



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS PARA  
LA APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES MENORES A 20 000  
HABITANTES

PEÑAFIEL SANCHEZ EDGAR IVAN  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS  
PARA LA APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES  
MENORES A 20 000 HABITANTES

PEÑAFIEL SANCHEZ EDGAR IVAN  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS PARA LA  
APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES MENORES A 20 000 HABITANTES

PEÑAFIEL SANCHEZ EDGAR IVAN  
INGENIERO CIVIL

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

MACHALA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA  
22 de septiembre de 2021

# DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS PARA LA APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES MENORES A 20 000 HABITANTES

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

3%

★ Submitted to Fundación Universitaria Luis Amigó

Trabajo del estudiante

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 60 words

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, PEÑAFIEL SANCHEZ EDGAR IVAN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS PARA LA APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES MENORES A 20 000 HABITANTES, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

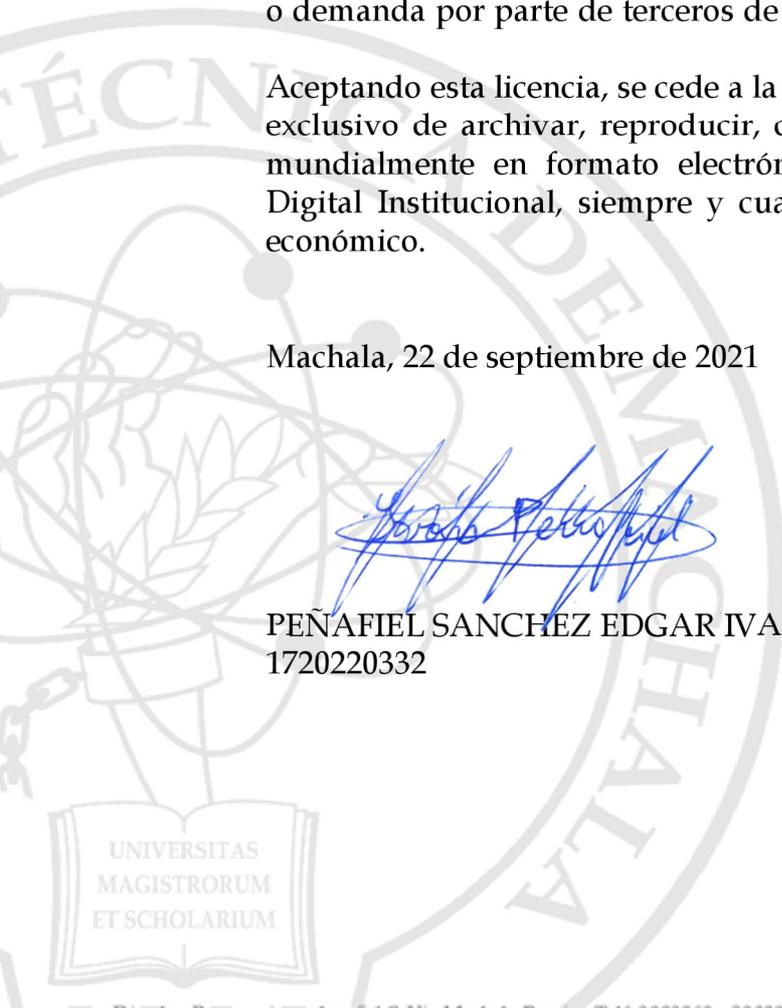
El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de septiembre de 2021



PEÑAFIEL SANCHEZ EDGAR IVAN  
1720220332



UNIVERSITAS  
MAGISTRORUM  
ET SCHOLARIUM



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PORTADA

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN VÍAS URBANAS PARA LA  
APLICACIÓN EN GAD'S CON POBLACIONES MENORES A 20 000 HABITANTES

EDGAR IVÁN PEÑAFIEL SÁNCHEZ

INGENIERÍA CIVIL

ING. CIVIL

CARLOS EUGENIO SÁNCHEZ MENDIETA

TUTOR

MACHALA, 03 DE AGOSTO DEL 2021

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia que tanto me ha apoyado todos estos años de estudios sin ellos no hubiera logrado obtener esta meta, sus consejos y reflexiones, han sido de vital importancia, gracias familia.

## RESUMEN

En su mayor porcentaje las carreteras del país se construyen en pavimento rígido y flexible, de este último se tenemos el pavimento articulado como uno de sus tipos, y el cual toma relevancia en determinados casos; y por eso en el presente documento describe un caso de diseño para una estructura de pavimento articulado realizado por la metodología AASHTO-93, se detallan los pasos seguidos y resultados obtenidos para elaborar un diseño optimizado de unas condiciones específicas para tráfico en una población menor a 20 000 habitantes.

La metodología AASHTO-93 que se usa para el diseño de este pavimento articulado, se diseña con un amplio análisis de sus constantes y variables; pero con una fórmula muy práctica de aplicar en las diferentes características de los diferentes diseños.

También se analiza la problemática de la ciudad de Zaruma y su estrecha vinculación con el turismo, en la cual es característica por usar este pavimento articulado.

Y Se determina las capas granulares y sus espesores correspondientes para la construcción de este pavimento articulado, Presentándose a través una propuesta estructural de pavimento articulado.

**Palabras clave:** PAVIMENTO ARTICULADO, ADOQUÍN, AASHTO-93, TPDA, 20000 HABITANTES.

## ABSTRACT

Most of the roads in the country are built with rigid and flexible pavement, of the latter we have the articulated pavement as one of its types, and which takes relevance in certain cases; and that is why this document describes a case of design for an articulated pavement structure made by the AASHTO-93 methodology, detailing the steps followed and results obtained to develop an optimized design of specific conditions for traffic in a population of less than 20,000 inhabitants.

