARRB, Austr

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO 16

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AFIRMADO POR EL MÉTODO NAASRA (MTC)

1. Barranca, expediente: “Instalación del Sistema de Agua Potable y Ampliación del Sistema de Alcantarillado del C.P. Río Seco, Distrito de Supe - Barranca – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NAASRA (MTC)**

*Expediente tecnico: "Instalación del sistema de agua potable y ampliación del sistema de Alcantarilla del C.P. Río Seco, distrito de Supe-Barranca-Lima"*

**PROVINCIA:** BARRANCA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 25

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10}CBR) + 58 \times (\log_{10}CBR)^2] \times \log_{10} \times (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NAASRA (MTC)**

ESPESOR = **15.0** cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

2. Huaura, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura - Sayán -Puente Tingo"

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES \_\_\_\_\_  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 26.03

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	<b>ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)</b>																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

3. Huaura, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Huacho - Pampa de Ánimas - Laguna Encantada - La Tablada - Paraíso - La Villa - El ahorcado"**

**PROVINCIA:** HUAURA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES \_\_\_\_\_  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.09

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 20.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	<b>ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)</b>																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

4. Cajatambo, expediente: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NAASRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Construcción de la Carretera Cahua - Las Lomas"*

**PROVINCIA:** CAJATAMBO

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 60

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} x (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NAASRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Oyón, expediente: “Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTROADS**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de las Calles en la C.C. San Pedro de Naván - Distrito de Naván - Oyón - Lima"*

**PROVINCIA:** OYON

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 20

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} x (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Oyón, expediente: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de Calles y Veredas del Centro Poblado De Yarucaya, Distrito de Cochamarca - Oyón - Lima"*

**PROVINCIA:** OYON

**DATOS DE TRÁFICO:**

NUMERO DE EJES  
EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO**

CBR SUBRASANTE (%) 29

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

7. Oyón, expediente: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO AUSTROADS**

Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Churín - Oyón, Tramo 1: Churín - km 131"

**PROVINCIA:** OYON

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 27.29

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	<b>ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)</b>																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
≥ 30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

8. Huaral, expediente: “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO NASSRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad a Través de la Carretera Vecinal 519, Provincia de Huaral, II Etapa: 2+320 al 13+000"**

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
NUMERO DE EJES  
EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO**  
CBR SUBRASANTE (%) 15.2

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

9. Huaral, expediente: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NAASRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Río Seco - El Ahorcado - Sayán"*

**PROVINCIA:** HUARAL

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 17.4

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NAASRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

10. Canta, expediente: “Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NAASRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Vía Local Canta - Obrajillo, Distrito de Canta - Canta - Lima"**

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 16.7

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} x \times (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NAASRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

11. Canta, expediente: “Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO NAASRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Construcción de Trocha Carrozable Quipán - Puruchuco - Apán, Distrito de Huamantanga, Provincia de Canta - Lima"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**

NUMERO DE EJES

EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**

CBR SUBRASANTE (%) 31

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NAASRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
≥ 30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

12. Canta, expediente “Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives – Canta”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Vías de Acceso Trapiche - El Olivar, Distrito Santa Rosa de Quives - Canta"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 10.5

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \times (N_{rep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 20.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	300
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	250
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	250
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

13. Canta, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda – Unish”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima - Canta - La Viuda - Unish"*

**PROVINCIA:** CANTA

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 22.82

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 20.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

14. Huarochirí, expediente “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí – Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Agua Potable para las 20 Asociaciones Urbanas y Periurbanas de la Localidad de Santa Eulalia, en el Distrito de Santa Eulalia - Huarochirí - Lima "*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 41.67

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
6	200	200	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350	
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

15. Huarochirí, expediente “Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa”

**DISEÑO DE AFIRMADO  
MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Pavimentación de Carreteras Vecinales en la Provincia de Huarochirí – Pavimentación de la Localidad de Huallaringa"*

**PROVINCIA:** HUAROCHIRÍ

**DATOS DE TRÁFICO:**  
NUMERO DE EJES  
EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO**  
CBR SUBRASANTE (%) 50

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8	150	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

16. Cañete, expediente: “Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Mala - Calango - La Capilla"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 25.71

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10}CBR) + 58 \times (\log_{10}CBR)^2] \times \log_{10} \times (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR

 = 

15.0

 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

17. Cañete, expediente “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cañete - Lunahuaná"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 36.02

