



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITETURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
EN ICA.**

PRESENTADO POR:

BACH. ARONÍ GELDRES EDGAR ENRIQUE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ICA - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y familiares quienes a diario me guiaron y estuvieron conmigo dándome fuerzas, y no me dejaron desfallecer para así poder llevar a cabo la culminación de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar un agradecimiento especial a mis maestros de la universidad quienes con un interés y una entrega sobrepasaron mis expectativas que como graduando deposite en ellos.

RECONOCIMIENTO

La realización de esta investigación de tesis profesional fue posible, al apoyo de la Universidad Alas Peruanas.

INDICE

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	xi
ABSTRAC	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	01
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	02
1.2.1.	DELIMITACIÓN ESPACIAL	02
1.2.2.	DELIMITACIÓN TEMPORAL	02
1.3.	PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	02
1.3.1.	PROBLEMA GENERAL	02
1.3.2.	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	02
1.4.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	03
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL	03
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	03
1.5.	HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	04
1.5.1.	HIPÓTESIS GENERAL	04
1.5.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	04
1.5.3.	VARIABLES	04
1.6	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	05
1.6.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	05
a)	TIPO DE INVESTIGACIÓN	05
b)	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	06
1.6.2	MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	06
a)	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	06
b)	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	06
1.6.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	06
a)	POBLACIÓN	06
b)	MUESTRA	06

1.6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	07
a) TÉCNICAS	07
b) INSTRUMENTOS	07
1.6.5. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	07
a) JUSTIFICACIÓN	07
b) IMPORTANCIA	08
c) LIMITACIONES	08

**CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	09
2.2. BASES TEÓRICAS	14
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	62

**CAPÍTULO III:
PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

3.1. ANÁLISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS	75
3.2. CONCLUSIONES	106
3.3. RECOMENDACIONES	107
3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN	109
3.5. ANEXOS	111
3.5.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	112
3.5.2 INSTRUMENTOS (ILUSTRACIONES FOTOGRAFICAS)	114
3.5.2 ENCUESTA – CUESTIONARIO	121

Índice de Cuadros

	PAG
Cuadro 01.....	46
Cuadro 02.....	47
Cuadro 03.....	47
Cuadro 04.....	48
Cuadro 05.....	48
Cuadro 06.....	49
Cuadro 07.....	49
Cuadro 08.....	50
Cuadro 09.....	50
Cuadro 10.....	51

Índice de Figuras

	PAG
Figuras 01.....	14
Figuras 02.....	15
Figuras 03.....	18
Figuras 04.....	18
Figuras 05.....	22
Figuras 06.....	33
Figuras 07.....	35
Figuras 08.....	41
Figuras 09.....	52
Figuras 10.....	57
Figuras 11.....	60

Índice de Gráficos

Gráficos 01.....	75
Gráficos 02.....	76
Gráficos 03.....	77
Gráficos 04.....	78
Gráficos 05.....	79
Gráficos 06.....	80
Gráficos 07.....	81
Gráficos 08.....	82
Gráficos 09.....	83
Gráficos 10.....	84
Gráficos 11.....	85
Gráficos 12.....	86
Gráficos 13.....	87
Gráficos 14.....	88
Gráficos 15.....	89
Gráficos 16.....	90
Gráficos 17.....	91
Gráficos 18.....	93
Gráficos 19.....	94
Gráficos 20.....	95

Índice de Tablas

Tabla 01.....	75
Tabla 02.....	76
Tabla 03.....	77
Tabla 04.....	78
Tabla 05.....	79
Tabla 06.....	80
Tabla 07.....	81
Tabla 08.....	82
Tabla 09.....	83
Tabla 10.....	84
Tabla 11.....	85
Tabla 12.....	86
Tabla 13.....	87
Tabla 14.....	88
Tabla 15.....	89
Tabla 16.....	90
Tabla 17.....	91
Tabla 18.....	93
Tabla 19.....	94
Tabla 20.....	95

