

Diseño de pavimentos flexibles por la metodología AASHTO 93 aplicando inteligencia artificial por medio de un GPT personalizado

Flexible Pavement Design Using the AASHTO 93 Methodology and Artificial Intelligence through a Customized GPT Model

Fabricio Antonio Oyola Torres¹ <https://orcid.org/0009-0009-8276-8972>, Paul Javier León Torres¹ <https://orcid.org/0000-0001-6808-830X>, Jorge Humberto Maila Paucar¹ <https://orcid.org/0000-0003-3319-1475>

¹Universidad Central del Ecuador, Ciudad, País

faoyola@uce.edu.ec, pjleon@uce.edu.ec, jhmaila@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2026/02/25

Aceptado: 2026/05/27

Publicado: 2026/06/15

Resumen

La presente investigación tiene como finalidad determinar la factibilidad del uso de la inteligencia artificial en el diseño de pavimentos flexibles, mediante la personalización del modelo de OpenAI GPT-5.1, aplicable también para GPT-5.2 y versiones posteriores. Se realizaron cinco casos de diseño, aplicando en cada uno el procedimiento de diseño mediante hojas de cálculo desarrolladas paso a paso, el software DIPAV 3.0 y un modelo de GPT personalizado. Adicionalmente, los espesores adoptados fueron evaluados mediante el método racional a través del software WinDEPAV 2.6. Para cada caso de diseño, y aplicando tanto el modelo GPT 5.1 como el modelo 5.2, se realizaron cinco ejecuciones del prompt de diseño con las variantes Instant y cinco con las variantes Thinking. Para el análisis comparativo, se determinaron los errores medios, absolutos, porcentuales y cuadráticos medios, así como el coeficiente de variabilidad de los resultados de Ejes Equivalentes (ESALs) y los Números Estructurales (SN) obtenidos con IA, en comparación con los resultados generados por el software DIPAV 3.0. Asimismo, para el análisis de los espesores determinados con IA para cada caso, y para cada modelo y variante, dichos resultados fueron evaluados en DIPAV 3.0 para determinar el porcentaje que cumple con el SN requerido.

Palabras clave: Ingeniería civil, chat GPT, análisis comparativo, diseño empírico, evaluación empírico-mecanicista.

Sumario: Introducción, Objetivos, Marco teórico, Metodología, Resultados y Discusión, Conclusiones.

Como citar: Oyola, F., León, P. & Maila, J. (2026). Diseño de Pavimentos Flexibles por la Metodología AASHTO 93 Aplicando Inteligencia Artificial por Medio de un GPT Personalizado. *Revista Tecnológica - Espol*, 387(1), 103-120. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1439>

Abstract

This research aimed to determine the feasibility of using artificial intelligence in flexible pavement design through the customization of the OpenAI GPT-5.1 model, which is also applicable to GPT-5.2 and later versions. Five design cases were developed, each applying the design procedure through step-by-step spreadsheet calculations, the DIPAV 3.0 software, and a customized GPT model. Additionally, the adopted pavement thicknesses were evaluated using the rational method via WinDEPAV 2.6 software. For each design case, using both the GPT 5.1 and 5.2 models, five runs of the design prompt were performed with the Instant variant and five with the Thinking variant. For the comparative analysis, the mean error, mean absolute error, mean percentage error, and root mean square error were determined, as well as the coefficient of variation of the Equivalent Single Axle Loads (ESALs) and Structural Numbers (SN) obtained using AI, compared with the results generated by the DIPAV 3.0 software. Likewise, the pavement thicknesses determined by AI for each design case, model, and variant were evaluated in DIPAV 3.0 to determine the percentage of designs meeting the required SN.

Keywords: civil engineering, ChatGPT, comparative analysis, empirical design, empirical-mechanistic evaluation.

Introducción

El uso de inteligencia artificial es cada vez más común, incluso en ámbitos profesionales relacionados a la construcción. Programas como Revit y Autocad presentan ahora un asistente virtual dentro del software, llamado Autodesk Assitant, para facilitar su uso. En el diseño de pavimentos, resulta necesario incorporar este avance tecnológico, ya que el desarrollo y el creciente uso de IA indican que esta herramienta formará parte de la vida cotidiana en cualquier ámbito profesional.

Las vías son parte esencial del desarrollo de un poblado, su construcción asegura la comunicación y facilita el comercio, lo que se traduce en una mejora de calidad de vida para sus habitantes.

El diseño de pavimentos en el Ecuador se realiza de acuerdo con la metodología expuesta en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO, conocida comúnmente como AASHTO 93. Los diseños paso a paso con el uso de hojas de cálculo, así como la aplicación del software DIPAV 3.0 y el modelo personalizado de GPT están alineados con este procedimiento.

Ante el mencionado creciente uso de IA y considerando que las obras viales, además de garantizar seguridad, requieren de una buena gestión de los recursos públicos, la inclusión de inteligencia artificial como herramienta facilita y optimiza el diseño. Así también, proporciona información de especificaciones técnicas y procedimientos, funcionando como un asistente. Por esta razón, se requiere necesariamente un análisis que permita determinar en qué nivel son aceptables los resultados que proporciona, asegurando de esta manera su uso responsable. En respuesta a ello, en el presente artículo, además de la configuración de un modelo personalizado de GPT disponible mediante la aplicación de ChatGPT, se propone una estructura recomendada para la elaboración del prompt de diseño, así como un procedimiento de análisis de los resultados.

Si bien es cierto, la metodología AASHTO 93 es la aceptada en el país, la aplicación de otro enfoque de diseño mecánicamente más avanzado es muy útil para evaluar los resultados

del método de la AASHTO 93. En este sentido, se aplicó el método empírico-mecanicista incorporado en el software WinDEPAV 2.6, el cual considera los daños más comunes en la estructura del pavimento mediante la determinación de esfuerzos, deformaciones y número de repetición de cargas, por medio de modelos matemáticos. Esto proporciona una perspectiva más realista del comportamiento mecánico del pavimento, en comparación con el enfoque exclusivamente empírico inherente al método de diseño aplicado.

Objetivos

Objetivo General

- Analizar la factibilidad de la aplicación de un modelo personalizado de GPT para el diseño de pavimentos flexibles aplicando la metodología de la guía AASHTO 93.

Objetivos Específicos

- Aplicar el programa especializado de diseño de pavimentos DIPAV 3.0 para el diseño de cinco casos, validando los resultados obtenidos con la aplicación tradicional de la Guía AASHTO 93, y utilizando el programa WinDEPAV 2.6 para la realización un análisis de la metodología AASHTO.
- Configurar y personalizar el modelo de IA conocido como GPT, en su versión 5.1, proporcionando para ello información específica del diseño de pavimentos flexibles en Ecuador.
- Determinar los espesores de las capas del pavimento flexible para los cinco escenarios de diseño analizados, utilizando el modelo personalizado de GPT.
- Analizar mediante herramientas estadísticas los espesores obtenidos en cada caso para cada uno de los tres enfoques de diseño aplicados (aplicación tradicional del método, software especializado y GPT personalizado), orientados a la identificación de diferencias técnicas y a la evaluación de la viabilidad de cada método.

Marco teórico

Diseño de pavimentos flexibles

La metodología para el diseño de pavimentos flexibles, según la Guía AASHTO 93, corresponde a un procedimiento empírico basado en la pista de pruebas AASHO, llevada a cabo entre los años 1958 y 1960 en el estado de Illinois de los Estados Unidos. La prueba consistió en la construcción de una vía con tramos de pavimento flexible y rígidos que se exponía a condiciones de tráfico y clima simulando la realidad. A partir de esto, se obtuvieron fórmulas empíricas útiles para el diseño del pavimento y se sentaron las bases para definiciones de serviciabilidad, confiabilidad y vida útil.