The AASHTO-93 methodology used for the design of this articulated pavement is designed with an extensive analysis of its constants and variables; but with a very practical formula to apply in the different characteristics of the different designs.

It also analyzes the problems of the city of Zaruma and its close relationship with tourism, which is characteristic for the use of this articulated pavement.

The granular layers and their corresponding thicknesses are determined for the construction of this articulated pavement, presenting through a structural proposal of articulated pavement.

**Key words:** ARTICULATED PAVEMENT, ADOQUIN, AASHTO-93, TPDA, 20000 INHABITANTS.

# Índice

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	IMPORTANCIA DEL TEMA.	7
1.2	ACTUALIDAD DE LA PROBLEMÁTICA.	7
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO.	8
1.4	DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.	9
1.5	JUSTIFICACIÓN.	9
1.6	OBJETIVOS	10
2	DESARROLLO	10
2.1	MARCO TEÓRICO	10
2.1.1	DEFINICIONES.	10
2.2	NORMAS TÉCNICAS	11
2.3	MÉTODO EMPÍRICO	11
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	15
3	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	16
4	Referencias Bibliográficas	17
	Anexos	19

## 1 INTRODUCCIÓN

Con los años ha existido una mejora continua en el diseño y construcción de pavimentos flexibles y rígidos, estos últimos han aumentado su uso en las principales vías y autopistas del país.

Pero se han dejado un poco de lado los pavimentos articulados, tal vez, porque hace algún tiempo eran menos usados y no se veía la necesidad de hacer una caracterización de los daños, sus posibles causas y reparaciones. Sin embargo, este tipo de pavimento está siendo cada vez más utilizado en las avenidas principales de las ciudades importantes, y en las demás zonas urbanas y rurales del país, lo que hace evidente la necesidad de investigar en este tema. [1]

El diseño de pavimentos articulados es fundamental para sectores turísticos y patrimonios, que usan su versatilidad para tradiciones locales. Algunas ciudades del país han adoptado su uso de forma extensa para resaltar sus bellas localidades; incluso muchos sectores en las urbanizaciones construidas los últimos años y que se siguen construyendo están optando por el uso de los pavimentos articulados.

El diseño de pavimentos articulados nos permite dar soluciones óptimas y económicas; a las diferentes necesidades con la resistencia y durabilidad del pavimento articulado. Entre ellas: La rehabilitación del pavimento es un aspecto importante de la preservación de este y, generalmente, mejora la condición estructural o funcional del pavimento y, por lo tanto, extiende su vida útil. [2]

La vida útil de una estructura de pavimento puede verse comprometida por diversos factores, entre ellos: (i) las condiciones del medio ambiente en que se encuentra, (ii) características de los materiales que la componen, (iii) cantidad de vehículos que la transitan y (iv) falencias durante su proceso constructivo. Sin embargo, uno de los factores más significativos corresponde al tránsito de vehículos pesados que superan su carga máxima admisible, pues si bien los vehículos pesados son aquellos que generan mayor daño a una estructura de pavimento, también se ha demostrado que cuando se genera un incremento de carga más allá de lo permitido, el daño crece de manera exponencial [3]

## **1.1 IMPORTANCIA DEL TEMA.**

Se necesita tener un método de diseño de pavimento articulado definido; para que los profesionales puedan elaborar sus proyectos de forma eficaz.

Y una de sus mejores características es la facilidad al momento de reparar este tipo de pavimento, de forma rápida y sencilla. Además, su fácil colocación permite usar mano de obra poco calificada. Su versatilidad en colores permite la colocación de este pavimento con diferentes geométricas, diseños y colores; siendo en su tipo el más atractivo a la vista, lo que le ha dado preferencia en las construcciones del sector privado a la hora de vender sus urbanizaciones entre otras construcciones. Tener un diseño eficiente de pavimento articulado tiene un gran impacto en los costos; para las obras donde se coloque.

Su construcción requiere de materiales a bajo costo, alta disponibilidad y total aprovechamiento, así como de propiedades que garanticen el cumplimiento mínimo de durabilidad y costos racionales de mantenimiento. Conviene obtener y usar materiales de considerada abundancia y que para su procesamiento requieran de una tecnología limpia y tradicional, a fin de que el impacto ambiental sea el más bajo posible. [4]

## **1.2 ACTUALIDAD DE LA PROBLEMÁTICA.**

Las ciudades como Zaruma tienen una necesidad tanto histórica como de estatus de patrimonio nacional del Ecuador, en el cual se deben instalar en sus calles el pavimento articulado; descartando los otros tipos de pavimentos para muchas de sus calles. En el casco histórico este pavimento se está colocando como reemplazo del pavimento que se deteriora, el antiguo pavimento no cantaba con un diseño normado y riguroso. Ahora colocar un pavimento este debe diseñarse de forma óptima.