Índice de Fotos

Foto 01.....	45
Foto 02.....	46
Foto 03.....	64
Foto 04.....	65
Foto 05.....	66
Foto 06.....	66
Foto 07.....	67
Foto 08.....	68
Foto 09.....	69
Foto 10.....	69
Foto 11.....	70
Foto 12.....	71

Foto 13.....	71
Foto 14.....	72
Foto 15.....	72
Foto 16.....	73
Foto 17.....	74
Foto 18.....	114
Foto 19.....	115
Foto 20.....	115
Foto 21.....	116
Foto 22.....	116
Foto 23.....	117
Foto 24.....	117
Foto 25.....	118
Foto 26.....	118
Foto 27.....	119
Foto 28.....	119
Foto 29.....	120

RESUMEN

La investigación titulada: La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en Ica.

El estudio presenta el concepto de la deformación permanente y las diferentes formas que se presenta en las capas del pavimento e inclusive a nivel de subrasante, originando tanto fallas funcionales como estructurales; profundizando además sobre el conocimiento del cemento asfáltico y básicamente sobre su comportamiento reológico que nos permita utilizarlo mejor como parte constituyente de las mezclas asfálticas.

Asimismo se considera la necesidad de la elección, del diseño de investigación para lo cual se ha considerado un estudio de tipo aplicado, con un nivel de profundidad correlacional y explicativo, aplicando el método descriptivo para las observaciones realizadas; con diseño no experimental y con una muestra de 25 Ingenieros de la Universidad Alas Peruanas a quienes se les aplicó, el instrumento del cuestionario que consta de 20 items, para medir sus opiniones con respecto a la variable de estudio.

Finalmente, con un coeficiente de correlación de Spearman cuyo valor fue 0,759 se determinó que las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan moderadamente la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

Palabras claves:

Deformación, Asfaltado, pavimentos.

ABSTRAC

Entitled research: permanent deformation in asphalt mixtures and the consequent deterioration of the pavements in Ica.

The study presents the concept of permanent deformation and the different forms it comes in layers of the pavement and even at the level of sub-grade, originating both functional failures like structural; deepening also on the knowledge of the cement asphalt and basically about your behavior rheological that us allow use it best as part constituent of the mixtures asphalt.

Is also considered the need for the choice of research design for which it has considered an applied study, with a level of depth correlational and explanatory, by applying the descriptive method for the observations made; with non-experimental design and a sample of 25 engineers the University Alas Peruanas who are les aplico instrument of the questionnaire, which consists of 20 items to measure their opinions with respect to the variable of study.

Finally, with a coefficient of correlation of Spearman, whose value was 0,759 determined that the geographical, climatic, characteristics of asphalt mixture and the overall structural behavior are mechanisms moderately causing permanent deformation in asphalt pavements in Ica.

Key words:

Deformation, asphalt, pavements.

INTRODUCCIÓN

La deformación permanente en sus diferentes formas, es una de las fallas más importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; por lo que se ha elaborado un plan de investigación, dirigido a identificar las principales causas que generan esta falla, En Ica, debido a su diversidad climática requiere de diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para atender la necesidades de cada distrito. El conocimiento de las causas que originan la deformación permanente y de las condiciones climáticas, permitirá anticiparse a un deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos en Ica, lo que incidirá en la economía de la región y por ende del país.

A través del desarrollo del trabajo, se presentan los antecedentes sobre las características geográficas del territorio iqueño con su clima, que incide en el comportamiento de los pavimentos asfálticos referidos a la falla por deformación permanente; además de otras causas que generan este deterioro. También se desarrolla el concepto de la reología del asfalto, que depende directamente de la composición química del mismo, presentando las propiedades reológicas de los materiales asfálticos a través de la mecánica del medio continuo, así como de los parámetros reológicos aplicando la tecnología Superpave.