Procedimiento de diseño AASHTO 93

Consiste en la determinación del Número Estructural o SN a partir de la siguiente ecuación de la AASHTO para pavimentos flexibles (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993):

$$\log_{10} w_{18} = (Z_r * S_o) + (9.36 * \log_{10}(SN + 1)) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32 * \log_{10} Mr) - 8.07$$

Para determinar el valor final del SN, se debe iterar la ecuación mostrada a partir de un SN inicial asumido, el cual se ajusta hasta lograr la igualdad. Las variables que intervienen en la

ecuación son las siguientes: “W18”, que se refiere a los ejes equivalentes al final del periodo de diseño, correspondientes a ejes de 18 kips u 8.2 toneladas, y que equivalen al total de los ejes de todos los tipos de vehículo que circularon sobre la vía durante dicho periodo; “Zr”, corresponde a la desviación estándar normal para un nivel de confiabilidad R, de acuerdo con la clasificación funcional de la vía; “So”, o error estándar combinado, cuyo valor depende del tipo de pavimento; “ΔPSI”, que se refiere a la variación del índice de serviciabilidad y puede estimarse a partir de la clasificación funcional de la vía o determinarse de manera directamente mediante el Índice internacional de Rugosidad u otros indicadores similares que permitan analizar el nivel de confort que la vía presenta a los usuarios; y “Mr”, se refiere al módulo resiliente de la subrasante, el cual se puede obtener directamente mediante ensayos como el triaxial dinámico, o estimarse mediante ecuaciones de correlación con el CBR.

En la iteración, cada vez que se cambia el valor del SN con el nuevo valor obtenido, es necesario volver a calcular los ejes equivalentes “W18”, ya que, además del TPDA, el factor de crecimiento y factores de distribución por carril y dirección, dichos ejes equivalentes dependen de los denominados Factores de Carga Equivalente o LEFs. Estos factores varían en función del tipo de pavimento, la carga por eje de cada vehículo, la serviciabilidad final y el valor del SN asumido. Por ello, se requiere el recálculo del “W18” hasta que el SN, adoptado en el cálculo de los LEFs, sea igual al SN resultante de la iteración de la ecuación.

Una vez satisfecha la ecuación, los valores de SN para cada capa del pavimento se obtienen al reemplazar en la ecuación mostrada el módulo resiliente “Mr” correspondiente a cada una de ellas. Los coeficientes estructurales de cada capa “ai” se determinan mediante las gráficas del capítulo 2.3.5 de la Guía AASHTO 93, a partir del CBR o el MR. Por su parte, los coeficientes de drenaje de cada capa “mi” pueden determinarse mediante ensayos de permeabilidad en cada capa o estimarse en función de la calidad de drenaje y del tiempo durante el cual el pavimento permanece expuesto a condiciones cercanas a la saturación, aplicando entonces la respectiva tabla del capítulo 2.4.1 de la Guía AASHTO 93.

Para determinar el espesor de cada una de las capas, se parte del aporte estructural de cada capa representado por su correspondiente SN, y luego se aplican los coeficientes estructurales y de drenaje. Para el cálculo del espesor de la primera capa superior, correspondiente a la carpeta asfáltica, se utiliza el SN de la capa inferior con el coeficiente estructural de la carpeta para obtener el espesor requerido. A partir de este valor, se adopta un espesor final y se corrige el SN, con el fin de calcular el espesor de la capa subyacente. Para las demás capas, a excepción de la carpeta asfáltica, se considera el coeficiente de drenaje, ya que este corresponde a la unidad debido a que la carpeta debe ser impermeable.

DIPAV 3.0

Es un software desarrollado por el Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH) para el diseño de la estructura de pavimentos flexibles, rígidos y articulados, basado en la metodología AASHTO 93. Este software calcula los espesores requeridos y evalúa combinaciones de espesores adoptados, verificando cumplan con el requerimiento estructural de la subrasante al comparar que el SN resultante total sea superior al SN de la subrasante (Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2025).

Además, el software puede calcular el módulo resiliente de diseño a partir de módulos resilientes estacionales a lo largo de la vía. Así también, puede calcular los ejes equivalentes “W18” o ESALs a partir de información específica del tráfico, como el TPDA durante el periodo de diseño según el tipo de vehículo, el porcentaje de tráfico correspondiente al carril de diseño,

que en este caso es el producto entre el factor de distribución por carril y direccional, y los tipos de ejes de cada vehículo con sus respectivas cargas en toneladas. Adicionalmente, requiere un valor inicial de SN, el cual deberá ser cambiado hasta que sea igual al valor determinado por la ecuación recalculando los ESALs.

IA y modelo personalizado de GPT

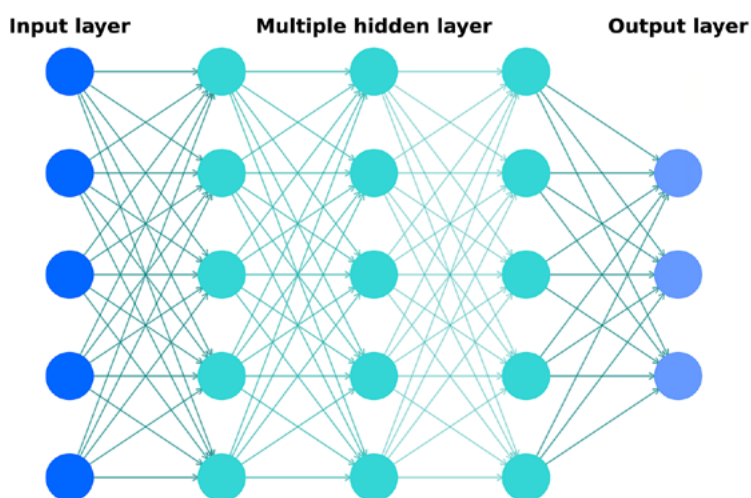
La inteligencia artificial o IA es un sistema computacional desarrollado con el fin de realizar tareas de alta dificultad asociadas a la inteligencia humana, como reconocimiento de patrones, procesamiento de lenguaje común, aprendizaje, priorización de tareas y similares. Un GPT es un modelo de IA basado en un modelo largo de lenguaje o LLM, este funciona a partir de redes neuronales artificiales autoajustables en el preentrenamiento que analizan y convierten información de entrada en resultados óptimos probabilísticos (Oyola, 2026).

Una red neuronal artificial simula de manera simplificada al cerebro humano. Los nodos se conocen como neuronas que se organizan en capas de acuerdo con la función de transformación que cada una realiza sobre los datos de entrada. Cada neurona toma los datos de entrada de otra neurona, las conexiones entre ellas tienen pesos o ponderaciones que indican la influencia de cada neurona respecto a la otra y sesgos que son valores que ajustan la salida para optimizar el modelo. En el preentrenamiento, al dotar al modelo de información que corresponde a datos de entrada junto con sus datos de salida, la red neuronal ajusta los pesos y sesgos que se requieren para que los datos de entrada coincidan con los datos de salida; de esta manera, al usar el modelo, el algoritmo ha sido optimizado para que muestre la respuesta que tiene la mayor posibilidad de dar resultados correctos según los datos del preentrenamiento.

A continuación, se muestra un esquema de una red neuronal artificial. Los círculos representan los nodos o neuronas, su agrupación vertical representan las capas y las líneas, mediante las cuales se unen, representan los parámetros, que son los pesos y sesgos mencionados anteriormente. Las capas intermedias, también denominadas ocultas, organizan las neuronas de acuerdo con la función de transformación que aplican a las neuronas de entrada, las cuales pueden corresponder tanto a datos de entrada como a información proveniente de neuronas de otras capas.

Figura 1

Esquema de una Red Neuronal Artificial



Nota: Se muestran las capas de la red neuronal profunda (Fangfang, L., 2025).