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

18. Cañete, expediente “Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

*Expediente técnico: "Construcción de Vías de Acceso al Hospital Regional de Cañete"*

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 16

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} (N_{rep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

19. Cañete, expediente "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de la Carretera Quilmaná - Puerto Fiel, en el Distrito de Quilmaná, Provincia de Cañete"**

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO:**  
 CBR SUBRASANTE (%) 12.1

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \left( \frac{N_{rep}}{120} \right)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPOSOR

 = 

20.0

 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
ESPOSOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																				
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

20. Cañete, expediente “Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Mejoramiento de las Pistas y Veredas de la Av. Mariscal Benavides en el Tramo del Óvalo Bolognesi al Cruce con el Canal María Angola, Distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete - Lima"**

**PROVINCIA:** CAÑETE

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUELO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 15.27

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} (N_{rep}/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 15.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
6	200	200	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350	
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

21. Yauyos, expediente “Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima”

**DISEÑO DE AFIRMADO**  
**MÉTODO NASSRA (MTC)**

**Expediente técnico: "Rehabilitación de la Carretera y Puentes del Tramo Huallampi - Lincha, de los Distritos de Hongos, Caca y Lincha de la Provincia de Yauyos - Lima"**

**PROVINCIA:** YAUYOS

**DATOS DE TRÁFICO:**  
 NUMERO DE EJES \_\_\_\_\_  
 EQUIVALENTES 100,000.00 EE

**DATOS DE SUFLO**  
 CBR SUBRASANTE (%) 11

**FÓRMULA**

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \times (Nrep/120)$$

**RESULTADOS**

**MÉTODO NASSRA (MTC)**

ESPESOR = 20.0 cm

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																			
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000	
	<b>ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)</b>																			
6	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
>30*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

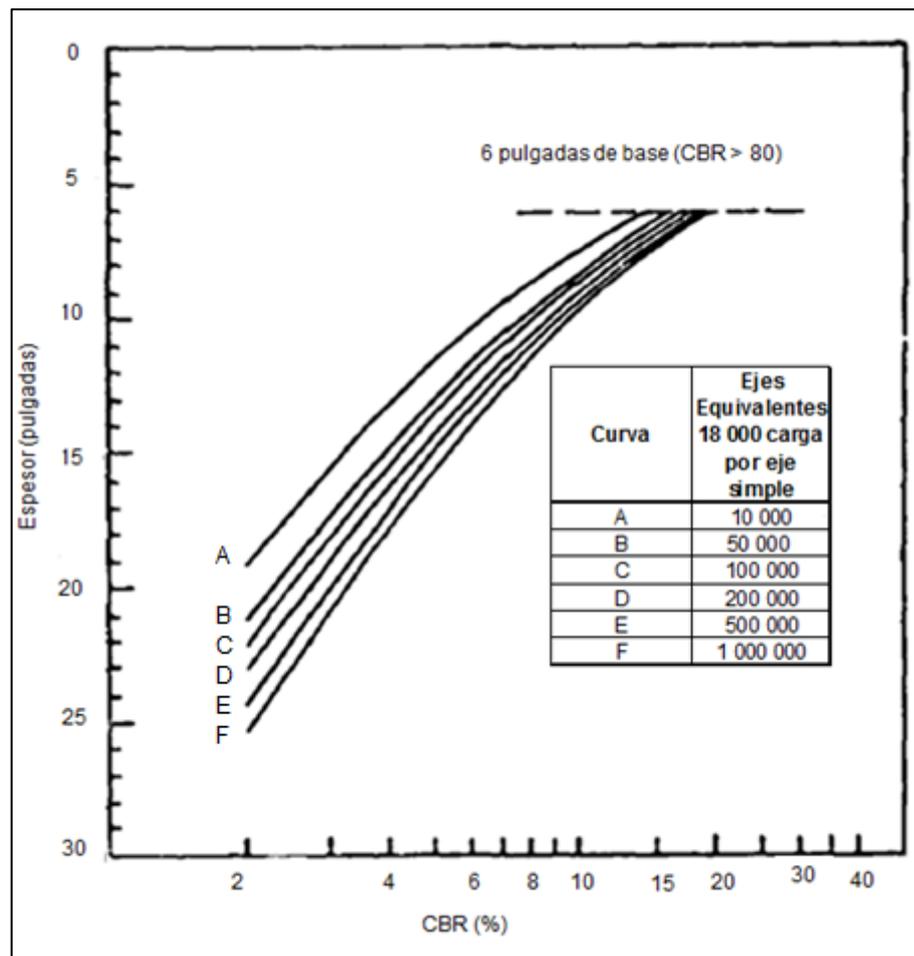
Fuente: Manual de Suelos, Geología, Pavimento y geotecnia MTC (2014)