Así mismo, se discutirá la influencia de la granulometría y demás características de los agregados en la deformación permanente, el diseño de la mezcla asfáltica, y aspectos constructivos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En los últimos 17 años el Perú ha impulsado una política favorable para la Construcción de Obras Viales a lo largo y ancho del territorio, habiéndose ejecutado más de 15,000 kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos, según reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

La dinámica se manifiesta en obras importantes, como las carreteras interoceánicas que atraviesan transversalmente el territorio peruano por el norte, centro y sur. La Interoceánica Sur, parte de límites con Brasil terminando en puertos marítimos del Océano Pacífico; interconectando de esta manera pueblos del Perú y permitiendo que Brasil tenga salida al mar hacia los mercados orientales.

Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad, de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin que estos logren alcanzar, la vida útil para la que fueron diseñados. El presente trabajo de investigación bibliográfica, se refiere a la deformación permanente, que es una de las fallas del deterioro prematuro; es necesario conocer a mayor profundidad a fin de tomar las previsiones del caso desde la elaboración de los proyectos y la posterior ejecución de las obras.

En el Perú debido al clima en algunas zonas de su territorio y otras causas, existe la posibilidad que se presenten deterioros prematuros, en sus pavimentos por efecto de la falla de deformación permanente.

Como es sabido, la degradación de la calidad del pavimento asfáltico, que se traduce por irregularidades en los perfiles longitudinales y transversales del pavimento, generalmente ocurre por los mecanismos que producen deformación permanente, tanto en la mezcla asfáltica que conforma la carpeta de rodadura, así como también en las diferentes capas de la estructura del pavimento, e inclusive en la subrasante.

En Ica se observa la presencia continua de sol, siendo este uno de los factores que predispone a la deformación de las mezclas asfálticas ocasionando deterioro de los pavimentos.

1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 ESPACIAL

La investigación tendrá como delimitación espacial la ciudad de Ica.

1.2.2 TEMPORAL

Temporalmente se delimita durante los meses de febrero a diciembre del año 2016.

1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica?

1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño que influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos de Ica?

¿Cuáles son los factores relevantes que influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados?

¿De qué manera las conclusiones y recomendaciones de esta investigación influyen en la prevención del deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos, discutiendo las causas que las producen.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Presentar las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño y su influencia en la presencia de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

b) Describir los factores relevantes y mecanismos que originan la deformación permanente como es la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y agregados; el comportamiento estructural global del pavimento, procesos constructivos, entre otros.

c) En función al logro de los dos objetivos específicos mencionados anteriormente, presentar conclusiones y recomendaciones para evitar el deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica.

1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) Las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos.
- b) Los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados.
- c) Las conclusiones y recomendaciones de esta investigación influyen en la prevención de deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica.

1.5.3 VARIABLES

- Variable independiente : Deformación permanente en las mezclas asfálticas.
- Variable dependiente : Deterioro de los Pavimentos Asfálticos.

1.5.4. Operacionalización de Variables:

VARIABLES	DIMENSIONES
Deformación permanente en la mezcla asfálticas.	Características geográficas
	Características climatológicas
	Características de la mezcla.
	Comportamiento global del pavimento
Deterioro de los pavimentos asfálticos	Susceptibilidad térmica del asfalto
	Reología del asfalto

Fuente: Elaboración propia

1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

a) Tipo de Investigación: La presente investigación es aplicada porque se basa en el análisis y revisión de la teoría existente para llevarlo a una realidad concreta.

Es una investigación de campo, ya que para su elaboración acudimos al lugar de los hechos para evidenciar la problemática planteada.

Es una investigación cualicuantitativa ya que se realizó la observación directa de las características del fenómeno y se realizó una encuesta para medir la variable de estudios.

b) Nivel de Investigación:

Según su profundidad los niveles de esta investigación corresponde a un nivel descriptivo – correlacional y explicativo por cuanto se describió el fenómeno observado y se buscará la asociación de las variables de estudio, tratándose de explicar por qué sucede este fenómeno.

