



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

SELECCIÓN DE ASFALTO POR GRADO DE DESEMPEÑO (PG) POR MEDIO DE GEORREFERENCIAMIENTO UTILIZANDO UNA HERRAMIENTA DIGITAL PARA LA REPÚBLICA MEXICANA.

Berenice Jiménez Vázquez¹, Jorge Alarcón Ibarra²,
Nelio Pastor Gómez³

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 0102628a@umich.mx

² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, jorge.alarcon@umich.mx

³ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, npastor@umich.mx

Resumen

Las carreteras facilitan el movimiento de personas y mercancías, unen poblaciones, dan acceso a bienes y servicios e integran a comunidades en zonas aisladas y marginadas.

Más del 90% de las carreteras en México están constituidos por pavimentos flexibles, cuya superficie de rodadura está hecha con mezclas asfálticas. La selección del cemento asfáltico adecuado es esencial para el buen desempeño de la carretera, ya que puede prevenir la presencia de deformaciones y agrietamientos, extendiendo así su vida útil.

En el presente trabajo se describe la metodología para desarrollar un mapa digital con el programa Q-Gis, para zonificar todo el territorio mexicano y delimitar la influencia de las temperaturas de las estaciones climatológicas que operan en el país para la selección del PG del asfalto.

Dicho mapa estará georreferenciado y permitirá ingresar las coordenadas de la ubicación de cualquier punto o tramo carretero, obteniendo el grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico y la asignación de letra (S, H, V o E), que toma en cuenta una exigencia de calidad en el asfalto mediante la prueba MSCR; de igual manera, dará a conocer la emulsión por grado de desempeño (EPG) para la zona de interés.

Para desarrollar el mapa digital, se obtuvieron los Grados PG de 2,756 estaciones climatológicas que se encuentran operando a lo largo y ancho del país, todas ellas tienen un PG bajo de -16. Los PG altos están distribuidos de la siguiente manera: el PG 64-16 en el 32.95 % de las estaciones, el PG 70-16 en el 56.49%, y el PG 76-16 en el 10.56 % de las estaciones climatológicas. También se estableció un criterio para el llenado de datos incompletos en algunas estaciones para poder definir si conservan o no su grado PG.

Palabras Clave: Asfalto, Grado PG, Georreferenciamiento, SIG, Q-GIS.

1 Introducción

México adoptó, hace casi 20 años, la clasificación del asfalto por su grado de desempeño (PG), del método Superpave (Transporte, 2005), desarrollado en Estados Unidos por el programa de investigación de carreteras estratégicas (SHRP), el cual define el grado de desempeño como aquel rango de temperaturas en donde el asfalto se comporta de manera adecuada bajo las condiciones de clima del lugar donde será colocado.

Calcular el grado PG se vuelve un procedimiento largo y repetitivo, para determinarlo de manera más eficaz, en la República Mexicana se han puesto a disposición mapas y herramientas digitales, como lo son: el mapa de selección de asfalto por grado PG presente en la norma 2005 (Transporte,



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

2005) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), SICliC (Instituto Mexicano del Transporte, 2021) que ofrece el IMT (Instituto Mexicano del Transporte) en su página web, selección del asfalto por grado PG para el estado de Michoacán, selección de cemento asfáltico 2020 (SCT Infraestructura Dirección General de Servicios Técnicos, 2022) por grado PG para la red federal libre y de cuota del país.

En éste proyecto se busca mejorar las características que las herramientas antes mencionadas poseen, creando un mapa digital con ayuda de los sistemas de información geográficas, como lo es el software Q-Gis, creando un mapa de temperatura de acuerdo al grado PG que se determine a las estaciones climatológicas distribuidas en nuestro país.

