

Dimensionamiento De Estructuras De Pavimento Tratadas Con Grava-Cemento En Las Condiciones Del Cantón Portoviejo

Dimensioning of Pavement Structures Treated with Gravel-Cement in the Conditions of Portoviejo Canton

Autores

Ángel Steeven Quiroz Ponce ¹, Félix Michael Hernández López ²

¹Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad e-mail: asteevenqp@gmail.com

²Doctor en Ciencias, Investigador del Instituto de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Universidad s/n, Anáhuac, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México CP-66450, e-mail: fmichaelhl@gmail.com

RESUMEN

El presente artículo se basa en el estudio del comportamiento de capas de base con grava-cemento, teniendo como punto de partida la utilización del material de Base Clase 1A obtenido de la cantera Megarok. Se realizaron ensayos de granulometría, límites, Próctor y CBR para comprobar su calidad; posteriormente se le adicionó 5 porcentajes de cemento desde el 4 % al 8 % para obtener la resistencia a compresión requerida a los 7 días establecida por las normas ecuatorianas vigentes. Para la evaluación de las capas de pavimento se utilizó el modelo empírico mecanicista, analizando la tensión tangencial en la capa de base y la deformación vertical en la subrasante al tratarse de un pavimento semirrígido; esto fue realizado con la ayuda del software ALIZE-LPC versión 1.2.0. En el estudio se consideran las características del tránsito y tipos de suelos de subrasante existentes en la ciudad de Portoviejo de tal manera que se tomaron en consideración tres niveles de tránsito de 10×10^6 EEq a 5×10^6 EEq; de 5×10^6 EEq a 5×10^5 EEq y $< 5 \times 10^5$ EEq, y a su vez cuatro categorías de subrasante: CBR = $< 3\%$; de 4% a 6%; de 7% a 9% y 10%. De lo cual finalmente se obtienen diversos espesores de base que cumplen todos los parámetros establecidos, en función de las características del cantón y con los diferentes contenidos de cemento en la mezcla.

Palabras claves: Grava-cemento, método empírico-mecanicista

ABSTRACT

This article is based on the study of the behavior of base layers with gravel-cement, having as a starting point the use of the Class 1A Base material obtained from the Megarok quarry. Granulometry, limits, Proctor and CBR tests were carried out to verify their quality; Subsequently, 5 percentages of cement were added from 4% to 8% to obtain the required compressive strength after 7 days established by current Ecuadorian standards. For the evaluation of the pavement layers, the mechanistic empirical model was raised, analyzing the tangential stress in the base layer and the vertical deformation in the substratum as it is a semi-rigid pavement; this was done with the help of the ALIZE-LPC software version 1.2.0. In the study, the characteristics of traffic and types of soils of existing substrates in the city of Portoviejo are considered in such a way that three levels of traffic from 10×10^6 EEq to 5×10^6 EEq were taken into consideration; from 5×10^6 EEq to 5×10^5 EEq and $< 5 \times 10^5$ EEq, and in turn four subgrade categories: CBR = $< 3\%$; from 4% to 6%; from 7% to 9% and 10%. From which, finally, different base thicknesses were obtained that meet all the established parameters, depending on the characteristics of the canton and with the different cement contents in the mixture.

Keywords: gravel-cement, mechanistic empirical method

Nota Editorial: Recibido: Mayo 2023 Aceptado: Julio 2023

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los deterioros más comunes en las estructuras de pavimentos, es la deformación que presentan las diversas capas del paquete estructural, se entiende que en un principio la magnitud de estas deformaciones son relativamente pequeñas pero si considera el efecto cíclico, es decir el número de veces que la carga de tránsito pasa por un mismo punto durante un determinado periodo de tiempo, hace que las tensiones superen los valores admisibles de los materiales provocando fatiga, punzonamiento y posteriormente la deformación [1, 2].

La estabilidad es aquella característica del material por la cual, tras la compactación, es capaz de soportar los esfuerzos de compresión del tráfico sin experimentar deformaciones que perjudiquen su posterior comportamiento. Esta propiedad del material depende básicamente del rozamiento interno de los áridos, y se consigue dotando al material de un esqueleto mineral lo suficientemente resistente y compactándolo adecuadamente, de manera que las deformaciones originadas por los vehículos sean mínimas [3, 4].

Con el paso del tiempo se han ido implementando un sinnúmero de experimentos que han permitido mejorar las propiedades mecánicas de las bases, los cuales consisten en añadir otros materiales que al ser homogenizados logran alcanzar las resistencias requeridas para su uso. Entre ellos destaca el cemento, el cual se utiliza cada vez más como material estabilizante, sabiendo que la primera construcción de carreteras construida con cemento se efectuó en Carolina del Sur, Estados Unidos en 1953 [5, 6]. En la actualidad, las vías que son diseñadas para alto nivel de tráfico y pavimentos flexibles están utilizando el cemento como material aglomerante esto debido a la poca cantidad de materiales granulares que cumplen con las especificaciones solicitadas para las capas de pavimentos, este al mezclarse con la capa de base granular brinda cohesión y aporta una mayor resistencia convirtiendo a la estructura en un pavimento semirrígido; a esta homogenización se la conoce como grava-cemento [7, 8].