Un modelo personalizado de GPT se refiere a una opción de ChatGPT que permite especializar un modelo de IA en una tarea específica. Esta opción se encuentra disponible en las cuentas de pago de la plataforma. La personalización no requiere de escritura de código, sino la carga de archivos a partir de los cuales se extrae la información. Para ello, durante la creación del modelo, se adjuntaron la guía de diseño AASHTO 93, las especificaciones MOP-001-F-2002 (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002), para verificar que los materiales cumplan con los requerimientos establecidos, así como la norma de diseño geométrico MOP 2003, utilizada para la clasificación funcional de la vía en función del TPDA (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2003). Adicionalmente, se incorporó el procedimiento de diseño paso a paso.

A continuación, se presenta el enlace para acceder al modelo personalizado, el cual fue nombrado como “PAVUCE_IA”: <https://chatgpt.com/g/g-68b7d783830c8191b1db1050a3e9e5b6-pavuce-ia>

El uso de IA en el diseño de pavimentos no está muy documentado. En la actualidad, la mayoría de su aplicación se enfoca en la evaluación del pavimento. Proyectos como el SIMEPU en España buscan aplicar IA para desarrollar metodologías de evaluación automática del pavimento (Universidad Politécnica de Valencia, 2020).

WinDEPAV 2.6

Es un software libre con enfoque mecanicista-empírico, para el diseño y evaluación de pavimentos. El programa fue desarrollado en el Instituto de Vías de la Universidad del Cauca (Vásquez Varela, 2018).

El método racional aplicado en el programa se fundamenta en la teoría elástica y, a través de modelos empíricos, determina los ejes equivalentes que serán suficientes para producir daños por tracción en la parte inferior de la carpeta asfáltica y daños por compresión asociados al ahuellamiento en las capas granulares. Esto permite conocer si el pavimento resistirá los ejes equivalentes previstos al final del periodo de diseño o fallará antes. A diferencia de metodologías como la implementada en el software internacional “ME-PAVE” (Ahmed S, Sherif M y Alaa R, 2021), que requiere de gran cantidad de datos, e incluso en el software latinoamericano “IMP-PAVE 3.2” (Instituto Mexicano de Transporte, 2022), que demanda de espectros de carga difíciles de obtener debido a los equipos que se requieren, WinDEPAV incorpora modelos que se pueden aplicar en función de las condiciones del proyecto, lo que facilita la aplicación de un modelo racional.

El programa resulta de gran utilidad para evaluar los diseños obtenidos a partir de la metodología AASHTO 93. Para su aplicación, se requiere ingresar información de los módulos resilientes de las capas en unidades de kilogramos-fuerza sobre centímetro cuadrado, así como sus correspondientes coeficientes de Poisson, los cuales pueden estimarse a partir de correlaciones con el tipo de material y el módulo resiliente. Así también, se requiere incorporar el espesor de las capas en centímetros, los ejes equivalentes al final del periodo de diseño y seleccionar, para cada capa, un modelo para el cálculo de los daños. Al ejecutar el software, el factor de daño debe ser inferior a 1, lo que indica que el pavimento llegará al final del periodo de diseño sin los daños considerados en sus capas.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se realizaron cinco casos de diseño, los cuales partieron de un enfoque metodológico cuantitativo debido a la gran cantidad de datos numéricos y procedimientos matemáticos. El alcance fue descriptivo y comparativo, ya que en cada caso se presentaron y describieron las variables dependientes, como ejes equivalentes, número estructural y espesores de las capas, además, se compararon entre sí de acuerdo con los enfoques aplicados (paso a paso, software de diseño y uso de IA). El método empleado fue el deductivo-analítico, puesto que se tomaron como referencias marcos teóricos existentes, tales como guías de diseño, especificaciones de materiales y normas, cuya aplicación permitió llevar a cabo el diseño del pavimento. Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados mediante herramientas estadísticas.

Para el desarrollo del proyecto, se partió de la recopilación de datos provenientes de cinco tesis disponibles en el repositorio de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador, con el propósito de representar cinco diferentes casos de diseño. Posteriormente, se configuró un modelo personalizado de GPT mediante la aplicación del chatbot de OpenAI, ChatGPT, utilizando el modelo GPT-5.1. Durante esta etapa, se realizaron pruebas de prompt y redacción de procedimientos con la finalidad de obtener los mejores resultados. Para cada caso, se aplicó paso a paso la metodología de la Guía AASHTO 93 mediante el uso de hojas de cálculo. Posteriormente, se utilizó el software DIPAV 3.0 para verificar los resultados obtenidos. Asimismo, el diseño fue desarrollado mediante el modelo personalizado de GPT (para GPT-5.1 y GPT-5.2) y los resultados se compararon a partir de la verificación del SN de cada capa para cada caso y enfoque de diseño. Finalmente, los espesores obtenidos en cada caso fueron evaluados mediante el software WinDEPAV 2.6, con el fin de incorporar un enfoque empírico-mecanicista a los resultados obtenidos a través de la metodología AASHTO 93.

Casos de diseño

A continuación, se presentan los temas correspondientes a cada caso de diseño, así como el clima predominante en el sitio del proyecto y el tipo de vía asociado al tramo con mayor TPDA, a partir del cual se realizaron los diseños. Los tipos de vías se muestran según diversas clasificaciones requeridas para el procedimiento de diseño.

Tabla 1
Casos de diseño

CASO DE DISEÑO	TEMA	CLIMA	TIPO DE VÍA
1	“Diseño de la estructura del pavimento flexible en siete km de las calles del casco urbano de la ciudad de Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo” (Maila & Neptalí, 2017)	Cálido-húmedo subtropical con 200 días estimados de lluvia	Según MOP 2003: caminos vecinales de clase IV Según AASHTO 93: vías locales y vías pavimentadas de bajo volumen de tráfico Según MOP-001-F-2002 por la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) el tráfico es liviano
2	“Alternativas de diseño para las vías de acceso a Nayón con una distancia aproximada de 6.72 km, ubicadas en la Parroquia Rural de Nayón Distrito Metropolitano de Quito” (Fraga & López, 2023)	Templado y semihúmedo con 160 a 180 días estimados de lluvia	Según MOP 2003: caminos vecinales de clase IV Según AASHTO 93: vías locales y vías no pavimentadas de bajo volumen de tráfico Según MOP-001-F-2002 por el IMDP: vía de tráfico liviano

CASO DE DISEÑO	TEMA	CLIMA	TIPO DE VÍA
3	“Diseño de pavimento flexible para la reconstrucción de las vías: Av. Samuel Cisneros (1.758 km), Av. Principal 5 de junio (1.240 km), Av. Jaime Nebot (1.380 km), Av. Juan León Mera (2.620 km), Vía de Acceso 2M (0.247 km), de la parroquia Eloy Alfaro cantón Durán provincia del Guayas” (Loja & Sarmiento, 2018)	Cálido-semihúmedo subtropical con 59 días estimados de lluvia	Según MOP 2003: corredor arterial Según AASHTO 93: arteria principal y vía urbana de alto volumen de tráfico Según MOP-001-F-2002 por el IMDP: vía de tráfico muy pesado
4	“Diseño de la vía Abdón Calderón y extensión de la calle Atahualpa en las parroquias Nayón y Cumbayá, cantón Quito, provincia de Pichincha” (Labre & Santamaría, 2022)	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo (Nayón) y Subtropical (Cumbayá), con 226 y 245 días de lluvia estimados respectivamente	Para la vía de mayor tráfico: Según MOP 2003: vía colectora de clase I Según AASHTO 93: vía colectora rural y vía pavimentada de bajo volumen de tráfico Según MOP-001-F-2002 por el IMDP: vía de tráfico medio
5	“Alternativas de diseño de la vía Tulipe-Las Tolas (longitud 6 km) en la parroquia de Guallea, cantón Quito, provincia de Pichincha” (Solís & Zhunio, 2022)	Cálido-húmedo con 233 días estimados de lluvia	Según MOP 2003: vía colectora de clase III Según AASHTO 93: vía colectora rural y vía no pavimentada de bajo volumen de tráfico Según MOP-001-F-2002 por el IMDP: vía de tráfico pesado

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de diseño necesarios para el cálculo de los ESALs, SN y espesores de las capas del pavimento para cada caso de diseño.