El desarrollo de ésta investigación está contribuyendo a la sostenibilidad en la industria del asfalto en distintos rubros: optimización de materiales, al utilizar el asfalto más adecuado, evita el uso excesivo de materiales de alta especificación en lugares donde no son necesarios, reduciendo así los recursos y costo que esto tendría; durabilidad y mantenimiento, el colocar el asfalto adecuado de acuerdo a la zona aumenta la durabilidad y reduce los trabajos de mantenimiento frecuentes, lo que implica menos emisiones de efecto invernadero y menos consumo de energía, contribuyendo a una mayor eficiencia energética en la infraestructura vial; la mejora de la infraestructura, al seleccionar el asfalto adecuado la capa de rodadura de las vías se mantiene en condiciones adecuadas permitiendo una eficiente movilidad por un periodo prolongado, reflejándose en bajos costos de operación y mantenimiento, así como en la seguridad de los usuarios.

2 Desarrollo

Los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias de las estaciones climatológicas fueron otorgados por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), con actualización de datos al año 2021.

2.1 Procesamiento de los datos

Se analizaron los datos de las estaciones climatológicas proporcionadas y se establecieron criterios para seleccionar las estaciones más adecuadas para trabajar. Los criterios establecidos fueron los siguientes: Quedan totalmente incluidas las estaciones que estén en status operando, el último año con datos será hasta el 2011, será aceptado un periodo mínimo de datos de 5 años (es decir, se aceptará desde 2017 a 2021, las estaciones con un período menor no se tomaron en cuenta), el periodo de análisis máximo es desde 1990 a 2021.

Se tomaron datos desde 1990 al 2021, cumpliendo con un rango mayor de 20 años de datos para obtener el grado PG de las estaciones mediante las ecuaciones presentes en la Norma de la SICT de 2018 (Transportes., 2018).

2.2 Obtención del grado de desempeño de las estaciones climatológicas

El grado de desempeño (PG) de las estaciones se obtuvo con ayuda de programación con Visual Basic.

La temperatura mínima obtenida con la fórmula de la Norma SICT 2018, que se presenta a continuación (1), se aplicó a todas las estaciones en estudio, ninguna rebasó los -16°C , por lo que todas tienen PG bajo de -16.

$$T_{min_i} = -1.56 + 0.72 * T_{air_M} - 0.004Lat_i^2 + 6.26 * \log(H + 25) - z(4.4 + 0.52\sigma_{Tair_M}^2)^{0.5} \quad (1)$$



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

Donde $T_{mín}$ es la temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie ($^{\circ}\text{C}$), T_{airM} es el promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos 20 años en la zona ($^{\circ}\text{C}$), Lat es la latitud del tramo de diseño ($^{\circ}$), H es la profundidad (20 mm), z es el valor para el nivel de confiabilidad de 98% (distribución normal, se recomienda que sea igual a 2.055), $\sigma_{T_{airM}}^2$ es la desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos los últimos 20 años en la zona ($^{\circ}\text{C}$).

Respecto a la temperatura máxima, fue calculada con la fórmula de la Norma SICT 2018 (2) mostrada a continuación:

$$T_{max_i} = 54.32 + 0.78 * T_{airM} - 0.0025Lat_i^2 - 15.14 * \log(H + 25) + z(9 + 0.61\sigma_{T_{airM}}^2) \quad (2)$$

donde $T_{máx}$ es la temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento ($^{\circ}\text{C}$). T_{airM} es la temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años de la zona ($^{\circ}\text{C}$). Lat es la latitud del sitio donde se ubica el tramo por construir ($^{\circ}$, con 5 decimales de aproximación), H es la profundidad (20 mm), z es el valor para el nivel de confiabilidad de 98% (distribución normal, se recomienda que sea igual a 2.055) y $\sigma_{T_{airM}}^2$ es la desviación estándar de las temperaturas de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos los últimos 20 años en la zona ($^{\circ}\text{C}$).

En el grado alto se obtuvieron PG 64, PG 70 y PG 76, mostrándose en la Tabla 1, la distribución de esos grados PG presentes en las estaciones climatológicas.

