

EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR EN UN CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO TIPO PG 76-28 PMB 45/80-65, EN SUS PRINCIPALES PROPIEDADES

Rodríguez Mejía Abel Ernesto^a, Cuellar Ortiz Gerson^b, Salvador Ruiz Lizbeth Fanny^c, Aceituno Chirari Elisa Mailen^d

- a. Docente Investigador en el Área de Vías de Comunicación de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR,573, Sucre Bolivia. E-mail: abelrodriguez@gmail.com
- b. Ingeniero Investigador en el Área de Vías de Comunicación de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR,573, Sucre Bolivia. E-mail: gerson1998Ar@gmail.com
- c. Ingeniero Investigador en el Área de Vías de Comunicación de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR,573, Sucre Bolivia. E-mail: lizbethsalvador0504@gmail.com
- d. Estudiante Egresado en el Área de vías de comunicación de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR,573, Sucre Bolivia. E-mail: elisamailenaceituno@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar los efectos que produce la radiación solar en el cemento asfáltico (Tipo PG 76-28 PMB 45/80-65), mediante la determinación de diferencias en los resultados de los ensayos de penetración, Ductilidad, Viscosidad Brookfield y punto de ablandamiento.

El diseño de la investigación es experimental, logrando controlar y medir las variables que intervinieron en el estudio, como ser, tipo de asfalto, tiempo de exposición de las muestras en condiciones ambientales de la región, midiendo la radiación solar en el lugar donde expone directamente la muestra.

En los resultados se puede apreciar que la radiación por rayos del sol UV sí influye de manera notable en el envejecimiento del ligante asfáltico analizado. Esta influencia es más notoria durante los primeros meses de prueba, etapa en la que mezcla inicia el proceso de endurecimiento por envejecimiento, así mismo, se puede ver que la proyección a 10 meses de prueba, el ligante falla tanto en penetración como en ductilidad.

Palabras clave: Envejecimiento de asfalto, radiación solar y oxidación.

ABSTRACT

The objective of this research study was to determine the effects of solar radiation on asphalt cement (Type PG 76-28 PMB 45/80-65) by identifying differences in the results of penetration, ductility, Brookfield viscosity, and softening point tests.

The research design is experimental, allowing control and measurement of the variables involved in the study, such as the type of asphalt, the exposure time of the samples under the region's environmental conditions, and measuring solar radiation at the location where the samples were directly exposed.

The results show that UV solar radiation significantly influences the aging of the analyzed asphalt binder. This influence is more pronounced during the first months of testing, a stage in which the mixture begins the hardening process due to aging. Furthermore, projections at 10 months of testing indicate that the binder fails both in penetration and ductility.

Key words: Aging asphalt, solar radiation and oxidation

INTRODUCCIÓN

El asfalto es una mezcla compleja de hidrocarburos que, al modificarse con polímeros, mejora su desempeño estructural y térmico. Sin embargo, factores ambientales como la radiación solar provocan su envejecimiento, afectando sus propiedades reológicas. Este proceso, influido principalmente por la oxidación y la radiación UV, genera un aumento de la rigidez y pérdida de ductilidad del material. El estudio analiza dichos efectos en un cemento asfáltico modificado tipo PG 76-28 PMB 45/80-65, considerando las variaciones en sus propiedades físicas ante diferentes tiempos de exposición solar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material empleado

El material de estudio corresponde a un cemento asfáltico modificado con polímero tipo PMB 45/80-65, clasificado según la especificación PG 76-28. Este ligante fue seleccionado por su amplio uso en pavimentos sometidos a altas temperaturas y tráfico intenso. Su fabricación se realizó bajo el sistema de gestión de calidad certificado por DQS Holding GmbH, conforme a la norma ISO 9001:2015 (Certificado N.º 31 100363 QM15).

El asfalto modificado con polímero se caracteriza por mejorar la adherencia, cohesión y elasticidad del ligante, reduciendo su susceptibilidad térmica y aumentando su capacidad viscoelástica frente a la variación de temperatura y carga.

Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental controlado, permitiendo medir el efecto de la radiación solar sobre las propiedades físicas del asfalto. Se analizaron cuatro parámetros fundamentales:

Penetración (ASTM D5 / AASHTO T49-97)

Ductilidad (ASTM D113 / AASHTO T51-00)

Viscosidad Brookfield (ASTM D1439-03)

Punto de ablandamiento (ASTM D36)

El objetivo fue determinar la variación de cada propiedad con respecto al **tiempo de exposición solar** (30, 60 y 90 días), comparándolas con los valores iniciales del ligante sin envejecer.

Procedimiento experimental

Preparación de muestras. Se utilizaron recipientes de aluminio circulares (“en forma de pez”) para maximizar el área expuesta a la radiación ultravioleta (UV). Las muestras fueron calentadas a 100 °C hasta alcanzar una adecuada fluidez y posteriormente vertidas en los recipientes, manteniendo un espesor uniforme de 0,8–1,0 cm.

