



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

Historia del uso del Asfalto en México

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MIGUEL PASAYE SALTO

ASESOR:

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA, MICHOACÁN, AGOSTO DE 2019



Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería Civil perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por todos los conocimientos que me fueron otorgados en sus aulas, por darme las herramientas necesarias para desarrollarme como un profesionalista.

Al Dr. Carlos Alberto Junez Ferreira por haber sido mi tutor a lo largo de la carrera, por haberme guiado y otorgado consejos muy valiosos para mi desarrollo.

Al Dr. Jorge Alarcón Ibarra por todo el apoyo que me ha brindado desde que lo conocí, la paciencia que ha tenido conmigo, los conocimientos que me ha transmitido, así como el gusto por las vías terrestres, y por supuesto, la ayuda y los recursos necesarios para poder llevar a cabo este proyecto.

A la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) Unidad General de Servicios Técnicos, por los datos proporcionados para la conclusión del proyecto.

A mis amigos Juan Pablo, Marco Antonio, Jorge y Jesús Hernán por la amistad que me han brindado y por todas las vivencias que compartimos a lo largo de la carrera, los proyectos y trabajos que realizamos juntos, así como toda la ayuda que me brindaron a lo largo de la carrera.

Dedicatorias

A mis padres Maria Guadalupe Salto y Bartolome Pasaye, que han sido pilar fundamental en mi desarrollo académico, los cuales siempre me han brindado su apoyo en todas las decisiones que he tomado y me han alentado a no desistir en cumplir mis sueños, como lo es llevar a cabo esta tesis. En especial a mi madre, por todo el cariño y el amor que me ha brindado, su comprensión y por siempre escucharme.

A mis hermanos, por su comprensión y por soportar mi carácter y mal genio en los momentos más complicados a lo largo de mi carrera, por brindarme su apoyo. Por los buenos momentos que hemos pasado juntos y las risas que hemos compartido juntos.

A mi novia Zayra Lizbeth, por apoyarme y brindarme su amor y comprensión, motivarme a ser mejor cada día y luchar por lo que me propongo. Por los grandes momentos que hemos vivido y las experiencias que hemos compartido juntos.

Índice de contenido

Agradecimientos	
Dedicatorias	
Resumen.....	
Abstract.....	
Introducción.....	
Objetivo general	
Objetivos específicos.....	
Capítulo 1. Origen del asfalto.....	13
Historia del asfalto.	13
Obtención del asfalto.	20
Destilación atmosférica.	22
Destilación al vacío.	23
Desintegración catalítica.	23
Hidrotratamiento.....	24
Reducción de viscosidad.	25
Coquización.	25
Alquilación.....	25
Reformación.....	26

Isomerización.....	27
TAME y MTBE.....	27
Capítulo 2. Producción del asfalto en México	28
Refinerías en México.....	28
Capacidad instalada.....	30
Producción.....	33
Capítulo 3. Clasificación del asfalto en Pavimentos.....	44
Clasificación por penetración.....	44
Clasificación por viscosidad.....	45
Clasificación por su grado de desempeño (PG).....	49
Clasificación por grado PG Plus.....	54
Clasificación por grado PG Jnr.....	55
Capítulo 4. Asfaltos modificados.....	62
Introducción.....	62
Polímeros.....	63
Acetato de etilo.....	64
Acetato de vinilo.....	64
Estireno.....	65
Butadieno.....	66
Polímero Tipo I.....	66

Polímero Tipo II.....	66
Polímero Tipo III.....	67
Hule Molido de Neumáticos.	67
Especificaciones de la Norma N-CMT-4-05-002/06.....	68
Capítulo 5. Panorama actual del consumo de asfalto en México.....	71
Red Nacional de Caminos.....	73
Inversión en Infraestructura Carretera.....	76
Consumo de asfalto.....	80
Importación de asfalto.	84
Conclusiones.....	88
Bibliografía.....	89

Resumen

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizado por el hombre dentro de la ingeniería, ha sido utilizado como mortero para unir bloques, como impermeabilizante, para el calafateo de embarcaciones, etc. Hoy en día se utiliza principalmente en la construcción de caminos.

Para poder obtener el asfalto, es necesario someter el petróleo crudo a una serie de procesos físicos y químicos denominado refinación, PEMEX es el organismo encargado de explotar el petróleo que se encuentra en el territorio mexicano, y el único que puede distribuir el asfalto obtenido a partir del petróleo.

En los últimos años PEMEX ha tenido que enfrentarse a diversos problemas que han repercutido en su producción, la cual ha ido a la baja año con año. El asfalto no ha sido la excepción, ya que de 2009 a 2018, la producción cayó 56.8%.

Por otra parte, el consumo de asfalto ha ido variando al paso de los años, lo cual ha dado paso a que PEMEX se vea rebasado en cumplir con la demanda que se tiene en relación a este petrolífero y que se tenga que recurrir a la importación de asfalto. En la actualidad, no se cuenta con estimaciones oficiales que nos permitan saber cuál es la cantidad de asfalto que se está importando al país.

El presente trabajo realiza una estimación de asfalto importado, a partir del asfalto producido por PEMEX y el consumo que se ha dado para la construcción y conservación de carreteras en México, además de elaborar un análisis detallado con los resultados obtenidos de este estudio.

PALABRAS CLAVE: Refinación, importación, petrolífero, viscosidad, carretera.

Abstract

Asphalt is one of the oldest materials used by man in engineering, it has been used as a mortar to join blocks, as a waterproofing, for caulking boats, etc. Today it is mainly used in road construction.

In order to obtain the asphalt, it is necessary to subject to crude oil to a series of physical and chemical processes called refining, PEMEX is the agency responsible for exploiting the oil that is in the Mexican territory, and the only one that can distribute the obtained asphalt to from oil.

In recent years, PEMEX has had to face several problems that have had an impact on its production, which has gone down year after year. Asphalt has not been the exception, since from 2009 to 2018, production fell 56.8%.

On the other hand, the consumption of asphalt has been changing over the years, which has given way to PEMEX being exceeded in fulfilling the demand that exists in relation to this oil and that it has to resort to the import of asphalt.

Currently, there are no official estimates that allow us to know the amount of asphalt that is being imported into the country.

This work makes an estimate of imported asphalt, based on the asphalt produces by PEMEX and the consumption that has been given for the construction and conservation of roads in México, in addition to preparing a detailed analysis with the results obtained of this study.

Introducción

La evolución de la infraestructura carretera de un país es fundamental, ya que esto marca la pauta para que tenga un desarrollo económico y social óptimo, además de proveer el fundamento de la actividad económica moderna, ya que a través de las carreteras se mueve la mayor parte de las mercancías y se conecta a los puntos estratégicos en un país, como lo son puertos, terminales ferroviarias, aeropuertos, etc.

El asfalto ha sido el principal cementante utilizado en la construcción de caminos desde que se inventó el automóvil, a pesar de que en la actualidad se cuenta también con pavimentos rígidos de alta calidad, los pavimentos flexibles siguen siendo los más comunes a la hora de realizar una carretera, ya que tiene muchas propiedades que lo hacen más viable.

Sin embargo, antes de ser empleado en los caminos, tuvo diversas aplicaciones desde la antigüedad, por ejemplo, para el calafateo de las embarcaciones, las momificaciones, para impermeabilizar, como mortero en las edificaciones, entre otros usos.

La presente investigación se refiere al tema del uso del asfalto en México, desde sus orígenes en la antigüedad, su producción, las clasificaciones que han surgido a través de los años, el consumo que ha tenido a lo largo del tiempo, las inversiones en el ramo carretero, las importaciones que se han llevado a cabo anualmente, entre otros.

El motivo que impulsó a desarrollar esta investigación es conocer la cantidad de asfalto importado al país, ya que en los últimos años la refinación de petróleo crudo ha venido a la baja, con lo cual la producción de asfalto ha sufrido repercusiones por este

mismo motivo, por otra parte, el consumo de asfalto ha ido en aumento, lo cual nos hace preguntarnos, ¿Cuánto asfalto se importa a México para cubrir la demanda de este?, esta pregunta es la que se va a tratar de responder por medio de este trabajo, ya que no se cuenta con una estimación oficial de este dato en México.

A continuación, se presentará una breve explicación del contenido de los diversos capítulos que componen este trabajo:

En el capítulo I se describe la historia del asfalto, desde el nacimiento de la civilización; las investigaciones que se desarrollaron una vez que se comenzó a emplear en los pavimentos, los investigadores que tuvieron aportaciones destacables para el avance tecnológico sobre la caracterización del asfalto, etc. También se aborda un poco en la historia del asfalto en México, además del proceso de obtención del asfalto.

En el capítulo II hablamos sobre las refinerías en México, cuantas, y cuáles son, posteriormente se presentan los datos sobre producción y proceso de crudo, producción de petrolíferos, realizando un análisis de cada una de las gráficas mostradas, y por último se presentan los datos sobre la producción de asfalto.

En el capítulo III se exponen las diferentes clasificaciones que se han tenido en el país, desde la clasificación por penetración hasta la nueva clasificación por Grado PG incluyendo el parámetro Jnr, anexando sus respectivas normativas de clasificación, basados en las normas de la SCT.

En el capítulo IV se abordan los asfaltos modificados, los motivos que impulsaron a desarrollar estos asfaltos, así como varios polímeros que se utilizan en su elaboración,

y por último las especificaciones de la norma más actual que se tiene para estos asfaltos por parte de la SCT.

En el capítulo V se analiza el panorama que se tiene actualmente sobre el consumo de asfalto en México, el nuevo Programa Nacional de Infraestructura Carretera que llevará a cabo el gobierno Federal, las vertientes que este tomará, y cuáles son sus principales objetivos a cumplir, además se presentan las estadísticas que se tienen sobre la Red Nacional de Caminos. Posteriormente se habla sobre la inversión pública y privada que se ha destinado tanto a construcción como conservación de carreteras, obtenidos de documentos de la SCT. Una vez presentados los datos sobre inversión, se continúa con el análisis del consumo de asfalto, destinado a emulsiones y mezclas asfálticas, y se realiza una comparativa entre los datos sobre inversión y consumo. Por último, se realiza una estimación sobre la importación de asfalto, con base en la producción y el consumo de asfalto, además se lleva a cabo un análisis sobre los resultados obtenidos.

Objetivo general

Analizar la panorámica actual sobre el uso de asfalto en México, como lo es la producción y el consumo de asfalto, y a partir de estos datos, realizar una estimación sobre la cantidad de asfalto que se ha importado en los últimos años, así como la cantidad que se espera importar para este año.

Objetivos específicos

- Exponer la historia del asfalto, desde la antigüedad hasta nuestros días, así como explicar la obtención del asfalto a partir del proceso de refinación.
- Presentar los datos que se tienen sobre la producción y proceso de crudo de PEMEX, además de evaluar los datos sobre producción de asfalto.
- Conocer las distintas clasificaciones que se han tenido en México para categorizar los asfaltos producidos de acuerdo a sus características, con sus respectivas especificaciones.
- Estudiar los asfaltos modificados, así como los distintos polímeros que son utilizados para mejorar sus características, además de presentar las especificaciones que deben cumplir.
- Analizar cómo ha sido el consumo de asfalto en los últimos años, así como las inversiones en construcción y conservación de carreteras, además realizar una estimación de la cantidad de asfalto importado, con base en la producción y consumo de asfalto.

Capítulo 1. Origen del asfalto

Historia del asfalto.

Con base en el Manual del asfalto del Asphalt Institute, el asfalto es uno de los materiales más arcaicos utilizado por el hombre en la ingeniería, desde el nacimiento de la civilización. No se sabe con certeza de donde deriva la palabra asfalto, sin embargo, se cree que esta deriva del término acadio *asphaltic* que significa “que deja caer”. Posteriormente los griegos adoptaron el término para transformarlo en la forma *asphaltos* que significa “que rigidiza o estabiliza”, tiempo más tarde evolucionó al latín *asphaltum*, al francés *asphalte*, para finalizar con el inglés *asphalt*, de este último se realizó la traducción al español como asfalto.

Desde épocas remotas, hasta la actualidad, el asfalto ha tenido múltiples aplicaciones y funciones, ha sido empleado como cementante para unir bloques, para recubrir e impermeabilizar objetos o construcciones, simplemente es uno de los productos más versátiles que encontramos en la madre naturaleza.

El primer hecho histórico del que se tiene registro del uso de asfalto fue en Sumeria, alrededor del año 6000 a.C. donde se producía y utilizaba asfalto para el calafateo de barcos en su creciente industria naval. Para el año 2600 a.C. en Egipto se usaba el asfalto con diferentes fines, por ejemplo, como material de impermeabilización, como material de relleno del cuerpo humano al momento de realizar la momificación y como mortero en la construcción de edificaciones.



Figura 1.1 Calafateo de barcos.

Fuente: Fernando Meléndez, 2011



Figura 1.2 Cuerpo egipcio momificado.

Fuente: SocialHizo

En Babilonia, el asfalto era el mortero por excelencia para la unión de los bloques en la construcción de los zigurats; se presume que la torre de Babel fue uno de los zigurats más icónicos y claro ejemplo de esta técnica.

En la primera era del asfalto, que comprende desde el descubrimiento del asfalto, hasta principios del siglo XX, este se encontraba de manera natural, en estratos geológicos y yacimientos sobre la superficie terrestre, o muy cercano a esta, eran morteros blandos y dúctiles de trabajar, lo cual facilitaba su extracción. También se encontraba en forma de piedras porosas como la caliza y la arenisca, (eran comúnmente denominadas piedras asfálticas), en forma de venas negras dentro de las formaciones rocosas, duras y friables. Un ejemplo de estos yacimientos es el que se encuentra

localizado en los depósitos del Lago Trinidad, en la isla con el mismo nombre, en Venezuela, así como en extensas arenas bituminosas al oeste de Canadá.



Figura 1.3 Lago Trinidad.

Fuente: Richard-Seaman

La segunda era comenzó a principios de 1900 y comprende hasta nuestros días, a principios de la era, los especialistas en el estudio de los asfaltos descubrieron un método para refinar el asfalto a partir del petróleo crudo, ya que el asfalto natural comenzó a escasear y solo se encontraba en lugares lejanos, lo cual elevaba su costo de extracción y no lo hacía redituable, además de que su reología comenzó a ser deficiente, pues el contenido maltenico se perdía rápidamente al calentarlo y por consecuencia se rigidizaba con facilidad.

Aunado a todo esto, al mismo tiempo, el automóvil fue teniendo un gran auge en la sociedad, demandando la creación de más y mejores caminos, creando una industria en expansión. El asfalto parecía ser un recurso económico e inagotable para la construcción de carreteras modernas y seguras.

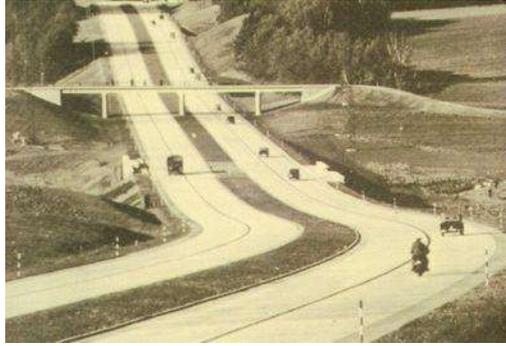


Figura 1.4 Autopista Bayreuth-Núremberg (Alemania) 1937.

Fuente: wikivia

A medida que la industria de los pavimentos flexibles progresó, fue necesario desarrollar numerosas pruebas y procedimientos que determinaran las propiedades físicas y las características del asfalto, esto con la finalidad de garantizar que las carreteras construidas con asfalto fueran duraderas y confiables. Probablemente el primer parámetro que se consideró dentro del diseño de las mezclas asfálticas con un enfoque puramente científico, fue el determinar el contenido de asfalto basado en los vacíos del agregado en campo para lograr que las muestras de diseño representaran el rendimiento, las muestras al ser compactadas debían contener el porcentaje de vacíos deseados y los contenidos de cemento asfáltico.

Uno de los primeros métodos que se desarrolló para la evaluación de las propiedades físicas de una mezcla asfáltica compactada, y que aún sigue vigente en la actualidad, como por ejemplo dentro de la normativa SCT, es la de Prévost Hubbard y F.C. Field, pertenecientes al instituto del asfalto, esto ocurrió a mediados de la década de 1920. La prueba empírica Hubbard-Field indicó la estabilidad de la mezcla por falla de cizallamiento por punzonado.

Para la década de 1930, hubo dos desarrollos científicos muy importantes, que tuvieron gran aporte al diseño de las mezclas asfálticas, el primero realizado por Francis

Hveem, mientras trabajaba para el Departamento de Carreteras de California, creó una prueba que aseguraba que las mezclas asfálticas al ser compactadas se mantuvieran estables y no sangraran el asfalto en exceso. Los principios del método Hveem se basan en la compresión triaxial y el área de contacto del agregado, con base en eso se realiza una estimación del contenido de asfalto. Dicho método sigue en uso.

En cuanto al segundo aporte científico, tenemos el realizado por Bruce Marshall, quien fuera ingeniero del Departamento de Carreteras de Mississippi, quien desarrolló un método para el diseño de mezclas asfálticas, con el cual se podía determinar la densidad deseada y el contenido de asfalto, para que los pavimentos pudieran resistir las cargas transmitidas por los vehículos hacia la estructura.

Con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América, perfeccionó y profundizó el trabajo realizado por Marshall, con la finalidad de aplicarlo en el desarrollo de mezclas asfálticas en caliente, para campos aéreos expuestos a cargas de ruedas de aviones pesados.

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, el Método Marshall continuó mejorándose y adaptándose para cargas de aeronaves más pesadas, así como para el uso civil en las carreteras para el tránsito de camiones pesados.

A inicios de la década de los 90's, se introdujo el Superpave como resultado de la investigación llevada a cabo por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP por sus siglas en inglés). (Asphalt Institute, 2007)

Ahora bien, en cuanto a México, se tienen varios hechos históricos que han marcado el rumbo de los asfaltos en nuestro país. Algunos de estos acontecimientos se describen a continuación.

Excavaciones realizadas en Coatzacoalcos, Veracruz, demostraron que 200 años a.C. los pobladores Olmecas asentados en la región del Golfo de México, ya hacían uso del petróleo en el calafateo de sus embarcaciones, así como en actos ceremoniales en forma de chapopote, dicho término procede de la unión de tres palabras mayas (chaach: mascar; paak: embarrar, y p'ó: lavar), que pasaría al náhuatl como chapopotl. (Borja, 2008)

Aproximadamente en 1920, se produce el primer producto asfáltico mexicano, por la compañía el Águila, denominado "Asfalto Pánuco", tenía características equivalentes a las de un asfalto AC-10, con penetración 85-100, su composición química aproximada era de 27% asfaltenos, 31% resinas y 42% aceites.

Este asfalto tuvo gran aceptación en Europa, principalmente en Inglaterra, ya que, para la segunda década del siglo XX, sus carreteras habían sido pavimentadas con este cementante, gracias a su inmejorable calidad, su naturaleza nafténica y su concentración de azufre, podían fabricarse carpetas asfálticas de gran resistencia y durabilidad.

Lamentablemente, la creciente demanda de este crudo y su baja producción obligaron a los productores a buscar nuevas alternativas de crudos, principalmente intermedios, como el crudo Maya.

Para 1987, ya se consideraba al asfalto como un material bituminoso, sólido, con propiedades aglutinantes, que se licua por calentamiento, integrado desde el punto de

vista químico por sustancias complejas constituidas por macromoléculas que contienen como elemento principal el carbono.

Para la elaboración de los asfaltos, la materia prima básica que se utiliza es un residuo pesado, que proviene de la destilación de algunos crudos de petróleo, extraídos del subsuelo mexicano. Los procesos de elaboración de asfalto han sufrido modificaciones y se han implementado distintos aditivos modificadores, lo cual ha llevado a que se le realicen diferentes pruebas al asfalto, con el fin de identificar aquellas características que representen su calidad, y que se han ido modificando con el paso del tiempo, y por lo tanto se han creado diferentes clasificaciones para su identificación, que se mencionan a continuación:

- Cementos asfálticos por penetración
- Cementos asfálticos por viscosidad
- Cementos asfálticos Superpave por Grado PG
- Cementos asfálticos PG+
- Cementos asfálticos PG Jnr

(Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011)

Dichas clasificaciones serán descritas más adelante.

Hoy en día el concepto más utilizado sobre el asfalto en México, es el que nos proporciona la SCT a través de su normativa, el cual cito textualmente a continuación:

Es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido dependiendo su

temperatura y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.