Tabla 1. Número de estaciones y su grado de desempeño

| Grado PG | N° de estaciones | % |
|----------|------------------|-------|
| PG 64-16 | 908 | 32.95 |
| PG 70-16 | 1557 | 56.49 |
| PG 76-16 | 291 | 10.56 |

Se evaluaron un total de 2,756 estaciones distribuidas en los 3 grados de desempeño. En la Figura 1 se muestra el porcentaje que cada PG influye en el total de las estaciones climatológicas que están distribuidas dentro del territorio Mexicano.

Cabe mencionar que se obtuvieron 3 estaciones climatológicas con grado PG 82, de las cuales, 2 están ubicadas en el estado de Jalisco y 1 en Tabasco; debido a la poca congruencia de los datos con los de zonas aledañas, se tomó la determinación de descartarlas.

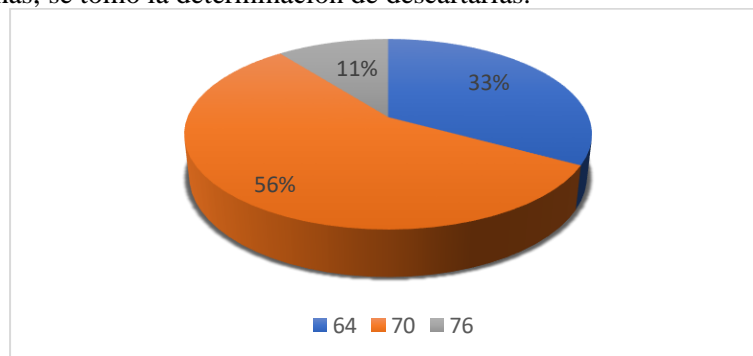


Figura 1. Porcentaje de estaciones respecto a su grado de desempeño PG



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

2.3 Visualización en Q-GIS

Haciendo uso del programa Q-GIS, se ubicaron cada una de las estaciones de acuerdo a su PG calculado. Se puede observar en la Figura 2 el mapa de las estaciones con PG 64-16, en la Figura 3 las que tienen PG 70-16 y en la Figura 4 las estaciones con PG 76-16:



Figura 2. Estaciones con PG 64-16

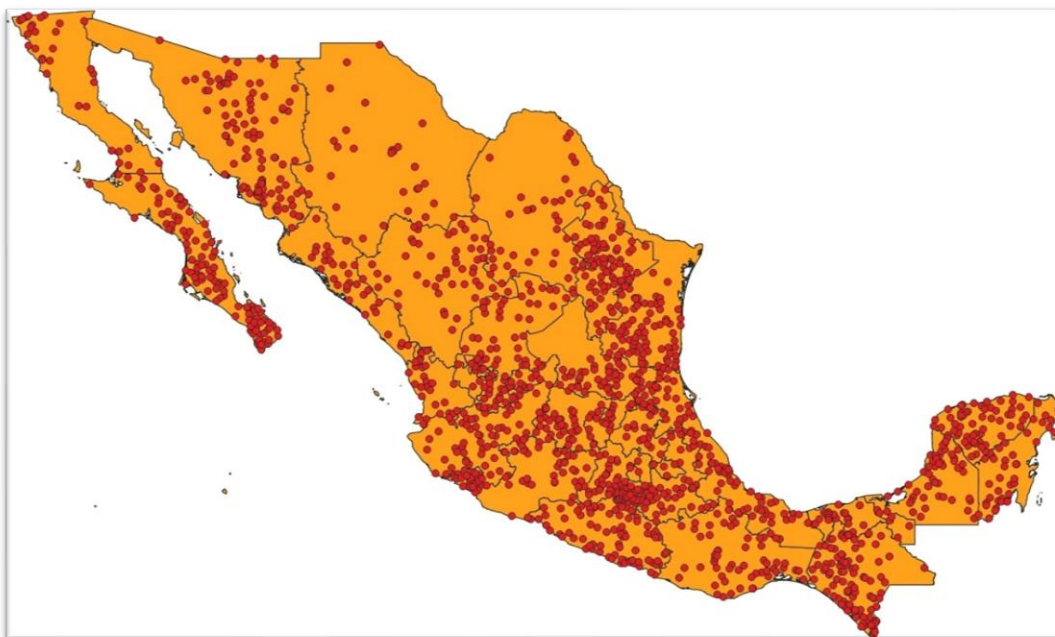


Figura 3. Estaciones con PG 70-16



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.