La estabilización con cemento es un proceso en el cual se mejora la capacidad mecánica del suelo, incrementa la resistencia a la compresión y mejora la capacidad de cohesión de estos. La mezcla de estos componentes ayuda a formar un elemento más impermeable ya que los cristales de cemento al contacto con agua ocupan todos los espacios que dejan las partículas de suelo que son de mayor tamaño [9].

En el Ecuador se establecen cuatro tipos de bases de pavimento las cuales están clasificadas en función del nivel de tráfico que presente la vía a construir o rehabilitar estipuladas en la Normativa MOP 2022 [10] para el diseño de carreteras. En las canteras ubicadas en el sur oeste de la provincia de Manabí, el tipo de explotación es a cielo abierto; con un volumen diario aproximado de 250 m³ y mensualmente entre 7 000 y 9 000 m³ de explotación; se puede obtener la Base Clase 1A utilizada para el mayor nivel de tránsito [11], el objetivo es que por medio de la adición de cemento en base a su granulometría y funcionalidad se mejoren aún más las características de estos materiales, siendo la empresa Holcim quien ha realizado un sinnúmero de estudios con la combinación de estos dos materiales [12].

Esta misma empresa deja claro que el enfoque principal es lograr alcanzar las resistencias requeridas en las normativas vigentes y que a través de este proceso se reduce la plasticidad de los suelos, disminuye la densidad seca, aumenta el contenido de humedad óptima y el material como tal aumenta de forma notable su rigidez; es por ello que recomienda una adición de cemento entre el 4% al 8% utilizando como variable independiente el contenido de este material.

El presente artículo tiene como fin evaluar el comportamiento de capas de bases con grava-cemento en las condiciones de materiales (Cantera Picoazá) y tráfico del cantón Portoviejo, para ello se realizaron ensayos para determinar la calidad del material y posteriormente se llevó a cabo una modelación computacional en el software ALIZE, tomando como referencia para la comparación e interpretación de resultados el modelo de ICAFIR.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación se tomaron muestras de base granular de la cantera Megarok de la ciudad de Portoviejo en la cual, de acuerdo a los límites de consistencia, ASTM D-438-17 [13], se obtuvo un índice plástico por debajo del 6%, granulometría AASHTO T-11 [14] encontrándose el material dentro de la franja granulométrica como se muestra en la figura 1, y la relación de capacidad portante (CBR) AASHTO T-193 [15] donde el porcentaje se encuentra por encima del 80% y se categoriza como una Base Granular Clase 1 A utilizada generalmente para la construcción de carreteras, adicionalmente se realizó el ensayo de Proctor Modificado AASHTO T-180 [16] para conocer el porcentaje óptimo de humedad para alcanzar la máxima densidad mediante la compactación.

