

## ARTÍCULOS

### Evaluación de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez

### Evaluation of hot asphalt mixtures using the Stiffness Module



Andrés David Caillagua-Cerón<sup>1</sup>, Juan José Sozoranga-Sarango<sup>2</sup>, Paul Javier León-Torres<sup>3</sup>, Jorge Humberto Maila-Paucar<sup>4</sup>,  
Mónica Susana Delgado-Yanez<sup>5</sup>



[andressDav2505@outlook.com](mailto:andressDav2505@outlook.com)

<sup>1</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.



[jjsozoranga1998@outlook.com](mailto:jjsozoranga1998@outlook.com)

<sup>2</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.



[pjleon@uce.edu.ec](mailto:pjleon@uce.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.



[jhmaila@uce.edu.ec](mailto:jhmaila@uce.edu.ec)

<sup>4</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.



[msdelgadoy@uce.edu.ec](mailto:msdelgadoy@uce.edu.ec)

<sup>5</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 21, núm. 1, 2026

[revista.figempa@uce.edu.ec](mailto:revista.figempa@uce.edu.ec)

Recepción: 16 septiembre 2025

Aprobación: 13 abril 2026

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v21i1.8773>

Autor de correspondencia:

[andressDav2505@outlook.com](mailto:andressDav2505@outlook.com)

## RESUMEN

En la actualidad la mayor parte de la red vial del país se encuentra constituida por pavimento flexible, este debe cumplir con los estándares de control según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F-2002), el uso del Módulo de Rigidez como parámetro de control no se encuentra establecido dentro de las directrices de evaluación a pesar de que proporciona información sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica frente a cargas repetitivas. Un rango para Módulo de Rigidez proporcionaría una base para el diseño de futuras mezclas de pavimentos flexibles y una herramienta para la evaluación de estructuras existentes que presenten diseños convencionales con agregados procedentes de los lugares mencionados. El objetivo de este artículo es presentar los resultados para rangos referenciales de módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con agregados de la zona oriental del cantón Quito, en base a los resultados obtenidos en el trabajo de investigación "Evaluación de la calidad de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez utilizando agregados provenientes de las canteras de Guayllabamba, Pintag y Pifo". Se elaboró un total de cinco muestras para cada mezcla asfáltica, midiendo el módulo de rigidez en condiciones convencionales, como segunda instancia se procedió a realizar un proceso de envejecimiento que simula el paso del tiempo a corto y largo plazo en las muestras y se determinó del módulo de rigidez en cada etapa. Los resultados fueron analizados mediante herramientas estadísticas como el análisis ANOVA para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos, evidenciando que las muestras presentan variaciones significativas para cada condición de acondicionamiento y posteriormente aplicando la prueba de Tukey en la cual se realizaron comparaciones en pares de muestras, se determinó que las muestras de Guayllabamba y Pifo no presentan diferencias significativas; sin embargo, ambas evidencian diferencias significativas respecto a la muestra de Pintag. A partir de este análisis, se obtuvieron rangos referenciales para módulo de rigidez de las muestras elaboradas con agregados de la zona oriental del cantón Quito, para el caso de Guayllabamba y Pifo siendo de 2530-3306 MPa y para Pintag de 1910-2302 MPa bajo condiciones convencionales.

**Palabras claves:** módulo de rigidez; mezcla asfáltica; agregados; envejecimiento; rangos

## ABSTRACT

Currently, the majority of the country's road network is made up of flexible pavement, which must comply with control standards according to the General Specifications for the Construction of Roads and Bridges (MOP-001-F-2002). The use of the Stiffness Module as a control parameter is not established within the evaluation guidelines, despite providing information on the behavior of the asphalt mixture under repetitive loads. A range for the Stiffness Modulus would provide a basis for the design of future flexible pavement mixtures and a tool for the evaluation of existing structures that present conventional designs with aggregates from the aforementioned locations. The objective of this article is to present the results for reference ranges of the stiffness modulus of hot asphalt mixtures made with aggregates from the eastern area of the Quito canton, based on the results obtained in the research work "Evaluation of the quality of hot asphalt mixtures thru the Stiffness Modulus using aggregates from the Guayllabamba, Pintag, and Pifo quarries." A total of five samples were



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

### Cómo citar:

Caillagua-Cerón, A. D., Sozoranga-Sarango, J. J., León-Torres, P. J., Maila-Paucar, J. H. y Delgado-Yanez, M. S. (2026). Evaluación de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 21(1), e8773. <https://doi.org/10.29166/revfig.v21i1.8773>

prepared for each asphalt mixture, measuring the stiffness modulus under conventional conditions. As a second step, an aging process was carried out to simulate the passage of time in the short and long term on the samples, and the stiffness modulus was determined at each stage. The results were analyzed using statistical tools such as ANOVA to determine if there are statistically significant differences between the means of the groups, showing that the samples exhibit significant variations for each conditioning condition. Subsequently, the Tukey test was applied, in which pairwise comparisons of samples were made, determining that the Guayllabamba and Pifo samples do not show significant differences; however, both exhibit significant differences compared to the Pintag sample. Based on this analysis, reference ranges for the stiffness modulus of the samples made with aggregates from the eastern zone of the Quito canton were obtained, with Guayllabamba and Pifo ranging from 2530-3306 MPa and Pintag from 1910-2302 MPa under conventional conditions.