Algunas ciudades urbanas y rurales realzan sus calles colocando colorido pavimento articulado, ya que estos se complementan mejor con los jardines, dando como resultado ventas efectivas, esto ha fomentado mucho la colocación del pavimento articulado y aquí surge la necesidad de tener un diseño adecuado. Y en algunos sectores también existe la Placa-Huella

La Placa-huella en concreto es un sistema de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito, en el cual se pavimentan únicamente las huellas por donde circulan las ruedas de los vehículos, la separación entre las franjas de concreto se rellena con piedra pegada, un material con las características de concreto ciclópeo, rocas distribuidas adecuadamente y pegadas con concreto, dependiendo del ancho de la vía se construyen cunetas y bordillos en concreto para proveer la vía de un sistema de drenaje superficial. [5]

Los daños que se pueden producir durante la vida útil normal del pavimento tienen consecuencias para la seguridad y operatividad de las redes viales. Estos se producen por diferentes razones, tales como el aumento del tráfico o la falta de recursos y rutinas establecidas para realizar el mantenimiento vial. La mayoría de estas afectaciones son originarias de las capas inferiores, las cuales no son visibles hasta la aparición de grietas en la superficie del pavimento. Otros factores como la infiltración de agua y la presencia de suelo cohesivo, reducen en gran medida la capacidad de soporte de las capas de sub-asfalto y de los suelos subyacentes, originando daños en las condiciones físicas del pavimento. [6]

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO.**

#### **Contextualización.**

El diseño es para calles que cuenten con una población menor de 20 000 habitantes, en este caso son las calles del cantón Zaruma. Se eligió el lugar por su necesidad de este tipo de pavimento, tanto por su tradición histórica en sus calles y su estrecha relación con el turismo. Con el paso de los años su pavimento articulado ya instalado en sus calles debemos reemplazarlo y se necesita un diseño que cumpla las normas viales vigentes del país. Actualmente existen aplicaciones de computador que resultan ser una solución de ciertas tareas y suelen ofrecer una gran eficiencia, ya que están exclusivamente diseñadas para resolver un problema específico. Estos programas aplicados a la ingeniería de pavimentos se convierten en herramientas potentes que ayudan a que el proceso de diseño se realice de una forma cómoda y rápida; como resultado se obtiene confiabilidad satisfactoria y se brinda soporte a los ingenieros para producir diseños de alta calidad. [7]

#### **Análisis Crítico.**

Con el paso de los años el pavimento articulado instalado en las calles del cantón Zaruma se ha deteriorado y luego se ha reemplazado; pero en muchos de los casos el reemplazo ha sido solo de los elementos superficiales, sin realizar un diseño específico para ese caso, esto provoca un menor rendimiento en la calzada, aumentando los costos de reparación y mantenimiento.

#### **Pregunta científica.**

Expuesto lo anterior ¿Cuál es el diseño de pavimento articulado más óptimo para las calles de poblaciones menores a 20 000 habitantes?

## **1.4 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.**

### **Contenido.**

Se diseñó un pavimento articulado y para su elaboración se usó el método propuesto por AASHTO 93, usando datos tanto del estudio de suelo CBR y conteos de tráfico requeridos por el método de AASHTO 93, con esto se obtuvo un. Se describe paso a paso el diseño del pavimento articulado. Todas las tablas y gráficos usados se colocarán en la sección de anexos. Este diseño se adecua a las necesidades que presenta el cantón Zaruma que ya cuenta con cierto deterioro de sus pavimentos y que necesitaran un reemplazo.

### **Espacial.**

Para el diseño de pavimento articulado se usaron datos proporcionados por la UTMACH. Estos datos son representativos para estas poblaciones.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN.**

Alrededor del mundo los pavimentos articulados son considerados dentro de las alternativas de pavimentación para vías de medio y alto tráfico vehicular. Los pavimentos que se han construido han tenido un buen desempeño, presentando una serie de ventajas con respecto a otros pavimentos. Este conocimiento aún se está afianzando y está en constante movimiento por la incertidumbre de las variables que involucra. En este caso en concreto su atractivo visual y versatilidad para realizar diseños, combinado con su fácil y bajo costo de mantenimiento y reparación, lo hacen óptimo para las calles de una ciudad patrimonio como Zaruma. Este estatus de patrimonio debe cuidarse con un costo óptimo en recursos y para ello necesitamos un diseño de pavimento articulado adecuado.

En la programación de proyectos, el trabajo de un ingeniero se centra en identificar el límite, el tratamiento y el calendario de cada proyecto. Se trata de un ejercicio de toma de decisiones multidimensional, en el que intervienen consideraciones sobre el desarrollo del proyecto, políticas de programación y la filosofía de gestión del pavimento [8] para ellos se necesitan diseños adecuados y óptimos.

Los pavimentos industriales deben resistir constantes de cargas estáticas y dinámicas por lo cual su espesor debe ser suficiente para evitar fallas por este tipo de sollicitación, por ello su diseño debe cumplir con las características exigidas según el uso que tendrá. A diferencia de los pavimentos de concreto para carreteras, que se diseñan para cargas de camiones, el diseño de pavimentos industriales también contempla cargas de montacargas, cargas puntuales y cargas distribuidas [9]

## **1.6 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un pavimento articulado, mediante AASHTO 93 y Normativas del Ecuador en una vía con una población menor a 20 000 habitantes.

### **Objetivos Específicos**

Determinar la información esencial para el diseño estructural de pavimento articulado en la dependencia del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma.

Aplicar la metodología de la Norma AASHTO 93 de para diseñar un pavimento articulado.

## **2 DESARROLLO**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 DEFINICIONES.**

##### **Pavimento**

Estructuras viales constituidas por un conjunto de capas horizontales superpuestas compuestas por materiales seleccionados para soportar cargas impuestas por las condiciones climáticas y el tránsito. [10]

##### **Pavimento articulado**

Estructura vial conformada superficialmente por elementos individuales, prefabricados, rígidos calificados como adoquines los cuales están unidos entre ellos por un material sellante.

##### **Método ASHTOO**

Basada en experiencias empíricas de la prueba AASTHO, el método que lleva el mismo nombre al aplicarlo se obtiene valores de espesores de las distintas estructuraciones del pavimento para así asegurar durante su periodo de vida un nivel de confiabilidad bajo una solicitud de tránsito sin bajar su nivel de servicio. [11]

##### **Geotécnica**

Investigación realizada a un suelo en que permite obtener información sobre su tipo, capacidad y cuáles son sus características.