Figura 1.5 Asfalto líquido.

Fuente: indiamart

Los asfaltenos son los responsables de las propiedades de dureza y resistencia de los asfaltos, las resinas le proporcionan al asfalto sus cualidades cementantes o adhesivas y los aceites aportan al asfalto la consistencia adecuada para ser trabajables, además de proteger a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por los agentes del intemperismo y disminuyen los efectos perjudiciales que sufre el asfalto en los procesos de calentamiento que se emplean en las plantas de producción de mezclas asfálticas. (Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011)

Obtención del asfalto.

El asfalto tal cual lo conocemos es producto de una serie de procesos físicos y químicos que se le realizan al petróleo crudo, ya que este no tiene uso en sí, por lo que se le debe aplicar un proceso de conversión de energía primaria a secundaria denominado refinación, para que con ello se obtengan, además del asfalto, los diversos hidrocarburos o las familias de estos.

Destilación atmosférica.

Esta operación es básica en la refinación del petróleo. Consiste en fraccionar los diferentes constituyentes del crudo por efecto de la temperatura a presión atmosférica, sin originar nuevos compuestos.

Primero, el petróleo crudo se calienta en un horno y se le lleva a la parte inferior de la columna fraccionadora, que consiste en una enorme torre cilíndrica. Dentro de ella se encuentran bandejas o platos a diferentes alturas, los cuales recolectan y separan los distintos componentes del crudo, según su punto de ebullición.

Estas bandejas provocan la condensación de los vapores más pesados y la evaporación de los líquidos más livianos, logrando con esto su separación. Mediante este proceso, se realiza la separación gradual de las distintas fracciones, tanto livianas como pesadas, por ejemplo, el rango de destilación de los componentes de las gasolinas ronda entre los 32.2-104.4°C, mientras que los gasóleos pesados tienen temperaturas de destilación que oscilan entre los 343.3-426.7°C. (Secretaría de Energía, 2015)

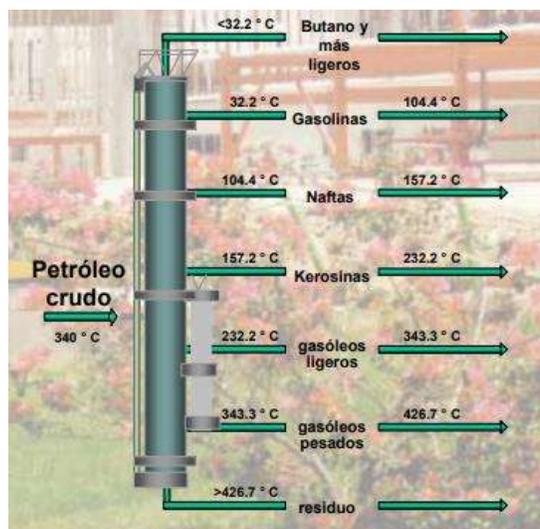


Figura 1.7 Destilación atmosférica del petróleo crudo.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2006

Destilación al vacío.

Es un proceso intermedio, mediante el cual se puede extraer, del residuo atmosférico, el gasóleo usado como carga a las plantas de desintegración catalítica FCC, así como las fracciones para la elaboración de aceites lubricantes. (Secretaría de Energía, 2015)

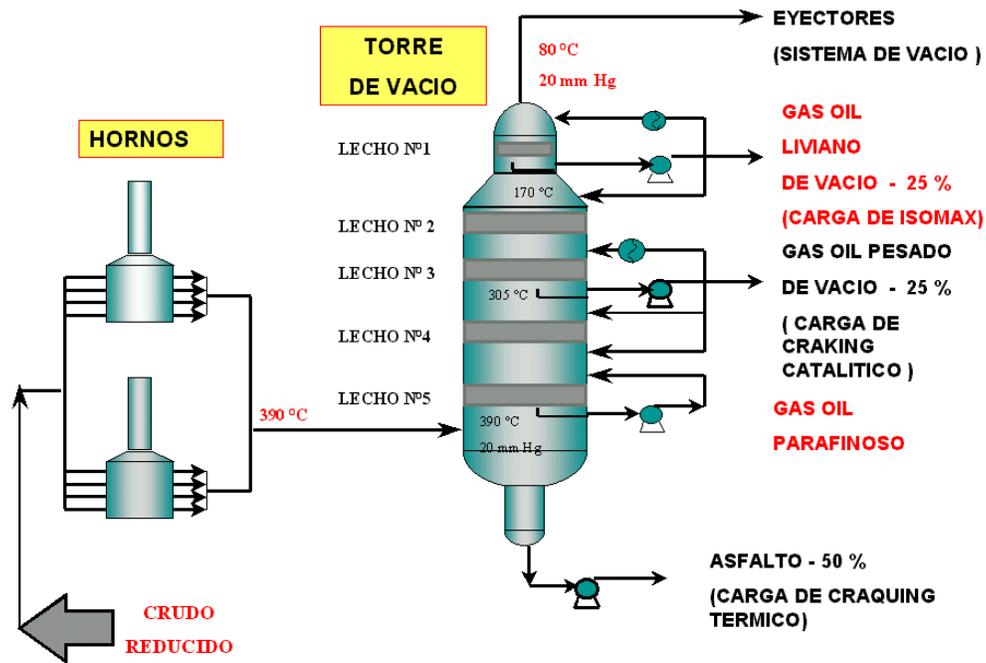


Figura 1.8 Unidad de vacío.

Fuente: gustato

Desintegración catalítica.

Este proceso consiste en descomponer las moléculas de hidrocarburos más grandes, pesadas o complejas, en moléculas más ligeras y simples. Se lleva a cabo mediante la aplicación de calor y presión y, mediante el uso de catalizadores. La utilización de este proceso permite incrementar el rendimiento de gasolina y otros productos importantes que tienen aplicaciones diversas en la industria del petróleo. (Secretaría de Energía, 2015)

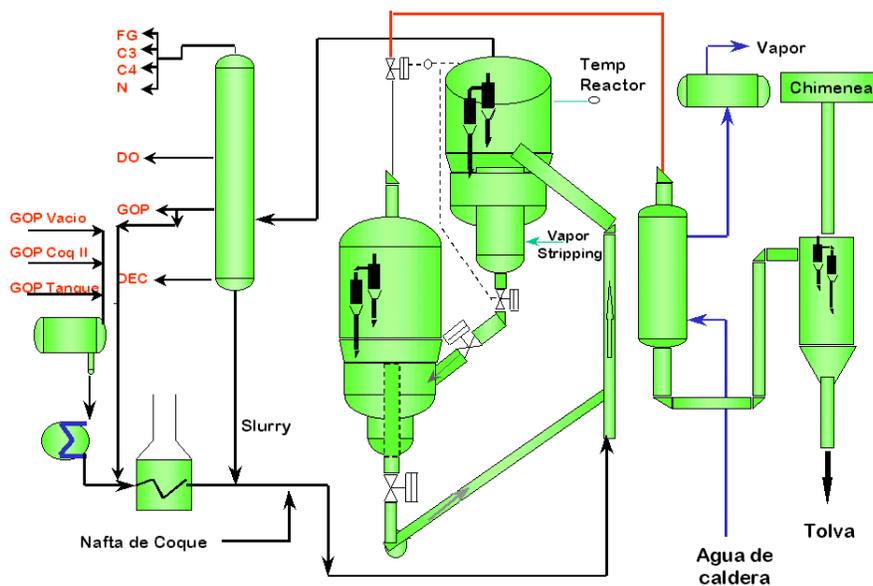


Figura 1.9 Desintegración catalítica fluida.

Fuente: gustato

Hidrotratamiento.

Proceso cuyo objetivo es estabilizar catalíticamente los petrolíferos, además de eliminar los componentes contaminantes que contienen, haciéndolos reaccionar con hidrógeno a temperaturas comprendidas entre 315-430°C a presiones que varían de 7 a 210 Kg/cm², en presencia de catalizadores diversos. (Secretaría de Energía, 2015)

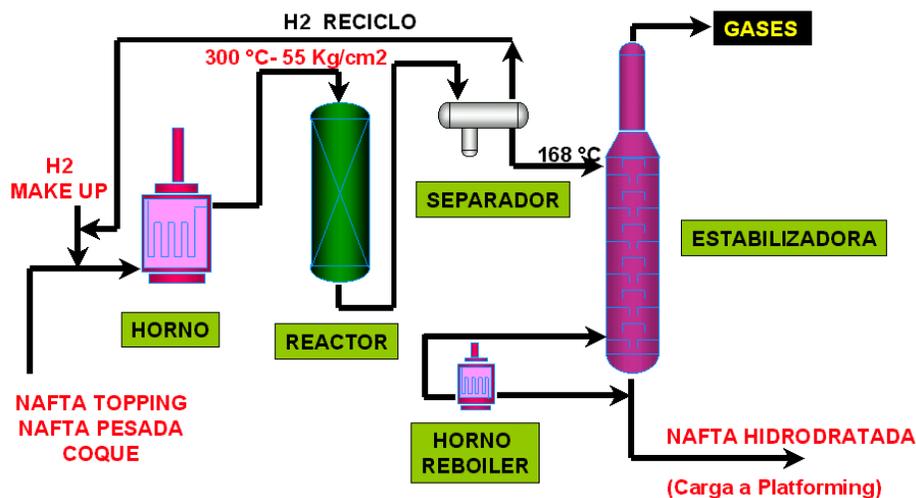


Figura 1.10 Hidrotratamiento.

Fuente: gustato

Reducción de viscosidad.

Proceso empleado en la refinación de petróleo para obtener hidrocarburos de bajo peso molecular tales como gases, gasolinas, gasóleos y residuo de baja viscosidad, a partir de residuos de vacío de alta viscosidad. (Secretaría de Energía, 2015)

Coquización.

Equipo instalado en una línea de conducción de gas para incrementar la presión y gas garantizando el flujo a través de la tubería. (Secretaría de Energía, 2015)

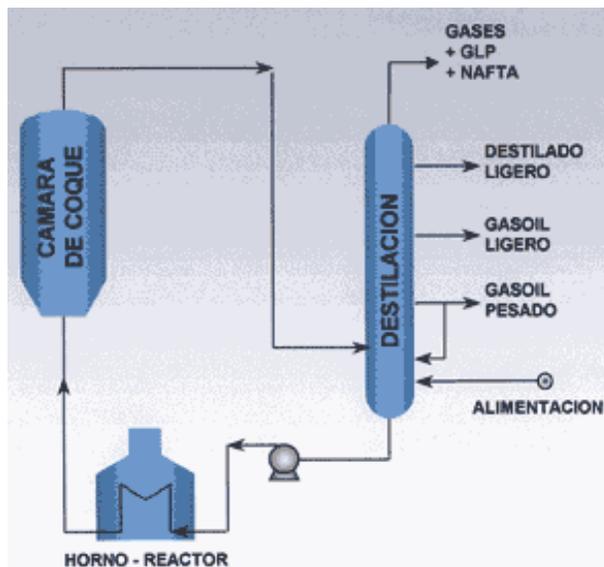


Figura 1.11 Coquización.

Fuente: Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid

Alquilación.

Este proceso comprende la combinación de una olefina con un hidrocarburo parafínico o aromático, en presencia de un catalizador. El proceso involucra la unión de propileno o butilenos con isobutano, en presencia de ácido fluorhídrico o sulfúrico como catalizador, para formar una isoparafina denominada alquilado ligero. (Secretaría de Energía, 2015)

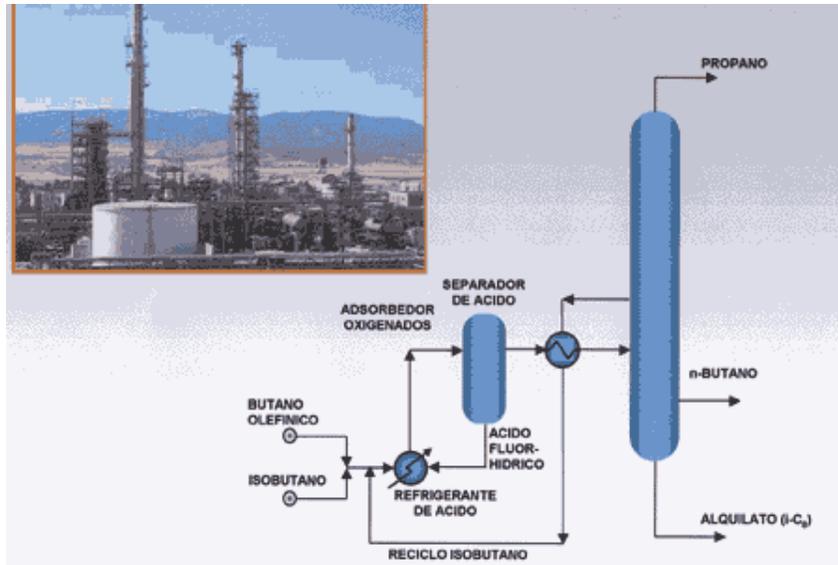


Figura 1.12 Alquilación.

Fuente: Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid

Reformación.

Proceso que mejora la calidad antidetonante de fracciones de la gasolina modificando la estructura molecular. Cuando se lleva a efecto mediante calor, se le conoce como reformación térmica y como reformación catalítica, cuando se le asiste mediante un catalizador. (Secretaría de Energía, 2015)

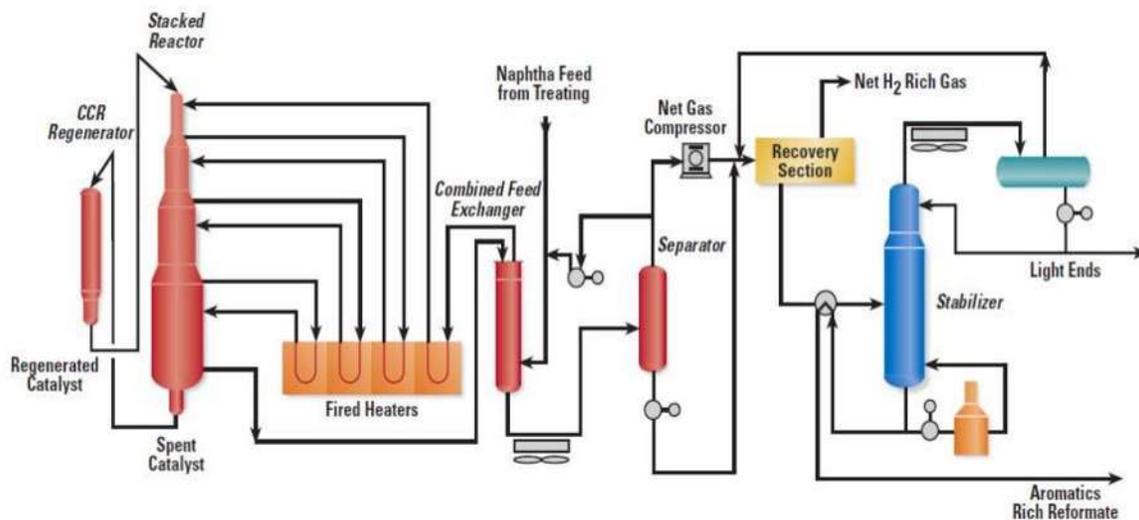


Figura 1.13 Reformación catalítica.

Fuente: García Berfon

Isomerización.

En este proceso se modifica el arreglo fundamental de los átomos de una molécula sin adherir o sustraer nada de la molécula original. (Secretaría de Energía, 2015)

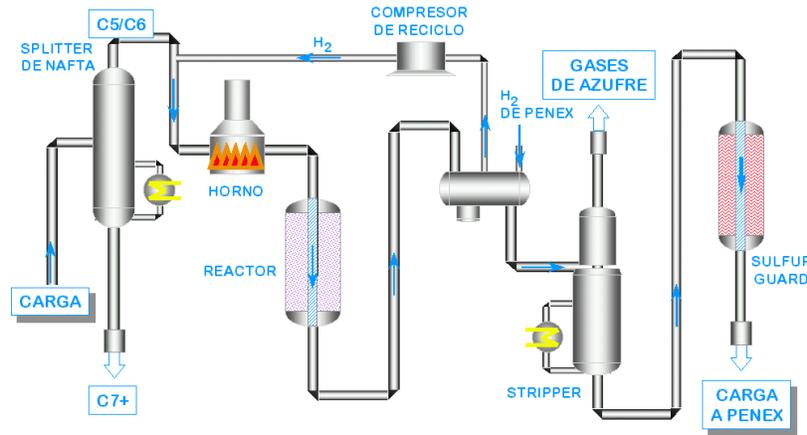


Figura 1.14 Proceso de isomerización.

Fuente: gustato

TAME y MTBE.

Oxigenantes que se utilizan como aditivo para incrementar el octanaje en la gasolina, y su utilización depende de la legislación (ambiental) con relación a la composición y calidad de las gasolinas. (Secretaría de Energía, 2015)

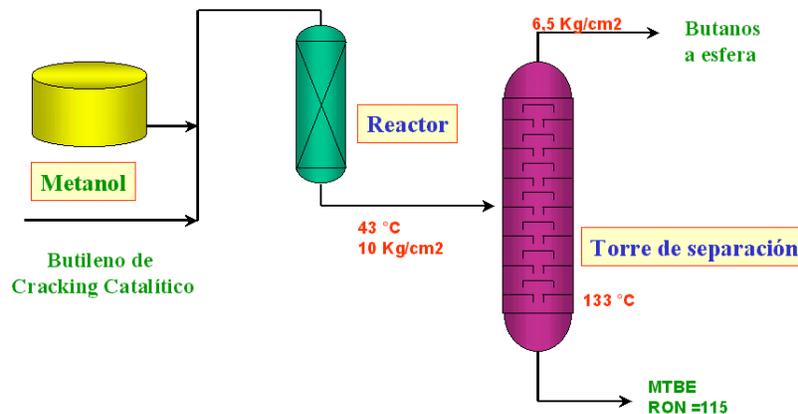


Figura 1.15 Proceso TAME y MTBE.

Fuente: gustato

Capítulo 2. Producción del asfalto en México

Como ya se describió en el capítulo anterior, en el apartado sobre obtención del asfalto, una refinería es un centro de trabajo donde el petróleo crudo se transforma en sus derivados como por ejemplo el asfalto, el cual se logra a través de una serie de procesos físicos y químicos, está equipado con numerosas torres, unidades, equipo y tuberías.

Existen diferentes tipos de refinerías, y varían unas de otras, ya que dependen del tipo de tecnología del cual están equipadas y los esquemas de proceso que se utilicen, además de su capacidad. Se tienen tanto para procesar petróleos ligeros, pesados o mezclas de ambos. Debido a esto, los productos que se obtienen varían de una a otra. (Industria petrolera, 2010)

Refinerías en México.

La industria de la refinación en nuestro país presenta varios retos, entre los que se encuentran la creciente demanda de los productos derivados del petróleo vinculada al desarrollo económico del país. Ya que entre 2014 y 2018 la demanda de gasolina ha venido creciendo a una tasa anual promedio de 1.3%. (Secretaría de Energía, 2019)

El compromiso en el cuidado del medio ambiente a través de la elaboración de combustibles cada vez más limpios; maximizar el valor del petróleo procesado, mejorando la eficiencia y rentabilidad, así como lograr cubrir la demanda nacional es uno de los grandes retos que se ha propuesto cumplir PEMEX.

Aunado a esto, existe una incertidumbre respecto a la disponibilidad de crudos cada vez más pesados que requerirían de procesos más complejos para la obtención de los petrolíferos que requieren el país.