---

**Keywords:** modulus of stiffness; asphalt mix; aggregates; aging; ranges

## INTRODUCCIÓN

El módulo de rigidez es un parámetro que permite conocer el comportamiento de briquetas de mezcla asfáltica ante cargas dinámicas, este valor es utilizado para determinar el coeficiente de capa dentro del cálculo de los espesores de la estructura del pavimento (Garnica *et al.*, 2005). Las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes toman como referencia los parámetros establecidos por el Instituto del Asfalto donde no se cuenta con límites para este parámetro, por lo que no se comprende un rango dentro del cual analizar el comportamiento de la mezcla asfáltica ante cargas cíclicas de tránsito (Asphalt Institute, 1992).

### Mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica es una combinación de agregados pétreos con un ligante asfáltico, este ligante asfáltico debe poseer una consistencia fluida para poder cubrir los agregados y realizar la mezcla, esta fluidez se la logra utilizando ya sea una emulsión asfáltica o mediante el calentamiento del asfalto (Morea, 2021).

Es utilizada para la construcción de firmes, principalmente como carpeta de rodadura; no obstante, puede utilizarse para la conformación de capas inferiores. Su objetivo es otorgar una superficie cómoda y segura para los vehículos (Padilla, 2004).

### Mezcla asfáltica en caliente

Una mezcla asfáltica en caliente se la realiza mediante la combinación de agregados pétreos y asfalto, el peso que representan los componentes con respecto a la mezcla es de 3% a 8% para el asfalto y 92% a 97% los agregados (Indiana Department of Transportation, 2026). Son elaboradas en una planta mezcladora estacionaria o móvil, a una temperatura lo más reducida posible para permitir el mezclado y recubrimiento uniforme y lo suficientemente alta para permitir el transporte, tendido y compactación (Delgado, 2020).

La carpeta de rodadura de mezcla asfáltica es la capa que se encuentra en contacto directo con las cargas de tránsito, proporciona características como fricción, reducción de ruido y resistencia a pliegues y hundimientos (Indiana Department of Transportation, 2026).

El método de diseño Marshall para mezclas en caliente evalúa la resistencia mecánica del material y la estabilidad de la mezcla elaborada mediante una granulometría específica, esta evaluación se la realiza mediante la aplicación de carga a una probeta de mezcla asfáltica (Osorio & Artunduaga, 2025).

### Envejecimiento de la mezcla asfáltica (corto y largo plazo)

Durante el tiempo de operación, los pavimentos presentan cambios tanto reológicos como químicos, en donde el envejecimiento a largo plazo es el principal responsable (Castellanos & Chaves, 2020, pp. 7–23). El envejecimiento de mezclas asfálticas en caliente es uno de los principales problemas que afectan la calidad de la estructura de pavimento y el tiempo de vida útil de la carpeta asfáltica (Rodríguez *et al.*, 2016, pp.47-61).

Este proceso de envejecimiento se asocia al cambio en la composición y comportamiento reológico del asfalto en la mezcla, tendiendo a endurecerse produciendo dos efectos notorios; el aumento en su capacidad a cargas y la resistencia a deformaciones (Guerra *et al.*, 2025, pp. 23–34).

### A corto plazo

En el transcurso del proceso de elaboración y mezclado en planta, el asfalto se oxida debido al oxígeno y a las altas temperaturas de mezclado, produciendo un envejecimiento inicial a la mezcla asfáltica (Vargas & Reyes, 2010, pp. 27-44). El proceso de acondicionamiento de la mezcla asfáltica tiene como propósito el simular el envejecimiento producido durante la elaboración, mezclado, transporte y tendido de la mezcla asfáltica (AASHTO, 2019).

### Largo plazo

El envejecimiento a largo plazo se da cuando la mezcla asfáltica se encuentra en servicio debido a factores ambientales y las cargas vehiculares que soportan, ya sea en movimiento o estáticos (Castellanos & Chaves, 2020, pp. 7–23). El acondicionamiento a largo plazo de mezclas asfálticas en caliente ya compactadas simula el envejecimiento que soportara durante 7 a 10 años de servicio (AASHTO, 2019).