Figura 4. Estaciones con PG 76-16

2.4 Determinación de llenado de estaciones climatológicas

Al analizar las diferentes estaciones, se observó que varias de ellas obtuvieron valores muy cercanos a su PG correspondiente. Por lo tanto, fue necesario analizar estas estaciones con mayor profundidad.

Dicho análisis consistió en contabilizar el número de datos faltantes únicamente de las estaciones que estaban a menos de 2°C de su correspondiente PG. Se estableció considerar sólo 2°C de acercamiento al PG basado a un estudio publicado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), donde observó que julio de 2023 fue 1.1°C más cálido que julio de 1951 a 1980 (O'Shea, 2023). Por esta razón, se decidió considerar un margen adicional de 1°C para observar el acercamiento de las estaciones a su PG inmediato superior. Un ejemplo de esto se muestra en la Tabla 2, en donde se observa que en el estado de Querétaro hay 23 estaciones con ésta característica:

Tabla 2. Grado de desempeño para Querétaro

| ID estación | Estado | Temp _{máxPav} | PG (+) | Status |
|-------------|-----------|------------------------|--------|----------------|
| 22001 | Querétaro | 62.2617114 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22002 | Querétaro | 75.8604508 | 76 | ¿llenar datos? |
| 22003 | Querétaro | 64.3693666 | 70 | conservar PG |
| 22004 | Querétaro | 63.566254 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22005 | Querétaro | 60.2236206 | 64 | conservar PG |
| 22006 | Querétaro | 63.4726132 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22007 | Querétaro | 70.153589 | 76 | conservar PG |
| 22013 | Querétaro | 62.3490156 | 64 | ¿llenar datos? |



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

| | | | | |
|-------|-----------|------------|----|----------------|
| 22016 | Querétaro | 55.8839448 | 58 | conservar PG |
| 22017 | Querétaro | 64.9933032 | 70 | conservar PG |
| 22019 | Querétaro | 68.8178605 | 70 | ¿llenar datos? |
| 22021 | Querétaro | 64.370574 | 70 | conservar PG |
| 22022 | Querétaro | 62.9740419 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22024 | Querétaro | 64.0193916 | 70 | conservar PG |
| 22025 | Querétaro | 63.9049793 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22026 | Querétaro | 64.6220309 | 70 | conservar PG |
| 22027 | Querétaro | 68.624169 | 70 | ¿llenar datos? |
| 22028 | Querétaro | 63.6693618 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22029 | Querétaro | 62.2308305 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22031 | Querétaro | 64.2959582 | 70 | conservar PG |
| 22033 | Querétaro | 59.7961791 | 64 | conservar PG |
| 22034 | Querétaro | 69.6175652 | 70 | ¿llenar datos? |
| 22035 | Querétaro | 63.5085347 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22036 | Querétaro | 68.8702314 | 70 | ¿llenar datos? |
| 22041 | Querétaro | 63.7750927 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22042 | Querétaro | 61.5021284 | 64 | conservar PG |
| 22045 | Querétaro | 62.1599927 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22046 | Querétaro | 63.7122279 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22047 | Querétaro | 59.0160967 | 64 | conservar PG |
| 22049 | Querétaro | 64.9522941 | 70 | conservar PG |
| 22050 | Querétaro | 64.0003406 | 70 | conservar PG |
| 22051 | Querétaro | 66.5897749 | 70 | conservar PG |
| 22054 | Querétaro | 62.938468 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22056 | Querétaro | 66.8846894 | 70 | conservar PG |
| 22057 | Querétaro | 66.8312857 | 70 | conservar PG |
| 22058 | Querétaro | 62.2106853 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22062 | Querétaro | 68.2932335 | 70 | ¿llenar datos? |
| 22063 | Querétaro | 62.3198063 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22064 | Querétaro | 61.8938487 | 64 | conservar PG |
| 22067 | Querétaro | 61.7754134 | 64 | conservar PG |
| 22068 | Querétaro | 63.1210539 | 64 | ¿llenar datos? |
| 22070 | Querétaro | 62.2240395 | 64 | ¿llenar datos? |