Tabla 2
Datos de diseño

Parámetros de diseño		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Pt	Serviciabilidad final	2.00	2.00	2.50	2.50	2.00
Parámetros de diseño (continuación)		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Po	Serviciabilidad inicial	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20
Δ PSI	Variación de serviciabilidad	2.20	2.20	1.70	1.70	2.20
Zn	Desviación normal estándar	-0.524	-0.841	-1.645	-1.037	-0.841
So	Error estándar combinado	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
N	Periodo de diseño	20 años	20 años	20 años	20 años	20 años
r	Tasa de crecimiento	2.43 % (todos los vehículos)	Buses: 1.73 % Camiones: 1.75 %	Buses: 0.74 % Camiones: 6.19 %	4.90 % (todos los vehículos)	7.925 % (todos los vehículos)

Parámetros de diseño		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
TPDA actual	Transito promedio diario anual al inicio del estudio	Bus 2DB: 11 veh/día Camión 2DA: 8 veh/día Camión 3A: 4 veh/día Volqueta V3A: 2 veh/día	Bus 2DB: 6 veh/día Camión 2DB: 7 veh/día	Bus 2DB: 923 veh/día Camión 2DA: 25 veh/día Camión 2DB: 6 veh/día Camión 3A: 5 veh/día Tractocamión 3S3: 2 veh/día	Bus 2DB: 22 veh/día Camión 3A: 5 veh/día Camión 2DB: 45 veh/día	Bus 2DB: 2 veh/día Camión 2D: 59 veh/día Camión 2DB: 5 veh/día
Mr	Módulo resiliente a partir del CBR	Carpeta asfáltica: 210,000 psi Subbase C3: 16,500 psi Mejoramiento: 15,233.77 psi Subrasante: 7,200 psi	Carpeta asfáltica: 210,000 psi Base C1: 28,780 psi Subbase C1: 16,700 psi Subrasante: 19,351.05 psi	Carpeta asfáltica: 469,000 psi Base C3: 29,560 psi Subbase C3: 18,190 psi Mejoramiento: 15,165.65 psi Subrasante: 3,585 psi	Carpeta asfáltica: 393,000 psi Base C3: 28,780 psi Subbase C3: 14,730 psi Subrasante: 9,150 psi	Carpeta asfáltica: 411,000 psi Base C4: 28,780 psi Subbase C3: 14,730 psi Subrasante: 13,752.16 psi
a _i	Coefficientes estructurales de capa	a ₁ : 0.300 a ₂ : 0.119 a ₃ : 0.025	a ₁ : 0.300 a ₂ : 0.134 a ₃ : 0.120	a ₁ : 0.449 a ₂ : 0.137 a ₃ : 0.128 a ₄ : 0.035	a ₁ : 0.411 a ₂ : 0.133 a ₃ : 0.109	a ₁ : 0.420 a ₂ : 0.133 a ₃ : 0.109
m _i	Coefficiente de drenaje	m ₂ : 1.00 m ₃ : 1.00	m ₂ : 1.00 m ₃ : 1.00	m ₂ : 1.15 m ₃ : 1.00 m ₄ : 1.00	m ₂ : 1.00 m ₃ : 1.00	m ₂ : 1.00 m ₃ : 1.00

Estructura del Prompt

Para la obtención de los resultados mediante el modelo personalizado, se utilizó el siguiente prompt o indicación en el primer caso de diseño:

“Diseña un pavimento flexible de tres capas (carpeta asfáltica, subbase clase 3 y capa de mejoramiento en ese orden de colocación desde arriba hacia abajo) de acuerdo con la Guía AASHTO 93 con los siguientes datos:

- Módulo de elasticidad del hormigón asfáltico de 210000 psi; subbase clase 3 con CBR de 39 % correspondiente a un módulo resiliente de 16500 psi; capa de mejoramiento con CBR de 32 % correspondientes a 15233.77 psi de módulo resiliente y CBR de subrasante de 4.8 % correspondientes a un módulo resiliente de 7200 psi.

Serviciabilidad inicial y final de 4.2 y 2.0 respectivamente

Confiabilidad de 70 % con $Z_r = -0.524$

Desviación estándar (S_o) de 0.45

Los coeficientes estructurales de capa (a_i) son: para "a1" correspondiente a la carpeta asfáltica de 0.300, para "a2" correspondiente a la subbase clase 3 de 0.119 y para la capa de mejoramiento "a3" de 0.025. En cuanto a los coeficientes de drenaje ten en cuenta que en el lugar del proyecto se tiene una buena calidad de drenaje y llueve en promedio 200 días al año.

Determina los ejes equivalentes totales (ESALs) de 8.2 ton. de la AASHTO y muéstrame su procedimiento teniendo en consideración que se tiene un TPDA de 11 vehículos/día para el caso del bus 2DB, 8 veh/día del camión 2DA, 4 veh/día del camión 3A y 2 vehículos al día de la volqueta V3A; considera además una tasa de crecimiento de 2.43 % para todos los tipos de

vehículos y un periodo de diseño de 20 años.

De acuerdo con el TPDA futuro clasifica la vía según los criterios de la MOP 2003 y considera para el cálculo de los ESALs que el factor de distribución por carril es de 100 % y direccional es de 50 %

Para el cálculo de los factores equivalentes de carga (LEFs) usa la ley de la cuarta potencia y los pesos de los tipos de vehículos según la tabla de pesos y dimensiones de Ministerio de Transporte y Obras Públicas presentes también en las normas NEVI-12 en el Volumen 2A. Esto es para el presente caso: bus 2DB (1 eje delantero de 7 ton y trasero de 11 ton), camión 2DA (1 eje delantero de 3 ton y trasero de 7 ton), camión 3A (1 eje delantero de 7 ton y trasero tándem de 20 ton) y volqueta V3A (1 eje delantero de 7 ton y trasero tándem de 20 ton)

Calcula también el TPDA futuro al final del periodo de diseño

Determina el número estructural necesario de la subrasante y de las capas granulares y los espesores necesarios de las capas en unidades de pulgadas y centímetros, muestra sus respectivos cálculos, muestra también espesores finales tomando en consideración los espesores mínimos recomendados en la Guía AASHTO de manera que se cumpla con el número estructural requerido y que además se cumpla con el criterio económico de asignar mayor espesor a las capas de menor costo; muestra un reporte que indique si los materiales utilizados en la estructura cumplen con las especificaciones de la normativa MOP 001F: 2002 y muestra una tabla de los números estructurales y los espesores requeridos mediante el cálculos y los adoptados según las consideraciones que te indique.” (Oyola, 2026).

El prompt presentado permitió obtener resultados satisfactorios en el diseño. En cada caso se mantuvo la misma estructura, variando los datos correspondientes a cada diseño. Los resultados obtenidos mediante este procedimiento siempre siguieron un mismo procedimiento de cálculo. La extensión del prompt resultó necesaria debido a que el modelo de IA requiere de información detallada y precisa sobre lo que debe de hacer y cómo lo debe hacer. Por el contrario, proporcionar información ambigua o suprimir datos importantes en el diseño pudo ocasionar que el modelo asuma datos incorrectos, equivocándose en la mayoría de los casos.