## Módulo de rigidez

El módulo de rigidez o módulo dinámico es un valor que define las propiedades elásticas de una mezcla asfáltica en caliente cuando es sometido a cargas cíclicas (Leiva, 2004). Se utiliza en la evaluación del diseño de mezclas asfálticas y el control de estructuras de pavimento, también sirve para encontrar el coeficiente de capa y con eso determinar el espesor de la carpeta de rodadura (Leiva, 2004).

En mezclas asfálticas es fundamental el estudio de la rigidez debido a que se puede determinar el desempeño de la carpeta asfáltica y a su vez es esencial en el análisis del comportamiento cuando es sometido a cargas vehiculares. El módulo de rigidez puede emplearse para estudiar los efectos de temperatura, tiempos de carga y periodos de reposo, factores que son tomados en cuenta en el diseño de la carpeta de rodadura (Dávila, 2005).

El módulo de rigidez frente a condiciones de temperatura inferiores tiende a disminuir proporcionando una mayor susceptibilidad a fisuras o agrietamientos debidos a fatiga, mientras que, ante temperaturas mayores presenta un incremento considerando un comportamiento elástico y deformable (León et al., 2020, pp. 60–71).

## Norma de ensayo

La norma UNE-EN 12697 anexo C, permite determinar la rigidez de una mezcla asfáltica compactada, aplicando cargas mediante el ensayo de tracción indirecta el cual permite clasificar en función de su rigidez y simular su comportamiento estructural (Loma, 2017, pp. 37-39). El procedimiento para encontrar el módulo de rigidez es no destructivo, por lo cual los ensayos de tracción indirecta se pueden repetir por varias ocasiones en la misma briqueta para evaluar el diseño de la mezcla asfáltica y controlar la estructura de pavimento debido a las condiciones de temperatura y humedad (Dávila, 2005).

## Parámetros de control

En el ensayo de tracción indirecta existen parámetros fundamentales que sirven como control en el ensayo, las cuales están detalladas en la norma UNE-EN 12697 anexo C los cuales son: temperatura, dimensión de la briqueta, coeficiente de poisson, tiempo de subida deseado, periodo de acondicionamiento, pulsaciones de acondicionamiento y deformación diametral deseado (UNE, 2012).

## Comprobación

En el anexo C de la norma UNE-EN 12697, se establece el criterio para validar el valor de módulo de rigidez que se obtiene a partir del ensayo de tracción indirecta. El valor medio del módulo de rigidez debe estar situado en el rango de -10% y 20% respecto al valor medio de módulo de rigidez de la segunda lectura en la briqueta. De cumplirse esta condición, el valor se considera valido y se registra como el módulo de rigidez de la briqueta, en caso de no cumplirse, el valor del módulo se descarta y se repite el ensayo (UNE, 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se fundamenta en el análisis de resultados presentados en el trabajo de titulación "Evaluación de la calidad de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez utilizando agregados provenientes de las canteras de Guayllabamba, Pintag y Pifo". Para el diseño de mezclas asfálticas se adoptó la metodología Marshall, debido a que en Ecuador se encuentra normalizada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. La determinación del módulo de rigidez bajo condiciones de envejecimiento controlado tiene como propósito el reproducir la evolución en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas partiendo de diseños existentes incorporando agregados de los lugares mencionados.

## Toma de muestras

Los agregados seleccionados para la realización del estudio corresponden a muestras de agregado fino, intermedio y grueso tomadas de las siguientes ubicaciones, la muestra de Guayllabamba fue tomada de la planta de asfalto TEA, la muestra de Pintag corresponde a la mina Esperanza y la muestra de Pifo fue tomada de la Planta de asfalto Naranjo López. El asfalto utilizado corresponde a una muestra de AC-20 tomada de la planta de asfalto de la EPMMOP.

## Comprobación de diseños

Los diseños realizados para cada muestra asfáltica fueron comprobados mediante las propiedades Marshall, cumpliendo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002). En la Tabla 1 se presentan los parámetros utilizados para el control y comprobación en el cumplimiento de diseño de las mezclas asfálticas en caliente elaboradas para el estudio.

TABLA 1  
Parámetros para la comprobación del diseño de mezclas asfálticas en caliente

Propiedad	Unidad
Porcentaje de vacíos de aire	%
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	%
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	g/cm <sup>3</sup>
Estabilidad	lbs
Flujo	1/100 pulg

### Elaboración de briquetas para estudio

Para la elaboración de briquetas se utilizó un compactador manual y se procedió con la realización según el diseño Marshall para tráfico pesado aplicado un total de 75 golpes por cara. Se elaboró un total de 5 muestras para cada mezcla asfáltica convencional.