## Estudio de tráfico

Determinación del flujo vehicular producido en una zona y periodo por distintos tipos de vehículos. [12]

## CBR

El ensayo Californian Bearing Ratio determina una medida entre la resistencia que tiene el suelo al ser penetrado por un pistón para evaluar la capacidad del suelo. [13]

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS

- Análisis granulométrico: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-422, AASHTO T-88 INEN.
- Límite líquido: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-423 AASHTO T-89.
- Límite Plástico: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-424 AASHTO T-90
- Análisis de tráfico: Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC)

## 2.3 MÉTODO EMPÍRICO

La evolución constante de la estructura del pavimento (flexible, rígido y articulado) permite la correcta estrategia de tratamiento de tal forma que, aplicada en el pavimento, se vuelva rentable y mejore el ciclo de vida del mismo [14]

Utilizando el método AASHTO fue de vital importancia realizar un minucioso conteo de tráfico, con el objetivo de determinar el tráfico promedio diario anual (TPDA) en un tramo de carretera, con estos datos se determina el tráfico futuro en 20 años (periodo de diseño) y la clasificación de la vía. Determinando que el diseño de pavimento articulado es para un “corredor Arterial tipo 1” Anexo 1.

Dentro del método de diseño de pavimentos AASHTO-93, definen al pavimento articulado como un pavimento flexible. Para este tipo de pavimento articulado AASHTO-93 desarrolló una ecuación para determinar el número estructural (SN), y este se usa para obtener los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento; este caso son la capa de rodadura conformada por adoquines, capa de base y capa de sub-base; para este propósito la fórmula es la siguiente fórmula:

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{42-15}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07 \quad (1)$$

Dónde:

**W:** Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

**ZR:** Desviación estándar normal.

**So:** Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural.

**$\Delta$ PSI:** Diferencia entre índice de servicio inicial y final.

**MR:** Módulo resiliente (en libras/pulgada<sup>2</sup>)

**SN:** Número estructural.

El término **W** lo resolvemos usando el TPDA, con este pasamos a calcular el ESALs de diseño, para ello usamos el periodo de diseño de 20 años y el factor de equivalencia de carga para cada tipo de vehículo. Como resultado obtenemos **15433088.76**; Anexo 1.

**Desviación estándar normal (ZR).** En este término necesitamos determinar la **confiabilidad (R)** según la clasificación funcional de la vía. Con 1.54 millones de ejes acumulados la confiabilidad es del 80% y una **ZR = 0.84**. Anexo 2.

**Error estándar combinado (So).** Este factor es el resultado de la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros que se incluyen en el diseño, como predecir el tráfico futuro y el comportamiento de la estructura del pavimento. Para este tipo de vía se define para el diseño en 0.49. Anexo 3.

**Diferencia entre índice de servicio inicial y final ( $\Delta$ PSI).** Los valores recomendados por el MTC según el tipo de tráfico es de 4.2 para índice inicial y de 2.0 para el índice final. Entonces la diferencia entre el índice de servicio inicial y final es de 2.2. Anexo 4.

**Módulo resiliente (MR) de Subrasante.** Este se determina a partir de un estudio geotécnico de suelos con la obtención del parámetro de CBR, en los ensayos de laboratorio dio como resultado un 11.0% para la Subrasante. Anexo 5.

Con este CBR se usó un gráfico de correlación de subrasantes

Como resultado tenemos un MR de 3300 Psi para la Subrasante Anexo 5.

**Número Estructural de diseño (SN)** Ya con estos datos se puede encontrar el SN de diseño que para efectos prácticos en el cálculo de las otras capas de la estructura de pavimentos lo denominamos SN3, este es igual a  $SN3 = 4.1$ ; este se obtuvo por medio de la ecuación 1 y se usó el ábaco desarrollado por AASHTO, para verificar su resultado. Anexo 6.

**Módulo resiliente (MR) de la capa Base.**

Para este diseño se ha escogido un material granular de base con un CBR de 89% que proviene de una cantera cercana a Zaruma, y se determinó un MR = 28900 Psi para la capa Base, en el mismo ábaco se obtiene el factor  $a_2 = 0.136$ . Anexo 7.

### Módulo resiliente (MR) de la capa Sub-Base.

Para este diseño se ha escogido un material granular de Sub-base con un CBR de 78% que proviene de una cantera cercana a Zaruma, y se determinó un MR = 19100 Psi para la capa Base, en el mismo ábaco se obtiene el factor  $a_3 = 0.132$ . Anexo 8.

### Determinación de los espesores de las CAPAS.

El método AASHTO presenta un grupo de ecuaciones para determinar los espesores de las diferentes capas de la estructura de pavimento flexible por medio de los SN, dichas ecuaciones son las siguientes:

$$SN_3 = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 \quad (2)$$

$$SN_1 = a_1 \cdot D_1 \quad (3)$$

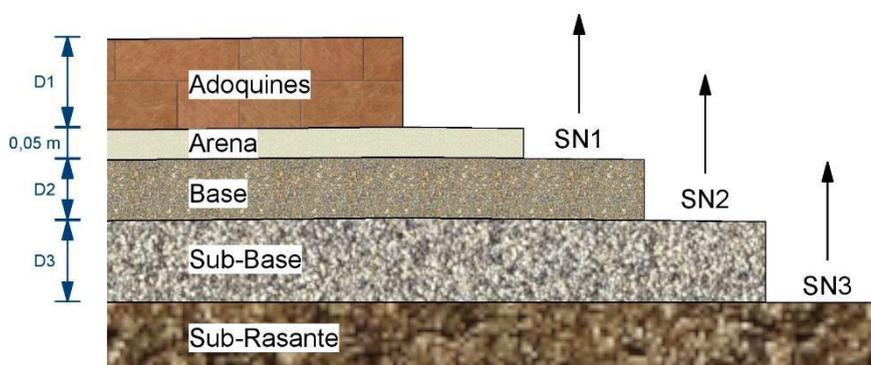
$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \cdot m_2} \quad (4)$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 \cdot m_3} \quad (5)$$

$a_1, a_2, a_3$ , son los coeficientes estructurales de capa, adimensionales.