Otro de los grandes retos que enfrenta la industria de la refinación en el país a corto plazo será el ampliar la capacidad de distribución y almacenamiento de productos petrolíferos. A esta planeación se suma la posible entrada en operación de una nueva refinería localizada en el puerto de dos bocas, Tabasco para el 2022 que incrementaría la producción nacional de petrolíferos. (Secretaría de Energía, 2015)

Actualmente, PEMEX-Transformación Industrial, es el organismo que produce, distribuye y comercializa petrolíferos en todo el territorio mexicano. Dichos procesos se llevan a cabo a través del Sistema Nacional de Refinación (SNR), el cual está integrado por:

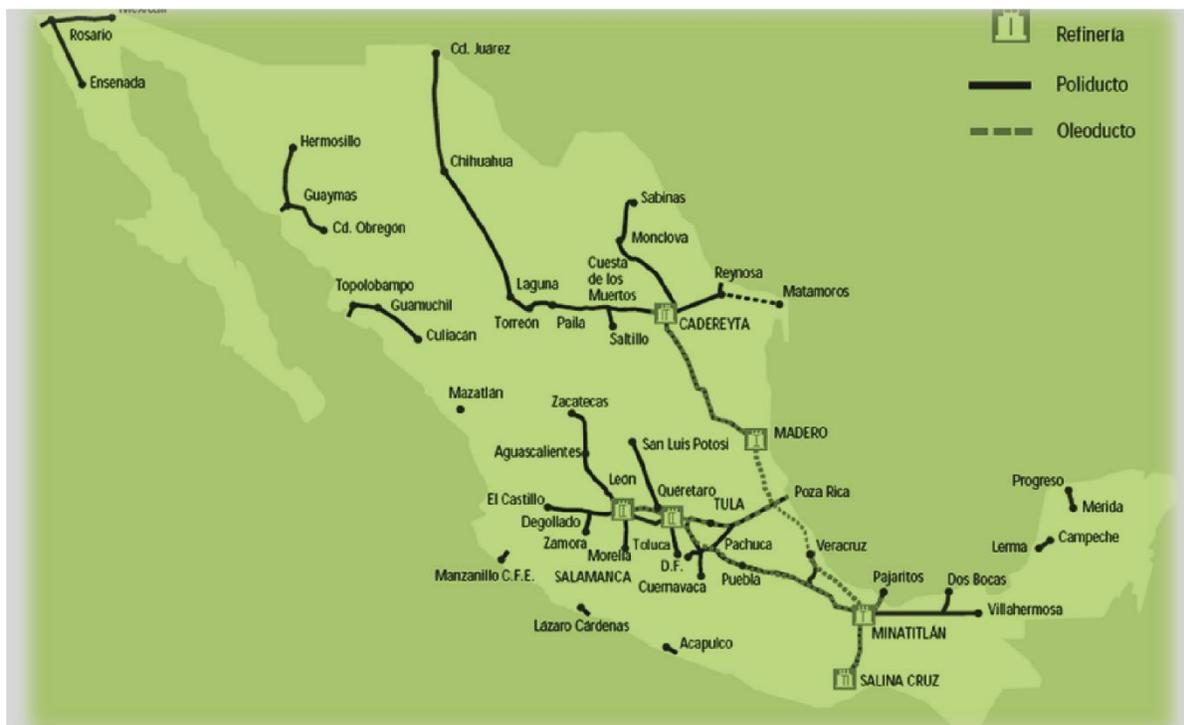


Figura N°2.1 Refinerías, Poliductos y Oleoductos.

Fuente: Secretaría de Energía, 2015

Tabla N° 2.1 Infraestructura del Sistema Nacional de Refinación.

	Nombre	Capacidad (Mbd)	Zona de Abastecimiento
1	Cadereyta	275	Norte
2	Madero	177	Centro y Golfo
3	Minatitlán	285	Sur y Península de Yucatán
4	Salina Cruz	330	Litoral del Pacífico
5	Salamanca	220	Región Central y lubricantes para todo el país
6	Tula	315	Distrito Federal
	Oleoductos (km)	6291	
	Poliductos (km)	8390	
	Embarcaciones	Buques	2 Propios, 13 arrendados y 1 rentado
	Transporte Terrestre	Auto tanques Carro tanques	1485 propios 525 propios
	Terminales de almacenamiento	73 terminales terrestres	16 Pacífico 24 Norte 20 Centro 13 Sur
		6 terminales marítimas	1 Pacífico 4 Golfo 1 Norte
	Estaciones de servicio	7940	

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

Capacidad instalada.

La capacidad instalada se refiere a la infraestructura de la cual dispone cierta empresa o negocio, necesaria para la producción de determinados bienes o servicios. Su magnitud está en función directa con la producción que puede suministrarse.

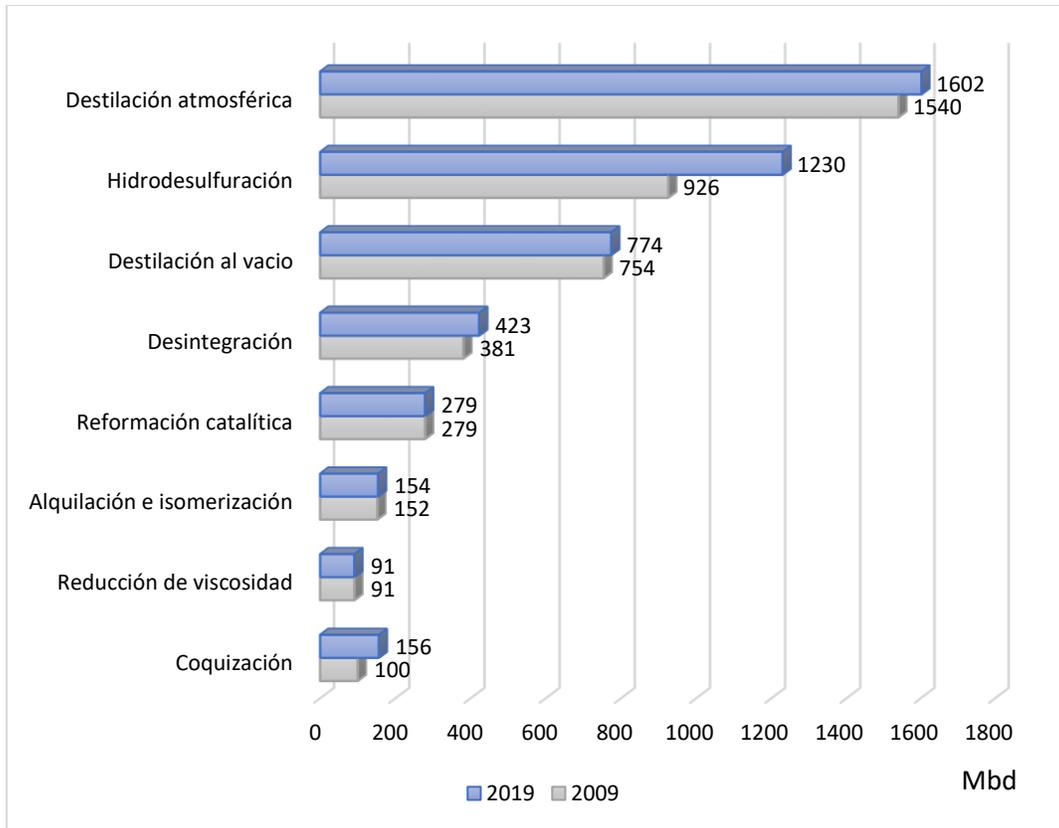
En todo sistema de producción o de prestaciones de servicios, se requiere de una plantilla de recursos físicos, humanos, tecnológicos, bienes raíces, maquinaria y equipos, para poder procesar la materia prima e insumos, hasta transformarla en producto

terminado o servicios prestados. Todo este conjunto de infraestructura constituye la capacidad instalada y, como es obvio, una mayor infraestructura conduce a mayor capacidad instalada y, por supuesto, mayor cantidad esperada de producción. (Mejía Cañas, 2013)

Durante el periodo 2009-2019 la capacidad instalada por tipo de proceso en el SNR tuvo un incremento en prácticamente todos sus procesos, sobresaliendo el aumento en la capacidad del proceso de hidrosulfuración, como resultado de la política de elaboración de combustibles con menor contenido de azufre.

Por otra parte, la incorporación de coquizadoras, como parte de los proyectos de reconfiguración, ha permitido integrar nueva infraestructura de este proceso en dos refinerías (Madero y Cadereyta), para incrementar la obtención de destilados provenientes de los residuos de vacío, así como el procesamiento de una mayor proporción de crudo pesado.

Analizando la gráfica, se observa que la capacidad de destilación atmosférica pasó de 1540 a 1602 miles de barriles diarios (Mbd) en todo el sistema de refinación. En cuanto a la capacidad de hidrosulfuración, esta subió 304 Mbd, la cual es la que presentó mayor aumento, debido al compromiso que tiene PEMEX con el medio ambiente, ya que a través de este proceso se pretende eliminar el azufre y sus compuestos de los productos refinados, ya que a menudo suele ser muy venenoso y contaminante. La reformación catalítica, la alquilación e isomerización, así como la reducción de viscosidad no presentaron ningún aumento en su capacidad.



*No incluye Cangrejera.

**Datos actualizados a julio de 2019

Figura 2.2 Evolución de la capacidad instalada por tipo de proceso 2009 Vs 2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2018

Tabla N°2.2 Capacidad instalada por refinería 2019.

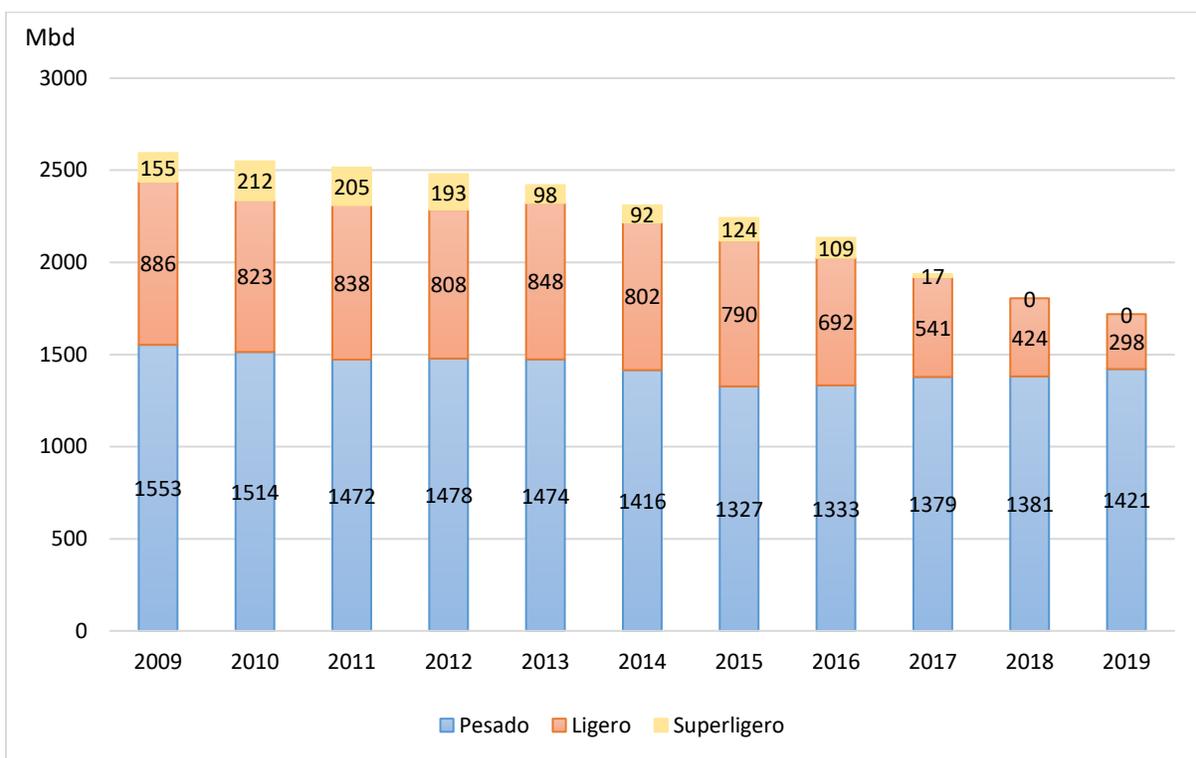
Mbd	Salinas Cruz	Tula	Cadereyta	Salamanca	Madero	Minatitlán	Nacional
Destilación atmosférica	330	315	275	220	177	285	1602
Destilación al vacío	165	144	130	121	85	129	774
Desintegración	80	80	90	40	61	72	423
Reducción de viscosidad	50	41	N/D	N/D	N/D	0	91
Reformación catalítica	50	65	46	39	30	49	279
Alquilación e isomerización	28	25	23	14	22	42	154
Hidrodesulfuración	215	249	229	142	182	213	1230
Coquización	0	0	50	0	50	56	156

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2018

Producción

La producción de crudo en México se ha venido frenando a lo largo de los años, mientras en 2009 se producían 2 mil 601 Mbd, ahora a julio de 2019, en promedio se produjeron mil 690 Mbd, esto representa una disminución del 35% con respecto a 2009.

Los crudos que se producen y procesan en el país son 3: Pesado con una densidad igual o inferior a 22° API, ligero con una densidad superior a 27° e inferior a 38° API y superligero con una densidad superior a 38° API.



*Datos actualizados a junio de 2019

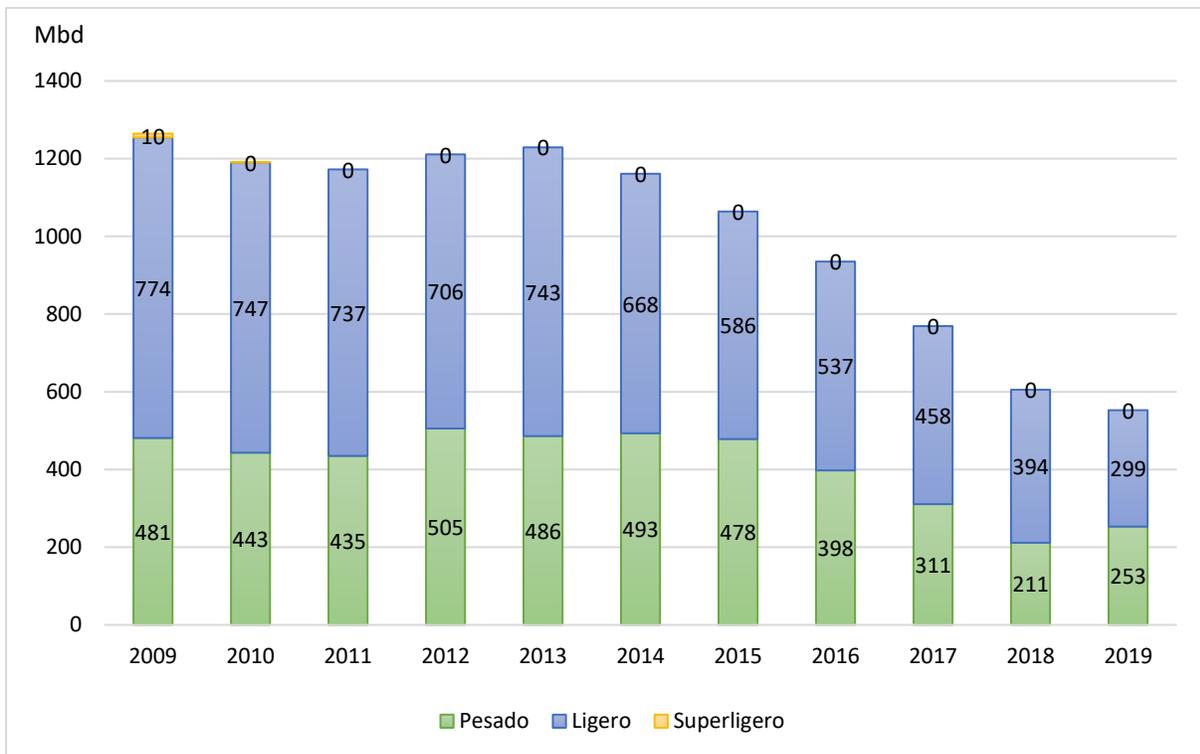
Figura 2.3 Producción de crudo por tipo 2009-2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

Como podemos observar el crudo que más se produce es el pesado, el cual no presenta variaciones tan grandes, en 2009 fue el año en el cual se produjo la mayor cantidad, con un total de mil 553 Mbd, mientras que el año con menor producción fue

2015, con mil 327 Mbd. Por otra parte, el crudo superligero es el de menor producción, incluso desde 2018 se dejó de producir, 2010 fue el año de mayor producción con 212 Mbd.

Cabe mencionar que no todo el crudo que se produce, pasa a ser procesado en las refinerías, una gran parte es destinada a las terminales de exportación, de hecho, más de la mitad es exportado, por ejemplo, en 2018 el 66% del crudo producido paso a las terminales de exportación, mientras que el 34% restante paso a ser procesado por las refinerías. A continuación, se muestra una tabla con los datos sobre el crudo que se procesa en las refinerías.



*Datos actualizados a junio de 2019

Figura 2.4 Proceso de crudo por tipo 2009-2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

La primera diferencia notable que podemos encontrar en comparación con la producción es que esta no tuvo una disminución anual desde 2009 hasta la fecha, ya

que primeramente inició con mil 264 Mbd, tuvo un decremento en el periodo comprendido entre 2009 y 2011 de 3.65% promedio anual, posteriormente presentó un incremento de 2.4% promedio anual hasta 2013 y de ahí en adelante ha decaído el procesado de crudo, de 2013 a 2017 el decremento fue de 10.9% promedio anual. Por último, entre 2017 y 2018 el decremento que se tuvo fue de 21.3%, de hecho, ha sido la baja más grande registrada en la gráfica. Con los datos recabados hasta julio de 2019 se prevé que el decremento con respecto a 2018 ronde el 9%.

En segundo lugar, mientras el crudo pesado es el de mayor producción en el país, en cuanto a procesamiento el más utilizado es el ligero, ya que las refinerías que se tienen en el país están equipadas para procesar crudo ligero principalmente, por lo que se puede concluir que el crudo más valioso en nuestro país es el ligero, ya que de este se obtienen la mayor cantidad de los petrolíferos usados en el país, como los combustibles, los aceites, el asfalto, etc.

El año que más crudo ligero se procesó fue 2009, con 774 Mbd, mientras que con las estimaciones que se tienen, 2019 apunta para ser el año con menor procesamiento de crudo ligero, además de ser el de menor procesamiento total. También podemos observar que el crudo superligero se dejó de procesar a partir de 2010. Con relación al crudo pesado, este alcanzó su mayor cantidad de proceso en 2012, con 505 Mbd y el menor en 2018 con 211Mbd.

Ahora se llevará a cabo un análisis del crudo que se procesó en las refinerías en el año de 2018, ya que es el año más reciente con todos los meses registrado. A continuación, se presentan los datos obtenidos.