Fuente: Elaboración propia (2017)

## ANEXO 17

### ECUACIONES DE LAS CURVAS DEL MÉTODO TRRL

Este Anexo se llevó a cabo con el fin de facilitar los cálculos del espesor de afirmado para el método TRRL y a continuación se detallará como se halló la ecuación de cada curva del ábaco del método TRRL. Para poder hallar la ecuación de cada curva será necesario usar los programas: AutoCAD 2017 y Excel 2010.

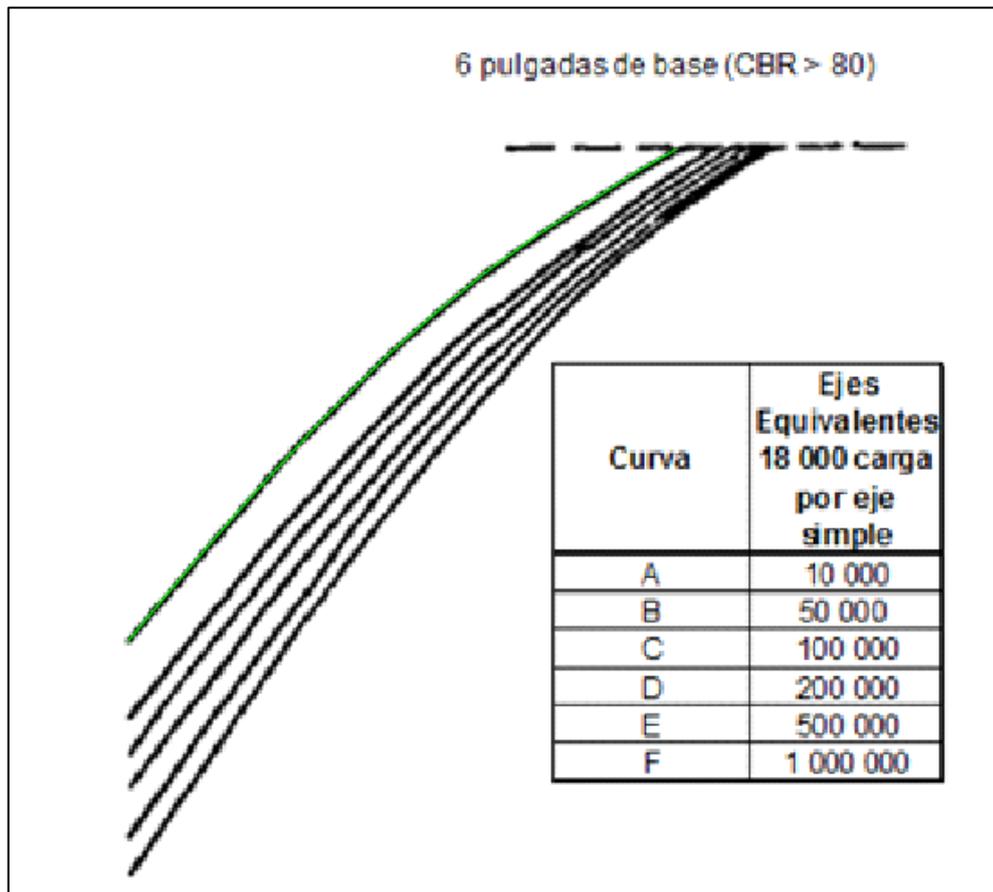


Fuente: Design criteria for aggregate-surfaced roads and airfields (1989)

Como se observa del ábaco del método TRRL, el eje de coordenadas “Y” del ábaco se encuentra en una escala lineal y el eje de coordenadas “X” del ábaco se encuentra en una escala logarítmica.

Primero se necesitará cambiar la escala logarítmica del eje “X” a una escala lineal para esto necesitaremos usar el programa AutoCAD 2017 e insertaremos la imagen en dicho programa, cuando se inserte la figura se tiene que referenciar las coordenadas de la figura con el punto 0,0 del programa

AutoCAD 2017. Una vez realizado esto pasaremos a trazar con el comando polilínea una línea encima de cada curva de la manera más precisa posible, tal y como se muestra a continuación.