1.6.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

a) Método de la investigación

Se empleó el método deductivo ya que se analizó las características importantes del problema para la comprensión. Se empleará el método inductivo para luego de realizar el análisis se llegará a una condición que permitirá la solución del problema.

b) Diseño de Investigación

El diseño corresponde a una investigación observacional, correlacional de corte transversal, prospectivo y no experimental.

1.6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

a) Población

La población estará constituida de la siguiente manera:

Población	Total
Ingenieros de universidad Alas Peruanas de Ica	25

b) Muestra

La muestra es no probabilística de tipo censal, estuvo conformada por la totalidad de la población en estudio.

1.6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a) Técnicas

La técnica aplicada fue la encuesta, el análisis documental y la observación de los fenómenos relacionados a esta investigación que fue aplicado a la muestra en estudio, quienes darán su opinión acerca de las variables de estudios.

b) Instrumentos:

El instrumento utilizado fue el cuestionario que se aplicó a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.

Dicho instrumento consta de 20 items, que corresponden a las variables de estudios, este instrumento fue validado por expertos en la temática; así también se realizó una ficha de registros con las observaciones de las fallas permanentes más frecuentes en Ica y se confrontará con la teoría existente para determinar las causas del fenómeno.

Será organizado mediante tablas de frecuencia y gráficos, asimismo serán procesados mediante el programa estadístico SPSS en su versión 21 para interpretar los resultados obtenidos.

1.6.5 JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN:

1.6.5.1 JUSTIFICACIÓN.

Las fallas por deformación permanente pueden ser de tipo funcional como también estructural; por lo tanto son dañinas para la durabilidad de los pavimentos asfálticos. Por esto existe preocupación en el mundo para prevenir su presencia prematura, tomándose en consideración aspectos determinantes como son el diseño del pavimento, calidad de materiales, procesos constructivos, entre otros aspectos que aseguren un mejor comportamiento del pavimento antes esta posible falla.

Toda esta previsión pasa por utilizar equipos de laboratorio y de campo especializados, producto de investigaciones de hace varios años atrás en diversos países del mundo.

1.6.5.2 IMPORTANCIA.

Esta investigación será importante porque nos permitirá diagnosticar las deformaciones permanentes de los pavimentos de la ciudad de Ica, con la finalidad de buscar las causas que lo producen.

1.6.5.3 LIMITACIONES.

Las limitaciones más resaltantes fueron en cuanto a la disponibilidad de tiempo tanto de docentes como investigador, así también la escasa bibliografía actualizada sobre el tema de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

- **GAMBOA (2013). EN SU TESIS TITULADA: “MAL ESTADO DE LOS PAVIMENTOS Y SU EFECTO EN EL TRÁNSITO VEHICULAR DEL DISTRITO DE TRUJILLO, AÑO 2012”**, para optar el grado de magister en ingeniería civil en la universidad César Vallejo, sede Trujillo.

El objetivo del estudio fue determinar, el nivel de conocimientos de los pobladores sobre los efectos que puede generar el mal estado de los pavimentos y el efecto en tránsito vehicular del Distrito de Trujillo en cuanto a la pavimentación, así mismo resaltar los beneficios ambientales, socioeconómicos y culturales de dicho proceso de pavimentación.

El tipo de investigación fue descriptiva correlacional, la muestra estuvo conformada por 97 conductores y pasajeros del distrito de Trujillo. Se llegó a la conclusión que los efectos más importantes producidos por el mal estado de los pavimentos que se han podido analizar son: El tráfico vehicular, el malestar de los conductores como de los pasajeros, daños a los diferentes vehículos producidos por los baches, etc.

- **CHOQUE (2012). EVALUACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA EFICIENCIA DE LA CONSERVACIÓN DE SUPERFICIES DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.**

Las carreteras no pavimentadas se deterioran más rápido con respecto a una vía pavimentada. Las partículas finas al aglutinarse con los agregados gruesos expuestos al medio ambiente pierden humedad; y con la acción física externa del tránsito vehicular genera disgregamiento superficial, convirtiéndose así en polvo particulado y posteriormente aparecen fallas superficiales como baches, ondulaciones, ahuellamientos, etc.