$m_1, m_2, m_3$ , son los coeficientes de drenaje.

$D_1, D_2, D_3$  son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento. Que gráficamente se interpreta de la siguiente forma:



**Coefficientes de drenaje. ( $m_2, m_3...$ )** Es de suma importancia considerar este aspecto de los pavimentos en su diseño. La acumulación de agua es uno de los principales causantes del deterioro de los pavimentos, se ha optado como  $m_2 =$  y  $m_3 = 1.15$ , según la calidad de drenaje recomendada por la AASHTO.

### Cálculo de los espesores de capa.

Para el cálculo de SN2 y SN3 usamos la Ecuación 1, obteniendo lo siguiente:

$$SN2 = 2.3 \quad SN3=3.6$$

Teniendo el espesor D1 = 4 Pulg (espesor comercial de adoquín). y el factor a1 = 0.14, con la ecuación 3 calculamos SN1

$$SN1 = D1.a1$$

$$SN1 = 0.56$$

Para la instalación del adoquín se usa una capa de arena y tiene un espesor fijo de 2"

Para la capa de material granular Base usamos la ecuación 4.

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{m_2 * a_2}$$

$$D_2 = \frac{2.3 - 1.2}{1.15 * 0.136}$$

$$D_2 = 7.0 \text{ pulg.}$$

Para la capa de material granular subbase usamos la ecuación 5.

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 - SN_1)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{3.6 - (2.3 - 1.2)}{0.132 * 1.15}$$

$$D_3 = 16 \text{ pulg.}$$

## 2.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Transformamos los resultados a centímetros siendo los siguientes:

Espesor de capa de rodadura = 10.0 cm

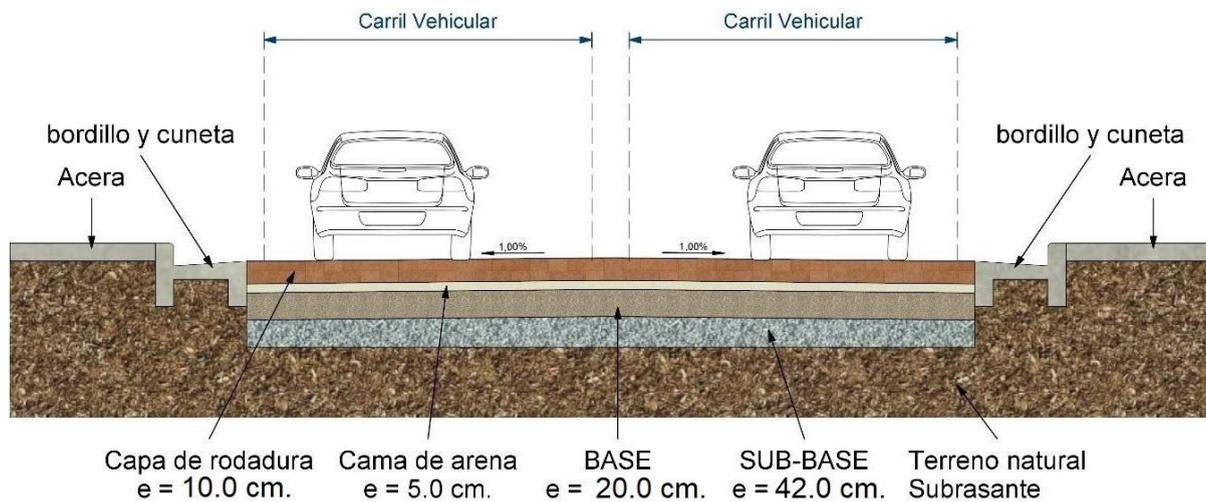
Espesor capa de arena = 5.0 cm

Espesor de Base = 20.0 cm

Espesor de Sub-Base = 42.0 cm

TOTAL PAQUETE ESTRUCTURAL = 72.0 cm

Con estos datos se ha elaborado el siguiente gráfico:



**Fuente: Elaboración propia.**

### **3 CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones.**

Se determinó la información de tránsito y CBR de estudio geotécnico para el diseño de la estructura del pavimento articulado en la dependencia del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma, usándose los aforos entregados por la UTMACH.

Aplicando la metodología AASHTO-93 se diseñó un pavimento articulado para poblaciones menores de 20 000 habitantes; con una capa de rodadura de 10.0 cm, capa BASE de 20 cm y capa Sub-base de 42 cm.

#### **Recomendación.**

Se debe tener mucho cuidado en el uso de la información de tráfico, ya que a partir de este se determina todo el diseño del pavimento.

Existen varios softwares de libre licencia que emplean la metodología AASHTO-93, se recomienda verificar los cálculos con estos softwares para prevenir errores.