En cada caso de diseño, para cada modelo y cada variante se realizaron cinco ejecuciones del prompt. Se consideraron los primeros resultados de cada ejecución, sin solicitar correcciones al modelo ante posibles errores, de manera que la intervención humana en la obtención de los resultados se limite exclusivamente a la ejecución del prompt.

En el caso del modelo GPT-5.1, se trabajó con las variantes Instant y Thinking, configurando esta última con la opción de pensamiento estándar, ya que el pensamiento ampliado presentaba errores al no mostrar ninguna respuesta. En cuanto al modelo GPT-5.2, se utilizaron las variantes Instant y en la variante Thinking se configuró el pensamiento ampliado, pues en dicha actualización no se presentaban errores de respuestas.

Resultados y Discusión

Procedimiento paso a paso vs resultados con DIPAV 3.0

A continuación, se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ESALs, SN y espesores de las capas en cada caso de diseño, aplicando el procedimiento de la AASHTO 93 de manera tradicional y paso a paso mediante el uso de hojas de cálculo, así como los resultados mediante la aplicación del software DIPAV 3.0:

Tabla 3

Resultados obtenidos aplicando el procedimiento paso a paso con hojas de cálculo y resultados obtenidos con el uso de DIPAV 3.0

Resultados		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
ESALs	Paso a paso	392,759.08	245,734.53	15,629,842.83	1,605,451.10	288,297.64
	DIPAV 3.0	374,106.00	265,048.00	15,480,059.00	1,671,988.00	318,513.00
	Error absoluto medio porcentual (%)	4.99	7.29	0.97	3.98	9.49
SN requerido	Paso a paso	2.59	1.75	6.96	3.34	2.05
	DIPAV 3.0	2.58	1.77	6.96	3.37	2.08
	Error absoluto medio porcentual (%)	0.52	1.18	0.05	0.90	1.40
Espesores D	Paso a paso = DIPAV 3.0	Carpeta asfáltica: 10.16 cm = 4 pulg. Subbase C3: 25 cm Mejoramiento: 25 cm TOTAL: 60.16 cm	Carpeta asfáltica: 6.35 cm = 2.5 pulg. Base C1: 10 cm Subbase C1: 15 cm TOTAL: 31.35 cm	Carpeta asfáltica: 15.24 cm = 6 pulg. Base C3: 20 cm Subbase C3: 40 cm Mejoramiento: 80 cm TOTAL: 155.24 cm	Carpeta asfáltica: 7.62 cm = 3 pulg. Base C3: 15 cm Subbase C3: 32 cm TOTAL: 54.62 cm	Carpeta asfáltica: 6.35 cm = 2.5 pulg. Base C4: 10 cm Subbase C3: 15 cm TOTAL: 31.35 cm

Como se observa, los espesores de diseño adoptados en cada caso son los mismos al aplicar el procedimiento paso a paso y al utilizar DIPAV 3.0. Esto se debe a que la misma combinación de espesores definida en el procedimiento paso a paso satisfacía el requerimiento estructural del SN en el software, ya que el SN requerido apenas varía en ambos casos.

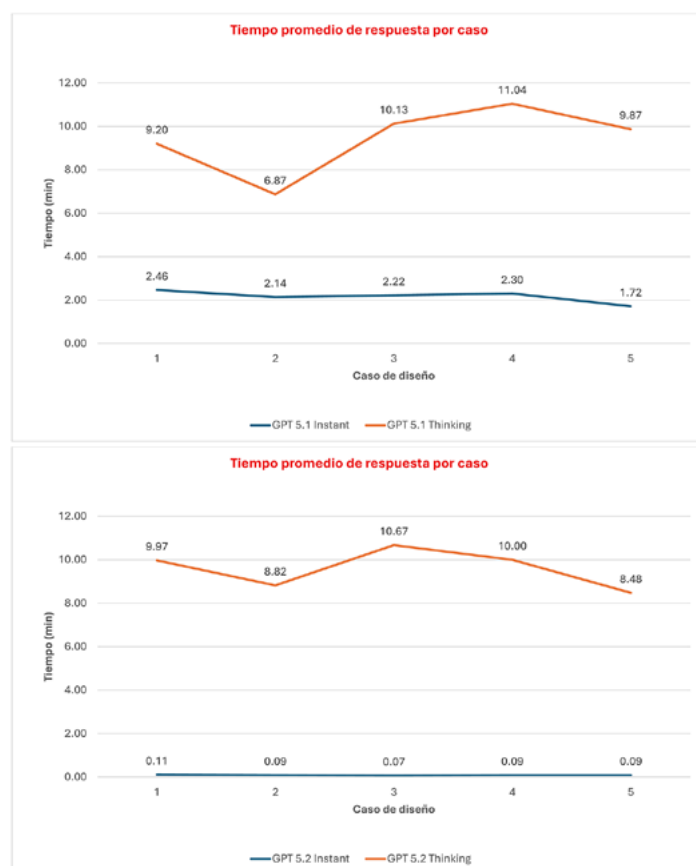
En el cálculo de los ESALs, el procedimiento manual desarrollado paso a paso presentó un error medio de 5.34 % con respecto a los resultados de DIPAV. Los valores registraron variaciones en un rango porcentual comprendido entre 0.97 % a 9.49 %. Considerando que los valores de ejes equivalentes están en el orden de cientos de miles e incluso decenas de millones, los errores son aceptables.

En cuanto a los números estructurales SN, el error en promedio de todos los casos fue de 0.81 %, variando en un rango de 0.05 % a 1.40 %, lo que indicó que los resultados son aceptables, confirmando que el error presente en los ESALs es admisible.

Tiempos de respuesta

En este apartado se analizan los tiempos que tardó el modelo personalizado de GPT para dar una respuesta. A continuación, se presentan dos gráficas correspondientes a los tiempos medios de respuesta de cada caso utilizando el modelo GPT-5.1 y el modelo 5.2 en sus dos variantes respectivas.

Figura 2
Tiempos de respuestas de cada modelo y variante aplicada



Nota: Los tiempos medios de cada caso y para cada modelo y variante se obtuvieron de 5 ejecuciones del prompt (Oyola, 2026).

El modelo GPT-5.2 presentó tiempos de respuesta más uniformes, es decir, el tiempo que demoró en dar una respuesta fue similar en cada ejecución del prompt. El modelo GPT-5.1, en su variante Instant, tardó en promedio 2 min 10 s mientras que el de su variante Thinking fue de 9 min 25 s; sin embargo, evidenció una baja uniformidad debido al coeficiente de variabilidad de 16.69 %.