### Envejecimiento de la mezcla asfáltica

El proceso de envejecimiento se lo desarrolló acorde al procedimiento establecido en la norma AASTHO R 30, la cual permite simular el deterioro debido al paso del tiempo. Para las muestras envejecidas bajo un acondicionamiento a corto plazo, las briquetas convencionales elaboradas previamente y ensayadas a tracción indirecta fueron colocadas en un horno a  $135 \pm 3^\circ\text{C}$  durante  $4 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$ . Debido a la temperatura de acondicionamiento las briquetas fueron desintegradas por lo que se procedió nuevamente con la elaboración de briquetas por compactación manual.

Para el acondicionamiento a largo plazo, las muestras envejecidas a corto plazo y ensayadas a tracción indirecta fueron sometidas a un acondicionamiento mayor, se colocó las briquetas en el horno a una temperatura de  $85 \pm 3^\circ\text{C}$  durante  $120 \pm 0,5 \text{ h}$ .

### Ensayo de muestras a tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta para determinar el módulo de rigidez de una biqueta de mezcla asfáltica fue desarrollado mediante el uso de una máquina universal para tracción indirecta, el quipo utilizado pertenece a la Unidad de laboratorios EPMOP. Consta con un pedestal, actuador y sistema para medir la deformación LVDT.

Previo a la elaboración del ensayo las briquetas son acondicionadas en la maquina universal a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Una vez finalizado este tiempo se ensayó cada muestra mediante 5 pulsaciones de carga y dos lecturas por biqueta con un giro de  $90^\circ$ , el equipo proporciona de manera directa el resultado para módulo de rigidez de cada biqueta.

Los resultados obtenidos para módulo de rigidez fueron examinados mediante un análisis de normalidad para verificar si los datos siguen una distribución normal, comprobando mediante los gráficos Q-Q que este punto se cumple se procedió con el análisis ANOVA con la finalidad de determinar si existe una diferencia significativa entre los grupos de muestras. Las diferencias significativas entre los grupos permitieron analizar los resultados mediante la prueba de Tukey con la finalidad de obtener pares semejantes de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de normalidad de datos

Los resultados para módulos de rigidez de las quince muestras fueron separadas por grupos dependiendo del tipo de acondicionamiento presentado, convencional, corto plazo y largo plazo (Caillagua & Sozoranga, 2026). En donde los gráficos Q-Q evidencian una distribución normal como se observa en las Figuras 1, 2 y 3.