En el resto de los estados también hay estaciones climatológicas próximas a su PG. En la Tabla 3 se puede observar la cantidad de estaciones por estado:

Tabla 3. Número de estaciones cercanas a su grado PG por estado

| Estado | N° de estaciones cercanas al PG | Estado | N° de estaciones cercanas al PG |
|----------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| Aguascalientes | 38 | Morelos | 13 |



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

| | | | |
|---------------------|----|-----------------|----|
| Baja California | 16 | Nayarit | 9 |
| Baja California Sur | 36 | Nuevo León | 47 |
| Campeche | 15 | Oaxaca | 33 |
| Chiapas | 35 | Puebla | 29 |
| Chihuahua | 15 | Querétaro | 23 |
| Coahuila | 21 | Quintana Roo | 7 |
| Colima | 9 | San Luis Potosí | 36 |
| Ciudad de México | 2 | Sinaloa | 7 |
| Durango | 29 | Sonora | 66 |
| Guanajuato | 65 | Tabasco | 14 |
| Guerrero | 46 | Tamaulipas | 50 |
| Hidalgo | 21 | Tlaxcala | 13 |
| Jalisco | 54 | Veracruz | 32 |
| Edo. De México | 29 | Yucatán | 42 |
| Michoacán | 44 | Zacatecas | 52 |

En total son 948 estaciones que están a 2°C o menos de su PG. De éstas, se determinó tolerar un máximo del 10% de datos faltantes para conservar el PG obtenido. Basándonos en el diagrama mostrado en la Figura 5 se definió cuales estaciones requerirían completar sus datos faltantes, con el fin de corroborar si al completar datos faltantes su grado PG cambia o no.