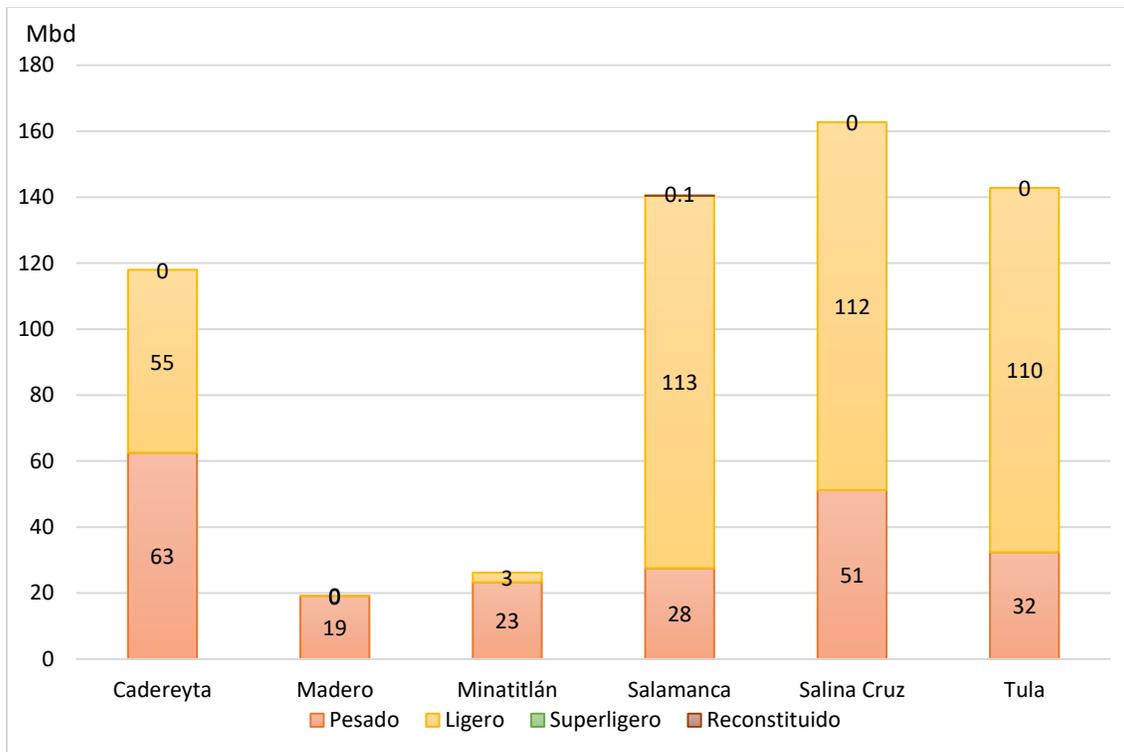
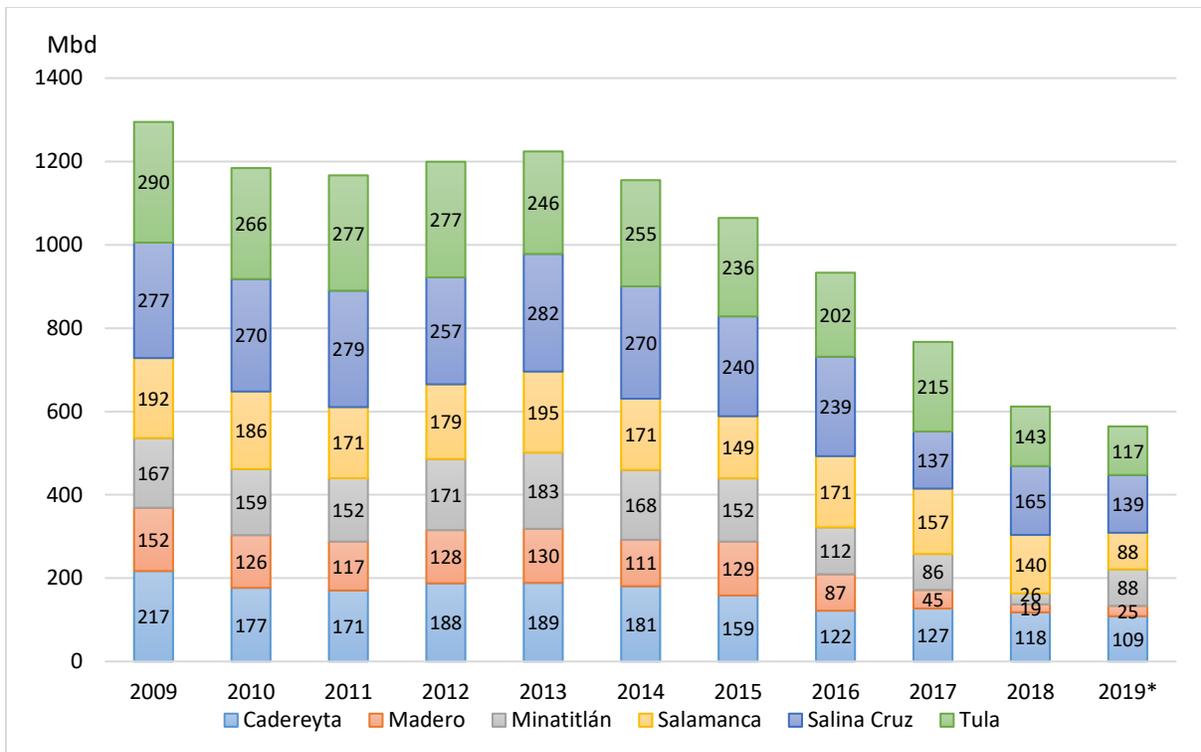


Figura 2.5. Proceso de crudo por tipo 2018.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

En 2018, de los 612 Mbd procesados por el Sistema Nacional de Refinación, 64.5% fue crudo ligero y 35.5% crudo pesado. La refinería que más crudo procesó fue Salina Cruz con 162.7 Mbd esto es 26.7% del volumen total nacional, le sigue Tula con 142.8 Mbd, 23.4% del volumen total nacional. En contraparte, la refinería con el proceso más bajo fue Madero, con 19.2 Mbd, 3.1% del volumen total nacional, cabe mencionar que es la única refinería que solo procesa crudo pesado.

Una vez analizada la situación de la producción y proceso de crudo por tipo, pasaremos a estudiar la evolución del proceso del crudo por refinería en los últimos 11 años, cuales son las refinerías que más crudo procesan, cuáles han sido las más constantes, cual ha sido la que más ha bajado su rendimiento de acuerdo a su capacidad instalada, etc. En la siguiente gráfica se muestran los datos recabados.



*Datos actualizados a junio de 2019

Figura 2.6 Proceso de crudo por refinería 2009-2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

Si realizamos una comparación entre 2017 y 2018, la única refinería que mostró incremento fue Salinas Cruz, con un volumen procesado 20.4% mayor al registrado en 2017. En contraste, las 5 refinерías restantes presentaron una disminución en su proceso, siendo Minatitlán la menos productiva con 69.8%, le sigue Madero con 57.8%, Tula 33.5%, Salamanca 10.8% y por último Cadereyta 7.1%.

Ahora bien, si revisamos los datos que se tienen de 2019, las refinерías de Minatitlán y Madero tendrán un aumento en el procesado de crudo, mientras que las demás refinерías tendrán una disminución, siendo Salamanca la que sufrirá la mayor baja en su procesamiento con una disminución del 37.5% con respecto a 2018.

En los últimos años, el proceso de crudo ha ido disminuyendo, debido a diversos factores, entre los que se tiene:

Los fenómenos naturales tales como las tormentas tropicales Calvin y Beatriz, que causaron estragos en Salinas Cruz y la explosión de la casa de bombas de dicha refinería en junio de 2017, lo que mermó su producción e hizo que en este año bajara alrededor del 40% con respecto al 2016. Además, el sismo del 11 de septiembre del mismo año, provocó daños en los turbogeneradores y todo el sistema eléctrico.

La falta de materia prima, es decir, petróleo crudo, cuya producción ha ido decreciendo a una tasa anual promedio de -4.6% en los últimos 11 años, además, el SNR se diseñó para procesar crudos ligeros con una densidad de 27° a 38° API y bajo contenido de azufre. Sin embargo, la mayoría del petróleo extraído en México es de 21 a 22° API, catalogado como pesado. Esto quiere decir que el SNR, se encuentra relativamente incapacitado para la producción de petrolíferos a partir de crudo mexicano.

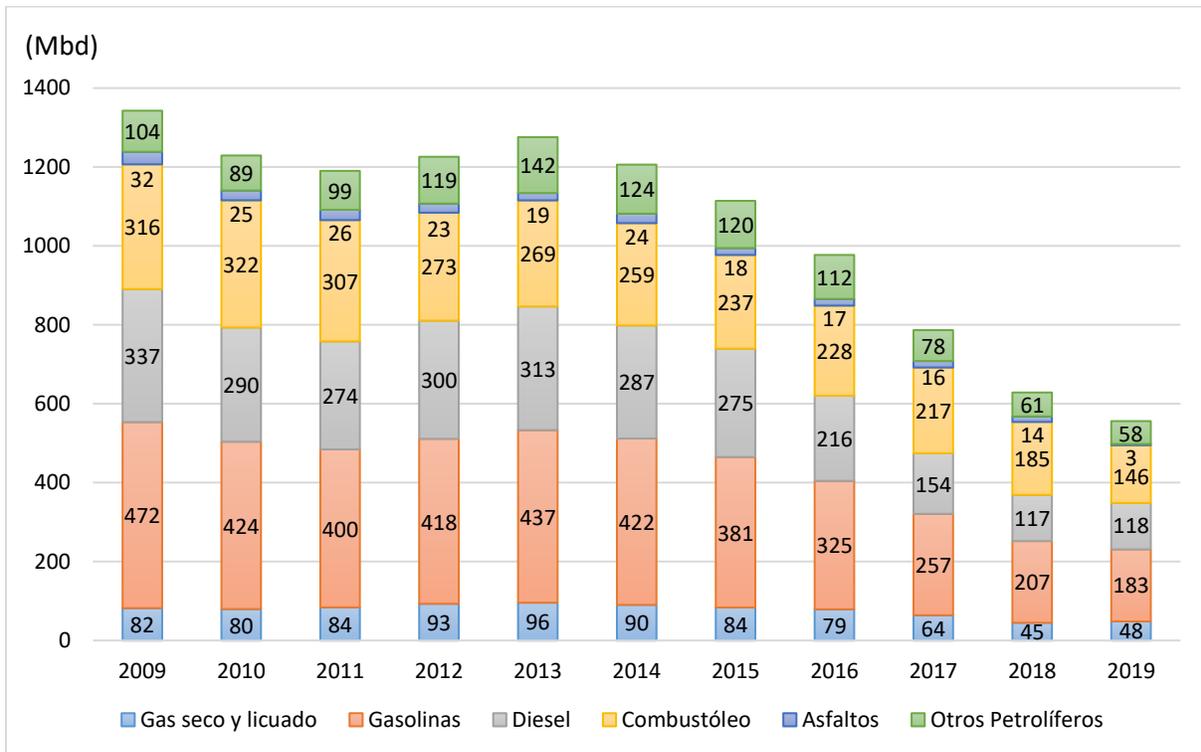
Y, por último, la principal causa de la baja operatividad de las refinerías, es el número de paros no programados. Estos se deben a la falta de suministro de hidrógeno, agua, vapor, electricidad, así como por fallas en los equipos y/o retrasos en mantenimiento.

En 2017, **el índice de paros no programados de Pemex promedió 31.9, mientras que la referencia internacional es de 4.5.** Es decir, Pemex tiene 7 veces más paros no programados en sus refinerías, que el promedio internacional.

Una vez presentados los datos en relación al crudo producido y procesado, ahora analizaremos los productos que se obtienen de la refinación de este.

Los principales productos petrolíferos que se obtienen de la refinación del crudo son: Gasolinas, Combustóleo y Diésel. En el 2018 se obtuvo 33%, 29.5% y 18.6% del

volumen total producido respectivamente. Por el otro lado, el petrolífero con menor producción fue el asfalto, con 2.2% del volumen total producido.



*Datos actualizados a junio de 2019

Figura 2.7 Producción de petrolíferos 2009-2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

Como podemos observar en la gráfica, todos los petrolíferos han venido a la baja desde 2013, a excepción del asfalto en 2014, que tuvo un incremento del 26.3% respecto al año anterior. El producto más afectado fue la gasolina, con un decremento de 52.6% en volumen del 2013 al 2018, le sigue el diésel con 62.6% en volumen en el mismo periodo.

En lo que respecta al asfalto, ha tenido altibajos en los últimos 10 años, sin embargo, ha venido a la baja su producción, ya que en 2009 se produjeron 31.9 miles de barriles diarios y en 2018 se procesaron 13.8 miles de barriles diarios, lo que arroja un decremento de 56.3% en volumen. En los primeros dos meses de 2019 se han producido

3.1 miles de barriles diarios, lo cual es preocupante, ya que representa solamente una quinta parte de lo producido el año anterior, 22.4% del volumen del año anterior.

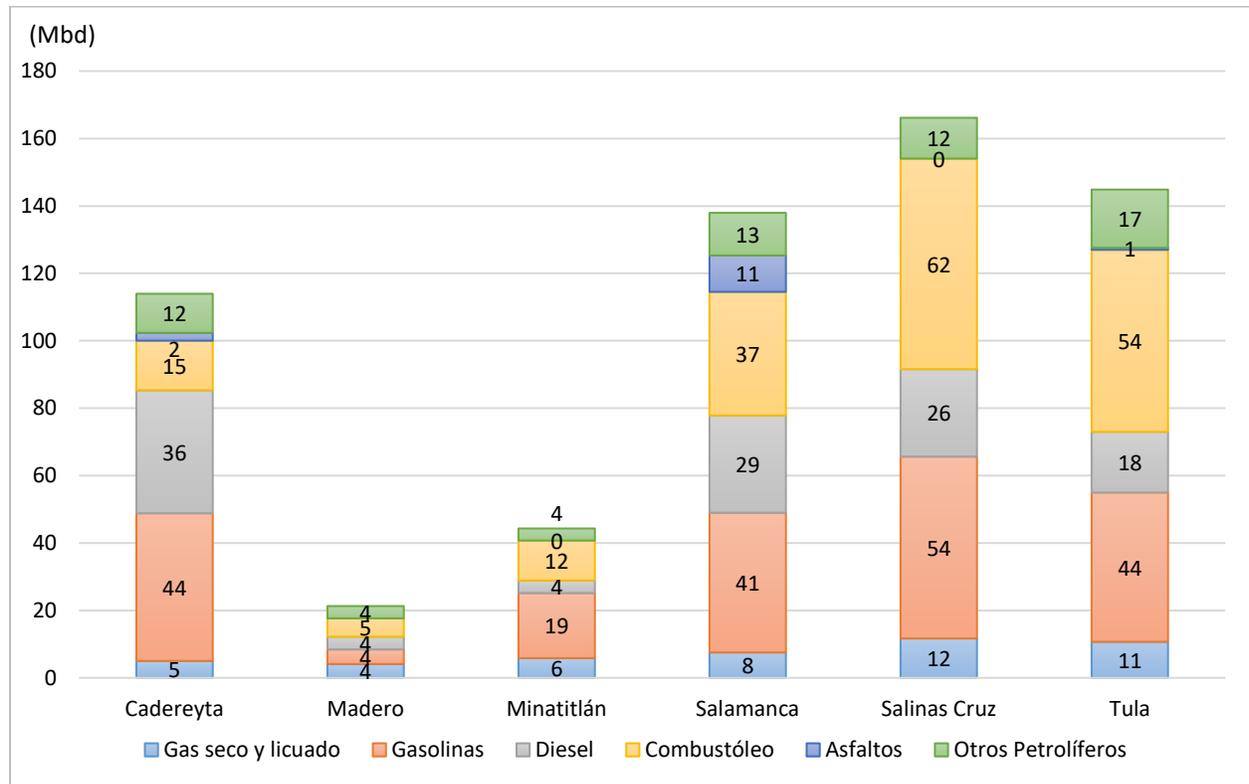


Figura 2.8 Producción de petrolíferos por refinería 2018.

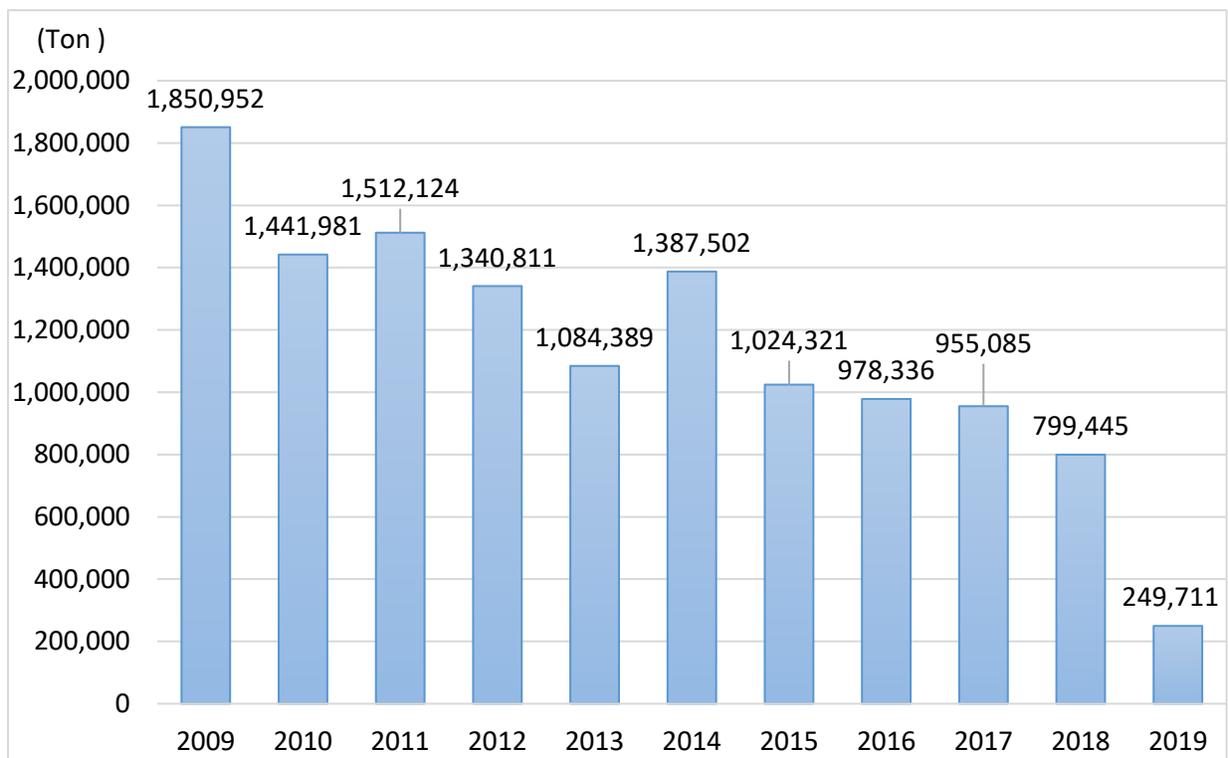
Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

En 2018 solamente 3 refinerías del SNR produjeron asfalto, siendo Salamanca la principal productora, con 11 Mbd, esto equivale a 78.6% del volumen total de asfalto procesado.

Esto quiere decir que la demanda nacional depende prácticamente de lo que se puede procesar en la refinería de Salamanca, lo cual es muy preocupante, ya que se debería producir en todas las refinerías del país asfalto, debido a la demanda que se tiene del sector caminero, para la construcción, mantenimiento y conservación de carreteras.

Por último, hablaremos sobre la producción de asfalto, pero en términos de toneladas y no de Mbd, ya que esto nos servirá para realizar comparativas en los capítulos siguientes, ya que es más fácil su manejo y su comprensión

La producción de asfalto ha tenido altibajos, sin embargo, ha venido a la baja al paso de los años, esto debido a una infinidad de factores que han complicado que las refinerías puedan procesar mayor cantidad de asfalto para cubrir las demandas del país.



*Datos actualizados a junio de 2019

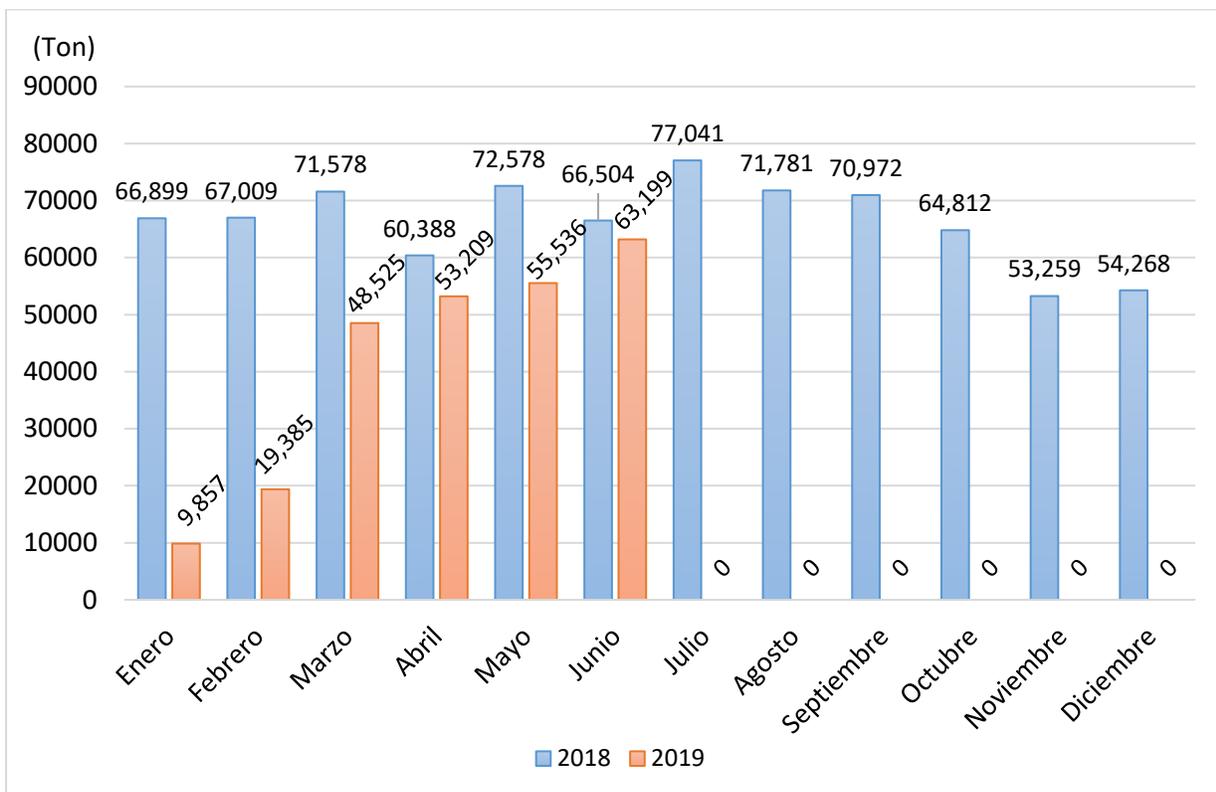
Figura 2.9 Producción anual de asfalto.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

En 2009 se obtuvo la mayor producción de asfalto, con 1 millón 850 mil 952 toneladas, después de esto se tuvo un decremento del 41.4% para 2013, exceptuando el 2011, en el cual la producción se incrementó. Para 2014 se tuvo un aumento del 28% con respecto a 2013, después de esto, la producción tuvo una caída en picada para 2015, la cual fue de 26.2%. De 2015 a 2018 siguió a la baja la producción, ya que en

este lapso de tiempo se tuvo un decremento de 7.3% promedio anual. Para 2019 se tomaron en cuenta los meses de enero a junio, los cuales dan un total de 249 mil 711 toneladas, lo cual equivale al 41.6% de lo estimado para este año, 600 mil toneladas.