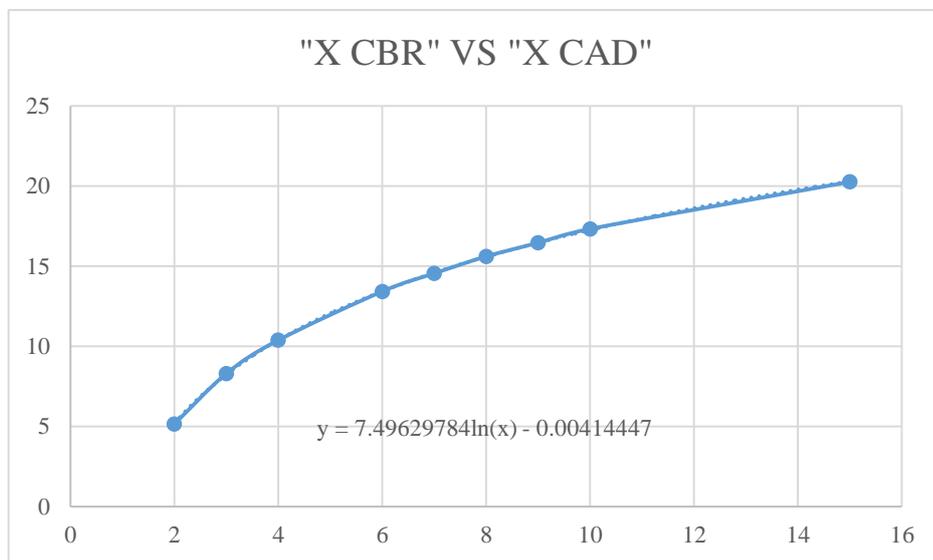


Fuente: Elaboración propia (2017)

Con el comando ID pasaremos a obtener las coordenadas del programa AutoCAD 2017 de los puntos en el eje "X" (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 15) de nuestro ábaco del método TRRL, con las coordenadas que hallamos en el programa AutoCAD 2017 haremos un versus entre las coordenadas del ábaco del método TRRL (X CBR) y las coordenadas del programa AutoCAD 2017 (X CAD) y de este modo obtendremos una relación entre ambas familias de puntos y luego pasaremos a graficarlas en el programa Excel 2010.

X CBR	X CAD
2	5.15
3	8.2942
4	10.3769
6	13.4207
7	14.5453
8	15.6027
9	16.4545
10	17.3241
15	20.257

Fuente: Elaboración propia (2017)