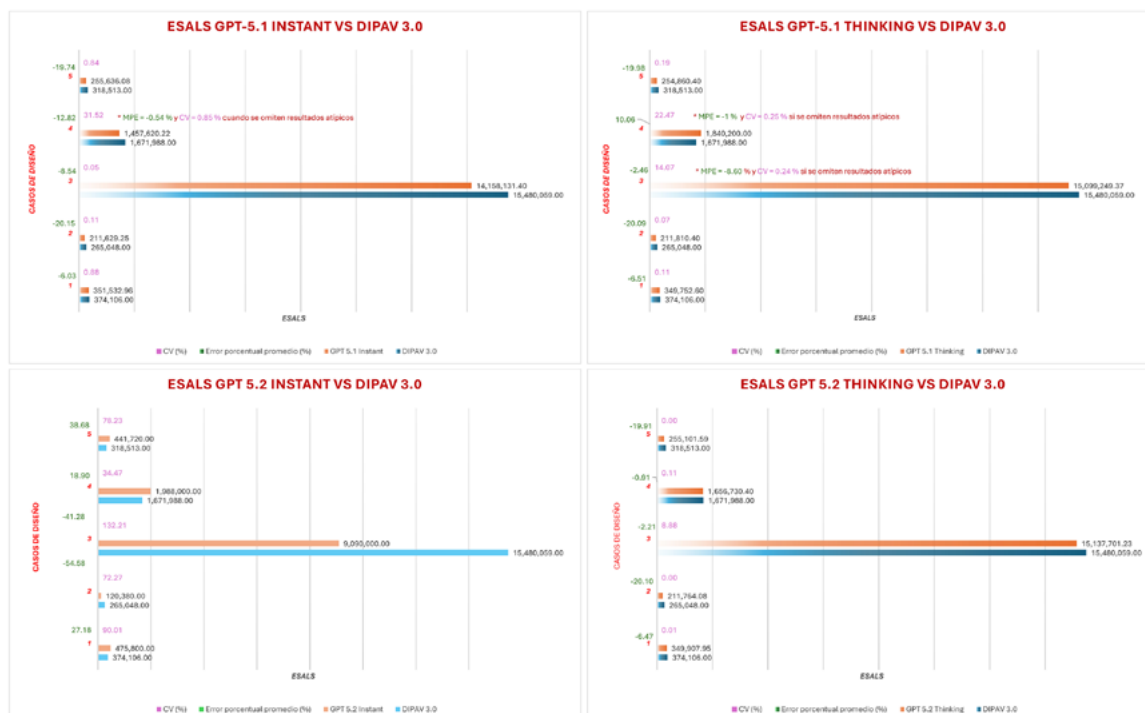
Por otro lado, el modelo GPT-5.2, en su variante Instant, demoró en promedio 5.4 s, pero presentó una variabilidad de tiempo de respuesta del 15.50 %, mientras que la variante Thinking tardó en promedio 9 min 35 s y mostró la menor variabilidad de 9.49 %; por tanto, se determinó que el modelo más rápido fue el GPT-5.2 Instant y considerando el tiempo de análisis y las respuestas brindadas, el modelo GPT-5.2 Thinking fue el más adecuado.

ESALs obtenidos con IA

En los siguientes párrafos, se presentan y analizan los resultados correspondientes a los ejes equivalentes, también llamados W18 o ESALs, y se comparan con los hallazgos obtenidos mediante el software DIPAV 3.0, el cual se toma como referencia debido a que proporciona resultados más exactos al trabajar con mayor cantidad de decimales. Previamente, se demostró que los resultados obtenidos en el software presentan un alto nivel de aprobación; es decir, son aceptables al compararse con los derivados del procedimiento paso a paso, en el cual se produce una pérdida debido a la conversión de cargas y similares, situación que no ocurre con el programa.

Figura 3

ESALs obtenidos en el modelo personalizado de IA para cada caso, modelo y variante



Nota: Los ESALs medios de cada caso y para cada modelo y variante se obtuvieron de 5 ejecuciones del prompt (Oyola, 2026).

Todos los modelos y variantes en promedio subestimaron los valores de ESALs respecto a los resultados de DIPAV 3.0, esto se comprobó al presentar errores medios negativos. El modelo GPT-5.2 Thinking evidenció un error absoluto medio porcentual o MAPE de 11.09 % en los ESALs, seguido del modelo GPT-5.1 Instant con 13.52 % y su variante Thinking con 13.91 %. El modelo GPT-5.2 Instant fue el menos exacto para el cálculo de ESALs al mostrar 57.72 % de errores.

Considerando como atípicos a los resultados superiores al 30 % de la media de los demás valores, el modelo 5.1 presentó cuatro resultados atípicos en su variante Instant y ocho en su variante Thinking. Por otro lado, el modelo 5.2, en su variante Instant, fue el que mostró más resultados atípicos de todos los modelos, con un total de 32 valores. Esto se verificó al registrar un error cuadrático medio o RMSE de 5.6 millones de ESALs, correspondiente al valor más alto de este parámetro estadístico al compararse con los demás modelos y variantes. Dicho parámetro indicó la gran frecuencia en la ocurrencia de errores de gran magnitud.

El modelo GPT-5.2 Thinking fue el que evidenció menor variabilidad en sus resultados, siendo su coeficiente de variabilidad en promedio de apenas el 1.80 %, seguido por un 6.68 % en el modelo GPT-5.1 Instant y de 7.38 % en el GPT-5.1 Thinking. Por otro lado, el modelo GPT-5.2 Instant presentó 81.44 % lo que indicó una excesiva variabilidad en sus resultados; es decir, en cada ejecución del prompt los resultados de ESALs se modificaron considerablemente.

SN obtenidos con IA

A continuación, se presentan los resultados de los Números Estructurales medios o SN obtenidos mediante el modelo personalizado de IA para cada modelo y sus respectivas variantes. Es necesario mencionar que, al existir una relación directa entre ESALs y SN, se esperaba un

comportamiento lineal de los resultados; es decir, que, si en un caso los ESALs se reducían, el valor de SN también debía disminuir. Esto no sucedió en el modelo GPT-5.1 en ninguna de sus variantes.

Figura 4
SN obtenidos en el modelo personalizado de IA para cada caso, modelo y variante



Nota: Los SN medios de cada caso y para cada modelo y variante se obtuvieron de 5 ejecuciones del prompt (Oyola, 2026).

En el caso del número estructural o SN, el modelo que mostró menos errores fue el GPT-5.2 Thinking, ya que tuvo un error medio absoluto porcentual de 1.91 %, le siguió el modelo GPT-5.1 Thinking con 2.71 %. Las variantes Instant de los modelos presentaron los mayores errores, siendo de 9.65 % en el caso de GPT-5.1 Instant y llegando a 28.99 % en la misma variante para el modelo GPT-5.2; por lo tanto, este último es el menos adecuado para el cálculo del SN.

En cuanto a la uniformidad de los resultados en cada ejecución del prompt, el modelo GPT-5.2 Thinking evidenció la menor variabilidad con un coeficiente de variación de 0.22 %, seguido de 1.96 % para la misma variante del modelo 5.1 y, finalmente, siendo de 12.55 % y de 13.50 % para las variantes Instant de los modelos 5.1 y 5.2 respectivamente.