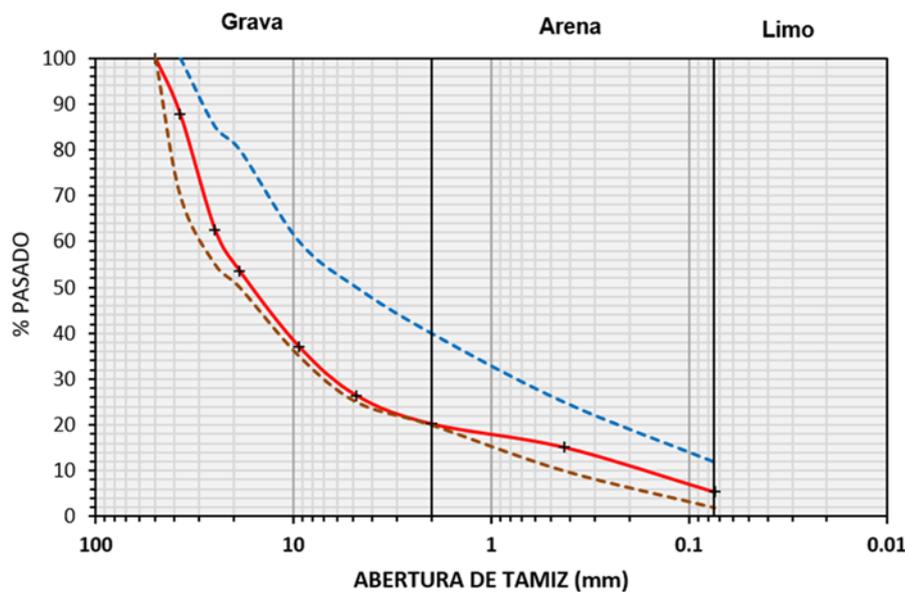


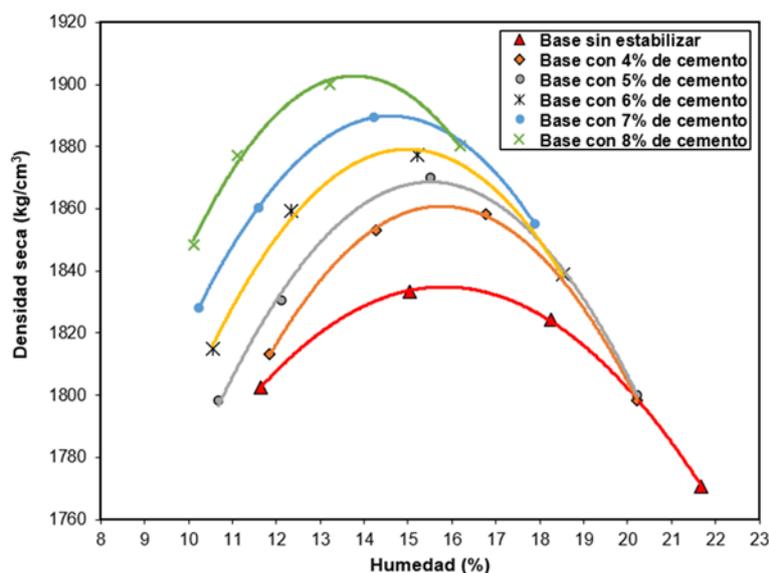
Figura 1: Granulometría del material de la cantera Megarok

En la tabla 1, se muestra un resumen de los parámetros caracterizados en la base a estudiar. Se comprobó que la base no solo cumpliera con la clasificación del MOP 2022 [10], sino que también siguiera los requerimientos establecidos para una base a tratar con cemento Portland referida en el mismo documento normativo.

Tabla 1: Caracterización del material de la cantera Megarok

Clasificación AASHTO	Límite Líquido	Índice Plástico	Densidad Máxima kg/m ³	Humedad Óptima %	CBR%
A-2-4	24,22	4,63	1835	15,81	92,43

Para tratar esta base con cemento se empleó el método establecido por la PCA (1992) [17] donde se determina el comportamiento de los suelos con cemento mediante ensayos de laboratorio realizados en probetas hechas con la mezcla de ambos materiales. Este proceso fue llevado a cabo en la investigación en dos etapas tomando como referencia cinco porcentajes de cemento que van desde el 4%, hasta el 8%. En la primera etapa, se conformaron 5 probetas para cada porcentaje con el fin de obtener la relación humedad óptima-densidad siguiendo la norma AASHTO-T134 [18] como se evidencia en la figura 2.



	CP-4%	CP-5%	CP-6%	CP-7%	CP-8%
Humedad óptima (%)	15.76	15.51	14.97	14.61	13.78
Densidad seca (g/cm ³)	1860.86	1868.61	1879.0	1889.8	1902.72

Figura 2: Curvas de compactación para la base natural y tratada con varios porcentajes de cemento

La segunda corresponde a las pruebas de resistencia a compresión no confinada AASHTO -T208 [19]. Esta prueba se llevó a cabo a los 3, 7, 14 y 28 días, en cada fecha se construyeron 3 ejemplares para cada porcentaje tomando como referencia la humedad óptima determinada en la etapa anterior. El experimento requirió la construcción de un total de 85 probetas de suelo mezclado con cemento.

Las pruebas de compactación constituyeron la base del resto de los ensayos realizados, definiéndose la humedad óptima y la densidad seca en cada porcentaje estudiado. Como se observa en la figura con la adición de cemento aparece un incremento en la densidad acompañado de una reducción ligera en los valores de humedad óptima, comportamientos similares en este tipo de suelo están documentados en la bibliografía [20-22]. La preparación de las muestras para la realización del estudio de compactación se efectuó rápidamente, para reducir los efectos de la hidratación del cemento en el proceso de compactación, los cuales conducen a reducciones en las densidades y por tanto en la resistencia en compresión.

La ACI PRC-230 (2009) [23] afirma que la resistencia compresión no confinada constituye la propiedad más usada como referencia para evaluar suelos estabilizados con cemento. Para la realización de la prueba se usaron probetas cilíndricas de 8" x 6", las muestras preparadas para cada porcentaje de cemento se prepararon con la humedad óptima correspondiente y la misma energía de compactación del ensayo Próctor empleado en la primera etapa, estas se desmoldaron a las 24 horas y se colocaron en una cámara de curado al vapor donde posteriormente fueron ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días cuyos resultados se muestran en la tabla 2 y se refleja el crecimiento de la resistencia en la figura 3.

Tabla 2: Resultado del estudio de resistencia a compresión.