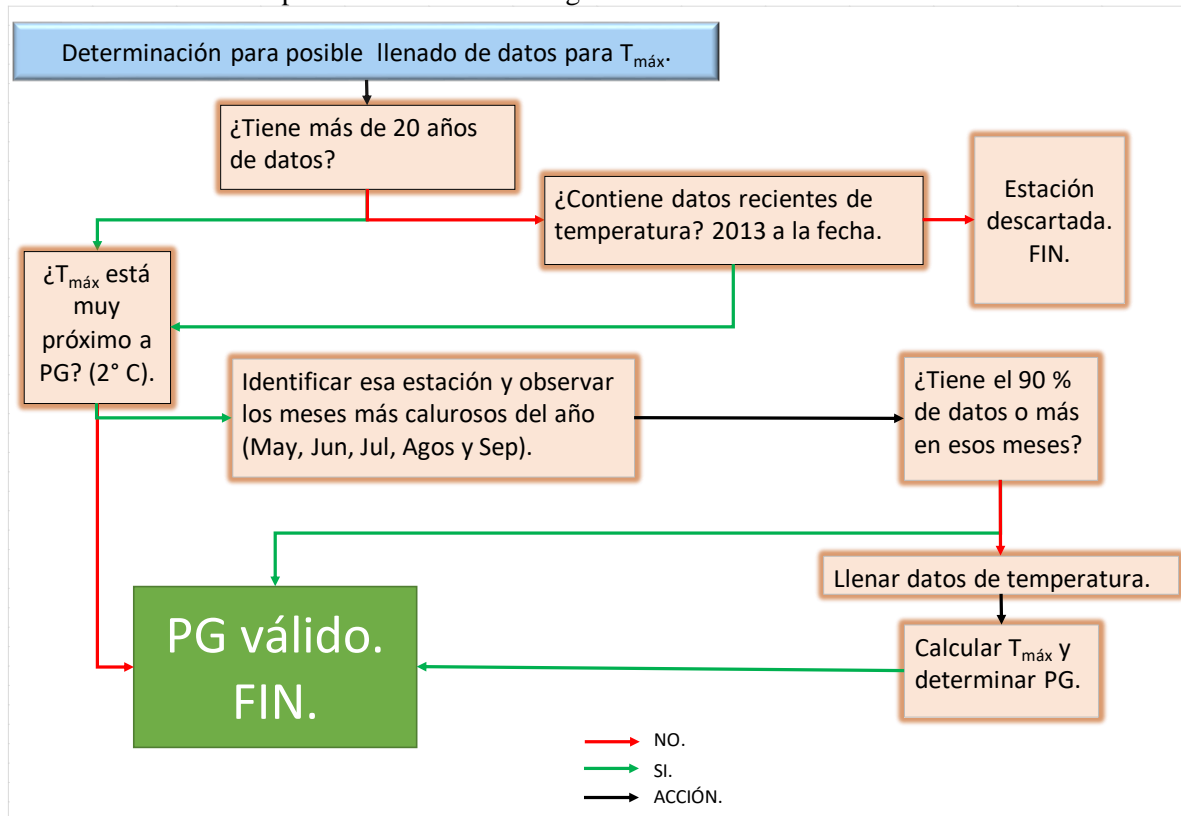


Figura 5. Diagrama para determinar llenado de datos o no.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

Lo anterior se estableció con base en lo publicado por la NASA (NASA, 2023), que define a junio, julio y agosto como los meses más calurosos del año. Por lo tanto, se decidió considerar un mes antes y un mes después de este periodo, quedando definido para este proyecto estudiar de mayo a septiembre las estaciones que son foco de atención.

De las 948 estaciones climatológicas que están próximas a su grado PG (menos de 2°C), 14 estaciones tenían más del 10% de datos faltantes en todo su historial. De éstas, se contabilizaron los datos faltantes únicamente de mayo a septiembre, y 9 estaciones resultaron con más del 10% de datos de temperatura máxima diaria faltante en esos meses. Estas estaciones se presentan en la Tabla 4 y serán las definitivas para llevar a cabo el procesamiento de llenado de datos.

Tabla 4. Estaciones en las que se completarán datos de mayo a septiembre

| Estado | ID |
|-----------------|-------|
| Baja California | 2016 |
| Chihuahua | 8106 |
| Chihuahua | 8172 |
| Chihuahua | 8266 |
| Chihuahua | 8341 |
| Guerrero | 12094 |
| Hidalgo | 13092 |
| Sonora | 26072 |
| Zacatecas | 32181 |

2.5 Llenado de datos de temperatura máxima diaria

Para el llenado de datos de las 9 estaciones se desarrolló un algoritmo en Google Colab utilizando Python. Este llenado tiene la finalidad de corroborar si cambiará o no su grado PG, como se mencionó en el capítulo anterior.

El llenado de datos sólo se llevó a cabo para los meses de mayo a septiembre de 1990 a 2021, tomando en cuenta que es en esos meses donde se presentarán las más altas temperaturas, por lo tanto, ahí será donde encontraremos los 7 días más calurosos de cada estación. En el resto de los meses sí percibimos calor, pero no llega a la magnitud en la que se presenta en los meses de interés (NASA, 2023).

En Google Colab se desarrolló un algoritmo que permite comparar varios métodos de llenado de datos vacíos de temperatura máxima diaria. Se seleccionó el mejor método para cada una de las 9 estaciones basándonos en la diferencia de los errores cuadráticos medios (ECM). Los métodos evaluados incluyen: valor anterior, valor siguiente, media, mediana, moda, interpolación, regresión lineal y el método IDW (Inverso de la Distancia Ponderada).

Con cada método se llenaron los espacios vacíos de temperatura y cada uno obtuvo su valor de error cuadrático medio, en la Tabla 5 se puede observar el resumen de las 9 estaciones en estudio y el método más adecuado para llenar datos vacíos para cada estación, de acuerdo al algoritmo desarrollado en Python.