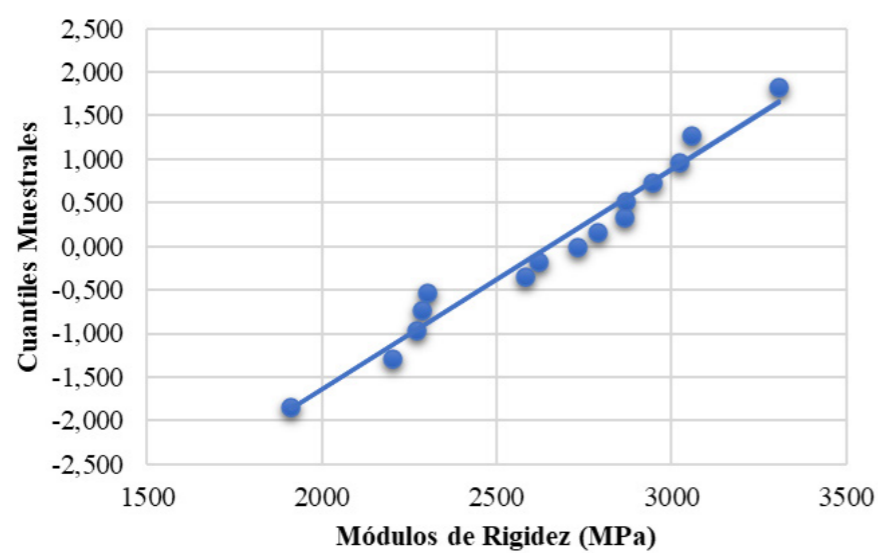


FIGURA 1

Análisis de normalidad para módulo de rigidez de muestras convencionales

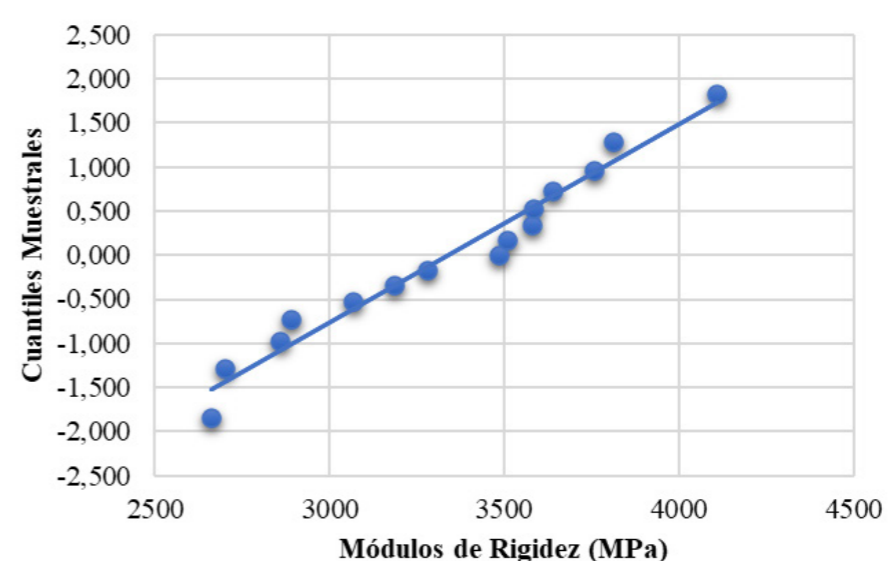


FIGURA 2

Análisis de normalidad para módulo de rigidez de muestras envejecidas a corto plazo

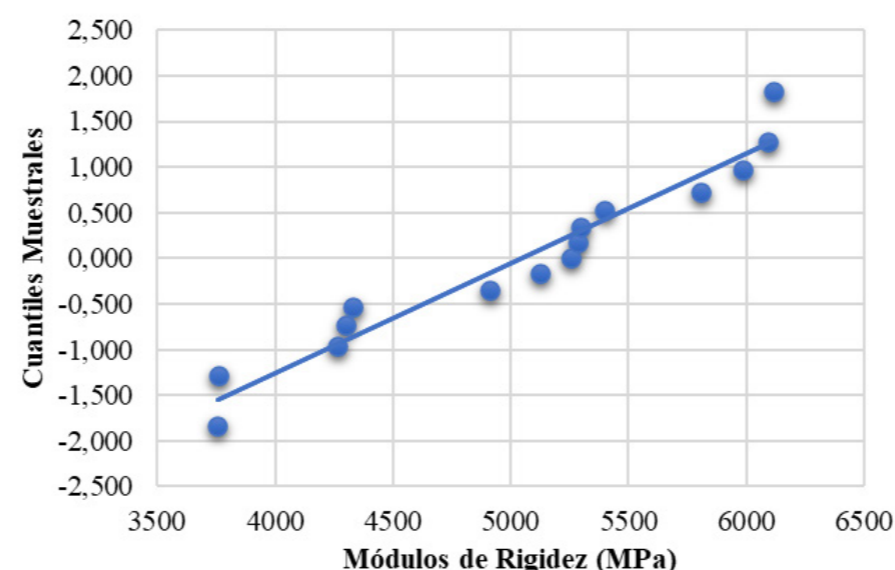


FIGURA 3

Análisis de normalidad para módulo de rigidez de muestras envejecidas a largo plazo

### Análisis ANOVA

El análisis de la varianza ANOVA, presentado para cada acondicionamiento realizado determinó que los resultados para módulo de rigidez de las muestras no pueden ser analizadas de manera conjunta debido a la diferencia que presentan bajo el análisis, estableciendo que al menos un grupo es diferente (Caillagua & Sozoranga, 2026).

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis ANOVA elaborado para cada tipo de acondicionamiento.

**TABLA 2**  
Resultados ANOVA del módulo de rigidez para condición de acondicionamiento

Acondicionamiento	Resultado
Muestras Convencionales	Rechaza la hipótesis nula
Muestras envejecidas a corto plazo	Rechaza la hipótesis nula
Muestras envejecidas a largo plazo	Rechaza la hipótesis nula