Característica del material	3 días		7 días		14 días		28 días	
	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
Base con 4% de cemento	27,00	29,85	34,00	38,17	44,70	45,17	45,00	49,75
	30,82		37,90		45,20		51,37	
	31,72		42,60		45,60		52,87	
Base con 5% de cemento	35,33	38,44	38,95	43,30	48,91	50,37	51,30	56,90
	38,70		43,65		50,59		60,70	
	41,28		47,30		51,60		58,70	
Base con 6% de cemento	37,90	41,04	43,70	47,70	51,10	54,23	60,20	60,64
	39,90		47,40		56,90		57,00	
	45,31		52,00		54,70		64,73	
Base con 7% de cemento	42,05	46,91	48,15	53,01	59,55	60,10	60,07	67,01
	48,57		54,67		59,35		69,39	
	50,10		56,20		61,40		71,57	
Base con 8% de cemento	48,32	53,02	54,40	59,10	67,60	67,83	68,06	74,68
	55,32		61,40		66,80		77,92	
	55,42		61,50		69,10		78,06	

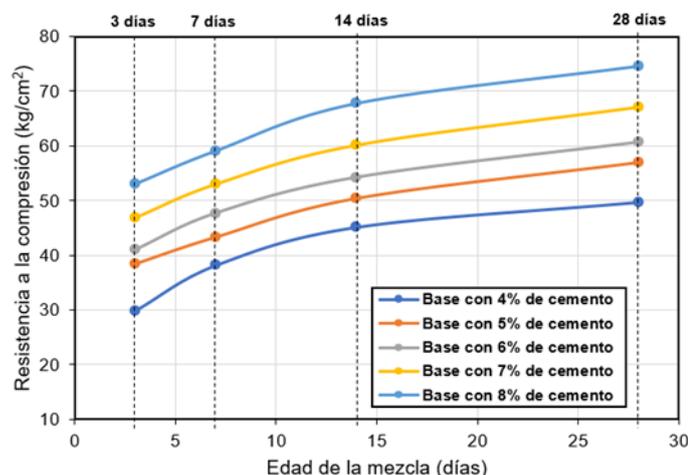


Figura 3: Evolución de la resistencia a compresión a través del tiempo

Como se observa en los resultados de las pruebas a medida que va pasando el tiempo se incrementa la resistencia a compresión. En todos los casos se supera la mínima resistencia requerida a los 7 días establecida por la norma del Ecuador MOP-2002 [10] (25 kg/cm²).

El objetivo de estas pruebas es tener varias combinaciones de bases estabilizadas con cemento, las cuales serán empleadas para elaborar una carta de diseño que permita al ingeniero tomar decisiones ante determinadas condiciones de subrasante y tráfico.

3. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

3.1. Tráfico

La red vial de la ciudad de Portoviejo está conformada por redes primarias, secundarias y locales o de barrio que permiten la conectividad de la población y la movilidad dentro del cantón. A partir de un estudio desarrollado en el 2022 [24] estas fueron clasificadas de acuerdo a su funcionalidad. A continuación, se muestra la clasificación en la tabla 3 donde se identifica cada jerarquía vial con la letra T seguida de un número.

Tabla 3: Clasificación de la red vial de la ciudad de Portoviejo.

Jerarquía vial	Características
Primarias (T1)	Asume la movilidad principal de ingreso a la ciudad y la conectividad entre zonas.
Secundarias (T2)	Para la conectividad entre barrios con transporte multimodal.
Barrio (T3)	Asume la movilidad interna de los barrios con prioridad para el transporte no motorizado.

Los volúmenes de tráfico estimados en cada categoría definida anteriormente, se obtuvieron del Plan de gestión de pavimentos y nomenclatura vial de la ciudad de Portoviejo [25], contratado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portoviejo con la Compañía AOC en el año 2015, posteriormente estos se proyectaron al año de estudio (2022) mediante la proyección de tránsito y con las tasas de crecimiento establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, para la determinación del tráfico de diseño para un periodo de 10 años, calculando el número de ejes equivalentes a 8.2 ton en base a la norma AASHTO-93 [26] que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Número de ejes equivalentes (8.2 ton) en función del tipo de vía de la ciudad de Portoviejo.

Jerarquía vial	Número de ejes equivalentes (8.2 ton) en el período de servicio en el carril de diseño
Primarias (T1)	5x10 ⁶ a 10 x10 ⁶
Secundarias (T2)	5x10 ⁵ a 5x10 ⁶
Barrio (T3)	< 5x10 ⁵

3.2. Subrasante

El aporte resistente de los suelos de subrasante es uno de los factores más importantes para el diseño de pavimentos, de tal manera que dentro del Plan de gestión de pavimentos y nomenclatura vial de la ciudad de Portoviejo, también se desarrollaron un sinnúmero de calcatas para determinar las características de los materiales en diversos puntos estratégicos del cantón en los cuales en su gran mayoría se encontraron suelos del tipo limo arcillosos con plasticidad alta (ML) y con CBR que oscilan entre 2.00% y 10% de tal manera que para este estudio se tomara a consideración 4 niveles de subrasante que se detallan en la tabla 5.

Tabla 5: Caracterización de la Subrasante en función del CBR.

Tipo de Subrasante	CBR (%)	Módulo Resiliente (MPa)
Subrasante (S1)	2	20
Subrasante (S2)	3-6	45
Subrasante (S3)	7-10	85
Subrasante (S3)	10	100

3.3. Material De Base Granular Tratada Con Cemento

A partir de la resistencia a compresión a los 7 días, determinado en las pruebas realizada a cada porcentaje de cemento se estimó con empleo del nomograma para bases estabilizadas de la AASHTO-93 [26] los valores de módulo resilientes correspondientes. Los resultados se muestran en la figura 4.