Tabla 5. Estaciones con el método adecuado para llenado de datos vacíos, realizado en Python

| ID estación | Método adecuado | ECM |
|-------------|-----------------|-------|
| 2016 | Media | 0.40 |
| 8106 | Mediana | 31.16 |
| 8172 | Mediana | 2.34 |
| 8266 | Media | 1.79 |



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

| | | |
|-------|---------|------|
| 8341 | Media | 0.87 |
| 12094 | Media | 0.23 |
| 13092 | Mediana | 2.78 |
| 26072 | Mediana | 0.45 |
| 32181 | Mediana | 0.29 |

Se complementó este análisis con gráficas que muestran la comparativa de los distintos métodos utilizados, como se puede observar en la Figura 6 que está a continuación:

Resultados de MSE entre los métodos:
MSE entre Media y Mediana: 0.06332336903818296
MSE entre Media y Moda: 0.9645290279321724
MSE entre Media y Interpolación: 0.9231033251760918
MSE entre Media y Regresión Lineal: 1.5165503513404757
MSE entre Mediana y Moda: 1.0100653650254665
MSE entre Mediana y Interpolación: 1.0150349368043765
MSE entre Mediana y Regresión Lineal: 1.511693316713554
MSE entre Moda y Interpolación: 1.8501733069232218
MSE entre Moda y Regresión Lineal: 1.884224473382519
MSE entre Interpolación y Regresión Lineal: 1.2177835656900524

El mejor método basado en el MSE promedio es: Media con un MSE promedio de 0.87

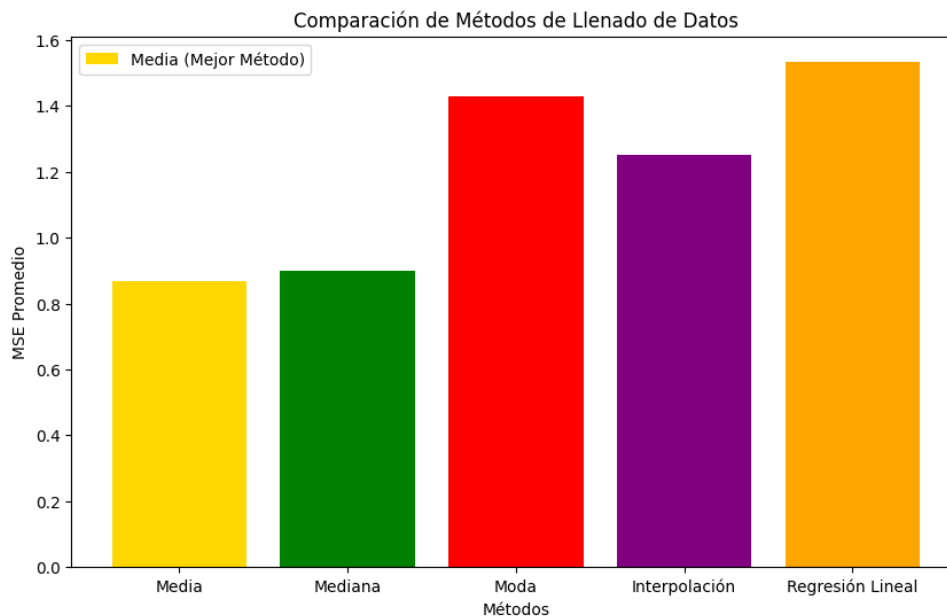


Figura 6. Comparación de los métodos de llenado de datos para la estación ID 8341

Ahora que están completos los datos de temperatura máxima de las 9 estaciones, se procederá a calcular de nueva cuenta su PG, con ello podremos darnos cuenta si hubo cambio o no en su grado de desempeño.

2.6 Elaboración del mapa digital con Q-Gis

Para la realización del mapa digital se hará uso del software Q-Gis, el cual es un sistema de información geográfica (SIG o GIS) de código abierto que proporciona un visor de datos (Project, 2023). En este, se introducirán las estaciones climatológicas de acuerdo a su ubicación, cada una tendrá su atributo definido por su PG, tal cual se mostró en el apartado 2.3 de éste trabajo.



**Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.**

Se creará posteriormente un mapa de temperaturas definidos por los grados PG 64, 70 y 76, regionalizando todo el país de acuerdo a la topografía, delimitando así el área de influencia de cada grado PG.