Condiciones de exposición. Las muestras fueron colocadas al aire libre bajo condiciones ambientales naturales en la ciudad de Sucre, Bolivia, durante un período de tres meses (95 días). La radiación solar y la temperatura ambiente fueron registradas continuamente mediante una estación meteorológica automática, ubicada junto a las muestras.

Medición de radiación solar Se cuantificó la irradiancia diaria (W/m^2) y el índice UV a lo largo del día, obteniendo un promedio de $600,51 W/m^2$. Estas mediciones permitieron correlacionar los cambios físicos del asfalto con la intensidad de la radiación incidente.

Ensayos de laboratorio

- **Penetración:** determinó la consistencia o dureza del ligante mediante la profundidad de una aguja normalizada (100 g, 25 °C, 5 s).
- **Ductilidad:** evaluó la deformación del asfalto antes de la rotura, elongando probetas a 25 °C con una velocidad de 5 cm/min.
- **Viscosidad Brookfield:** midió la resistencia al flujo mediante un viscosímetro rotacional a **135 °C**, temperatura típica de mezclado.
- **Punto de ablandamiento:** identificó la temperatura a la cual el ligante se ablanda lo suficiente para que una bola de acero descienda 25 mm.

Las muestras fueron preparadas en laboratorio; la Figura 1 muestra el estado del asfalto antes del envejecimiento. Luego de ser expuestas al sol, el material presentó un endurecimiento visible, como se observa en la Figura 2. Los resultados se analizaron comparando el comportamiento inicial y envejecido del ligante.

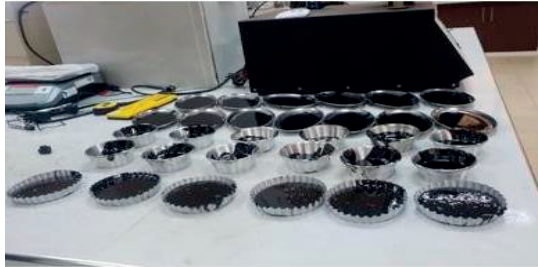


Fig. 1 Muestras de Asfalto inicial



Fig. 2 Muestra de Asfalto Envejecido

PROCESO Y ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos se realizó con base en los resultados obtenidos de los ensayos de penetración, ductilidad, viscosidad Brookfield y punto de ablandamiento, aplicados al cemento asfáltico modificado tipo PG 76-28 PMB 45/80-65, tras diferentes periodos de exposición a radiación solar en condiciones ambientales reales de la ciudad de Sucre.

La intensidad de la radiación solar fue registrada diariamente mediante una estación meteorológica instalada en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil. La relación entre el tiempo y la energía solar se representa en la Figura 3, donde se muestra una curva polinómica que evidencia la variabilidad de la radiación solar a lo largo del día.

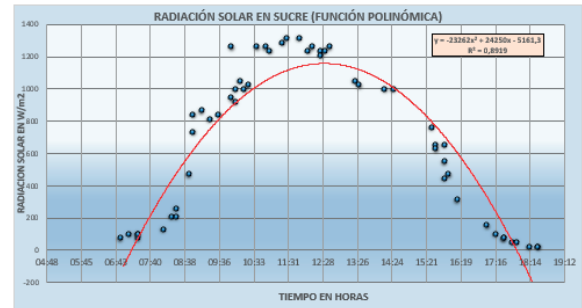


Figura 3. Distribución de energía solar

Las muestras de cemento asfáltico fueron preparadas con espesores entre 0,8 y 1 cm, colocadas en recipientes, y expuestas por 1, 2 y 3 meses. Posteriormente, se realizaron ensayos bajo normas ASTM y AASHTO, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1 como resumen general.

TIPO DE ASFALTO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	FECHA DE ENSAYO	ENSAYO DE PENETRACIÓN	ENSAYO DE DUCTILIDAD	ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO
PG 76-28 PMB 45/80-65	0 mes	9/10/2022	64	90	72.6
PG 76-28 PMB 45/80-65	1 mes	9/11/2022	58.22	64.67	72.83
PG 76-28 PMB 45/80-67	2 meses	9/12/2022	52.58	47.5	73.28
PG 76-28 PMB 45/80-68	3 meses	9/01/2023	41.33	24.18	73.7
PG 76-28 PMB 45/80-69	4 meses	9/02/2023	42.9888	24.388	73.6638
PG 76-28 PMB 45/80-70	5 meses	9/03/2023	35.6249	2.925	74.038
PG 76-28 PMB 45/80-71	6 meses	9/04/2023	28.261	-	74.4122
PG 76-28 PMB 45/80-72	7 meses	9/05/2023	20.8971	-	74.7864
PG 76-28 PMB 45/80-73	8 meses	9/06/2023	13.5332	-	75.1606
PG 76-28 PMB 45/80-74	9 meses	9/07/2023	6.1693	-	75.5348
PG 76-28 PMB 45/80-75	10 meses	9 de agosto del 2023	-	-	75.909

Tabla 1. Resumen de resultado de ensayos y ensayos proyectados

Los cambios en las propiedades del asfalto se analizaron a partir de comparaciones entre los valores iniciales y los envejecidos. La Figura 4 muestra el comportamiento decreciente de la penetración, indicando una mayor rigidez del ligante con el tiempo. Del mismo modo, la Figura 5 evidencia una pérdida progresiva de ductilidad, lo que confirma el deterioro de la elasticidad del material.