Esto quiere decir que, si se cumple con la estimación de este año, en 11 años la producción se asfalto habrá caído **67.6%**, más de la mitad de lo que se produjo en 2009, una cifra que es bastante alarmante.



*Datos actualizados a junio de 2019

Figura 2.10 Producción mensual de asfalto 2018-2019.

Fuente: Petróleos Mexicanos, 2019

Ahora llevaremos a cabo un estudio sobre la gráfica mostrada, en la cual se presenta lo que se produjo en cada mes en los últimos dos años. En 2018 el mes en el que se obtuvo la mayor cantidad de asfalto fue Julio, con 77 mil 041 toneladas, mientras que el mes menos productivo fue noviembre, con 53 mil 259 toneladas. En el primer y

tercer trimestre se registraron las producciones más altas, mientras que el cuarto trimestre, fue el que tuvo los dos meses con la menor cantidad de asfalto. Con respecto al 2019, se puede observar que los primeros dos meses presentan un déficit bastante notorio en comparación con 2018, por ejemplo, en enero tan solo se produjo el 14.7%, para marzo la diferencia disminuyó sustancialmente, ya que la producción fue de 67.8% con respecto a 2018. El mes con las producciones más parejas fue junio, ya que se obtuvo el 95% de la producción de 2018, por último, el mes de mayo tuvo una diferencia similar a la de marzo, con un 76.5% en relación al año pasado.

Como podemos observar, el panorama en cuanto a producción de asfalto no es nada alentador, hemos ido a la baja, y esto pronostica una gran escases de asfalto para la construcción y conservación de carreteras, esto abre las puertas para que se implemente la importación de asfalto de otros países para lograr cubrir la demanda que requiere el sector carretero.

PEMEX debe replantear sus estrategias y tratar de dar solución a los paros no programados, ya que estos afectan mucho la productividad de las refinerías.

Capítulo 3. Clasificación del asfalto en Pavimentos.

Clasificación por penetración.

La primera clasificación de los asfaltos de la que se tiene información en México es la documentada en las Especificaciones de Caminos de la Dirección Nacional de Caminos, perteneciente a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, en el año de 1947, sin embargo, es una copia de la clasificación propuesta por el Instituto del Asfalto (Asphalt Institute).

Las especificaciones para los asfaltos clasificados de esta manera se basaban en pruebas empíricas y no eran adecuadas para presentar información real sobre el intervalo de temperaturas del pavimento, ni mucho menos simular las condiciones de carga de tránsito y condiciones ambientales a las que el asfalto estaría sujeto. Esta clasificación y sus requerimientos se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Requisitos de calidad para el asfalto 15-200.

Característica	Valor
Penetración a 25 °C	150 a 200
Pérdida de peso máximo	3%
Penetración del residuo a 25°C	75 a 100%
Solubilidad en S2 C	99%
Solubilidad en CI4 C	98.50%
Ductilidad a 25°C, mínima	35 cm

Fuente: Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011

Posteriormente, en el año de 1957 se propuso otra normativa, la cual también clasificaba al asfalto por penetración, que podemos interpretar como grado de dureza de un cemento asfáltico.

La normativa aplicable en este caso fueron las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas de 1957, las cuales hacen obligatorio el emplear las temperaturas indicadas para realizar la mezcla agregado pétreo-asfalto, siendo para los cementos asfálticos Núm. 3, Núm. 6, Núm. 7 y Núm.8 de 120°C a 160°C ya que en caso de tener menores temperaturas se complica el mezclado, en caso contrario, se tendrá un sobrecalentamiento en el asfalto y podría presentarse un envejecimiento prematuro. A continuación se desglosan los requisitos de esta clasificación en la tabla 3.2. (Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011)

Tabla 3.2 Requisitos de calidad para los Cementos Asfálticos producidos en México en 1957.

Características	Cemento asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100g, 5s, 25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C, mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, % mín.	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de película delgada, 50 cm ³ , 5h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1	0.8	0.8

Fuente: Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011

Clasificación por viscosidad.

Esta clasificación se empezó a utilizar en Estados Unidos por la ASTM desde 1992 y en México su aplicación comenzó en 1996 por parte de PEMEX, con la finalidad de garantizar de manera adecuada la calidad del cemento asfáltico. Consiste en tomar su viscosidad dinámica como parámetro principal, para realizar la identificación del

producto, pues se considera que explica mejor el manejo y aplicación del asfalto en obra que la penetración.

En México, el primer cemento asfáltico AC-20 se produjo en septiembre de 1995 en las refinerías de Ciudad Madero, Tamaulipas y Cadereyta, Nuevo León. En Junio de 1996 en la de Salina Cruz, Oaxaca, para Julio del mismo año se realizó el cambio de Cemento No.6 a AC-20 en Tula, Hidalgo y fue hasta septiembre de 1996 que se inició la producción de éste en Salamanca, Guanajuato. (Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011)

Como se mencionó en el capítulo anterior, en la actualidad solo 3 refinerías son las que producen cemento asfáltico AC-20, las demás se espera que en meses próximos puedan estar procesando asfalto.

Con base en la normativa SCT N-CMT-4-05-001/06 tenemos que según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la tabla 3.3, donde además señalan los usos más comunes de cada uno.

Tabla N° 3.3 Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C.

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P*)	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500±100)	En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la figura. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1000± 200)	En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la figura. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezclas en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zona 1 en la Figura.
AC-20	200 ± 40 (2000±400)	En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la figura. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura .
AC-30	300 ± 60 (3000±600)	En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la figura. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 3 y 4 en la Figura. En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación

*Poises.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-001/06

Cuando en el mercado no esté disponible el asfalto AC-30, el Residente de la obra podrá solicitar a la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, la autorización para sustituirlo por AC-20, haciendo los ajustes correspondientes al precio unitario del producto.

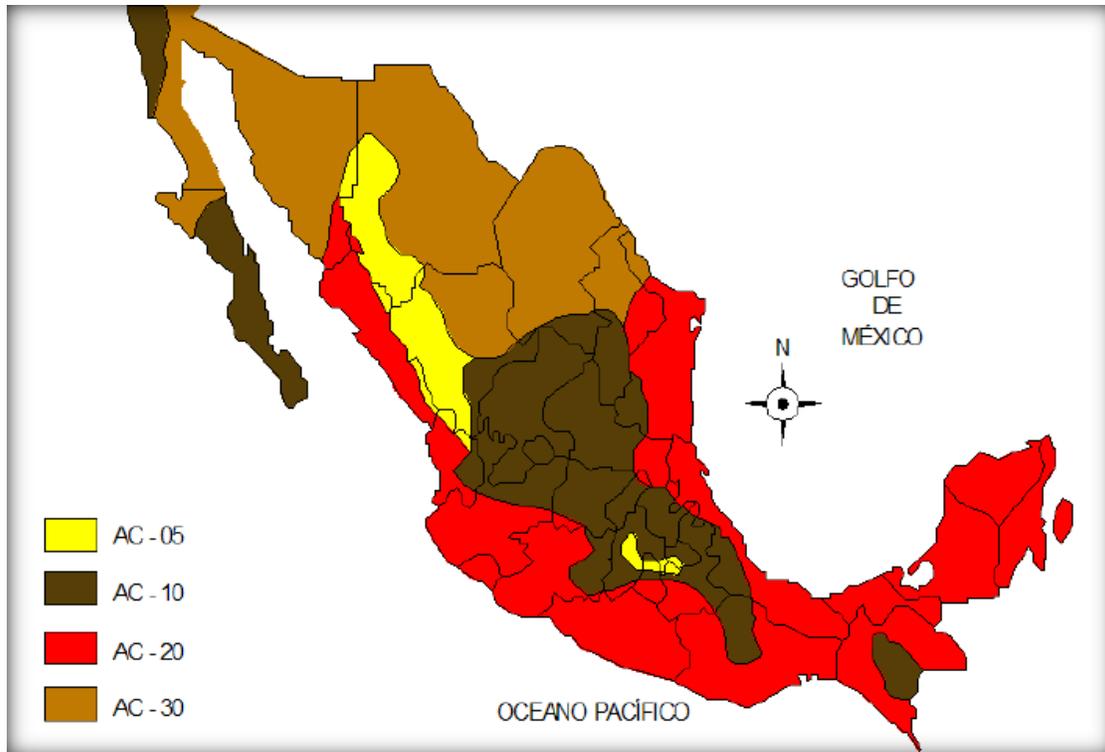


Figura N°3.1 Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C.

Fuente: Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011

Los cementos asfálticos deberán cumplir con los requisitos de calidad que se presentan a continuación:

Tabla N° 3.4 Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa•s (P*)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	300 ± 60 (3000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1mm ² /s= 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C, s, mínimo.	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100g, 5 s; 10-1 mm, mínimo.	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo.	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37-43	45-52	48-56	50-58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento, % máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa•s (P*), máximo	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1200 (12000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C, %, mínimo	46	50	54	58

*Poises.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-001/06

Clasificación por su grado de desempeño (PG).

La clasificación por grado de desempeño PG (Performance Grade) es un tema relativamente nuevo en México, pues comenzó a implementarse dentro de la normativa SCT en 2005, sin embargo, tomo mayor relevancia en 2008 cuando se dio a conocer el protocolo AMAAC para el diseño de mezclas asfálticas de alto desempeño, pues esta fue la clasificación implementada para los asfaltos.

Sin embargo, su origen data en el año 1987, cuando en Estados Unidos se desarrolló el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, SHRP (Strategic

Highway Research Program) para mejorar el desempeño, durabilidad y seguridad de las carreteras. Una de las principales razones por las cuales se desarrolló este programa fue el de obtener una clasificación de los asfaltos que los caracterice en función de las temperaturas, el nivel de tránsito y envejecimiento al que será sometido. (Tinoco Zamudio & Alarcón Ibarra, 2011)

De acuerdo con lo establecido en la normativa SCT, los cementos asfálticos grado PG son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra.

Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de 6 grados, generalmente las temperaturas máximas se consideran de 64 a 88 grados Celsius y las mínimas, de -40 a -22 grados Celsius.

Sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los 3 grados PG que se indica en la Figura 3.2, de acuerdo con el clima de la zona geográfica donde se le pretenda utilizar, pero considerando que, dentro de una misma zona, las condiciones del clima pueden variar, lo cual se debe tomar en cuenta para elegir el Grado PG adecuado.

Una vez seleccionado el grado PG según el clima, se debe realizar un ajuste de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 3.5.

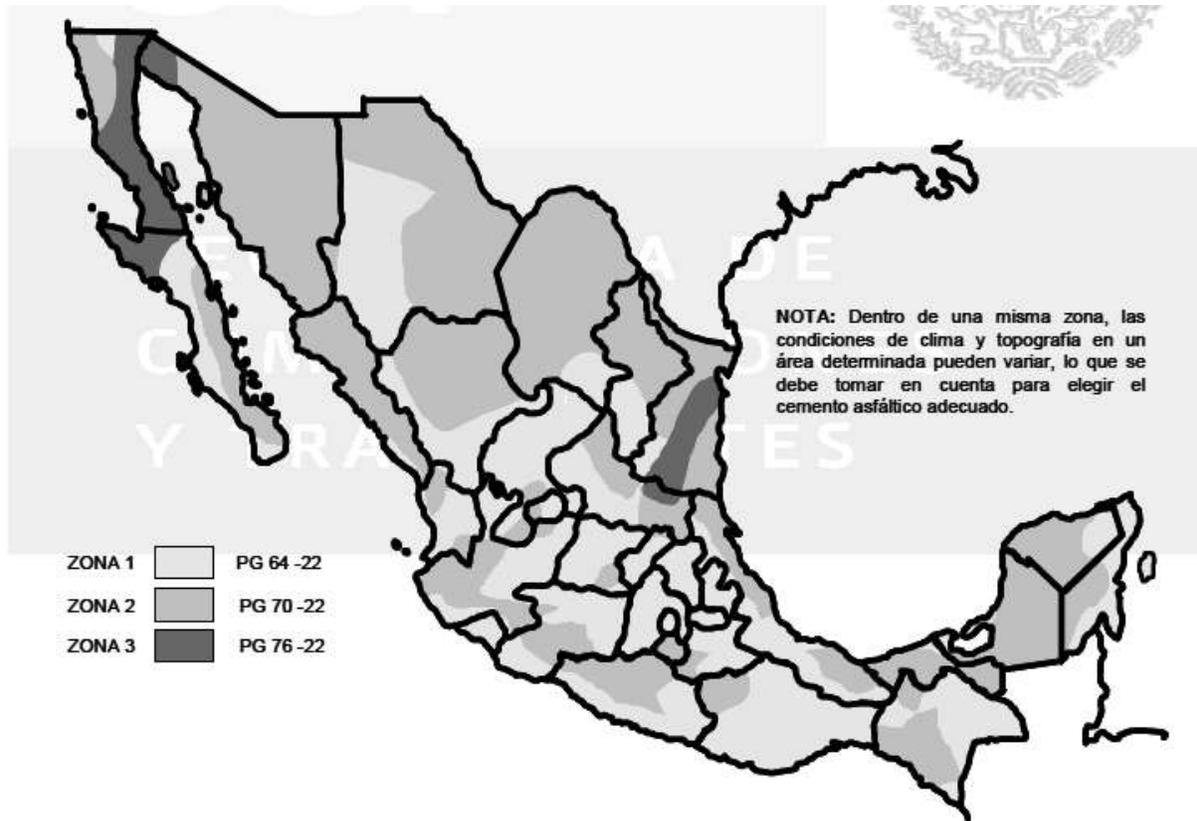


Figura 3.2 Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/08

Tabla 3.5 Ajuste del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación.

Intensidad del tránsito (ΣL_{10})*	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 Km/hr)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceos)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

* ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8.2 t (ESAL), esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/08

Una vez realizada la selección del asfalto a emplearse, se prosigue a verificar la calidad de éste con los requisitos indicados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Requisitos de calidad para cementos asfálticos Grado PG.

Grado de comportamiento	PG 64				PG 70				PG 76			PG 82			PG 88		
	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-22	-28	-34	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio de 7 días), °C	64				70				76			82			88		
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 22	>- 28	>- 34	>- 22	>- 28	>- 34	>- 22	>- 28	>- 34
Asfalto original																	
Punto de inflamación Cleveland ^[1] , °C, mín.	230																
Viscosidad dinámica a 135°C ^[1] Pa·s (P ^[2]). Máx.	3																
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) ^{[1][3]} , kPa, mín.	1																
•Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de prueba de película delgada y aire de horno [1]																	
Pérdida por calentamiento, %, Máx.	1																
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) ^{[1][3]} , kPa, mín.	2.2																
•Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura y aire																	
Temperatura de envejecimiento PAV; °C																	
•En climas normales	100				100				100			100			100		
•En climas desértico	100				110				110			110			110		
Índice de endurecimiento físico ^[4] , Máx.	Reportar																
Rigidización (G*/sen δ) ^[1] . kPa, Máx.	5000																
•Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	25	22	19	16	28	25	22	19	31	28	25	34	31	28	34	31	28
Rigidez de flexión S (t' ^[1] ^[6] , Mpa, Máx. (m=0.3 mín.)	300																
•Temperatura de prueba @60 s, °C	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-12	-18	-24	-12	-18	-24

[1] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C, de esta Norma.

[2] Poises

[3] Para control de calidad de producción de asfaltos normales sin modificar, cuando sean líquido newtoniano, la viscosidad dinámica del cemento asfáltico original puede sustituir al módulo de corte dinámico $G^*/\text{sen } \delta$, a las temperaturas de prueba.

[4] El endurecimiento físico del asfalto es desarrollado de acuerdo con el número de muestras de viga, conforme a la determinación de la rigidez de flexión, mediante el Reómetro de flexión de viga BBR, excepto que las condiciones de tiempo se extiendan a 24 h y el valor m sea reportado únicamente para propósitos de información.

[5] Si la rigidez de flexión es menor de 300 Mpa, no es necesario la prueba de tensión directa. Si la rigidez de flexión resulta entre 300 y 600 Mpa, se requiere que la deformación a la ruptura en la prueba de tensión directa cumpla también con lo indicado en esta Tabla. El valor m requerido será satisfactorio en ambos casos.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/08

Clasificación por grado PG Plus.

En los últimos años se ha dado a conocer que la metodología para clasificación de asfalto por grado PG presenta algunas debilidades, ya que no permite distinguir entre asfalto que, aunque cumplen con grado PG, no tendrán un buen desempeño en el pavimento en términos de su vida útil. Se pueden adicionar modificantes o polímeros a los asfaltos con la finalidad de ser endurecidos y que les permita pasar el grado PG, pero no por ello suelen mejorar sus propiedades para obtener un buen desempeño a lo largo de su vida útil y peor aún, pueden generar asfaltos frágiles propensos al agrietamiento prematuro.

En Estados Unidos, país donde se originó e implementó la clasificación por grado PG, se ha evolucionado a técnicas mejoradas como la PG Plus, con la intención de evitar el uso de asfaltos endurecidos. Esta técnica exige que, no solo se solicite un grado PG para el asfalto, sino que, adicionalmente se realice una prueba de recuperación elástica por ductilómetro. En la tabla 3.7 se muestran los parámetros de esta prueba adicional, con base en la normativa SCT. (Sandoval Navarro & Cremades Ibáñez, 2013)

Tabla 3.7 Prueba de recuperación elástica por ductilómetro.

Grado de desempeño (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Recuperación elástica en ductilómetro ^[1] , 25°C, % mín.	-		75					

[1] Determinado mediante el procedimiento de prueba correspondiente al método de ensayo A de la Norma ASTM D6084M-13.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/18

La tabla anterior se obtuvo de la nueva norma de la SCT para grado PG Jnr ya que en la de 2008 no se consideraba esta prueba y debido a que esta clasificación no fue tan utilizada en México la norma no sufrió cambios para este nuevo método de clasificación

Clasificación por grado PG Jnr.

Como ya se habló en el tema anterior, el grado PG tiene varias deficiencias que afectan directamente en su vida útil a largo tiempo, ya que pueden tener falla por agrietamiento, debido al excesivo endurecimiento que presentan, por la implementación de modificantes o aditivos.

Recientemente en los Estados Unidos y ahora en México, se ha incorporado un nuevo parámetro denominado “**Jnr**”, esto con la finalidad de reforzar el grado PG, ya que predice de mejor forma el comportamiento futuro del asfalto en el pavimento.

Con la finalidad de mejorar la exactitud para predecir el desempeño futuro del asfalto en un pavimento y que éste cumpla con la vida útil diseñada para el mismo, se implementó el uso del parámetro “**Jnr**”, (Non-recoverable Creep Compliance), que a su vez deriva de una prueba de MSCR (Multi Stress Creep and Recovery), la cual simula

de mejor manera las condiciones de trabajo a las que el asfalto será sometido en el pavimento, haciendo énfasis en la resistencia a la deformación permanente.

Adicionalmente se propone una clasificación por niveles de tráfico, así, un asfalto será seleccionado dependiendo de las condiciones del clima y del número de ejes equivalentes considerados en el proyecto.