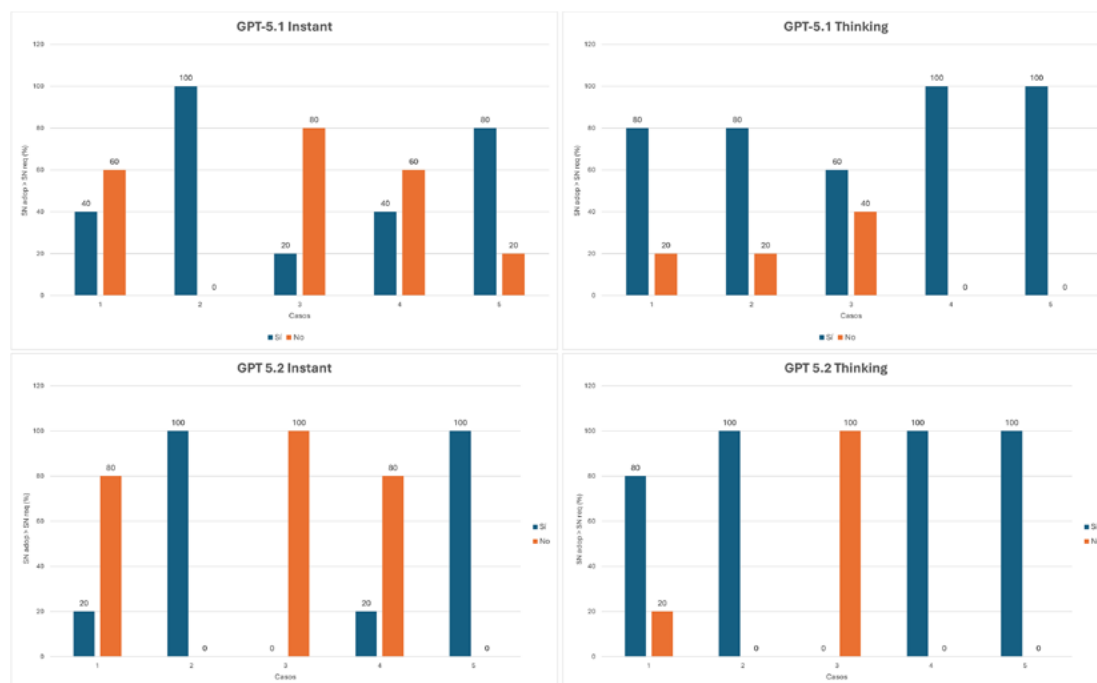
Espesores obtenidos con IA

Para el análisis de espesores se consideró que en el diseño de pavimentos no existe una sola respuesta válida, sino que varias combinaciones de espesores pueden satisfacer el requerimiento del SN de la subrasante. En este sentido, se tomaron en cada caso de diseño, para cada modelo y su variante, las combinaciones de espesores que se obtienen del modelo personalizado “PAVUCE_IA” y se verificó, con la ayuda del software DIPAV 3.0, si las combinaciones propuestas por el modelo de IA presentaron un SN total superior al SN requerido en cada caso según DIPAV 3.0, siendo esta condición el requerimiento estructural esencial en el diseño del pavimento.

Para cada caso, y así como para cada modelo y variante, se presentó el porcentaje de los espesores obtenidos de cada una de las cinco ejecuciones del prompt que cumplieron con el requerimiento estructural mencionado.

Figura 5

Porcentaje de espesores obtenidos por medio del modelo de IA que cumplen con el requerimiento estructural del SN de la subrasante



Nota: En cada caso, para cada modelo y variante se muestra el porcentaje de las cinco ejecuciones del prompt que cumplieron con el requerimiento estructural de la subrasante (Oyola, 2026)

En el caso de GPT-5.1, la variante Instant mostró mayores errores en el caso 4. En esta variante, 11 de los 25 diseños propuestos no cumplieron con el SN requerido, por lo que el 56 % de los diseños fueron aceptables y se registró un 44 % de errores. Además, se obtuvo un coeficiente de variación del 12.22 %. Por otro lado, en su variante Thinking se presentó un 84 % de aciertos, con 16 % de errores, además de un coeficiente de variabilidad de 6.68 %, lo que indicó un mejor desempeño.

Para el modelo de GPT-5.2, la variante Instant presentó 52 % de errores, por encima del modelo anterior, los casos 1, 3 y 4 evidenciaron mayores errores. Por otro lado, la variante Thinking mostró 76 % de aciertos con 24 % de errores, ya que 6 de los diseños propuestos no cumplieron el requerimiento estructural, lo cual es menor a esta misma variante en el modelo anterior.

Se debe tener en consideración que la mayoría de los errores del modelo GPT-5.2 Thinking (5 de los 6 presentes) se dieron en el caso 3, donde se tuvo un tráfico elevado cercano a 15.4 millones de ESALs. Esto indicó que el modelo falló en casos de alto tráfico, pero presentó resultados muy satisfactorios (por encima de la misma variante del modelo anterior) en casos de menores ESALs.

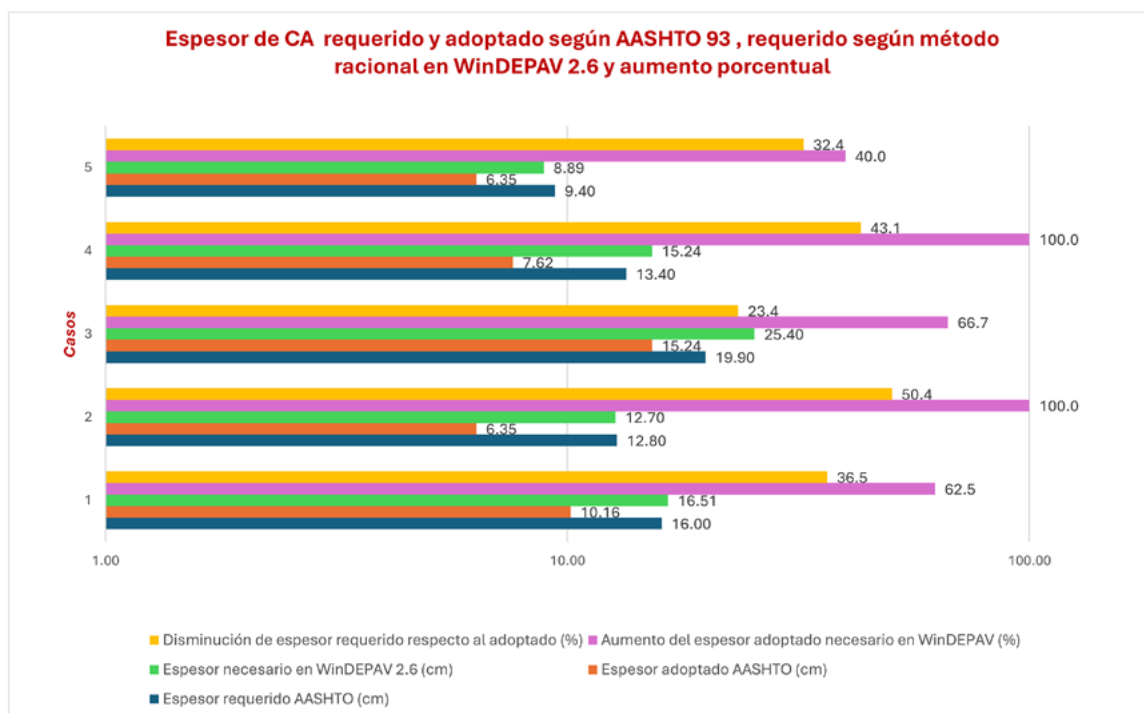
Análisis de espesores por el método racional con WinDEPAV 2.6

Se presentó el análisis de los espesores de la carpeta asfáltica o CA adoptados en DIPAV 3.0 y en la aplicación del procedimiento desarrollado paso a paso. En el método racional propuesto en el programa, el pavimento falló, en la mayoría de los casos, por fatiga debido a esfuerzos de tracción en la parte inferior de la carpeta asfáltica; por esta razón, se analizaron

únicamente los espesores de la carpeta. En el programa se ingresaron los espesores adoptados y posteriormente se incrementó el espesor de la carpeta asfáltica hasta obtener un factor de daño inferior a 1, lo que indicó que el pavimento soportaba los ESALs a los que era sometido hasta el final de periodo de diseño. En la figura 6 se muestra este aumento porcentual del espesor de CA respecto al espesor inicial de diseño (espesores que también se muestran). Así mismo, se incluyó el porcentaje de reducción aplicado al espesor requerido de CA (según los cálculos del método AASHTO 93, espesor que también se presenta) para obedecer a un criterio técnico y económico que asigne mayores espesores a las capas inferiores, lo cual es lo que se hace de manera común en el diseño de pavimentos.

Figura 6

Espesor de CA requerido y adoptado según AASHTO 93, espesor requerido según método racional en WinDEPAV 2.6 y aumento porcentual necesario



Nota: la sección de “Disminución de espesor requerido respecto al adoptado (%)” hace referencia al porcentaje en que disminuyó el espesor requerido según los cálculos al momento de adoptar un valor final en los diseños (Oyola, 2026).

En todos los casos, el espesor que satisfacía el método racional propuesto en el programa WinDEPAV 2.6 era cercano al espesor requerido de manera directa según los cálculos de la metodología AASHTO 93. Esto indicó que la práctica común de asignar menor espesor a la carpeta para compensar en capas inferiores a fin de cumplir con el requerimiento estructural de la subrasante no es el más adecuado, ya que produce fallas en la capa de rodadura antes del final del periodo de diseño.