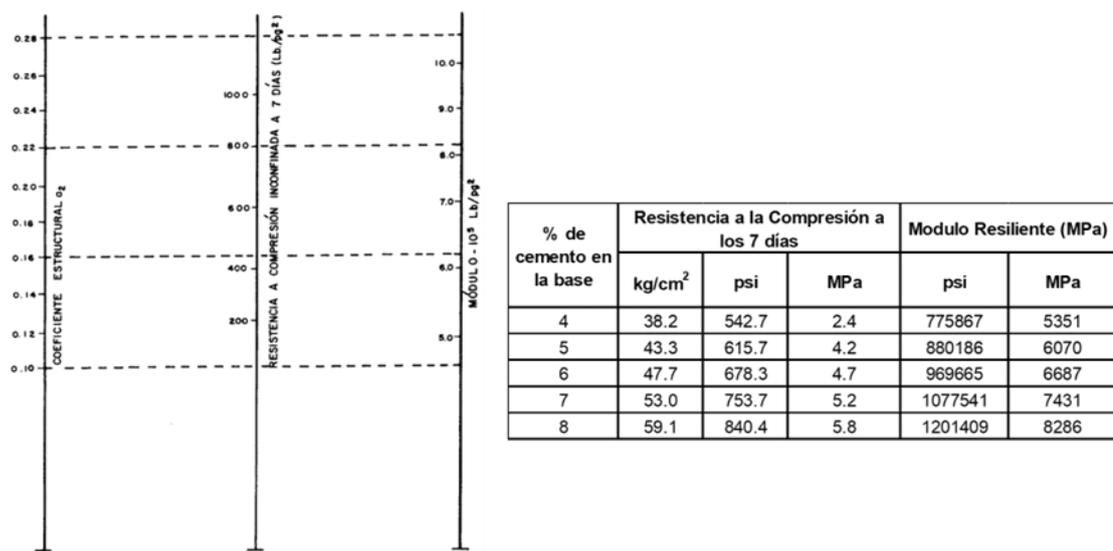


Figura 4: Estimación del módulo resiliente de las bases estabilizadas con cemento.

3.4. Materiales Restantes De Las Capas

La capa de superficie tiene dos variantes una compuesta por una carpeta de hormigón asfáltico en caliente y otra con un tratamiento estructural que no aporta resistencia al sistema. La carpeta asfáltica se definió teniendo en cuenta 3 variantes fundamentales, seleccionando de estas las más económica en cada caso. En la tabla 6 se muestran los espesores y módulos resilientes de cada una de las capas analizadas.

Tabla 6: Caracterización de la Carpeta Asfáltica y Sub-Base Clase III en la ciudad de Portoviejo.

Material	Espesor (cm)	Módulo Resiliente (MPa)
Carpeta Asfáltica V1	10	2600
Carpeta Asfáltica V2	7,5	2600
Carpeta Asfáltica V3	5	2600
Sub-Base Clase III (SB3)	30	105

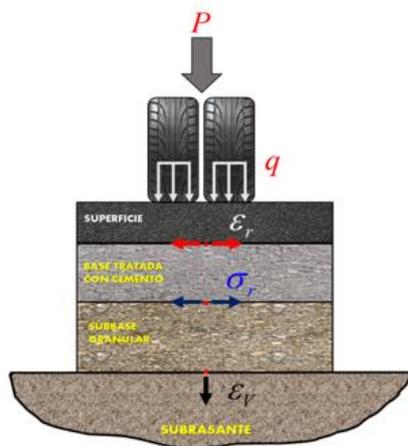
3.5. Condiciones Medioambientales

El período de diseño establecido para el cálculo de la resistencia de los suelos y la mezcla asfáltica es en invierno, comprendido entre los meses de diciembre a mayo, donde son mayores las precipitaciones y las temperaturas, al igual que las humedades de los suelos de la explanación y de las capas no aglomeradas del pavimento. La temperatura de las mezclas asfálticas para el diseño del pavimento es de 45°C, definida como un valor representativo de los máximos valores esperados, para una probabilidad del 50%.

4. ELABORACIÓN DE LA CARTA DE DISEÑO

La metodología empleada para la elaboración de la carta de diseño se centra en un enfoque empírico mecanicista. Usando una herramienta computacional ALIZE-LCPC [27] se determinaron los valores de respuesta de las diversas estructuras propuestas, luego los resultados se contrastaron con un modelo de comportamiento empírico lo que permitió determinar los espesores admisibles de cada capa del paquete.

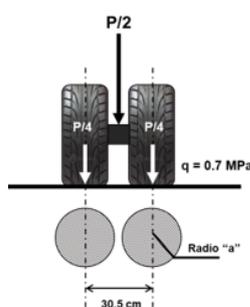
El modelo de referencia para la obtención de las respuestas estructurales se muestra en la figura 5. Para la obtención de la respuesta estructural se definen un conjunto de condiciones iniciales que serán comunes en todas las alternativas; carga, presión de inflado, radio circular equivalente y relación de interacción entre capas.