J_{nr} es la deformación no recuperable (deformación permanente) generada al aplicar una unidad de esfuerzo. Este valor es calculado de la siguiente manera:

$$J_{nr} = \frac{\text{Deformación no recuperada}}{\text{Esfuerzo aplicado}}$$

“A menor J_{nr} , menor será la deformación permanente al aplicar una carga”

En la actualidad, la mayoría de los reómetros empleados para asfaltos pueden calcular “ J_{nr} ” de forma automática. La prueba MSCR (Creep Repetido Multi-esfuerzos) se lleva a cabo en la misma pastilla de asfalto RTFO con la que se determinó $G^*/\text{sen } \delta$, a la misma temperatura PG exigida por el proyecto.

El uso de la clasificación por grado PG, complementada con “ J_{nr} ”, ofrece información mucho más valiosa ya que permite evaluar las siguientes propiedades del asfalto:

- Deformaciones permanentes generadas por unidad de esfuerzo.
- Respuesta elástica.
- Dependencia del comportamiento a diferentes niveles de esfuerzo.
- Memoria elástica.
- Capacidad elástica real.
- Deformación total acumulada después de 20 ciclos.

Mediante este conjunto de propiedades, podemos seleccionar asfaltos óptimos para las condiciones climatológicas existentes en la zona del proyecto a desarrollar y del número de ejes equivalentes considerados. (Sandoval Navarro & Cremades Ibáñez, 2013)

La nueva norma de la SCT N-CMT-4-05-004/18 para la calidad de Cementos Asfálticos según su grado PG ya considera la implementación del parámetro J_{nr} , además ha sufrido modificaciones en relación a la determinación del grado PG en base a las temperaturas máximas y mínimas. A continuación, se presentará el procedimiento para la obtención del **grado PG J_{nr}** según la normativa y los cambios que ha sufrido en relación a la de 2008.

Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de 6 grados. Sin embargo, en la Norma, las temperaturas máximas se consideran entre 64 y 82 °C, y solo se considerarán temperaturas mínimas de -16 y -22 °C.

Anteriormente solo se consideraba para el ajuste del grado de desempeño seleccionado por el clima de la zona la intensidad del tránsito esperada en término del número de ejes equivalentes, ahora también se considera la velocidad de operación, como se considera en la tabla 3.8.

La determinación de las temperaturas máximas y mínimas en la norma del 2008 se realizaba con base en el mapa de regiones geográficas, ahora es más extensa y compleja, pues se toma en cuenta muchos otros aspectos, a continuación, se expone este procedimiento:

Primero se emplea la siguiente fórmula con la cual se calculan las temperaturas máximas esperadas en la carpeta o la capa de rodadura en los sitios donde inicia ($Tmáx_1$) y termina ($Tmáx_2$) del tramo por construir y se elige como temperatura máxima del tramo ($Tmáx$) la que resulte mayor y se aproximará al valor superior más próximo de los considerados en la tabla 3.9. Para los casos especiales, consultar la norma para mayor información.

$$Tmáx_i = 54.32 + 0.78T_{airM} - 0.0025Lat_i^2 - 15.14 \log(H + 25) + Z(9 + 0.61\sigma_{T_{airM}}^2)^{0.5}$$

Donde:

$Tmáx_i$ = Temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°C)

T_{airM} = Temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años de la zona (°C)

Lat_i = Latitud, en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°, con aproximación de 5 decimales)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2.055 para confiabilidad de 98%)

$\sigma_{T_{airM}}^2$ = Desviación estándar de la temperatura de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

Después se utiliza la siguiente fórmula, para calcular la temperatura mínima esperada en la carpeta o la capa de rodadura ($Tmín$) del tramo a construir, eligiendo entre -16 y -22 grados Celsius, en caso de resultar menor de -22 se requerirá un diseño especial.

$$T_{\min} = -1.56 + 0.72T_{airM} - 0.004Lat^2 + 6.26 \log(H + 25) - Z(4.4 + 0.52\sigma_{T_{airM}}^2)^{0.5}$$

Donde:

T_{\min} = Temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie, (°C)

T_{airM} = Promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos los últimos 20 años de la zona, (°C)

Lat = Latitud del tramo de diseño, (°)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2.055 para confiabilidad de 98%)

$\sigma_{T_{airM}}^2$ = Desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registrada al menos en los últimos 20 años en la zona, (° C)

Una vez seleccionado el grado PG del cemento asfáltico según el clima del sitio, se procede a realizar un ajuste en los requisitos de calidad, eligiendo el que corresponda de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.8, el cual será agregado al grado de desempeño (PG).

Tabla 3.8 Nivel de ajuste de los requisitos de calidad para el grado de desempeño (PG) de acuerdo con la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación.

Velocidad de operación Intensidad del tránsito (ΣL) ^[1] Km/h	Nivel de ajuste		
	$V > 70$	$20 \leq V \leq 70.$	$V < 20$
$\Sigma L < 10^6$	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
$10^6 \leq \Sigma L \leq 30 \times 10^6$	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto (V)
$\Sigma L > 30 \times 10^6$	Muy alto (V)	Muy alto (V)	Extremadamente alto (E)

[1] ΣL es el número de ejes equivalentes de 8.2 t acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño que en ningún caso será menor de 10 años, obtenido con el método del instituto de Ingeniería de la UNAM para la condición de daño superficial.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/18

Una vez seleccionado el grado PG y su nivel de ajuste, deberá cumplir con los requisitos de calidad indicados en la tabla 3.9, los cuales simulan las condiciones de envejecimiento que se espera tengan durante su vida útil en la obra.

Tabla 3.9 Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste.

Grado de desempeño (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Cemento asfáltico original								
Punto de inflamación Cleveland ^[2] , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional a 135°C ^[2] Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento ^[2] , °C, mín.	48		55					
Separación, diferencia anillo y esfera ^[2] , °C, máx.	-		2					
Recuperación elástica por torsión 25°C ^[2] , %, mín.	-		35					
Módulo reológico de corte dinámico ^[2] (G*/ sen δ) ^[2] , kPa, mín.	1							
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
Envejecimiento en horno RTFO ^[2]								
Pérdida por calentamiento ^[2] , %, máx.	1							
Recuperación elástica en ductilómetro ^[5] , 25°C, %, mín.	-		75					
Módulo reológico de corte dinámico (G*/ sen δ) ^[2] , kPa, mín.	2.2							
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
Tráfico Normal "S", Nivel de ajuste (MSCR) ^[3]	4							
Jnr a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[4] , kPa-1, máx.	4							
• Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
Respuesta elástica, RE a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[6] , %, mín.	-		25					
Tráfico Alto "H", Nivel de ajuste (MSCR) ^[3]	4							
Jnr a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[4] , kPa-1, máx.	4							
• Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
Respuesta elástica, RE a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[6] , %, mín.	-		25					
Tráfico Muy Alto "V", Nivel de ajuste (MSCR) ^[3]	1							
Jnr a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[4] , kPa-1, máx.	1							
• Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
Respuesta elástica, RE a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[6] , %, mín.	-		30					
Tráfico Extremadamente Alto "E", Nivel de ajuste (MSCR) ^[3]	0.5							
Jnr a 3.2 kPa en MSCR ^[2] ^[4] , kPa-1, máx.	0.5							
• Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	

Respuesta elástica, RE a 3.2 kPa en MSCR ^{[2][6]} , %, mín.	-	40							
Después de envejecimiento en horno a presión (PAV)									
Temperaturas de envejecimiento PAV [2], °C • En climas normales. • En climas desérticos.	100								
	100	110							
Rigidización (G*sen δ) ^[2] , kPa, máx. • Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	5000								
	28	25	31	28	34	31	37	34	
Rigidez de Flexión ^[2] S(t) ^{[1][5]} , Mpa, máx. (m= 0.3 mín.) • Temperatura de prueba, @ 60 s, °C	-6	-12	-6	-12	-6	-12	-6	-12	

[1] Determinado como se indica en el inciso D.1 de la norma.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C de la norma.

[3] Los niveles de ajuste son los indicados en la tabla 3.8.

[4] Jnr representa la fluencia relativa del cemento asfáltico y la prueba con que se determina que simula las condiciones de trabajo del cemento asfáltico durante la vida útil del pavimento.

[5] Determinado mediante el procedimiento de prueba correspondiente al método de ensayo A de la norma ASTM D6084M-13.

[6] La respuesta elástica es el porcentaje de deformación recuperada en cada ciclo de esfuerzo-deformación-recuperación y permite determinar el comportamiento elástico y la susceptibilidad a la deformación del cemento asfáltico.

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-004/18

El objetivo principal de la adición del parámetro Jnr en la normativa es ofrecerle al usuario una norma más amigable y menos confusa, ya que anteriormente era muy usual que dentro de las licitaciones se combinaran dos normas, la de los asfaltos grado PG de 2008 y la de los asfaltos modificados, esto con el fin de asegurar el buen desempeño del mismo y evitar el uso de asfaltos endurecidos. Ahora, se podrá utilizar esta norma para ambos casos, tanto para asfaltos normales como modificados, ya que está adaptada para ambas situaciones, con la certeza de que si se cumple con los requisitos que pide se tendrán asfaltos con un desempeño satisfactorio a lo largo de su vida útil.

Otro aspecto importante, es la selección del grado PG mediante la fórmula y no por el mapa de regionalización, esto permitirá tener mayor certeza a la hora de seleccionar el asfalto óptimo, ya que intervienen mayor cantidad de información relevante para la selección.

Capítulo 4. Asfaltos modificados.

Introducción.

Los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adhesión en diversas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, actualmente han aumentado considerablemente los volúmenes de tráfico en nuestros caminos, así como un importante exceso de cargas en la mayoría de los vehículos pesados, una incorrecta presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas cada vez más extremas, hacen que la implementación de asfaltos convencionales en la construcción de carreteras hoy en día no sea tan viable, ya que es muy complicado cumplir con los requisitos de durabilidad y funcionalidad de acuerdo a la normativa. (Maxil Coyopotl & Salinas Hernández, 2006)

La idea de modificar el asfalto con polímeros se remonta a 1960 en Italia, Francia y Alemania, donde se llevaron a cabo las primeras investigaciones y pruebas. En Estados Unidos también surgió la inquietud por esta época, donde se llevaron a cabo los primeros proyectos de construcción de caminos en 1960. En Italia se construyeron más de 1,000 km de carreteras con estos asfaltos en los años 60, colocando capas de rodadura de asfalto modificado con polímeros, ya fuera base seca o látex.

Posteriormente, se realizaron diversas investigaciones, encaminadas a determinar la incidencia sobre el producto final de diferentes aspectos, como el tipo de polímero, dosificación y métodos de producción. (Cremades Ibáñez, 1999)

De acuerdo con la SCT, los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son

sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a las deformaciones permanentes, la fatiga, reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

Antes de agregar cualquier polímero al asfalto, se debe tener en cuenta la compatibilidad entre ambos, esto quiere decir que, el polímero y el asfalto logren formar una sola fase homogénea y que esta sea estable en el tiempo. Hablar de una fase homogénea en el tiempo se entiende una fase observada a simple vista, ya que, si se observa el asfalto modificado al microscopio, se ve que no se trata de una fase homogénea sino de dos fases. (Cremades Ibáñez, 1999)

Polímeros.

El término proviene del griego Poli (muchos) y meros (parte), un polímero es una sustancia compuesta de muchas unidades repetidas conectadas por enlaces covalentes. La materia prima para la producción de un polímero, es un monómero, es decir una molécula con una unidad de repetición. La mayoría de los polímeros están basados en un esqueleto de carbono, por lo que son materiales orgánicos.

El número de unidades que se repiten en una molécula grande, se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros, los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite, y, por último, en los copolímeros, se repiten varias unidades distintas.

Actualmente, los cementos asfálticos son modificados con elastómeros, SBR (Estireno-Butadieno-Látex) y SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), o con plastómeros EVA (Acetato de Etil-Vinilo) principalmente. A continuación, se realizará una breve explicación de estos compuestos. (Avellán Cruz, 2007)

Acetato de etilo.

Líquido inflamable, incoloro con olor característico a frutas, su punto de ebullición es de 77°C. Es incompatible y reacciona con lo oxidantes, catalizadores para polímeros de vinil, peróxidos, ácidos fuertes, cloruro de aluminio. Puede polimerizarse si es contaminado o sujeto a calentamiento.



Figura 4.1 Acetato de Etilo.

Fuente: alibaba

Acetato de vinilo.

Líquido incoloro, con olor característico a frutas, inflamable. Es incompatible y reacciona con los oxidantes, ácidos, bases, sílica gel, alumina, azocompuestos, ozono. Su punto de ebullición es de 72°C y su punto de inflamación es de 493°C. Puede polimerizarse si es contaminado.



Figura 4.2 Acetato de vinilo.

Fuente: SoloStocks

Estireno.

Líquido incoloro a amarillo, aceitoso. Puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva. La sustancia se puede polimerizar debido al calentamiento suave bajo influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Reacciona fácilmente con oxidante fuertes, arriba de 31°C puede formar mezclas explosivas vapor/aire. Tiene un punto de ebullición de 145 °C, su densidad relativa es de 0.9 mg/ml, su temperatura de auto ignición es de 490°C.



Figura 4.3 Estireno

Fuente: mundo-surf

Butadieno.

Gas licuado comprimido, incoloro, su punto de ebullición es de -4°C , su punto de fusión es de -109°C . Extremadamente inflamable. La sustancia puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva, puede polimerizarse debido al calentamiento suave bajo influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Se descompone con explosión por calentamiento rápido a presión. Reacciona vigorosamente con oxidantes y otras muchas sustancias, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al cobre y sus aleaciones, formando compuestos sensibles al choque. (Avellán Cruz, 2007)

Con base en la normativa SCT N-CMT-4-05-002/06 los polímeros anteriormente se clasificaban de la siguiente manera:

Polímero Tipo I.

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas, tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como SBS o SB (Estireno-Butadieno), entre otras. SE utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos.

Polímero Tipo II.

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de SBR o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo

de mezclas asfálticas para pavimento en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Polímero Tipo III.

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo plastómeros, mediante configuración como EVA o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito.

Hule Molido de Neumáticos.

Es un modificador de asfaltos que mejoran la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

Esta forma de clasificar se había mantenido a lo largo de los últimos 12 años, sin embargo, el año pasado surgió la norma N-CMT-4-05-004/18 que ya contempla tanto los asfaltos convencionales como los modificados, y ya no es necesario clasificarlos en algún grupo de polímeros, ya que dependiendo de las características y exigencias del proyecto, se solicitará al proveedor de asfaltos, un asfalto adecuado a los requerimientos y que este cumpla con los requisitos de la norma, y el proveedor será el encargado de seleccionar el polímero más adecuado para cumplir con dichas solicitudes.

Especificaciones de la Norma N-CMT-4-05-002/06.

A continuación, se presentan las especificaciones y requerimientos que contemplaba la antigua norma, a pesar de que ya no es válida, es bueno exponerlos, para realizar una comparación con la norma vigente y observar los cambios más relevantes que se realizaron.

Los cementos asfálticos clasificados como AC-5 y AC-20, según su viscosidad dinámica a 60°C, que cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, una vez modificados cumplirán con los requisitos que se establecen en la Tabla 4.1. En el caso del asfalto modificado con hule molido, dependiendo del equipo para calentar los componentes de la mezcla, el hule molido cumplirá con una de las granulometrías que se indican en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 modificados.

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I ó II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
Del cemento asfáltico modificado					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; Pa , máximo	500	1000	1000	1000	-
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pas, máximo	2	4	3	4	-
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pas, máximo	-	-	-	-	7
Penetración:					
• A 25°C, 100g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	80	40	40	30	30
• A 4 °C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento, °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación diferencia anillo y esfera; °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C, %, mínimo	25	35	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50 g):					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1

Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	-	-	-	-	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C, %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	-	-	-	-	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	-	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen δ); kPa, mínimo	2,2	-	-	-	-
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 76°C, °(grados), máximo	-	75	70	75	-
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 64°C, °(grados), máximo	75	-	-	-	-

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-002/06

Tabla 4.2 Requisitos de granulometría para hule molido.

Malla		Tamaño nominal		
Abertura Mm	Designación	H20 % que pasa	H40 % que pasa	H80 % que pasa
2	N° 10	100	-	-
1.18	N° 16	75 - 100	-	-
0.85	N° 20	59 - 90	100	-
0.6	N° 30	25 - 60	75 - 100	100
0.425	N° 40	10 - 40	55 - 90	80 - 100
0.3	N° 50	0 - 20	25 - 60	60 - 100
0.15	N° 100	0 - 10	0 - 30	4 - 70
0.075	N° 200	0 - 5	0 - 10	0 - 20
Contenido mínimo de hule en el asfalto en masa; %		17	15	12

Fuente: Normativa SCT N-CMT-4-05-002/06

El primer gran cambio que se tiene es el cambio de clasificación de viscosidad al Grado PG Jnr, un gran paso, ya que hoy día esta clasificación garantiza un desempeño óptimo de las mezclas asfálticas, además cuida un aspecto muy importante en los asfaltos modificados, la rigidización del asfalto, el cual es un problema muy común en estos asfaltos, y que pueden provocar falla por agrietamiento.

En segundo lugar, tenemos la eliminación de la clasificación de los polímeros por tipos, en la norma actual no importa a que grupo pertenezcan los polímeros, ya que en esta nueva clasificación no importa el origen del asfalto o los componentes que este contenga.

Por último, la norma actual no plantea una granulometría propia para los asfaltos modificados con hule molido, como en la anterior, la cual pedía utilizar una de las tres granulometrías propuestas por la norma.

Capítulo 5. Panorama actual del consumo de asfalto en México.

La evolución de la infraestructura en un país, es uno de los temas más importantes para cada gobierno, ya que este representa el desarrollo y crecimiento económico, además es la pieza clave para incrementar la competitividad y para México no es la excepción, la inversión en infraestructura es un tema estratégico y prioritario.

Actualmente la Red Nacional de Caminos (RNC) cuenta con una longitud total de 582,175 km, de los cuales 171,346 son carreteras pavimentadas, 70,541 km vialidades urbanas e infraestructura de enlace y 340,287 km caminos no pavimentados, esto sin contar los elementos de transición, veredas, etc. (SCT, IMT, & INEGI, 2018)

En diciembre del 2018, el presidente de la República dio a conocer el “Programa Nacional de Infraestructura Carretera de la SCT 2018-2024”, en dicha presentación afirmó que la prioridad en su gobierno será el mantenimiento de caminos y carreteras, terminar obras inconclusas, como la autopista Oaxaca-Mitla-Istmo de Tehuantepec y la Oaxaca-Puerto Escondido, además de cumplir con el programa para la pavimentación de caminos a cabeceras municipales que inició en Oaxaca para dar cobertura a 300 ayuntamientos.

El Secretario de Comunicaciones y Transportes, y el Subsecretario de Infraestructura, detallaron los objetivos del programa y también expresaron que se tendrá una inversión de 78 mil millones de pesos durante 2019, en cuanto a conservación y construcción de caminos a cabeceras municipales se destinarán 2 mil 231 millones de pesos para este año.

Uno de los puntos a resaltar dentro del programa, es la parte de conservación de carreteras, la cual permitirá mejorar las condiciones de transitabilidad en los 50,435 km de la Red Carretera Federal Libre de Peaje, de los cuales más de 8,500 km están en mal estado, lo que incrementa costos en el transporte, afectando al usuario y esto se traduce en inseguridad y accidentes. La inversión de este año, para atender los kilómetros de carreteras Federales será histórica, la mayor de los últimos 24 años: **19 mil 627 millones de pesos**, lo que permitirá reducir sobrecostos de operación; será el doble de las inversiones de los últimos dos años que llevó a cabo la administración pasada. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2019) (Notimex, 2019)

Entre los principales objetivos de la estrategia nacional se tienen:

- Lograr el desarrollo regional y el ordenamiento territorial de la nación, con visión a largo plazo.
- Transitar hacia una red intermodal de comunicaciones y transportes integral, eficiente, sustentable, segura y moderna.
- Lograr un sistema de verdadero respaldo a la competitividad nacional y superar la posición de nuestro país en este rubro, que nos ubica en el lugar 46 de 140 países analizados en el orbe.
- Garantizar una infraestructura carretera que se vincule (sin cuellos de botella ni sitios de conflictos sin solución de continuidad) con las infraestructuras de puertos, vías férreas y aeropuertos y sin zonas de riesgo, y que incorpore el equipamiento conveniente para la conectividad de las telecomunicaciones modernas. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018)

Red Nacional de Caminos

Al inicio del capítulo se detalló cómo está distribuida la Red Nacional de Caminos actualmente, en este apartado se analizará la evolución a lo largo de los últimos 10 años y qué tanto ha crecido. Primeramente, vamos a definir de qué consta esta red, para posteriormente observar la evolución a lo largo de los años y realizar un análisis de la misma.