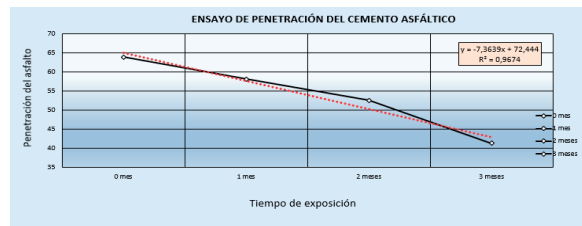


Figura 4. Ensayo de penetración del cemento asfáltico

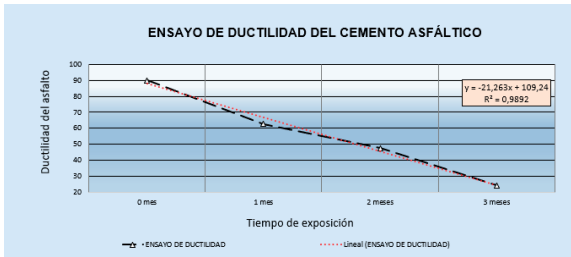


Figura 5. Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico

En cuanto al punto de ablandamiento, representado en la Figura 6, se observa una leve tendencia creciente a lo largo de los meses, lo cual indica una ligera variación térmica del ligante, menos significativa en comparación con las demás propiedades evaluadas.

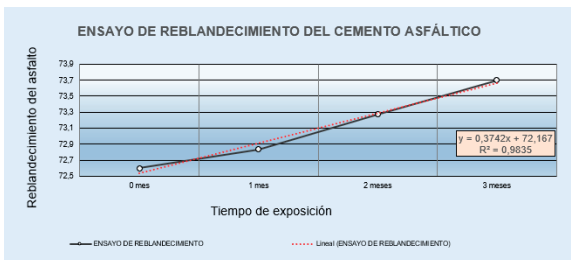


Figura 6. Ensayo de Reblandecimiento del cemento asfáltico

Finalmente, los datos fueron procesados en hojas de cálculo para generar proyecciones que permiten identificar el comportamiento del material a largo plazo. Se concluyó que el cemento asfáltico pierde sus propiedades viscoelásticas con rapidez durante los primeros meses de exposición solar, lo que compromete su desempeño en pavimentos flexibles.

CONCLUSIONES

Se utilizó un método de diseño experimental para lograr analizar el efecto de la radiación solar en un cemento asfáltico modificado tipo PG 76-28 PMB 45/80-65, en sus principales propiedades.

De acuerdo a los valores obtenidos de los ensayos, se tiene seguridad que todas las muestras de cemento asfáltico, sin importar el espesor de la película experimentaron cambios

en sus propiedades reológicas evidenciando endurecimiento por envejecimiento.

Como se puede apreciar en el presente estudio con los resultados vistos en laboratorio, la radiación por rayos del sol UV, sí influye de manera notable en el envejecimiento del ligante tipo PG 76-28 PMB 45/80-65. Esta influencia es más notoria durante los primeros meses de prueba, etapa en la que la mezcla inicia el proceso de endurecimiento por envejecimiento, afectando directamente a la ductilidad del cemento asfáltico por rigidización del material, así mismo podemos ver que la proyección a 10 meses de prueba el ligante falla tanto de penetración como en ductilidad, siendo el motivo principal que el ensayo del ligante asfáltico por viscosidad aparente no logre ser interpretado por el equipo, dando valores no relacionados a los límites establecidos, demostrando que el cemento asfáltico ha perdido sus propiedades visco-elásticas.

En pavimentos flexibles a medida que pasa el tiempo los primeros milímetros de la carpeta de rodadura tienden a endurecerse más rápido que el resto del espesor de la capa, formando una capa que luego de cierto tiempo termina aislando el efecto fotoquímico del resto del espesor de la capa de rodadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüelles, I. G. M. (2005). *EFEECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL ENVEJECIMIENTO DE LI GANTES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS*.
- Guerrero, W. M. C., & Pabón, S. B. C. (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), Art. 1. <https://doi.org/10.14483/2322939X.16227>
- Mogollón, J. M. R. (2021). *MONOGRAFÍA ENVEJECIMIENTO DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS: REVISIÓN TEÓRICA*.