### Prueba de Tukey

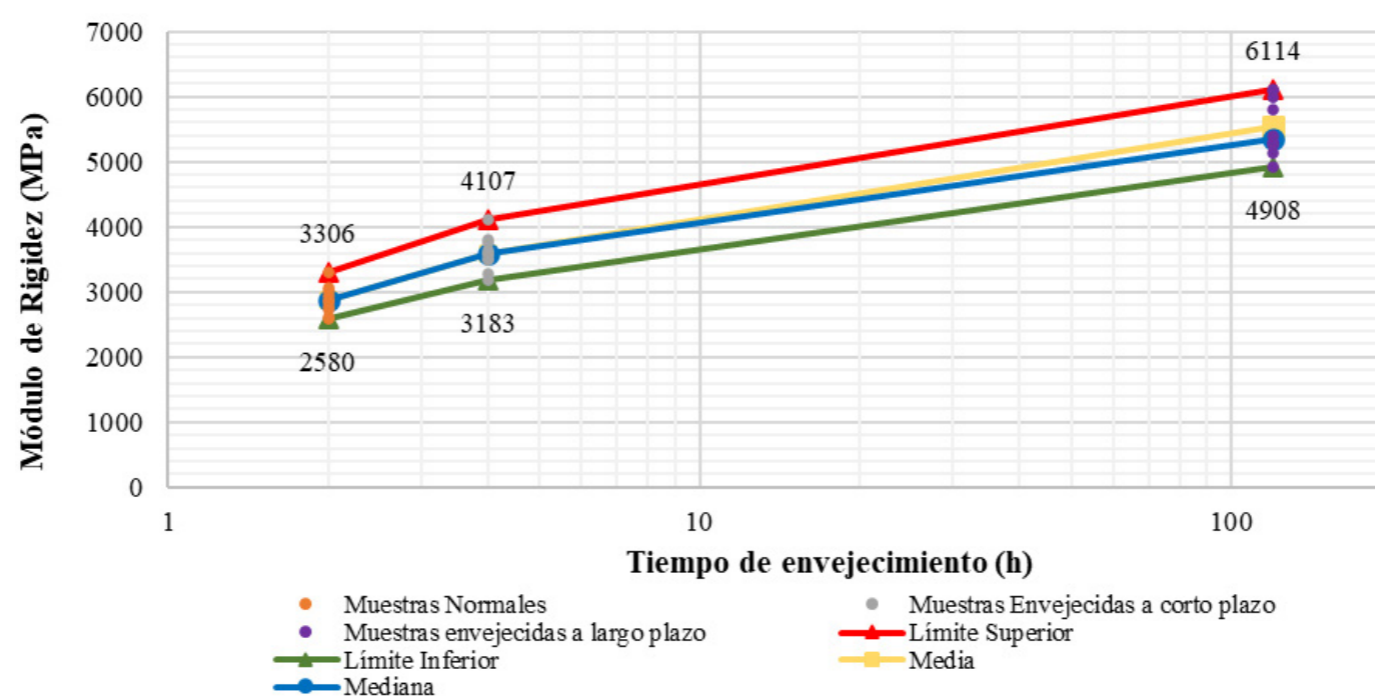
Se elaboró la prueba de Tukey con la finalidad de encontrar grupos que presenten diferencias no significativas entre las medias. Partiendo de las posibles combinaciones entre muestras como se observa en la Tabla 3, se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras de Guayllabamba-Pintag y Pifo-Pintag, mientras que para la combinación Guayllabamba-Pifo no se encontraron diferencias significativas, por lo que se determinó que dado el nivel de significancia obtenido los resultados para módulo de rigidez de las muestras de Guayllabamba y Pifo serán analizados de manera aislada a los resultados obtenidos para las muestras elaboradas con agregados de Pintag (Caillagua & Sozoranga, 2026).

**TABLA 3**  
Prueba de Tukey del módulo de rigidez para condición de acondicionamiento

Diferencia poblacional entre muestras	Decisión
Guayllabamba-Pintag	Significativa
Guayllabamba-Pifo	No significativa
Pintag-Pifo	Significativa

### Rangos para módulo de rigidez

El rango para módulo de rigidez de las muestras convencionales para mezclas elaboradas con agregados de Guayllabamba y Pifo es 2580 a 3306 MPa, como se observa en la Figura 4. De igual manera se presentan los rangos en función de un acondicionamiento a corto y largo plazo, estos valores referenciales permiten conocer las propiedades alcanzadas por la mezcla bajo condiciones de acondicionamiento que simulan el deterioro en la fabricación, transporte, tendido y operación de la carpeta de rodadura.



**FIGURA 4**  
Rango para módulos de rigidez de muestras con agregados de Guayllabamba y Pifo

Como se detalla en la Figura 5, para el análisis individual de las muestras elaboradas con agregados de Pintag, se obtuvo que el rango para módulo de rigidez de mezclas convencionales es de 1910 a 2302 MPa, de igual manera el que en el caso anterior se presentan los límites para módulo de rigidez bajo condiciones adicionales de acondicionamiento.