La Red Nacional de Caminos es el resultado de un esfuerzo interinstitucional de SCT-IMT-INEGI.

Es la representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país con alta precisión y escala de gran detalle. Integra el total de la red pavimentada y parte importante de los caminos no pavimentados de México, las vialidades de las localidades urbanas y rurales con las que se conectan. Vías fluviales y marítimas donde se transbordan vehículos y, adicionalmente, servicios de interconexión de transporte como aeropuertos, puertos, estaciones de ferrocarril, aduanas, puentes y túneles, sitios de esparcimiento y recreativos, sitios de interés para el turismo, entre otros.

La importancia y utilidad de esta plataforma, entre otras, son:

- Identificación de rutas óptimas y modelación logística de las empresas.
- Aportar elementos precisos para la construcción de indicadores de desempeño.
- Ser la base para incorporar información de otras dependencias, consolidándose como plataforma para la planeación y gestión del transporte en México.

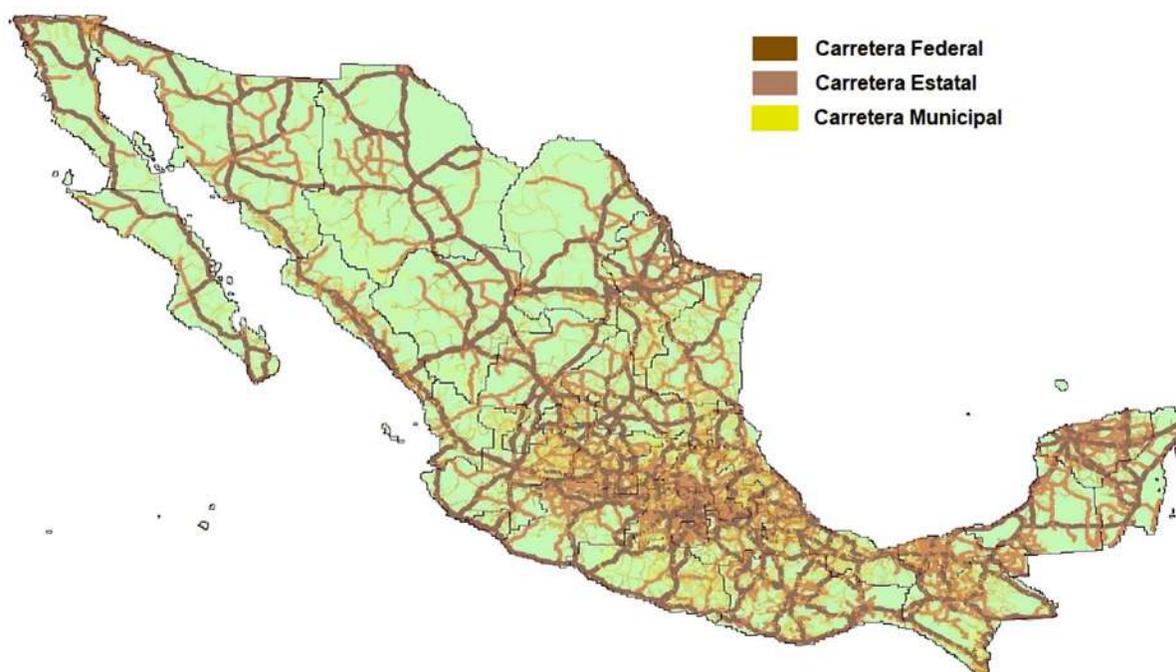


Figura 5.1 Red Nacional de Caminos 2018.

Fuente: SCT, IMT & INEGI, 2018

A continuación, se presenta una tabla comparativa con los datos entre los años 2009-2018 de la RNC.

Tabla 5.1 Evolución de la Red Nacional de Caminos 2018.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total de líneas de la red						619,714	633,257	775,167	984,311	1,329,682
Total de Kilómetros de la red	301,715	307,758	310,433	315,650	317,640	308,557	312,820	363,501	427,647	586,826
Carreteras*	136,157	138,404	141,361	146,221	148,329	158,246	161,365	165,474	169,079	171,347
Peaje-derecho de tránsito										
De cuota*	8,335	8,397	8,459	8,900	9,174	9,361	9,764	9,819	10,168	10,559
Libre*	40,509	40,575	40,643	40,752	40,812	148,885	151,601	155,655	158,910	160,788
Por administración										
Federal*	48,844	48,972	49,102	49,652	49,986	48,695	49,206	49,477	49,954	50,435
Estatad*	78,267	79,264	80,774	83,982	85,076	92,598	94,978	98,120	100,792	101,460
Municipal*	-	-	-	-	-	16,168	16,394	16,666	16,619	17,082
Particular y otros*	-	-	-	-	-	785	786	1,211	1,713	2,370
Caminos rurales	165,558	169,354	169,072	169,429	169,311	110,797	110,689	150,759	201,812	340,287
Vialidades urbanas	-	-	-	-	-	36,117	37,020	43,243	52,295	70,541
Elementos de transición (enlace, retornos, glorietas), rampas de frenado y otros.	-	-	-	-	-	3,397	3,746	4,026	4,461	4,651

*La suma de km simplifica aquellas líneas paralelas modeladas por existencia de camellón o barra separadora, dividiendo el total de km entre dos, para obtener un valor unificado en longitud.

Fuente: SCT, IMT, & INEGI, 2018

Como podemos observar, el crecimiento promedio anual ha sido de 8.3%, teniéndose un avance en el total de la RNC muy lento entre 2009 y 2015 de casi 2 mil km por año en promedio, incluso del 2013 al 2014 se tuvo un decremento en la red de 9 mil 83 km. El periodo comprendido entre 2015 y 2018 se incrementó en gran medida la red, ya que en este lapso de tiempo creció 274 mil km, en promedio 23.7% por año, el año en el cual la red tuvo el crecimiento más grande fue en 2018, **159 mil 179 km**.

Este incremento fue debido al aumento de los caminos rurales principalmente, ya que paso de 201 mil 812 a 340 mil 287 km; en cuanto al crecimiento de las carreteras pavimentadas, este ha sido del 2.6% promedio anual, siendo 2015 el año en el cual tuvo el mayor incremento, con 9 mil 917 km de nuevas carreteras, mientras que 2013 fue el año con menor cantidad de caminos pavimentados, con 2 mil 108 km.

Cabe mencionar que el decremento de la RNC que se presenta de 2014 y 2015 con respecto a años anteriores se puede deber a errores de capturas en los datos por parte de la secretaría o a otras situaciones desconocidas, ya que los datos de un documento a otro varían, pues los datos de 2009 a 2013 se obtuvieron de un documento diferente a los documentos consultados para la obtención de los datos de los años siguientes. Este es un problema muy común a la hora de recabar información de documentos emitidos por la SCT.

Una de las prioridades del gobierno anterior al cierre de su mandato fue el de la construcción y modernización de las carreteras alimentadoras y los caminos rurales, con una inversión aproximada de 10,127 millones de pesos. (Secretaría de Hacienda, 2018)

Inversión en Infraestructura Carretera

La infraestructura es fundamental para que un país tenga un desarrollo económico y social óptimo, además de proveer el fundamento de la actividad económica moderna. En México tenemos un considerable rezago en infraestructura, lo que afecta directamente la calidad de vida de la población y reducen la competitividad de su economía.

En la actualidad, en el país coexisten necesidades de conservación, modernización y expansión de la infraestructura que deben ser atendidas. La principal preocupación de este gobierno es la conservación y modernización de los caminos del país, además de la construcción de carreteras a las cabeceras municipales, a continuación, se presentan las inversiones que se han realizado en los últimos 10 años, a precios constantes.

Tabla 5.2 Inversión Pública y Privada en Infraestructura Carretera

Año	Público	Privado	Total
2009	70,090	10,336	80,426
2010	81,821	8,405	90,226
2011	82,052	6,681	88,733
2012	78,478	6,735	85,213
2013	75,331	11,106	86,437
2014	76,832	24,197	101,029
2015	65,119	20,012	85,131
2016	64,122	12,942	77,064
2017	42,040	7,197	49,236
2018	46,210	3,087	49,297
2019	74,856	N/D	N/D

*a precios constantes, base diciembre 2018=100

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, 2018

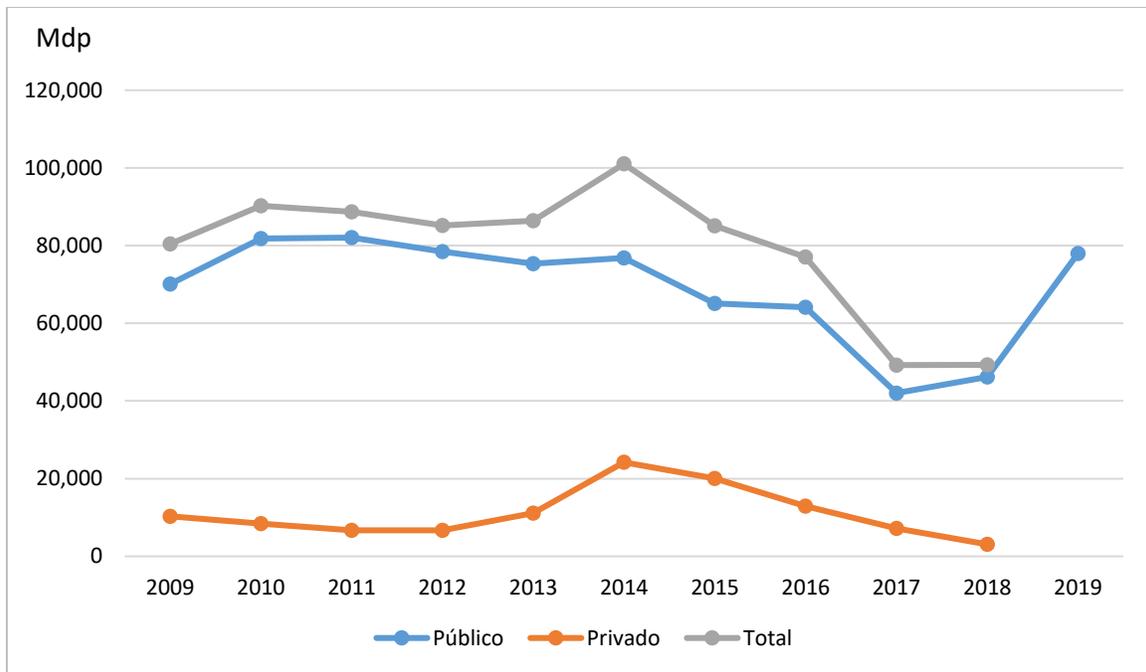


Figura 5.2 Inversión pública y privada en infraestructura carretera

*a precios constantes, base diciembre 2018=100

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, 2018

Como podemos observar en la gráfica, la inversión ha variado a lo largo de los años, siendo el 2014 como el año de mayor inversión, con un total de 101 mil 29 millones de pesos, mientras que el año con la inversión total más baja fue el 2017 con 49 mil 236 millones de pesos, menos de la mitad del presupuesto obtenido en el 2014, esto quiere decir que en 4 años se redujo 51.3%, un dato bastante crítico y alarmante.

En relación a la inversión pública, la mayor inversión registrada en los últimos 11 años fue en 2011 con 82 mil 821, después de esto comenzó a decrecer paulatinamente hasta 2017, en donde se tuvo un presupuesto de 42 mil 40 millones de pesos, ahora para 2019 se tienen 77 mil 930 millones de pesos, con lo cual se tuvo un crecimiento del presupuesto de 85.4% con respecto a 2017.

Con respecto a la inversión privada, al inicio tuvo un declive de 2009 a 2011, después de esto comenzó a incrementar su inversión hasta llegar a la mayor inversión

en 2014 en donde se invirtieron 24 mil 197 millones de pesos, en los años posteriores esta inversión bajo drásticamente hasta quedar en 3 mil 87 millones de pesos para 2018, quedando únicamente el 12.8% del presupuesto de 2014.

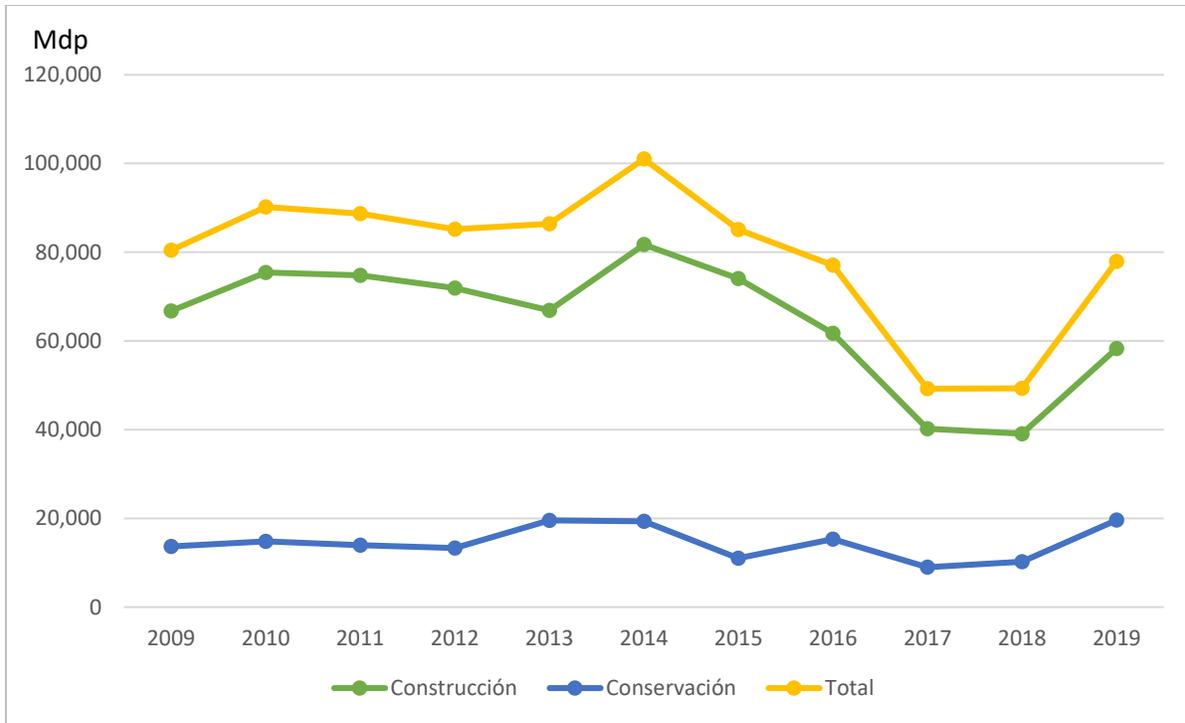
Ahora realizaremos un análisis de la inversión con respecto a lo destinado en construcción y conservación, para observar cuales han sido las prioridades en cada año para mejorar la red carretera, así como la evolución a lo largo del tiempo.

A continuación, se presentan una tabla con los precios constantes destinados a cada rubro y su respectiva gráfica.

Tabla 5.3 Inversión en construcción y conservación carretera.

Año	Construcción	Conservación	Total
2009	66,749	13,677	80,426
2010	75,413	14,813	90,226
2011	74,780	13,953	88,733
2012	71,907	13,306	85,213
2013	66,884	19,553	86,437
2014	81,712	19,317	101,029
2015	74,081	11,050	85,131
2016	61,719	15,345	77,064
2017	40,243	8,993	49,236
2018	39,085	10,212	49,297
2019	58,321	19,609	77,930

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, 2018.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018



Grafica 5.3 Inversión en construcción y conservación carretera.

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, 2018.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018

En la gráfica se observa que la mayor parte del presupuesto se destina a la construcción, ya que se ocupa mucho mayor recurso para construir un kilómetro de carretera que en la conservación del mismo kilómetro de camino.

Los primeros 4 años el presupuesto de conservación se mantuvo alrededor de los 14 mil millones de pesos, sin embargo para 2013 este creció considerablemente hasta los 19 mil 553 millones de pesos, una de las cifras más altas en los años estudiados, cifra similar al del año siguiente, pero para 2015 se tuvo una caída del presupuesto del 42.8% con 11 mil 50 millones de pesos, ahora para 2019 se destinaron 19 mil 609 millones de pesos, posicionándose como la inversión más grande de la que se tienen registros.

Se espera que con este recurso se le de mantenimiento a gran parte de la red carretera para que vuelvan a estar en condiciones óptimas de transitabilidad y sean más confortables los recorridos; en cuanto a la construcción de caminos, se espera que la Red Nacional de Caminos se extienda y comunique a más puntos estratégicos a lo largo del país, para que la economía del país siga teniendo un desarrollo económico favorable.

Consumo de asfalto.

En el capítulo 2 hablamos sobre la refinación de crudo que se tiene en el país, para la obtención de petrolíferos, en especial la del asfalto, ya que es el petrolífero que hemos estado estudiando y analizando a lo largo de este trabajo. En 2009 se produjeron 1 millón 850 mil 952 toneladas, una cifra que ha venido decayendo a lo largo de los años, y que para este año se estima en 600 mil toneladas lo que se llegue a producir.

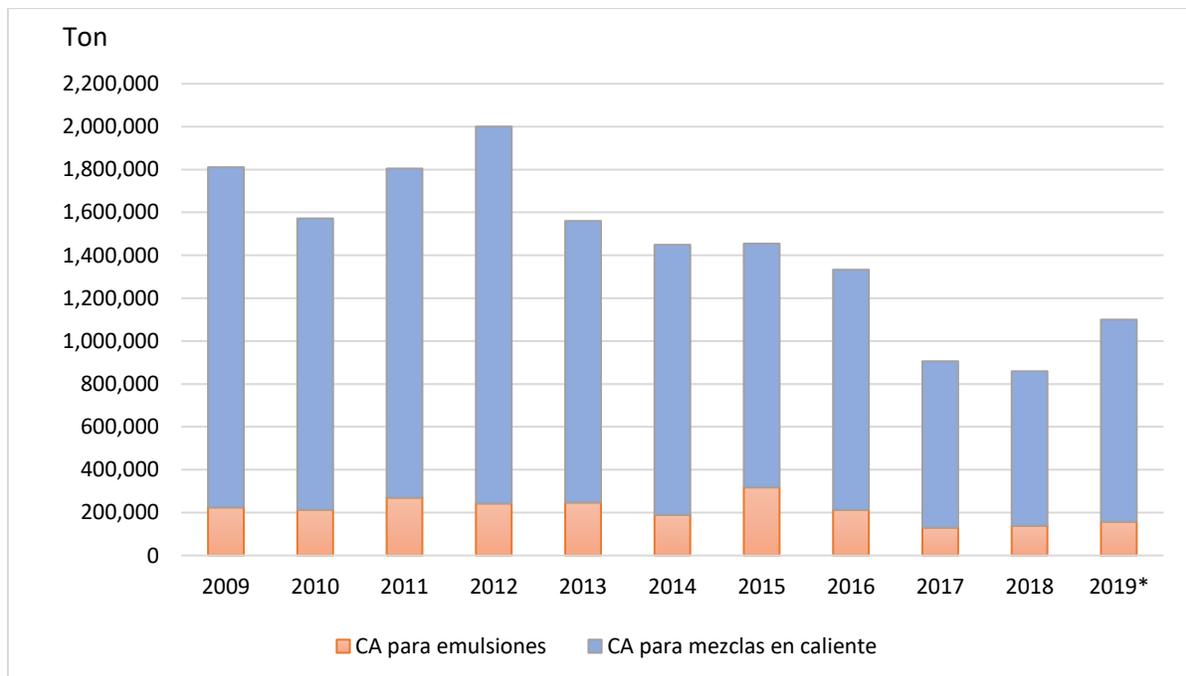
Ahora bien, el consumo de asfalto proviene principalmente de los trabajos realizados a cargo de la SCT, mediante las licitaciones que promueve con los particulares para la construcción y conservación de la RNC. A continuación, se muestran los datos proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los últimos 10 años, además de la proyección que se tiene para este año, con base al Programa Nacional de Infraestructura Carretera.