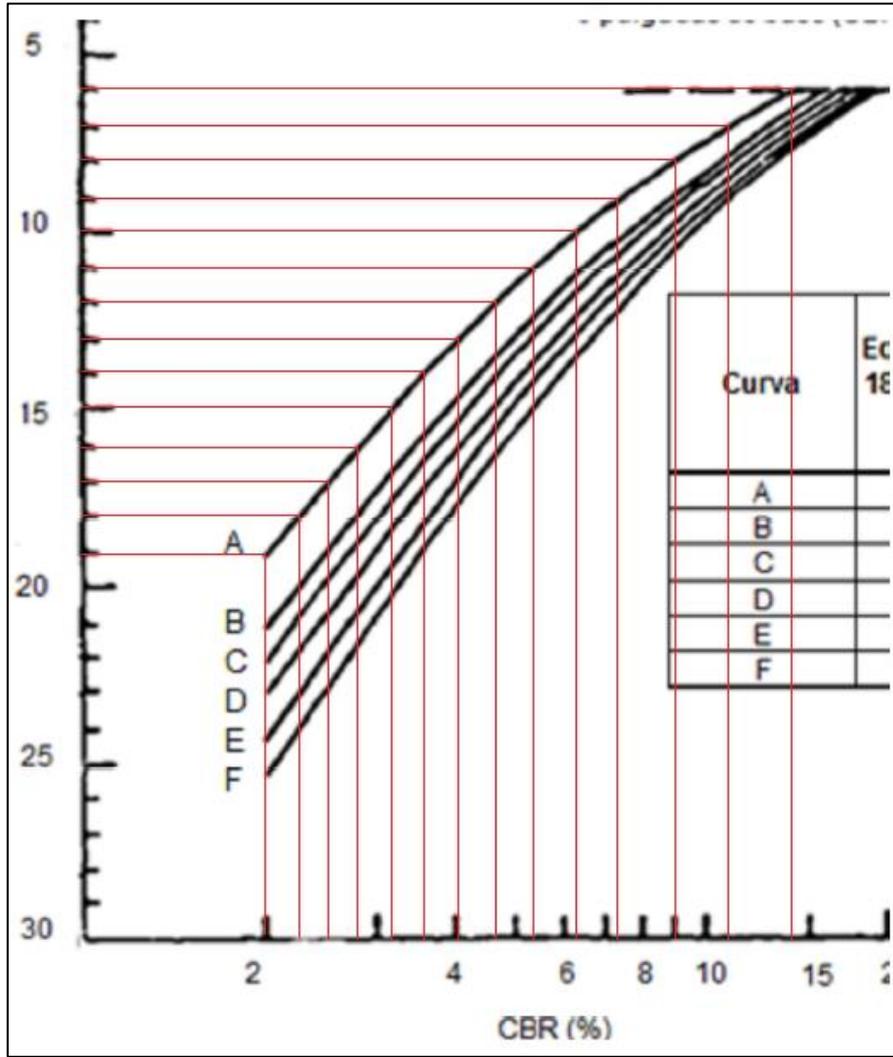


Fuente: Elaboración propia (2017)

Donde:  
X = CBR

Como se observa en nuestro gráfico la línea de tendencia se aproxima mejor a una curva logarítmica y con el programa Excel 2010 podemos hallar la ecuación de la línea de tendencia y así obtener la relación entre ambas coordenadas (X CBR y X CAD).

Por último, procedemos a hallar los espesores con las coordenadas del programa AutoCAD 2017 para cada curva, con este nuevo listado de puntos hallaremos la ecuación de cada curva donde esta ecuación estará en función a la ecuación anterior. Para esto tendremos que trazar líneas partiendo desde nuestro eje "Y" y la cual intersecará a nuestra curva culminando en nuestro eje "X" y así podremos obtener las coordenadas del "X" (X CAD), tal y como se muestra en la siguiente imagen, esto se replicará para todas las curvas.

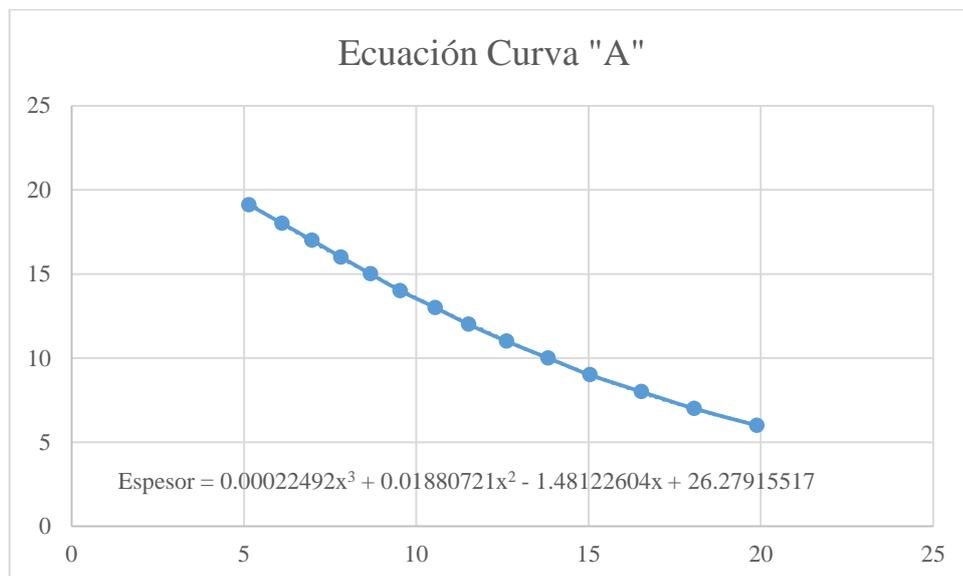


Fuente: Elaboración propia (2017)

### Curva "A"

X CAD	ESPESOR
5.150	19.114
6.113	18
6.981	17
7.823	16
8.681	15
9.541	14
10.556	13
11.527	12
12.623	11
13.835	10
15.047	9
16.539	8
18.070	7
19.888	6

Fuente: Elaboración propia (2017)