Para poder conservar dichas superficies y que no experimenten un deterioro acelerado en el tiempo, se propuso aplicar dos aditivos químicos (Cloruro de Calcio y producto en base a enzimas) como alternativas de solución. Se aplicaron éstos aditivos in situ de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, al tipo de suelo y de dos variables determinantes para su aplicación respectiva:

El Índice de plasticidad y el porcentaje de finos que pasan la malla N°200.

La construcción de estos sectores de prueba estuvo sujeta a las mismas condiciones de clima, mismas condiciones geométricas de tráfico vehicular y del mismo tipo de suelo (aporte de material de cantera). Luego de hacer el monitoreo después de aplicado, estos productos se compararán y proyectarán su desempeño en el tiempo por medio de dos indicadores: El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Condición en Vía No Pavimentada (ICVNP).

Con los resultados obtenidos se pretende incentivar las posteriores investigaciones de la gran gamma de aditivos químicos que existen en el medio y bajo condiciones determinadas poder proponer su utilización en la conservación superficial de la carpeta de rodadura en una vía no pavimentada.

- **RUÍZ (2011). EN SU TESIS TITULADA: ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PRODUCEN EL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS**, para optar el grado de Magister Reingeniería en la Universidad del Oriente, Venezuela. El objetivo de la investigación fue determinar las patologías producidas en pavimento rígido en la zona norte de Venezuela, es un estudio descriptivo explicativo y se concluyó que se evidencian deterioros severos en su estructural, lo que justificó elaborar diseños y proyectos y ensayos en laboratorios, para verificar si las características de los materiales utilizados en esta vía son los más adecuados.
- **GAETE, R. (2009). EN EL ARTÍCULO PUBLICADO: UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA LA MANTENCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.**

Los caminos no pavimentados constituyen la mayor proporción de la red de carreteras en Chile y en muchas otras naciones, en vías de desarrollo. La asignación de recursos en los caminos sin pavimentar ha sido realizada históricamente en base a la experiencia de las autoridades de carreteras. En un estudio reciente llevado a cabo en Sudáfrica, se desarrolló un nuevo conjunto de relaciones para la predicción de la rugosidad y la pérdida de grava en el tiempo, para caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, además de un nuevo conjunto de relaciones de costos de los usuarios. El objetivo de este trabajo, es mostrar la efectividad y versatilidad de la aplicación del sistema MDS (Maintenance and Design System) para evaluar la condición actual y futura, asignar eficientemente los recursos de perfilado y gravillado, y eventualmente determinar la conveniencia de pavimentar un cierto tramo, en base a criterios económicos.

La información que entrega, permite a las autoridades, poder tomar decisiones acertadas en cuanto al presupuesto óptimo requerido, y el uso que se le dé a los fondos disponibles. Por otra parte, el sistema para su funcionamiento, no requiere de un sistema de información voluminoso

(sólo un computador personal), lo que lo hace muy accesible a ser implementado por parte de las autoridades de las zonas rurales. Finalmente, se requeriría de algún estudio que permitiera comprobar la bondad de ajuste para las condiciones de Chile, de las relaciones establecidas en las investigaciones de Sud-áfrica para los modelos de deterioro, costos de operación de los usuarios y productividad de la motoniveladora, y efectuar una calibración si ésta fuera necesaria.

- **ÁLVAREZ (2008). ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA DE LA REGIÓN UTILIZANDO EL SISTEMA COMPUTACIONAL DTIMS.**

El proyecto del presente Trabajo de Título, busca utilizar los modelos de deterioro para pavimentos asfálticos del sistema HDM-III, implementándolos en un programa moderno de gestión vial denominado dTIMS. Este objetivo se sustenta en el hecho de que el dTIMS, posee modos de operación más prácticos y poderosos que los programas antes mencionados, junto con tener mejores herramientas para manipular los resultados. Una vez que los modelos fueron implementados y validados, se procedió a realizar una aplicación para una red vial del territorio nacional. La red seleccionada fue la de la I Región del país, la cual fue modelada por 207 tramos homogéneos que representan 16 caminos constituidos por pavimentos de concreto asfáltico.