Tabla 5.4 Consumo de asfalto a cargo de la SCT

Año	CA para emulsiones	CA para mezclas en caliente	TOTAL
2009	224,133	1,586,471	1,810,604
2010	213,331	1,358,655	1,571,986
2011	269,735	1,534,807	1,804,543
2012	242,563	1,757,376	1,999,939
2013	247,186	1,312,942	1,560,127
2014	189,335	1,259,707	1,449,042
2015	317,551	1,136,896	1,454,447
2016	212,510	1,120,163	1,332,673
2017	129,789	775,904	905,693
2018	138,879	720,374	859,253
2019*	157,699	942,301	1,100,000

*Estimación para 2019

Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, 2019



*Estimación para 2019

Gráfica 5.4 Consumo de asfalto a cargo de la SCT

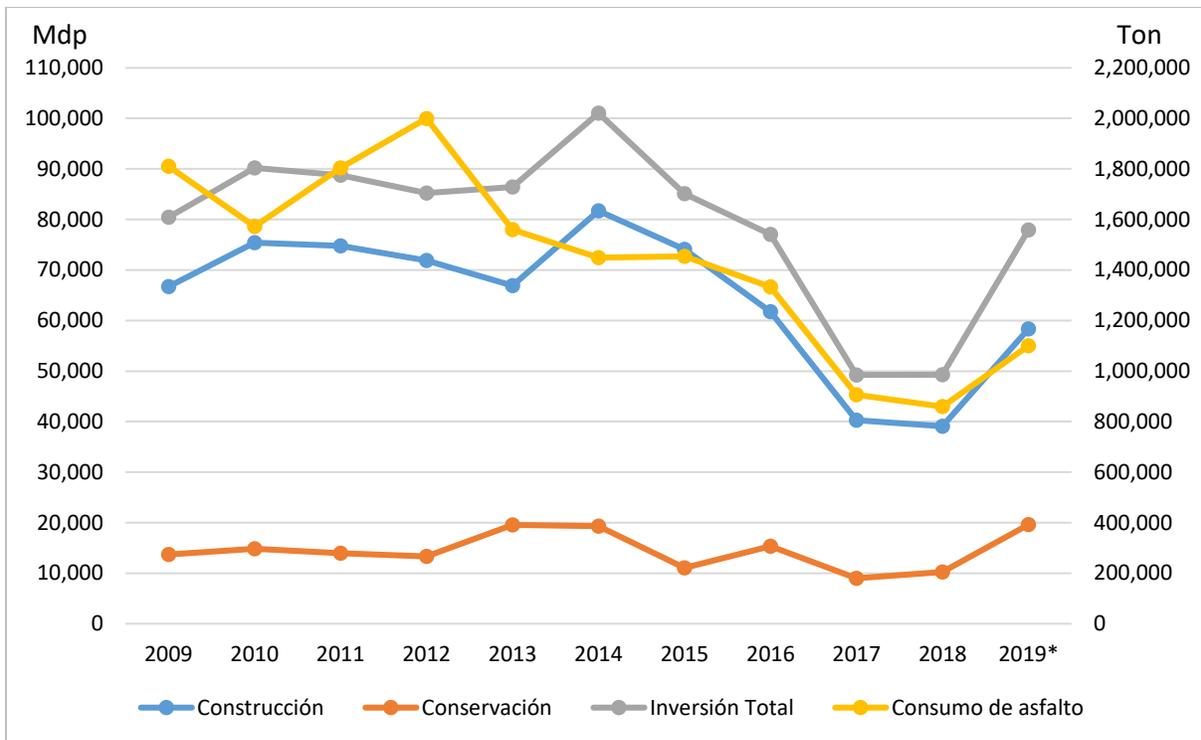
Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, 2019

Como podemos observar, en 2012 se obtuvo el mayor consumo de asfalto, con 1 millón 999 mil 939 toneladas, sin embargo, en los años posteriores este consumo fue decreciendo un 9.5% promedio anual, hasta registrar su mínimo histórico en 2018 con

859 mil 253 toneladas de asfalto consumido, esto quiere decir que se dejó de emplear un 57% con respecto a 2012, una cantidad bastante considerable para un país que está en pleno desarrollo. Para 2019 se tiene estimado emplear 1 millón 100 mil toneladas de asfalto, esto suena prometedor, ya que se está pretendiendo impulsar nuevamente el desarrollo carretero del país, el cual había ido decayendo al paso de los años, como se observa en las gráficas del subcapítulo anterior el cual habla sobre la inversión que se ha realizado.

El cemento asfáltico para mezclas en caliente es la categoría más empleada, ya que es el más utilizado a la hora de construir nuevos caminos o en la modernización de los mismos, mientras que el cemento asfáltico para emulsiones es utilizado en mucho menor medida, el cual se utiliza normalmente en la conservación de carreteras, para riegos de sello, o cualquiera de los tratamientos superficiales que se les dan a los caminos.

Ya que conocemos el consumo de asfalto por año y la inversión carretera para estos mismos años, realizaremos un análisis entre estas dos variables, ya que el consumo de asfalto depende mucho del presupuesto que se tenga para obras de infraestructura. A continuación, se graficarán las variables mencionadas, para los periodos de tiempo que se han venido manejando.



*Estimación para 2019

Figura 5.5 Inversión carretera y consumo de asfalto por parte de SCT.

Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, 2019
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013, 2018.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018

En un principio se suponía que se encontraría una correlación entre ambas variables, sin embargo esto no sucedió, ya que al inicio se tuvo un aumento en la inversión, tanto en construcción como en conservación, sin embargo, el consumo de asfalto presentó un decremento casi inversamente proporcional, los dos años siguientes el consumo creció hasta llegar al máximo registrado en 2012, sin embargo la inversión disminuyó en estos dos años, a partir de este año, hasta 2016 se tuvo una tendencia, cuando la cantidad de inversión en conservación aumentaba, el consumo de asfalto disminuía, y por el contrario, cuando el consumo aumentaba, la inversión en conservación disminuía, y por último, de 2017 a 2019 predominó la tendencia de que al reducirse el presupuesto carretero, en ambos rubros, el consumo también decreció teniendo líneas muy similares, y para este año que incrementó el presupuesto

considerablemente, el consumo de asfalto de igual manera de disparó, esto a razón de las estimaciones que ha realizado la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT.

Importación de asfalto.

Como se planteó al inicio del trabajo y como lo hemos venido desarrollando, en México tenemos estadísticas sobre la producción de asfalto por parte de PEMEX, el consumo que realiza la SCT el cual es empleado en la construcción y conservación de carreteras, así como la inversión tanto pública como privada, que nos ha permitido llevar a cabo los proyectos de infraestructura carretera en el país.

Sin embargo, por años se ha estado omitiendo un dato que es igual de relevante al igual que los anteriores, se trata de la cantidad de asfalto importado a nuestro país.

Pero, ¿Por qué es importante tener conocimiento del asfalto que se importa?, En los últimos 10 años PEMEX ha tenido una serie de problemas que le han impedido incrementar, incluso mantener la refinación de petrolíferos, entre ellos el asfalto, y ha venido a la baja al paso de los años, lo cual es muy preocupante para la industria carretera, ya que como lo mencionamos al inicio del capítulo 2, es el único productor de asfalto que existe en el país, es el encargado de proveer a las plantas asfalteras de esta materia prima. Esto ha orillado a las empresas asfalteras a importar asfalto, ya que PEMEX ha quedado incapacitado para abastecer la gran demanda que se tiene a lo largo del país.

A finales de 2018 e inicios del 2019 se presentó una escases de asfalto, debido a los cierres constantes en los ductos de PEMEX por el combate al robo de hidrocarburos, esto provocó que se atrasaran todos los trabajos de infraestructura carretera, incluso

algunos se detuvieron ya que los pedidos realizados a PEMEX se retrasaron hasta 1 mes debido a la alta demanda que se tenía.

A continuación, se describe la metodología que se utilizó para realizar la estimación de asfalto importado:

- 1) Se tomaron como base los datos sobre el consumo de asfalto por parte de la SCT, en toneladas, y se multiplicaron por 1.35, pues se estima que el consumo de asfalto por parte de las dependencias estatales, municipales y por el sector privado dedicadas al rubro de los caminos equivale al 35% del total consumido por parte de SCT, esta estimación se toma de esta manera porque es muy complicado y llevaría mucho tiempo obtener los datos de todas las instituciones por estado, dicha estimación se realiza con base en recomendaciones de la Asociación Mexicana del Asfalto A.C..
- 2) Se obtienen los datos de la producción de asfalto por parte de PEMEX, en toneladas.
- 3) Se obtiene la diferencia entre lo obtenido en el paso 1, menos lo obtenido en el paso 2, lo cual equivale a la estimación del asfalto importado.

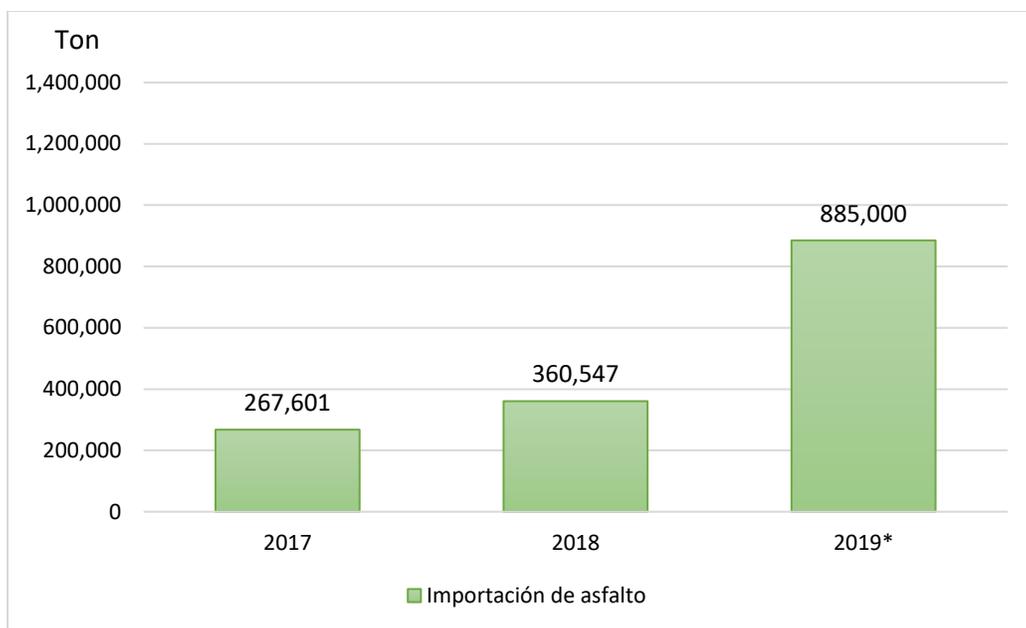
A continuación, se muestran los resultados obtenidos, así como la gráfica de los mismos:

Tabla 5.5 Importación de asfalto

Año	Ton
2017	267,601
2018	360,547
2019*	885,000

*Estimación para 2019

Fuente: Creación propia, 2019



*Estimación para 2019

Figura 5.6 Importación de asfalto.

Fuente: Creación propia, 2019

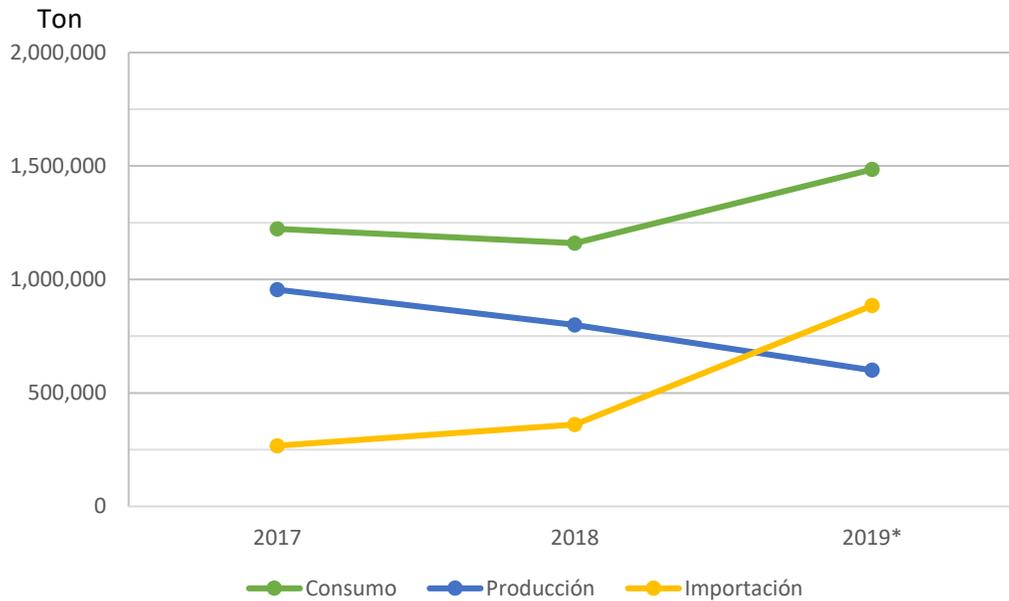
A continuación, se muestra una gráfica en la cual podemos visualizar mejor la importancia que ha tenido la importación de asfalto para poder cubrir la demanda del país.

Tabla 5.6 Comparativa de la producción e importación de asfalto en México.

Año	Consumo	Producción	Importación
2017	1,222,686	955,085	267,601
2018	1,159,992	799,445	360,547
2019*	1,485,000	600,000	885,000

*Estimación para 2019

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2019



*Estimación para 2019

Figura 5.7 Comparativa de la producción e importación de asfalto en México.

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2019

En 2017 la importación era muy baja con tan solo el 21.9% del consumo total, a pesar de que la producción había venido disminuyendo, como lo analizamos en la parte de producción, esto no afectó de manera considerable al compararlo con la importación. Pero al avanzar los años estas cifras fueron invirtiendo sus papeles, al grado de que para 2019 el panorama es completamente diferente, esto debido a muchos factores como por ejemplo todos los reajustes administrativo y estratégicos que está sufriendo PEMEX desde diciembre del año pasado, los paros no programados en las refinerías durante los dos primeros meses de 2019 haciendo que algunas refinerías dejaran de producir asfalto, los equipos obsoletos con los cuales se lleva la refinación de crudo pesado, entre otros.

Esto ha provocado que las estimaciones más positivas por parte de PEMEX se sitúen en las 600 mil toneladas de asfalto, por otro lado, se estima que la demanda de este año será del orden del millón 485 mil toneladas, con lo que concluye que la importación de asfalto para 2019 será de 885 mil toneladas, **1.48 veces más que el asfalto que se va a producir.**

Conclusiones.

La producción y proceso de crudo por parte de PEMEX ha venido a la baja en los últimos años, esto debido a los problemas que se han tenido, tanto de planeación como a los ocasionados por los fenómenos naturales, lo cual ha repercutido directamente en la producción de asfalto, ya que de 2009 a 2018 la producción bajó un 56.8%.

La nueva normativa de la SCT para asfaltos por grado PG Jnr es una gran oportunidad para mejorar la calidad de los pavimentos flexibles en México, darles una mayor vida útil, además de darle seguridad y confort al usuario,

Se debe invertir más en infraestructura carretera, ya que en los últimos años ha venido a la baja, a excepción del año en curso, ya que el desarrollo carretero es pieza fundamental para el crecimiento económico de México.

La demanda de asfalto en los últimos años ha superado la producción que se tiene en el país, por lo cual se ha tenido que recurrir a la importación de asfalto, para este año se tiene estimado importar 1.48 veces la producción interna de asfalto, una cantidad histórica.

El importar altas cantidades de asfalto puede generar un problema muy grande, ya que si no se tiene el debido control de calidad para el asfalto que ingrese al país, no sabremos al final qué tipo de asfalto se nos estará entregando en obra, lo cual puede repercutir directamente en la calidad de nuestros pavimentos.

PEMEX debe replantear sus estrategias y metas, para poder solventar las demandas de asfalto como lo hacía en el pasado, ya que de lo contrario esto generará que dependamos de otros países para construir nuestra infraestructura carretera.

Bibliografía

Asphalt Institute. (2007). *The Asphalt Handbook*. Lexington, Kentucky.

Avellán Cruz, M. D. (2007). *Asfaltos Modificados con Polímeros*. Guatemala.

Borja, R. (18 de Marzo de 2008). *La Jornada*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/2008/03/19/nota12.html>

Cremades Ibáñez, I. (1999). Asfaltos Modificados. *Asfaltos Modificados*, (pág. 15). Cancún.

García Berfon, L. V. (s.f.). Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4762/5/ANEXO%205.pdf>

indiamart. (s.f.). *indiamart*. Obtenido de <https://www.indiamart.com/proddetail/bitumen-chemical-10492732630.html>

Industria petrolera. (15 de Julio de 2010). *Industria petrolera*. Obtenido de <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/refinerias/>

J. Hernandez, G. (s.f.). Obtenido de gustato: <http://gustato.com/eindex.html>

Maxil Coyopotl, R., & Salinas Hernández, M. A. (2006). *Ventajas y Desventajas del Uso de Polimeros en el Asfalto*. Cholula, Puebla.

Mejia Cañas, C. A. (Julio de 2013). *Planning*. Obtenido de El concepto de la capacidad instalada: http://www.planning.com.co/bd/valor_agregado/Julio2013.pdf

Meléndez Hevia, F. (Mayo de 2011). *Oil-Mail*. Obtenido de <http://oil-mail.blogspot.com/2011/05/usos-primitivos-del-petroleo.html>

Notimex. (24 de enero de 2019). *EXPANSIÓN*. Obtenido de <https://expansion.mx/nacional/2019/01/24/mexico-invertira-unos-76-000-mdp-en-infraestructura-carretera>

Petróleos Mexicanos. (6 de Septiembre de 2018). *PEMEX*. Obtenido de Transformación Industrial; Instalaciones: <https://www.pemex.com/nuestro-negocio/tri/Paginas/instalaciones.aspx>

Petróleos Mexicanos. (30 de Enero de 2019). *PEMEX*. Obtenido de Logística: <https://www.pemex.com/nuestro-negocio/logistica/Paginas/Default2.aspx>

Petróleos Mexicanos. (2019). *PEMEX*. Obtenido de Base de Datos Institucional: <http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=temas>

Sandoval Navarro, I., & Cremades Ibáñez, I. (2013). Evolución del Grado PG en la Caracterización de Asfaltos.

SCT, IMT, & INEGI. (2018). *Red Nacional de Caminos*. Ciudad de México.

Seaman, R. (s.f.). Obtenido de The exotic adventures of Richard Seaman: <http://www.richard-seaman.com/Travel/TrinidadAndTobago/Trinidad/PitchLake>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2013). *Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes*. Ciudad de México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (22 de Diciembre de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024:

<https://www.gob.mx/sct/articulos/programa-nacional-de-infraestructura-carretera-2018-2024-185945?idiom=es>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes*. Ciudad de México.

Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2018). *Programa de Reconstrucción y Conservación de Carreteras del Programa Nacional de Conservación de Carreteras incluyendo los Proyectos de Asociación Público Privadas*. Ciudad de México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (02 de Enero de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de Inversión histórica. Programa Nacional de Infraestructura Carretera: <https://www.gob.mx/sct/articulos/inversion-historica-programa-nacional-de-infraestructura-carretera>

Secretaría de Energía. (6 de Julio de 2015). *Secretaría de Energía Blog*. Obtenido de Refinación: <https://www.gob.mx/sener/articulos/conoce-sobre-el-proceso-de-refinacion-del-petroleo>

Secretaría de Energía. (Julio de 2019). *Sitio de Información Energética*. Obtenido de Balance Nacional de Petrolíferos: <http://sie.energia.gob.mx/movil.do?action=applyOptions>

Secretaría de Hacienda. (2018). *Secretaría de Hacienda*. Obtenido de Presupuesto de Egresos de la Federación 2018: https://www.pef.hacienda.gob.mx/work/models/PEF2018/docs/09/r09_epr.pdf

SocialHizo. (s.f.). *SocialHizo*. Obtenido de <https://www.socialhizo.com/historia/edad-antigua/momificacion>

SoloStocks. (15 de Febrero de 2018). *SoloStocks*. Obtenido de <https://www.solostocks.com.ar/venta-productos/termoplasticos-materiales-plasticos/eva-etileno-vinil-acetato/etileno-acetato-de-vinilo-eva-de-resina-1552749>

Tinoco Zamudio, M., & Alarcón Ibarra, J. (2011). *Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México*. Ciudad de México: Creatividad y Diseño.

Wikivia. (s.f.). *Wikivia*. Obtenido de http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Historia_de_las_carreteras_esp%C3%B1olas_en_el_siglo_XX#1900._La_moda_del_macad.C3.A1n