El mapa será georreferenciado, lo que permitirá localizar cualquier punto con coordenadas y conocer el grado PG específico en esa ubicación. Esto facilitará la selección del cemento asfáltico adecuado para cualquier lugar de la República Mexicana.

3 Conclusiones

Obtener los datos recientes de clima es una forma de garantizar un cálculo más preciso en la obtención de la temperatura de nuestro pavimento en estudio, que nos lleva a una selección de PG correcto para el cemento asfáltico que ahí se requerirá.

Elegir el periodo de 1990 a 2021 da holgura para cumplir con el mínimo de años que la norma de selección de asfalto por grado PG de 2018 indica.

La decisión de tomar estaciones nuevas que tienen como mínimo 5 años de datos o de historial, es necesario para cubrir mayor territorio con datos, además que cumplen con años recientes de temperaturas que se han hecho presentes en nuestro país, las cuales han ido en aumento en las últimas décadas, y recordemos que el asfalto es susceptible a las altas temperaturas.

Las 3 estaciones que obtuvieron PG 82, están fuera de los estándares del resto, aunado a que representan tan sólo el 0.11% del total de las estaciones, porcentaje muy pequeño y prácticamente nulo, motivo por el cual no se tomaron en cuenta para el desarrollo del mapa.

La ayuda de un software de código libre como lo es Q-Gis es una gran herramienta de Sistemas de Información Geográfica que nos demuestra visualmente la distribución de los PG's a lo largo y ancho de la República Mexicana, y que nos permitirá crear el mapa de interés.

Poner atención a aquellas estaciones que están muy próximas a su grado PG nos abre el panorama para analizarlas a profundidad y determinar si es necesario realizar en ellas algún procedimiento de llenado de datos de temperatura para confirmar si al calcular de nueva cuenta su grado PG éste se conservará o cambiará.

Los meses de mayo a septiembre son considerados como los meses más calurosos del año, respaldado por lo ya señalado por la propia NASA, así que basándonos sólo en esos meses para las estaciones que contienen más del 10% de vacíos, hace posible llevar a cabo un análisis más práctico y sin uso de tantos datos que puedan hacer lento o tardío el análisis.

Llevar a cabo el llenado de datos en la estación que se requiera en el resto de los meses sería en vano y el programa se cargaría de información que no ocuparía; es cierto que en los otros meses se presentan temperaturas altas, pero definitivamente no se comparan con los que se presentan en el periodo de verano, como lo ha señalado la NASA.

Éste proyecto nos ha dado una idea de la distribución de los grados PG en el territorio del país. Queda pendiente saber si las 9 estaciones cambiaron o no su PG y realizar la zonificación respecto a la topografía para que queden delimitadas las zonas de influencia de los 3 distintos PG que se presentan en México para el cemento asfáltico.

4 Referencias

[1] SCT Infraestructura Dirección General de Servicios Técnicos. (19 de Octubre de 2022). Obtenido de *Selección de Cemento Asfáltico 2020*: <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/seleccion-de-cemento-asfaltico-2020/>



**Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.**

- [2] Instituto Mexicano del Transporte. (03 de Mayo de 2021). *Sistema de Información Climática para el diseño de Carreteras*. Recuperado el 2022, de <http://siclic.imt.mx/SICLIC/>
- [3] NASA. (14 de Septiembre de 2023). *NASA*. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/news/3282/nasa-announces-summer-2023-hottest-on-record/>
- [4] O'Shea, C. A. (14 de Agosto de 2023). *NASA*. Obtenido de <https://www.nasa.gov/news-release/julio-de-2023-fue-el-mes-m%C3%A1s-caluroso-registrado/>
- [5] Project, Q. (02 de Junio de 2023). *QGIS Desktop 3.28 User Guide*. QGIS Desktop 3.28 User Guide.
- [6] Instituto Mexicano del Transporte. (2005). IMT. Obtenido de *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt271.pdf>
- [7] Transportes., S. d. (2018). *Características de los materiales*.