La aplicación consistió en realizar un análisis con el programa dTIMS para diferentes restricciones presupuestarias y para un escenario sin restricción. Los programas de construcción propuestos por los análisis fueron registrados y estudiados, así como, un conjunto de otros resultados que otorga el programa como son los costos de los tratamientos y la evolución de la condición de la red vial.

Los resultados demuestran que los programas de gestión vial como el dTIMS son una excelente herramienta de apoyo en la conformación de eficientes planes de mantención y conservación para las redes viales

existentes, recomendando así que en un futuro no tan lejano puedan emplearse permanente por los organismos pertinentes del país.

- **ALTAMIRANO (2007). DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.** Tuvo como objetivo conocer de forma completa y actualizada la situación de algunas estructuras de pavimentos rígidos en Nicaragua.

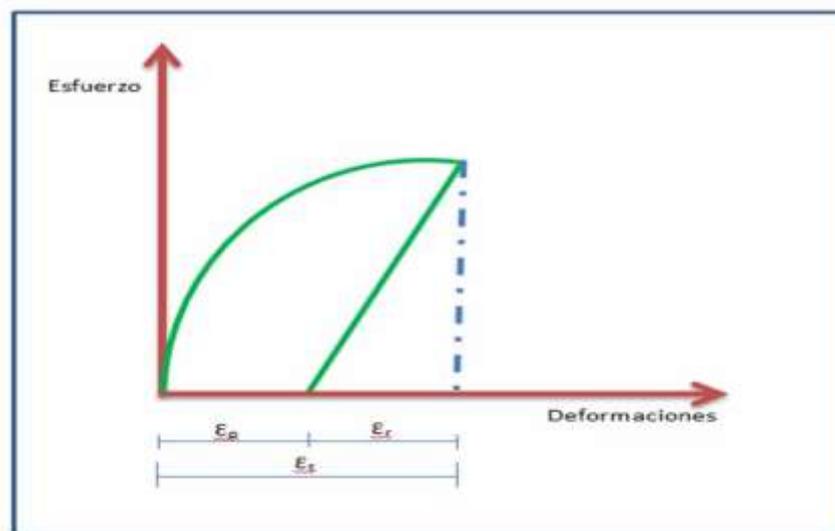
Al haber finalizado el levantamiento de campo y el análisis de los diferentes deterioros encontrados en las estructuras de pavimentos rígidos en la ciudad de Managua específicamente en La Residencial Santa Mónica; y en la ciudad de Matagalpa específicamente en El Barrio El Progreso, Barrio Otoniel Aráuz, Vía Costado Oeste radio Yes, Vía este UNAN y Barrio Carlos Fonseca, podemos concluir: la mayoría de los deterioros encontrados corresponden al fisuramiento de las estructuras de pavimentos que por falta o inadecuado mantenimiento, estas progresan hasta tal grado de generar a través de su evolución deterioros mayores como fisuramiento en bloques; baches de profundidad que afecta el tráfico circundante y propicio para acumulación de agua; grietas longitudinales y transversales con longitudes que atraviesan en ocasiones más de un tablero de losa; deficiencia en los materiales de sellos producto del alabeo de las losas por los cambios volumétricos debido a las temperaturas permitiendo esfuerzos de flexión en el interior de las grietas y ocasionando fracturamiento superior y descascaramientos; peladuras con incidencia de rugosidades altas y moderadas que propician la aparición de hundimientos y baches localizados; hundimientos producto de la falta de soporte de la fundación por la calidad de los suelos que integran las capas inferiores a la carpeta de rodamiento.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Definición

En el momento en que a un material granular se inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total (ξ_t) que se genera es recuperada lo que se conoce como deformación resiliente, (ξ_r). Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente (ξ_p).