#### 4 Referencias Bibliográficas

- [1] C. H. H. Sandoval and Ó. F. P. Merchán, "Patología de pavimentos articulados," *Rev. Ing. Univ. Medellin*, vol. 9, no. 17, pp. 75–94, 2010.
- [2] R. A. G. Rojas, "Análisis del comportamiento de tensiones máximas inducidas en pavimentos rígidos debido al reemplazo parcial de losas," *ITECKNE Innov. Investig. Ing.*, vol. 17, no. 2, pp. 98–108, 2020.
- [3] J. Allen, E. Arias Barrantes, C. Vargas Sobrado, and A. Ureña Bermúdez, "Factores camión para diseño de pavimentos flexibles en Costa Rica: Análisis histórico en el período 2007-2017," *Infraestructura Vial*, vol. 22, no. 40, pp. 11–19, 2020.
- [4] D. A. Santos Montero and N. C. Solarte Vanegas, "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON LA INCLUSIÓN DE HORMIGÓN ASFÁLTICO RECUPERADO TIPO 'RAP,'" *Investig. Innov. Ing.*, vol. 5, no. 1, p. 36, Jul. 2017.
- [5] A. Orobio and J. C. Orobio, "Pavimentos con placa-huella de concreto simple: Análisis con elementos finitos 3D," *Dyna*, vol. 83, no. 199, pp. 9–18, Oct. 2016.
- [6] V. D. G. Vera, "Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado," *Lámpsakos*, no. 15, pp. 22–29, 2016.
- [7] G. É. Rincón-Ochoa and C. H. Higuera-Sandoval, "Programa informático para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO," *Ingenio Magno*, vol. 8, pp. 148–161, Dec. 2017.
- [8] Z. Wang and T. Pyle, "Implementing a pavement management system: The Caltrans experience," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 251–262, Sep. 2019.
- [9] A. F. Muñoz-Valencia and A. Orobio, "PCAIndustrial: Software libre para diseño de pavimentos industriales de concreto," *Dyna*, vol. 86, no. 209, pp. 327–336, Apr. 2019.
- [10] F. R. Lizcano and H. R. Quintana, *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Ecoe Ediciones, 2015.
- [11] G. Thenoux and R. Gaete, "ANÁLISIS MECANICISTA DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS UTILIZADAS EN CHILE DISEÑADAS POR EL MÉTODO AASHTO-93," *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 0, no. 19, pp. 36–48, Jan. 2012.
- [12] C. M. A. B. C. "análisis del E. C. D. un P. de vista geotécnico" Oct. 2016. Accessed: Jul. 29 2021. [Online]. Available: <https://onepetro.org/ISRMICSR/proceedings-pdf/ICSR16/AII-ICSR16/ISRM-ICSR-2016->

005/1474589/isrm-icsr-2016-005. pdf, “Tráfico Vehicular en zonas Urbanas,” *Ciencias* 70, pp. 34–45, Jun. 2003.

- [13] C. Mendoza and B. Caicedo, “Análisis del ensayo CBR desde un punto de vista geotécnico,” Oct. 2016. Accessed: Jul. 29, 2021. [Online]. Available: <https://onepetro.org/ISRMICSR/proceedings-pdf/ICSR16/All-ICSR16/ISRM-ICSR-2016-005/1474589/isrm-icsr-2016-005.pdf>
- [14] G. Guzmán and D. Mogrovejo, “Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón,” *MSKN*, vol. 8, pp. 207–217, Dec. 2017.

# Anexos

### Anexo 1

TIPO DE VEHICULO	ESQUEMA DE EJES	CANTIDAD	EJES SIMPLES POR VEHICULOS	Nº EJES SIMPLES POR VEHICULOS
Livianos	1.1	1740	2	3480
Pesado	1.1	310	2	620
Extrapesado	1.1	218	6	1308
<b>TOTAL</b>		<b>2268</b>		<b>5408</b>

CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN.				1 Kips = 0.4545 Ton									
		<b>SN = 3</b>											
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	39520	TN	KIPS	a	b	c	d	c - a	d - b	x	FEQ
< 3.6 ton	0.7672	0.035010	1061.49	3.6	7.921	6	0.011	8	0.036	2	0.025	0.024	0.03501
3.6 - 8.5 ton	0.1367	1.196524	6463.34	8.5	18.7	18	1	20	1.56	2	0.56	0.197	1.19652
8.5 - 13.6 ton	0.0961	9.145281	34739.81	13.6	29.92	28	6.78	30	9.24	2	2.46	2.365	9.14528
Livianos	89019	0.0002	17.80										
			42282.43										
			15433088.76										
			$W_{18} = 1.54 \cdot 10^6$										
		$W_{18}$ para el periodo de diseño											

Tabla 1. Estudio de tráfico

Fuente: UTMACH

## Anexo 2

R	ZR	R	ZR
50 %	0	80 %	0.84
60 %	0.25	90 %	1.28
70 %	0.53	95 %	1.65

Tabla 2. Valores recomendados para la Desviación Estándar Normal.

Fuente: AASTHO 93

## Anexo 3

Condicion de Diseño	Desvio Estándar ( So )
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0.34 (Pavimentos Rígidos)
	0.44 (Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0.39 (Pavimentos Rígidos)
	0.49 (Pavimentos Flexibles)

Tabla 2. Valores recomendados para la Desviación Estándar de predicción de tráfico combinado.