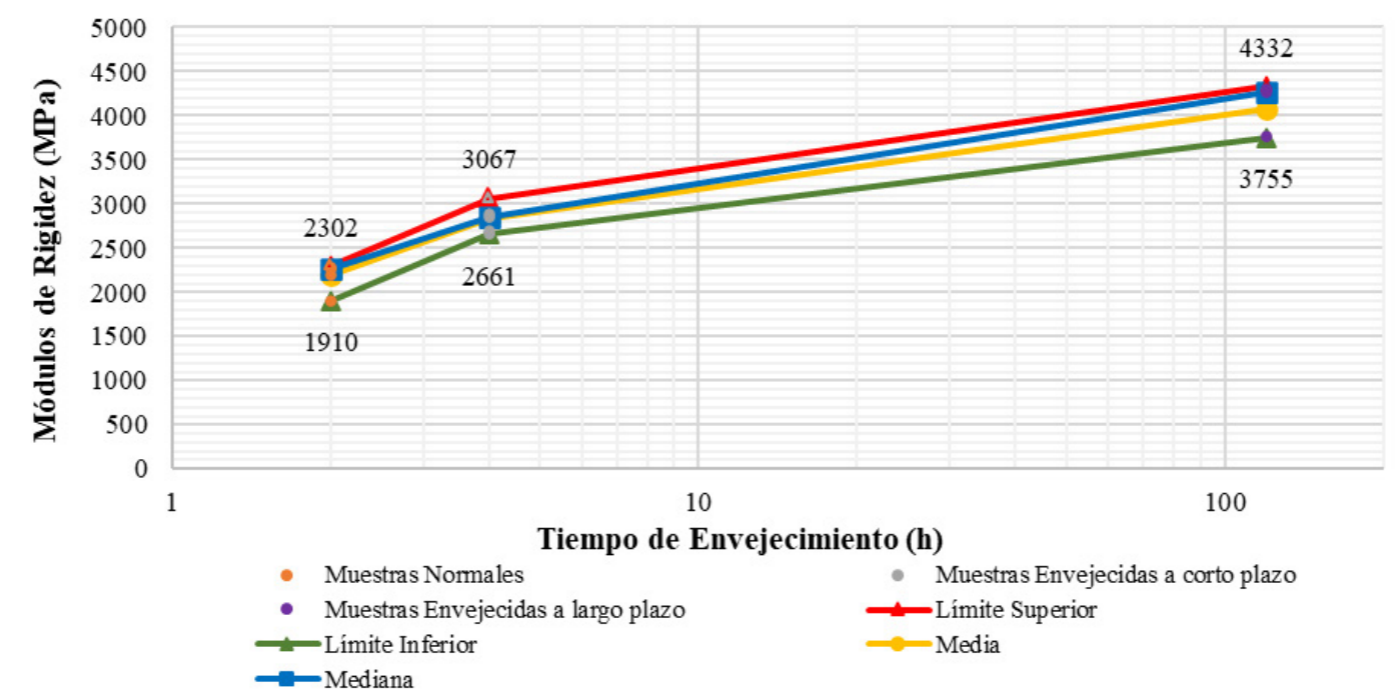


FIGURA 5

Rango para módulos de rigidez de las muestras con agregados de Pintag

## CONCLUSIONES

El análisis estadístico ANOVA reveló la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de muestras evaluadas, indicando una variabilidad entre los resultados en el análisis para cada condición de acondicionamiento. En función de estos resultados al evaluar mediante la aplicación de la prueba de Tukey de manera específica se pudo identificar los pares de grupos que presentan diferencias significativas, determinando así que los conjuntos con medias estadísticamente similares son las muestras de Guayllabamba y Pifo, mientras que Pintag presenta resultados divergentes, manteniéndose este comportamiento para cada condición de acondicionamiento controlado.

El estudio de los tipos de mezcla asfáltica elaboradas con agregados de la zona oriental del cantón Quito permitió comprender la similitud que presentan dichos tipos de mezclas, entre las que se observó la concordancia entre los resultados de las mezclas elaboradas con agregados de Guayllabamba y Pifo, por lo que su análisis en conjunto permitió determinar un rango referencial para los valores de módulo de rigidez.

La muestra elaborada con agregados de la zona de Pintag presenta características discordantes en relación con las otras muestras, por tal motivo se debe realizar un análisis con una mayor cobertura en cuanto a mezclas asfálticas elaboradas con agregados de esta zona, con la finalidad de encontrar consistencia y validez en los resultados obtenidos.

El análisis para módulo de rigidez propone una herramienta de evaluación de la calidad de las mezclas asfálticas, por lo que un estudio que abarque una mayor cobertura permitirá afianzar los resultados y establecer parámetros que puedan ser aplicables a diseños y estudios futuros sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas.

Las limitaciones encontradas para el estudio fueron la disponibilidad de la máquina universal para determinar el módulo de rigidez y el tiempo de elaboración, acondicionamiento y preparación de las muestras, condicionando el alcance del estudio. Bajo tales consideraciones, los resultados deben ser utilizados bajo las condiciones definidas y con la realización de estudios complementarios futuros con una mayor representatividad.

## RECOMENDACIONES

Previo a cualquier ensayo de tracción indirecta para determinar el módulo de rigidez, se debe verificar el correcto funcionamiento del equipo y aplicar las condiciones de acondicionamiento sujetas a la norma con la finalidad de obtener resultados confiables.

Los resultados de este estudio deben aplicarse como valores referenciales dentro de las condiciones especificadas, debido al alcance limitado de la muestra. Estos valores no deben ser considerados como una base definitiva.

Se recomienda la realización de estudios complementarios que abarquen una mayor área de estudio y un mayor número de muestras, con la finalidad de fortalecer la validez de los resultados obtenidos en este estudio.

## Contribución de los autores

Andrés David Caillagua Cerón: conceptualización, investigación, metodología, análisis de fondos, redacción – borrador original.