Figura N° 01: Curva típica esfuerzo - deformación en un ciclo de carga y descarga.



Fuente: Padilla Alejandro Rodríguez (2007): *Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos*. Universidad UPC. México.

En un pavimento estas deformaciones generan hundimientos o desplazamientos que en exceso pueden generar fallas funcionales y/o estructurales. Así por ejemplo el ahuellamiento que es una forma de deformación permanente, puede tener varias causas como es la debilidad de la mezcla asfáltica en caliente (HMA – Hot Mix Asphalt) por daño de la humedad, abrasión, densificación del tránsito (causado usualmente por varias aplicaciones de carga consecutivas).

2.2.2 Deformación permanente estructural

Tomando en cuenta el punto de vista mecanicista, se desarrollan dos principales criterios de falla para los materiales bituminosos: Deformaciones Permanentes y Agrietamiento por Fatiga.

La falla estructural del pavimento puede darse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se exhibe cuando la vía está predispuesta a cargas de tránsito muy altas.

Mediante lo determinado, la principal de ellas, objeto de nuestro estudio, se inicia por deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación elástica de las capas granulares y la subrasante, debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas, como es el caso del Ahuellamiento u otros tipos de fallas, tal como se aprecia en la figura.

Figura N° 02: Agrietamiento Vista Fotográfica.



Fuente: Av. San Carlos (2016). Elaboración propia

a) Deformación plástica de la mezcla asfáltica

Este tipo de casos se da en climas cálidos como también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

El ancho de carriles y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de la zona de rodadura está influenciada por la velocidad del tránsito, ancho de carril y profundidad de las huellas. Las velocidades bajas del tránsito, las cuales corresponden a frecuencias de carga más bajas, también contribuyen directamente al desarrollo de deformaciones permanentes en las capas bituminosas.

La deformación permanente en carpetas asfálticas ocurre debido a una combinación del flujo del material (viscoelástico ó viscoplástico) y el daño en este material, representado por la formación y propagación de fisuras. La capacidad de una mezcla de resistir este tipo de deformación depende de diversos factores, entre los cuales, la consistencia del ligante y la volumetría de la mezcla (agregados y ligantes) La temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente; no sólo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener una influencia sobre la deformación permanente.

La temperatura máxima, así como el gradiente de temperatura pueden variar por la conductividad térmica de la mezcla, así como la brillantez o reflectividad, por medio de la selección del agregado.

b) Ahuellamiento por fallas en la subrasante, subbase y base

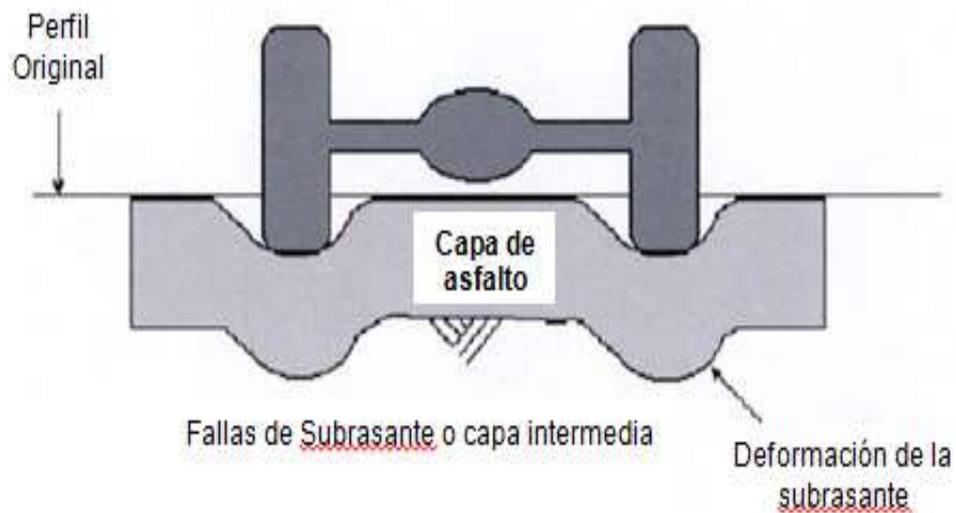
Son provocadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores, sean base o subbase bajo la capa de mezcla asfáltica. Aunque los materiales duros pueden reducir este tipo de roderas, es considerado un problema estructural, más que de los materiales entre sí. Esencialmente, no hay suficiente fuerza en el pavimento o dureza para reducir la fuerza aplicada en un nivel tolerable. De la misma forma puede