Ecuación final:

$$Espesor = 0.00022492x^3 + 0.01880721x^2 - 1.48122604x + 26.27915517$$

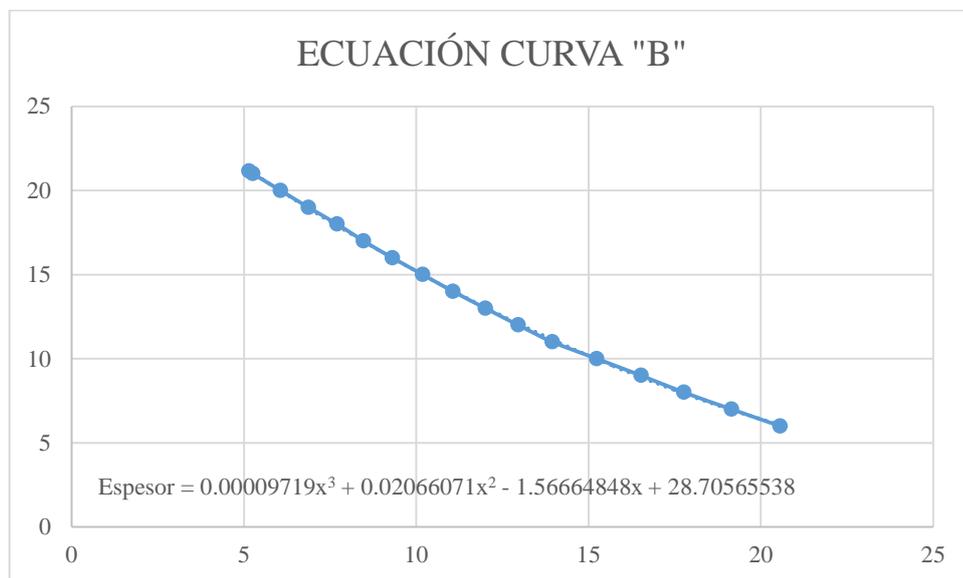
Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

## Curva "B"

X CAD	ESPESOR
5.150	21.151
5.259	21
6.066	20
6.872	19
7.710	18
8.472	17
9.309	16
10.192	15
11.070	14
12.010	13
12.962	12
13.955	11
15.242	10
16.530	9
17.770	8
19.149	7
20.558	6

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Ecuación final:

$$\text{Espesor} = 0.00009719x^3 + 0.02066071x^2 - 1.56664848x + 28.70565538$$

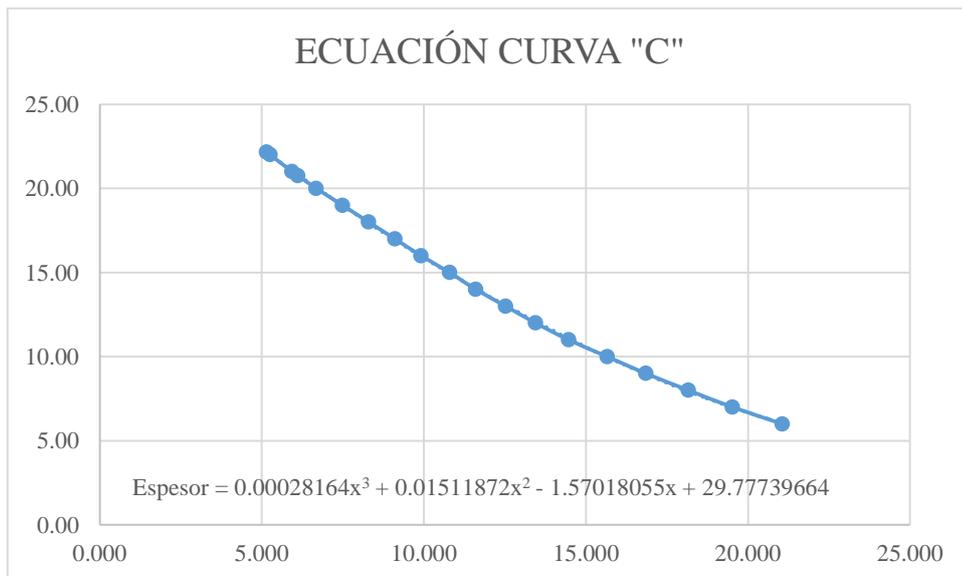
Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.0041444$$

Curva "C"