- **Capas conformadas con mezclas bituminosas:** Máxima deformación radial en tracción (ϵ_r)
- **Capas tratadas con cemento:** Máxima tensión tangencial de tracción (σ_r)
- **Subrasantes:** Máxima deformación vertical de compresión (ϵ_v)

Figura 5: Esquema representativo del modelo de respuesta

El peso de los vehículos se transmite al pavimento según el número de ruedas, distribuyéndose en un área que depende fundamentalmente de la presión de contacto entre el neumático y el pavimento. En los métodos mecanicistas se representan las solicitaciones mediante el área y la presión de contacto [28, 29]. Cuando se trata de un eje simple con rueda dual, es decir un eje que no se encuentra articulado a otro y que tiene un total de 4 llantas como el que se representa en la figura 6, se toma como área la de una elipse equivalente, teniendo en cuenta además la separación de eje a eje de cada rueda (30,5 cm en este caso) y su radio depende de la relación que existe entre la carga que baja por la llanta y la presión de contacto de la misma. En el caso de la investigación se toma como carga el eje de referencia de 8,2 ton y una presión de inflado de 0,68 MPa.



- Peso del eje (P) = 8200 kgf
- Presión de inflado (q) = 6.8 kgf/cm²
- Área de contacto equivalente $\rightarrow A = \frac{(P/4)}{q} = \frac{2050 \text{ kgf}}{6.8 \text{ kgf/cm}^2} = 301.47 \text{ cm}^2$
- Radio de contacto equivalente $\rightarrow a = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{301.47}{\pi}} = 9.8 \approx 9.0 \text{ cm}$

Figura 6: Determinación del área circular equivalente

En el modelo de ALIZE es necesario establecer la relación de interacción entre las capas que componen la estructura. En este sentido se definió como vinculadas aquellas interacciones donde las capas son no aglomeradas, como es el caso de la subbase-subrasante, en el caso de las capas estabilizadas con cemento, por la diferencia de rigideces la distribución de esfuerzos es diferente y por tanto no existen compatibilidad de desplazamiento en la interacción por lo que la relación se considera como no vinculada.

Se analizaron 2 variantes de estructuras donde se combinan superficies con carpeta asfáltica, tratamientos superficiales con bases estabilizadas con cemento (Figura 7). Estas variantes se seleccionaron a partir de evaluar su funcionalidad, las calidades permitidas en la subrasante y los niveles de tráfico que se van a presentar.

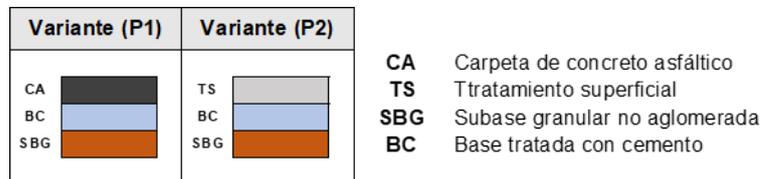


Figura 7: Variantes o paquetes estructurales analizados en la carta de diseño

Para el criterio de dimensionamiento y selección de la estructura en cada caso se analizan dos elementos fundamentales. El primero, parte de la idea del principio de diseño por el método empírico-mecanicista y se basa en el cumplimiento de los valores admisibles durante la etapa de servicio, por lo que fue necesario chequear a partir de modelos de comportamiento las variables de respuesta que correspondan. Es decir, se hallará el número admisible de aplicaciones de carga (N), que tendrá que ser superior al tráfico equivalente esperado en el periodo de diseño del proyecto.

En el presente estudio se emplean los modelo de ICAFIR [30] ya que son los que mejor ajuste en los resultados ofrecen en cuanto a los materiales disponibles en la región de Manabí. Se analizan básicamente tres leyes de comportamiento en dependencia del tipo de estructura que se presente, en la tabla 7 se muestran las leyes de fallas empleadas y posteriormente se presentan que variables de respuestas se analizaron en cada caso estructural (ver tabla 8).

Tabla 7: Modelo de comportamiento de ICAFIR

Variable	Modelo
Acumulación de deformaciones permanentes en la subrasante	$\varepsilon_v = 2.16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0.28}$
Acumulación de deformaciones permanentes en mezclas bituminosas	$\varepsilon_r = 6.920 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0.27243}$
Acumulación de tensiones tangenciales en materiales tratados con cemento (Fatiga)	$\sigma_r(MPa) = 0.72 \cdot (1 - 0.065 \cdot \log N)$

Tabla 8: Variables de respuestas admisible que se chequearon en función de tipo de estructura

Paquete estructural	Modelos de comportamiento chequeados		
	ε_r	σ_r	ε_v
CA + BC + SBG	X	X	X
TS+ BC + SBG		X	X