Fuente: AASTHO 93

Anexo 4

**NIVELES DE SERVICIABILIDAD.**

SERVICIABILIDAD INICIAL ( $p_o$ )	SERVICIABILIDAD FINAL ( $p_t$ )
$p_o = 4.2$ Pavimento Flexible	$p_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes
$p_o = 4.5$ Pavimento Rígidos	$p_t = 2.0$ para caminos de menos tránsito

**CALCULO DE PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

$$\Delta \text{PSI} = p_o - p_t$$

$$\Delta \text{PSI} = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta \text{PSI} = 2.2$$

**Tabla 3. Valores recomendados para Diferencia de Serviabilidad**

**Fuente: AASTHO 93**

## Anexo 5

### CORRELACIONES DE SUBRASANTES

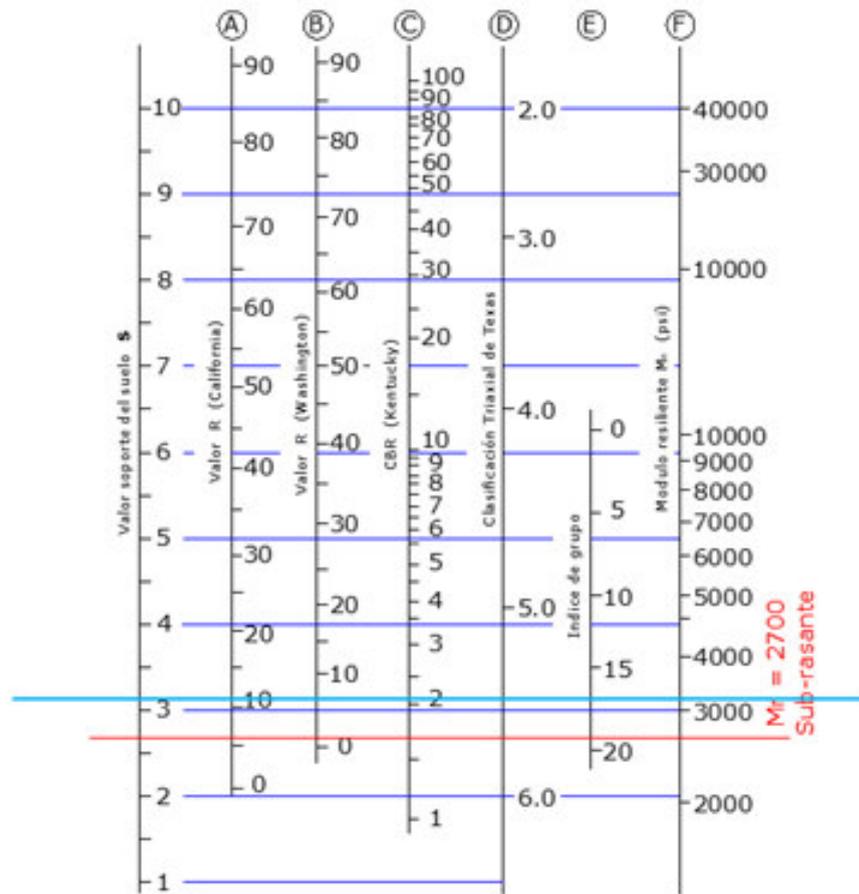
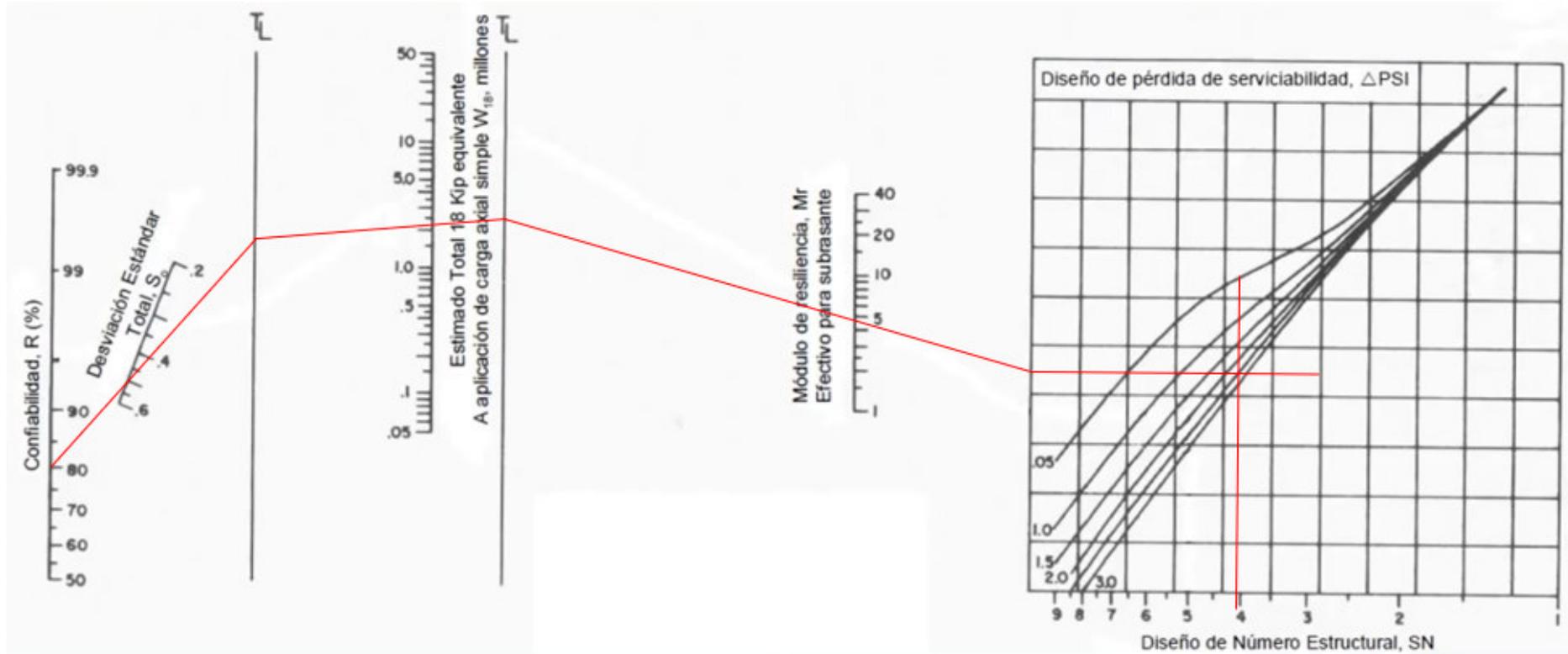


Gráfico de correlación de sub rasante.