X CAD	ESPESOR
5.150	22.16
5.259	22.00
5.936	21.00
6.113	20.76
6.682	20.00
7.491	19.00
8.299	18.00
9.108	17.00
9.916	16.00
10.759	15.00
11.603	14.00
12.526	13.00
13.448	12.00
14.467	11.00
15.658	10.00
16.849	9.00
18.166	8.00
19.522	7.00
21.062	6.00

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Ecuación final:

$$Espesor = 0.00028164x^3 + 0.01511872x^2 - 1.57018055x + 29.77739664$$

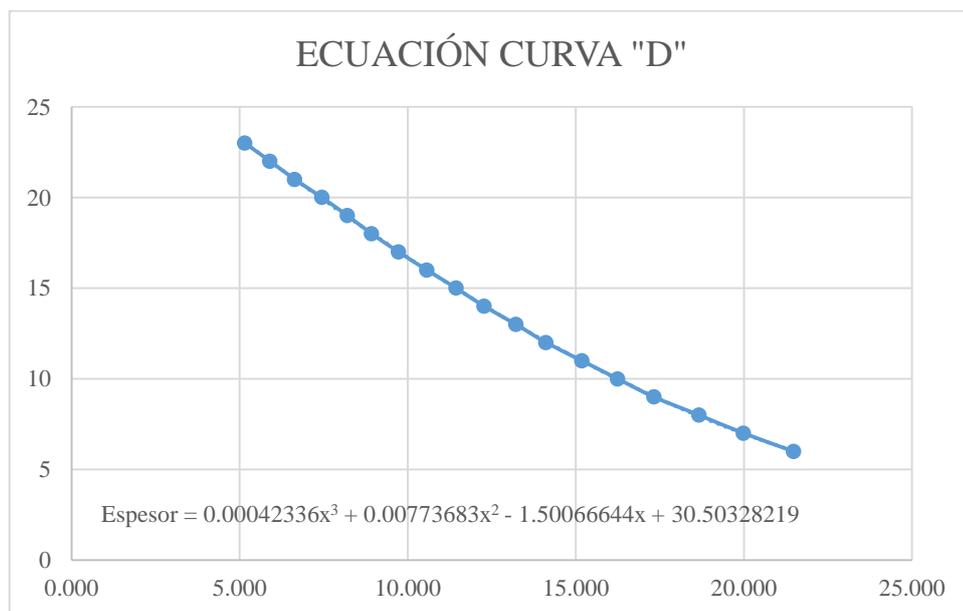
Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

**Curva "D"**

X CAD	ESPESOR
5.150	23.00
5.904	22.00
6.638	21.00
7.447	20.00
8.203	19.00
8.929	18.00
9.724	16.00
10.567	16.00
11.442	15.00
12.274	14.00
13.222	13.00
14.115	12.00
15.179	11.00
16.243	10.00
17.324	9.00
18.665	8.00
19.992	7.00
21.447	6.00

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Ecuación final:

$$\text{Espesor} = 0.00042336x^3 + 0.00773683x^2 - 1.50066644x + 30.50322819$$

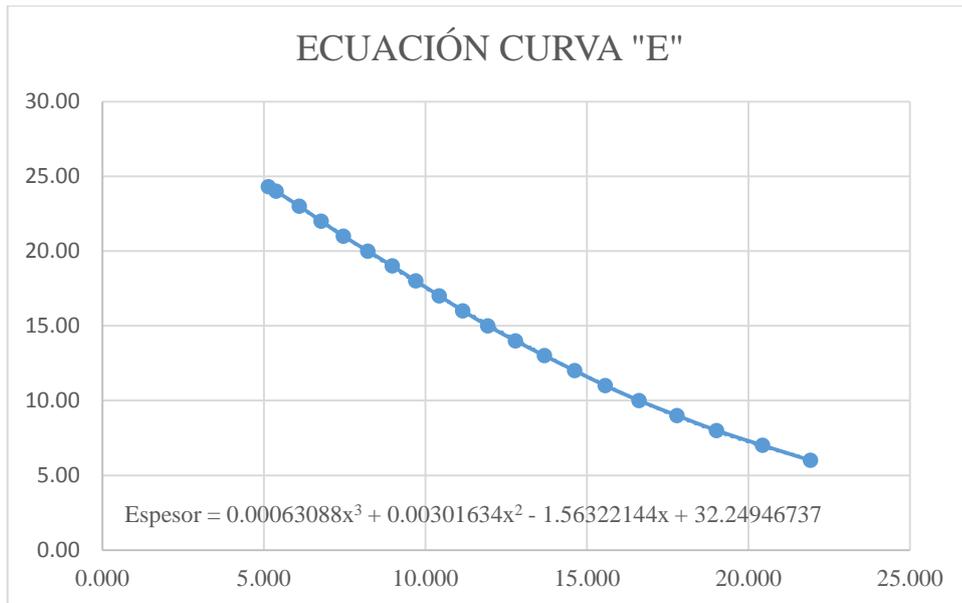
Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