El segundo criterio de dimensionamiento y selección se fundamenta en asegurar un paquete estructural que cumpla con los requerimientos de diseño a un costo óptimo. Las variables a implementar en el diseño involucran el tráfico, el tipo de suelo de subrasante, el contenido de cemento y el material de la capa de rodadura; para ello se obtendrá un total de 120 estructuras diferentes de pavimentos, asumiendo también los espesores mínimos de carpeta asfáltica correspondientes a 10, 7,5 y 5 cm para cada uno de los niveles de tráfico respectivamente, manteniendo constante una capa de Sub Base Clase III de espesor 25 cm y variando el espesor de la capa de grava-cemento conforme al cumplimiento de los valores admisibles a comprobar que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Valores admisibles de fallo

Niveles de Tráfico	Valores Admisibles		
	Deformación de la Subrasante (μdef)	Tensión Tangencial (MPa)	Deformación en mezclas bituminosas (μdef)
T1	256,70	0,719	92,71
T2	339,97	0,756	121,85
T3	665,32	0,844	234,17

Para la realización del estudio se simularon un total de 120 alternativas combinando en cada caso todos los factores de diseño mencionados al inicio. Los resultados se muestran en tres tablas, cada una correspondiente a un nivel de tráfico como se evidencian en las tablas 10 y 11.

Tabla 10: Descripción de estructuras para los tráficos T1 y T2

CBR del cimiento %	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)				
	T1 (5×10^6 a 10×10^6)				
	Porcentaje de cemento Portland				
	4%	5%	6%	7%	8%
S1	Sup. Asf	CA 10 BC 25 SB3 25			
	Trat. Sup.	TS 35 BC 25 SB3 25	TS 30 BC 25 SB3 25		
S2	Sup. Asf	CA 10 BC 20 SB3 25			
	Trat. Sup.	TS 30 BC 25 SB3 25	TS 25 BC 25 SB3 25		
S3	Sup. Asf	CA 10 BC 15 SB3 25		CA 10 BC 20 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 25 BC 25 SB3 25			
S4	Sup. Asf	CA 10 BC 15 SB3 25			
	Trat. Sup.	TS 25 BC 25 SB3 25			

CBR del cimiento %	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)				
	T2 (5×10^5 a 5×10^6)				
	Porcentaje de cemento Portland				
	4%	5%	6%	7%	8%
S1	Sup. Asf	CA 8 BC 25 SB3 25		CA 8 BC 20 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 30 BC 25 SB3 25	TS 25 BC 25 SB3 25		
S2	Sup. Asf	CA 8 BC 20 SB3 25	CA 8 BC 25 SB3 25	CA 8 BC 20 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 25 BC 25 SB3 25			
S3	Sup. Asf	CA 8 BC 15 SB3 25		CA 8 BC 20 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 20 BC 25 SB3 25	TS 25 BC 25 SB3 25		
S4	Sup. Asf	CA 8 BC 15 SB3 25		CA 8 BC 20 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 20 BC 25 SB3 25	TS 25 BC 25 SB3 25		

Tabla 11: Descripción de estructuras para el tráfico T3

CBR del cimiento %	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)					
	T3 (5×10^5 a 5×10^6)					
	Porcentaje de cemento Portland					
	4%	5%	6%	7%	8%	
S1	Sup. Asf	CA 5 BC 20 SB3 25			CA 5 BC 25 SB3 25	
	Trat. Sup.	TS 25 BC 25 SB3 25				
S2	Sup. Asf	CA 5 BC 20 SB3 25				
	Trat. Sup.	TS 20 BC 25 SB3 25	TS 25 BC 25 SB3 25			
S3	Sup. Asf	CA 5 BC 15 SB3 25		CA 5 BC 20 SB3 25		
	Trat. Sup.	TS 20 BC 25 SB3 25				
S4	Sup. Asf	CA 5 BC 15 SB3 25		CA 5 BC 20 SB3 25		
	Trat. Sup.	TS 20 BC 25 SB3 25				

5. CONCLUSIONES



La grava cemento constituye una mezcla de áridos a los cuales al incorporarles cemento como conglomerante aumenta notablemente la rigidez, dota de cohesión y mejora las propiedades mecánicas del material granular en el tiempo. La normativa ecuatoriana vigente para la construcción de carreteras establece fundamentos claros para el control de la calidad de este tipo de homogenizaciones, las cuales van de la mano con las normas internacionales que a su vez todas ellas han sido elaboradas en base a la experimentación y constantes investigaciones del uso del material en el país y el resto del mundo. El material granular de base utilizado proveniente de la cantera Megarok, que es de las que se obtiene la mayor cantidad de material pétreo en la ciudad de Portoviejo, fue sometido a las debidas pruebas de granulometría, límites, Próctor y CBR obteniendo resultados favorables y que lo categorizan como un material de base clase 1A cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma MOP-2002 para la construcción de carreteras.