Juan José Sozoranga Sarango: conceptualización, investigación, metodología, análisis de fondos, redacción – borrador original.

Paul Javier León Torres: Validación, redacción – revisión y edición, supervisión.

Jorge Humberto Maila Paucar: Recursos, Validación, supervisión, redacción – revisión y edición.

Mónica Susana Delgado Yanez: Visualización, redacción – revisión y edición.

## Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores. ([https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es\\_ES](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES))

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- AASHTO (2019) R 30: *Standard practice for mixture conditioning of hot mix asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Disponible en: [https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/aashto-r-30-2002-r2019-1467\\_saig\\_aashto\\_aashto\\_2756308/?srsltid=AfmBOopuvpOt617mJ\\_BvHGOVXv5utHYXeSpWY-g\\_eO0gpJCnmRuzafH](https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/aashto-r-30-2002-r2019-1467_saig_aashto_aashto_2756308/?srsltid=AfmBOopuvpOt617mJ_BvHGOVXv5utHYXeSpWY-g_eO0gpJCnmRuzafH)
- Asphalt Institute (1992) *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente MS-22*. Estados Unidos de América: Asphalt Institute. Disponible en: <https://ceur-rebi.usac.edu.gt/bib/566>
- Caillagua, A., & Sozoranga, J. (2026) *Evaluación de la calidad de mezclas asfálticas en caliente a través del Módulo de Rigidez utilizando agregados provenientes de las canteras de Guayllabamba, Pintag y Pifo*. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/39935>
- Castellanos, W., & Chaves, S. (2020) "Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. Revisión del estado de conocimiento", *Revista vínculos*, 17(1), pp. 7–23. DOI: 10.14483/2322939X.16227
- Dávila, J. (2005) *Análisis comparativo de módulo resiliente y ensayos de deformación permanente en mezclas asfálticas del tipo (MDC2) en briquetas compactadas con martillo Marshall y compactador giratorio*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. DOI: 10.60794/w1kf-g606
- Delgado, H. (2020) *Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito*. México: Instituto Mexicano del Transporte. Disponible en: <https://trid.trb.org/View/1757709>
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. (2005) *Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*. México: Instituto Mexicano del Transporte. Disponible en: <https://trid.trb.org/View/1100429>
- Guerra, R., Gallardo, R., Monroy, M., & Sáez, R. (2025) "Análisis de los Factores que Favorecen el Desarrollo de Top-Down Cracking en Pavimentos Asfálticos Mediante Modelos de Elementos Finitos", *Revista Politécnica*, 55(2), pp. 23–34. DOI: 10.33333/rp.vol55n2.02
- Indiana Department of Transportation (2026) *Certified technician program training manual for hot mix asphalt paving*. United States: Indiana Department of Transportation. Disponible en: <https://www.in.gov/indot/files/2026-Hot-Mix-Asphalt-Paving.pdf>
- Leiva, F. (2004) *Módulo dinámico de mezclas asfálticas*. Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Disponible en: [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/425/MODULO\\_DINAMICO\\_MEZCLAS\\_ASFALTICAS.pdf?sequence=1](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/425/MODULO_DINAMICO_MEZCLAS_ASFALTICAS.pdf?sequence=1)
- León, P., Maila, J., & Albuja, E. (2020) "Influencia de aditivos (polímeros y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente". *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 9(1), pp. 60–71. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/1931>
- Loma, J. (2017) "UNE-EN 12697-26:2012: Rigidez. Anexo C, Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY) ", *Asfalto y pavimentación*, 7(27), pp. 37-39. Disponible en: <https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/27-Ensayos-rev-27.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2002) *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F*. Quito: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Disponible en: [https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- Morea, F. (2021). *Mezclas Asfálticas Dosificación de mezclas densas en caliente*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata. Disponible en: [https://www1.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0106/descargar.php?secc=0&id=C0106&id\\_inc=56320](https://www1.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0106/descargar.php?secc=0&id=C0106&id_inc=56320)
- Osorio, D., & Artunduaga, J. (2025) *Evaluación del comportamiento de mezcla asfáltica MDC-19 modificada con adición polipropileno (tapas plásticas)*. Tesis de grado. Universidad de Ibagué. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12313/5461>
- Padilla, A. (2004) *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2099.1/3334>
- Rodríguez, D., Rodríguez, C., Ramírez, S., & Flórez, C. (2016) "Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina", *Ingeniare*, (20), pp.47-61. DOI: 10.18041/1909-2458/ingeniare.20.408
- UNE (2012) UNE-EN 12697. *Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente - parte 26: RIGIDEZ*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0050271>
- Vargas, X., & Reyes, F. (2010) "El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos", *Ingeniería e investigación*, 30(3), pp. 27-44. DOI: 10.15446/ing.investig.v30n3.18176