**Curva “E”**

<b>X CAD</b>	<b>ESPESOR</b>
5.150	24.31
5.381	24.00
6.102	23.00
6.776	22.00
7.466	21.00
8.224	20.00
8.978	19.00
9.707	18.00
10.436	17.00
11.166	16.00
11.936	15.00
12.794	14.00
13.692	13.00
14.629	12.00
15.571	11.00
16.619	10.00
17.793	9.00
19.018	8.00
20.447	7.00
21.922	6.00

Fuente: Elaboración propia (2017)



Ecuación final:

$$Espesor = 0.00063088x^3 + 0.00301634x^2 - 1.56322144x + 32.24946737$$

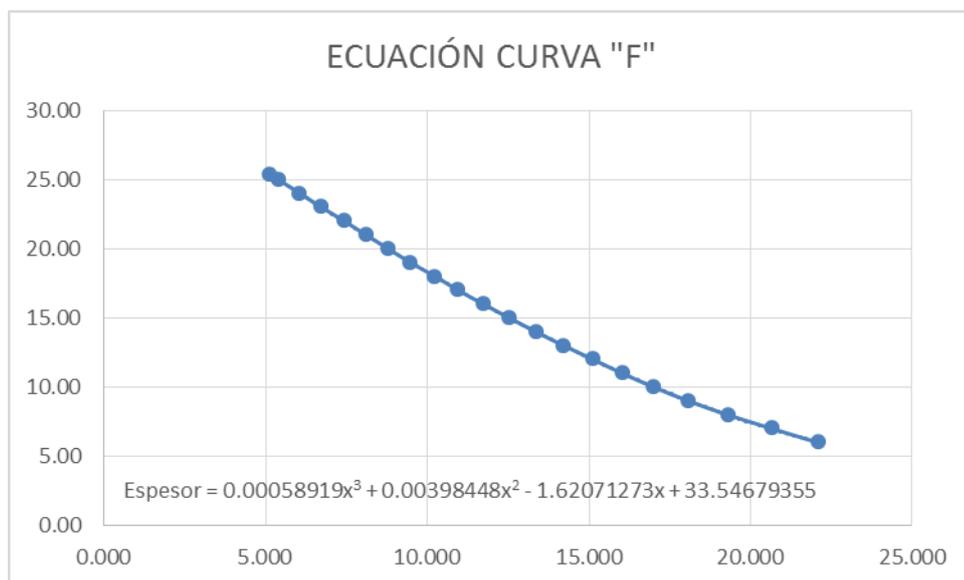
Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

### Curva "F"

X CAD	ESPESOR
5.150	25.36
5.396	25.00
6.065	24.00
6.735	23.00
7.441	22.00
8.112	21.00
8.800	20.00
9.488	19.00
10.252	18.00
10.963	17.00
11.745	16.00
12.540	15.00
13.369	14.00
14.229	13.00
15.137	12.00
16.038	11.00
17.016	10.00
18.094	9.00
19.306	8.00
20.681	7.00
22.092	6.00

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Ecuación final:

$$\text{Espesor} = 0.00058919x^3 + 0.00398448x^2 - 1.62071273x + 33.54679355$$

Donde:

$$x = 7.49629784 \times \ln CBR - 0.00414447$$

Este anexo se realizó con el fin de facilitar el cálculo del espesor de afirmado del método TRRL y así evitar cualquier tipo de error en los cálculos de nuestra investigación.

Además se pudo corroborar la teoría del método Peltier, ya que en el planteamiento de este método se expresa que la deformación total de un pavimento crece logarítmica en función al número de ciclos de carga; esto se puede observar al momento de hallar la relación de las coordenadas “X CBR” (los valores predeterminados que nos da en el ábaco) y “X CAD” (los valores que nos da el programa AutoCAD) la ecuación que mejor las relaciona es una logarítmica comprobando de este modo que el principio del método Peltier se replica en este método.