Fuente: ASSHTO 93

## Anexo 6



Ábaco para determinar el SN3

Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993

R= 80%      So=0.49      W=2.6 millones      MR=3300       $\Delta$ PSI= 2.2      **SN=4.1**

### Anexo 7

<b>CBR</b>		<b>89 %</b>
Limite Liquido		menor de 25%
Indice de Plasticidad		NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles		menor de 40%
Coef. Estructural	$a_2$ (pulg. <sup>-1</sup> )	0.136
Coef. de Drenaje	$m_2$	1.15
Módulo Resiliente	$M_r$	28900
Número Estructural	$SN_2$	2.3

**Tabla 4. Valores de suelo tipo BASE clase 2**

**Fuente: cantera “La MESA”**

$a_2 = 0.136$

$M_r = 28900$  Psi

Anexo 8

<b>CBR</b>		<b>78 %</b>
Limite Liquido		menor de 25%
Indice de Plasticidad		NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles		menor de 40%
Coef. Estructural	$a_3$ (pulg. <sup>-1</sup> )	0.132
Coef. de Drenaje	$m_3$	1.15
Módulo Resiliente	$M_r$	19100
Número Estructural	$SN_3$	3.6

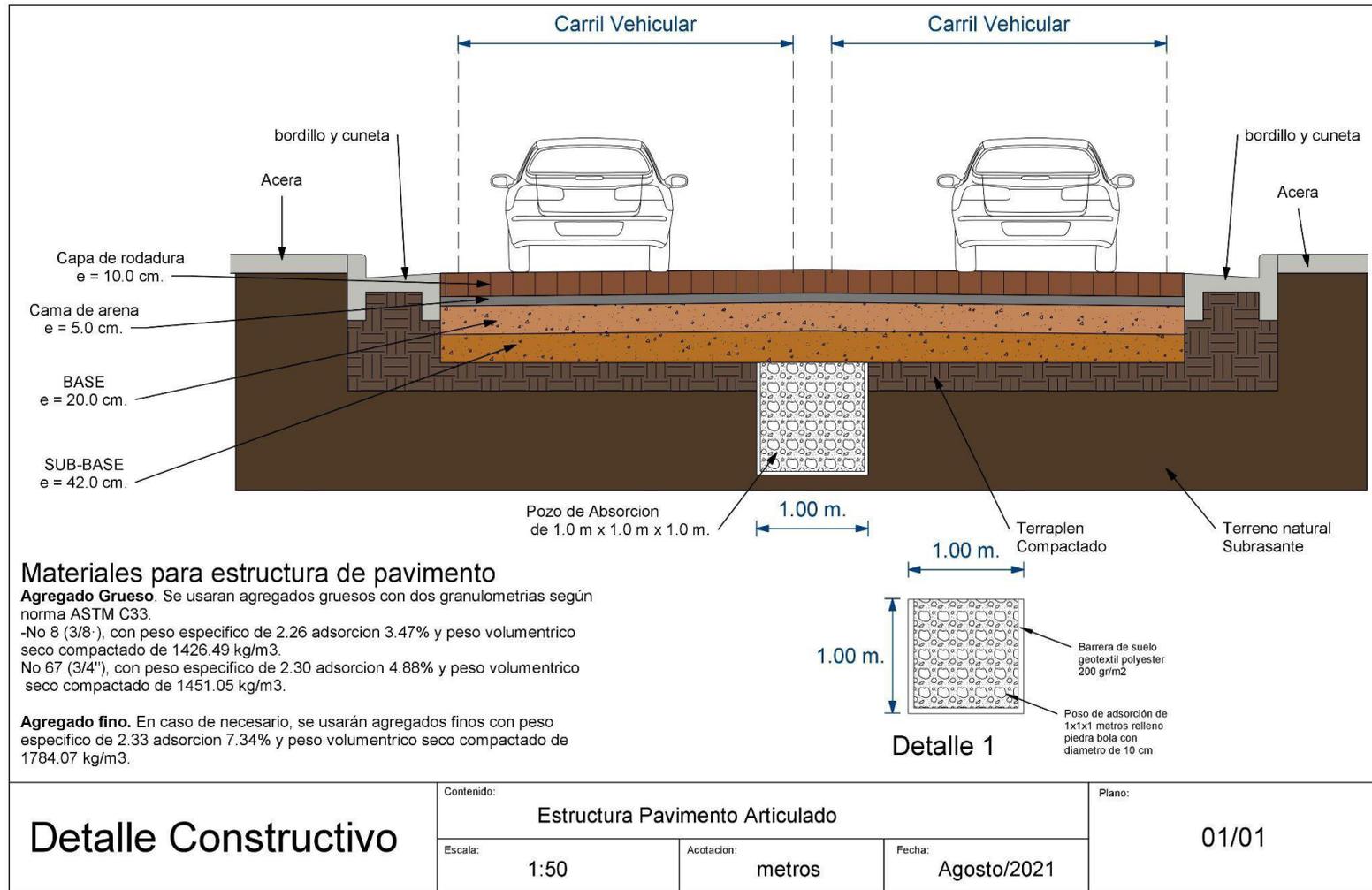
Tabla 4. Valores de suelo tipo SUB BASE

Fuente: cantera "La MESA"

$a_3 = 0.132$

$M_r = 19100$  Psi

## Anexo 19



**Plano de Detalle Constructivo.**

**Fuente: Elaboración propia**