En los casos 3 y 4, que tenían mayores ESALs, se requirió un espesor de CA superior al determinado inicialmente en el diseño. En el caso 3, donde se registraba aproximadamente 1.5 millones de ESALs, el aumento necesario del espesor de CA fue de 15 %. Por su parte, en el caso 4, donde los ESALs eran de 15.5 %, el aumento del espesor se duplicó al 30 %, lo que evidenció un porcentaje de incremento óptimo para casos similares.

Conclusiones

Se aplicó el software DIPAV 3.0 para el diseño de los cinco casos de pavimento flexible, obteniendo, respecto a los resultados de la aplicación del procedimiento paso a paso, valores

similares. Esto permite validar el procedimiento mediante el uso de hojas de cálculo a la vez que comprueba el buen desempeño del software mencionado.

El modelo de IA generado a partir de GPT-5.1, aplicable también a versiones posteriores y personalizado para el diseño de pavimentos, muestra criterios técnicos de acuerdo con los procedimientos de la guía AASHTO 93, las especificaciones MOP-001-F-2002 y la norma de diseño geométrico MOP 2003. En todas las ejecuciones del prompt se tienen procedimientos similares y se muestran resultados paso a paso.

En ningún caso se recomienda el uso de las variantes “Instant” de los modelos GPT 5.1 y 5.2, ya que presentan mayores errores y variabilidad para hallar ESALs, SN y espesores (especialmente el modelo 5.2 Instant que presenta más errores).

Para la determinación de ESALs y el SN, el modelo GPT-5.2 Thinking con pensamiento ampliado presenta menores errores y menor variabilidad entre cada ejecución del prompt. El uso de GPT-5.2 Instant muestra errores elevados y una variabilidad muy alta.

GPT-5.1 Thinking con pensamiento estándar, a pesar de tener mayor variabilidad y errores, presenta resultados de espesores aceptables en casos de gran número de ESALs. Por otro lado, los resultados de GPT-5.2 Thinking con pensamiento ampliado son más consistentes y con un excelente desempeño para ESALs menores a 15 millones; para valores mayores o iguales se recomienda el uso de GPT-5.1 Thinking.

Según el análisis de los diseños obtenidos mediante el procedimiento de la AASHTO 93, al aplicar un modelo racional o empírico-mecanicista mediante el uso de WinDEPAV 2.6, los espesores de la CA deben ser iguales o superiores a los obtenidos directamente del diseño, sin compensar la disminución de su espesor mediante la asignación de mayores espesores a las capas granulares. Asimismo, los casos de mayores ESALs superiores a 1.5 millones requieren de espesores superiores a los determinados según el diseño.

El uso de IA para el diseño de pavimentos es útil, pero requiere de validación e intervención humana. Automatizar el diseño sin supervisión, así como ejecutar una sola vez el prompt no es viable ni recomendable, ya que los resultados, dependiendo del modelo aplicado, presentan variabilidad en mayor o menor medida (GPT-5.2 Thinking presenta la menor variabilidad) y errores que requieren necesariamente de análisis de resultados y de varias ejecuciones, por lo tanto, su utilidad radica en ser una herramienta de soporte más no una definitiva.

Los resultados mediante la aplicación del modelo de IA corresponden a los obtenidos con las versiones GPT 5.1 y 5.2, de manera que las versiones de pago presentaron en su mayoría mejores resultados. Sin embargo, debido a las continuas actualizaciones de los modelos, es importante evaluar el desempeño de versiones posteriores. Esto se comprueba, pues las variantes gratuitas presentaron resultados menos satisfactorios en modelos más actuales, por lo que las actualizaciones no aseguran un mejor desempeño.

Reconocimientos y Declaraciones

Los autores declaran la contribución y participación equitativa de roles de autoría en esta publicación.

Los autores declaran que, en la elaboración del presente artículo, se ha utilizado herramientas de la IA de OpenAI, específicamente la herramienta de creación de GPT personalizados utilizando GPT-5.1 y GPT-5.2 para las secciones correspondiente a los diseños del pavimento con el uso de IA. No obstante, su uso se ha limitado a lo mencionado y no se ha utilizado en redacción ni análisis de resultados.

Referencias

- Ahmed S, Sherif M y Alaa R. (2021). *A Simplified Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design Method for Moderate to Hot Climate Regions*. Sustainability, 13 (19), 10760. <https://doi.org/10.3390/su131910760>
- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 93)*. [Documento técnico]. https://books.google.com.ec/books?id=1HRB12tBQNM&printsec=frontcover&hl=es&source=gbv_vpt_read#v=onepage&q&f=false
- Fangfang, L. (2025, 14 de diciembre). *¿Qué son las redes neuronales?*. IBM. <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/neural-networks>
- Fraga, J., & López, A. (2023). *Alternativas de diseño para las vías de acceso a Nayón con una distancia aproximada de 6.72 km, ubicadas en la Parroquia Rural de Nayón Distrito Metropolitano de Quito* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/0aaeca71-919f-4cee-8a57-bb93252acea2>
- Instituto Boliviano del cemento y el hormigón (IBCH) (2025). *Software de diseño de pavimentos (DIPAV 3.0)* [Archivo PDF]. IBCH. <https://www.ibch.com/dipav/>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2022). *Software para diseño mecanicista de pavimentos IMT-PAVE 3.2*. <https://imtpave.com/>
- Labre, F., & Santamaría, J. (2022). *Diseño de la vía Abdón Calderón y extensión de la calle Atahualpa en las parroquias Nayón y Cumbayá, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/133899ff-aea9-496e-9c36-a858fb07446b>
- Loja, R., & Sarmiento, J. (2018). *Diseño de pavimento flexible para la reconstrucción de las vías: Av. Samuel Cisneros (1.758km), Av. Principal 5 de Junio (1.240km), Av. Jaime Nebot (1.380km), Av. Juan León Mera (2.620km), Vía de Acceso 3M (0.247km), de la parroquia Eloy Alfaro cantón Durán provincia del Guayas* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/d8ad6bdd-8a8a-49fc-bbe3-83a663b731a2>
- Maila, J., & Neptalí, P. (2017). *Diseño de la estructura del pavimento flexible en siete km de las calles del casco urbano de la ciudad de Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/03dad82-3f4e-44c2-848c-082665673481>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes (MOP-001-F 2002)*. [Documento técnico]. https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de carreteras (MOP 2003)*. [Documento técnico]. https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/manual-dedisecc3blode-carretera_2003-ecuador.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Volumen N°2 – Libro A. Norma para estudios y diseños viales (NEVI-12-MTOP)*. [Documento técnico]. https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Oyola, F. (2026). *Análisis comparativo del diseño de pavimento flexible aplicando la metodología AASHTO 93: uso del software DIPAV 3.0 y diseño aplicando inteligencia artificial a través de un modelo personalizado de GPT* [Tesis de grado inédita]. Universidad Central del Ecuador.
- Solís, D., & Zhunio, B. (2022). *Alternativas de diseño de la vía Tulipe-Las Tolas (longitud 6 km) en la parroquia de Gualala, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Tesis de grado]. Repositorio Universidad Central del Ecuador. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/71a5846a-4327-47c7-a521-0ba5de0d5549>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2022). *SIMEPU 2.0: SOLuciónm Integral para la gestión del Mantenimiento Predictivo de Pavimentos Urbanos*. https://aplicat.upv.es/exploraupv/ficha-tecnologia/patente_software/49343
- Vásquez Varela, L. (2018). *WinDEPAV 2.6 con DosBOX 0.74*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. <https://sites.google.com/site/windepav/>