El diseño de las mezclas de la Base Clase 1A con los diferentes porcentajes de cemento fue sometido al ensayo de resistencia a la compresión del cual en todos los casos sobrepasó la resistencia requerida por la norma MOP-2002 incluso con el menor porcentaje y visualizando el crecimiento progresivo de la resistencia conforme se aumentaba la cantidad del material conglomerante. El análisis de las estructuras de pavimento con un enfoque empírico-mecanicista teniendo en cuenta todas las variables estudiadas, pero sobre todo la simulación de las características del tráfico y los suelos de subrasante de la ciudad de Portoviejo. Este determinó un conjunto de paquetes estructurales de base de grava cemento que permitan soportar estas solicitaciones, evidenciando el cumplimiento de los valores admisibles de las leyes de fallo correspondientes a los pavimentos semirrígidos. De esta manera se ofrece una idea clara a los ingenieros civiles que laboren como diseñadores viales y constructores de carreteras, de los espesores que podría adoptar para ciertos requerimientos y las capacidades resistentes que brinda este material de grava cemento.

1. K. A. Mayorga-Ribero, M. K. Gambús-Ordaz, M. F. Palencia-Muñoz, and D. F. Suárez-Arias, "Numerical modeling to evaluate tensile mechanical and shear failure of cement in the casing-cement interface," *Dyna*, vol. 89, no. 221, pp. 41-49, 2022.
2. H. Sharafi and M. Shekarbeigi, "Experimental evaluation of the behavior of Sandy Soil–Cement Mixture," *Revista Ingeniería UC*, vol. 26, no. 3, pp. 258-272, 2019.
3. G. S. Massenlli and C. E. de Paiva, "Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasante de baja resistencia," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no. 4, pp. 613-624, 2019.
4. C. H. H. Sandoval, "Comportamiento estructural de un pavimento flexible, esfuerzos-deformaciones y deflexiones," *L'esprit Ingénieur*, vol. 4, no. 1, 2013.
5. H. Ge, J. C. Quezada, V. Le Houerou, and C. Chazallon, "Multiscale analysis of tire and asphalt pavement interaction via coupling FEM–DEM simulation," *Engineering Structures*, vol. 256, p. 113925, 2022.
6. R. Visairo-Méndez, A. A. Torres-Acosta, and R. Alvarado-Cárdenas, "Specimen size effect on the durability indexes determination for cement-based materials," *Revista ALCONPAT*, vol. 9, no. 3, pp. 288-302, 2019.
7. E. H. Sánchez Cotte and G. Torres Chueco, "Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión," *Tecnura*, vol. 23, no. 60, pp. 59-71, 2019.
8. D. R. Biswal, U. C. Sahoo, and S. R. Dash, "Mechanical characteristics of cement stabilised granular lateritic soils for use as structural layer of pavement," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 21, no. 5, pp. 1201-1223, 2020.
9. F. D. Q. Pesántez, M. B. Á. Calle, and C. J. C. Castro, "Análisis de costos entre estabilización suelo cemento y el mantenimiento periódico de vías rurales en la Provincia del Cañar," *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, no. 1, p. 14, 2021.
10. MOP-2002, "Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes," 2002.
11. B. E. V. Hernández and W. E. R. Párraga, "Estudio de los agregados pétreos de las canteras de Manabí y la dosificación del hormigón en la construcción de viviendas de interés social," *Polo del Conocimiento*, vol. 7, no. 7, pp. 1506-1522, 2022.
12. H. E. S.A., "Soluciones en cemento: HOLCIM Base Vial Ficha Técnica," 2016.
13. ASTM D-438-17, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.," 2017.
14. A. T. 11, "Standard Method of Test for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing," 2020.
15. A. T. 193, "Standard Method of Test for The California Bearing Ratio," 2021.
16. A. T. 180, "Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop," 2020.
17. *Soil-Cement Laboratory Handbook*, 2001.
18. *Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soil–Cement Mixtures*, 2022.
19. *Standard Method of Test for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil* 2015.
20. A. Estabragh, I. Beytolahpour, and A. Javadi, "Effect of resin on the strength of soil-cement mixture," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 969-976, 2011.
21. G. R. Otoko and O. C. Blessing, "Cement and lime stabilization of a nigerian deltaic marine clay (CHIKOKO)," *European International Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 4, 2014.
22. R. A. Shirvani and I. Shooshpasha, "Experimental study on load-settlement behaviour of cement stabilised footing with different dimensions on sandy soil," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 40, pp. 397-406, 2015.
23. *Report on Soil Cement*, 2009.
24. D. d. U. y. S. Territorial, "Manual de Calles de Portoviejo," 2022.
25. C. AOC, "Plan de gestión de pavimentos y nomenclatura vial de la ciudad de Portoviejo.," 2015.
26. A. 93, "Guide for Design of Pavement Structures," 1993.
27. IFSTTAR. (2016). Alizé-LCPC, Software for pavement structures analysis and design, Saint-Maurice, France. [Online]. Available.
28. F. M. H. López, "Procedimiento para el diseño por fatiga de pavimentos de hormigón simple para carreteras en Cuba," Phd Thesis, Universidad Técnica de La Habana CUJAE, La Habana, Cuba, 2016.
29. R. M. Martínez, E. T. Piusseaut, and F. M. H. López, "Estimación del módulo de elasticidad equivalente en la superficie del conjunto de subbase y subrasante como cimiento para proyectos de reciclado en Cuba," *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, no. 215, pp. 74-81, 2017.
30. *Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía*, 2007.