ser causado por un inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación se da en las capas inferiores, así como en la subrasante.

Las cargas de tráfico provocan hundimientos y debilitamiento, por debajo en la estructura del pavimento. Si la capa de pavimento es suficientemente flexible, se deformará por tener espesores delgados. Los hundimientos por ahuellamiento tienden a ser de anchos que van desde los 750 mm. hasta los 1000 mm., con poca profundidad y formas curvadas cruzando la sección del pavimento sin fisurarse. Si se procediera a realizar una zanja o corte, la deformación de pavimento indicaría, que el espesor del pavimento permanece constante y cualquiera de las capas granulares (base o sub-base) tiene deformaciones. Si la estructura del pavimento es lo adecuadamente rígida a la deformación, ocurrirán fisuras por fatiga de un lado a otro en el ancho entero del recorrido de la llanta.

Algunas veces atravesando toda la sección del pavimento, parecería un tipo de falla por punzonamiento, con piezas quebradas empujadas hacia abajo. Algunos ahuellamientos tienden a presentar pendientes pronunciadas con bordes quebrados en ambos lados del recorrido de la llanta.

Figura 03: Ahuellamiento por fallas en la Subrasante

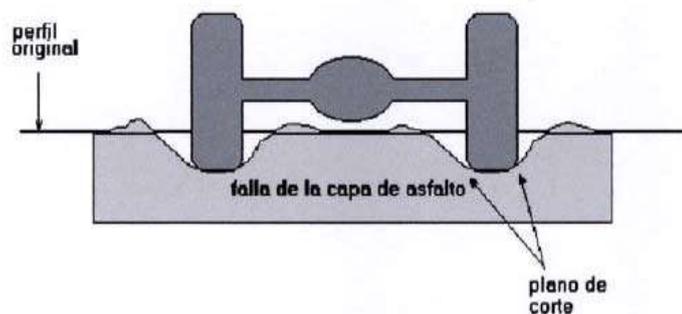


Fuente: Padilla Alejandro Rodríguez (2007): Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México.

c) Ahuellamiento por fallas en la capa de mezcla asfáltica

Estos tipos de fallas se producen debido a poca capacidad portante o a la insuficiencia de soportar cargas pesadas, una mezcla asfáltica débil, va acumulando una pequeña pero permanente deformación plástica, en cada pulso de carga pesada, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla, el ahuellamiento puede ocurrir en la capa superficial de asfalto o debido al debilitamiento en las capas inferiores de asfalto.

Figura 04: Ahuellamiento por fallas en la mezcla asfáltica



Fuente: Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Tesis de Grado: Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México.

Los ahuellamientos en una mezcla débil que se dan generalmente durante el verano, cuando el pavimento se encuentra sometido a temperaturas altas, esto podría sugerir ya que son ocasionados por el sol, pero es más lógico pensar, que es la combinación de la resistencia de los agregados pétreos y el ligante asfáltico empleado.

Los ahuellamientos así como se determinó antes son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes, una manera de impulsar la fuerza contra el deslizamiento es no solamente usar asfaltos más duros, sino otro que se comporte como un sólido elástico a altas temperaturas; así mismo cuando se utilice la carga el material podrá deformarse y volver a su posición original.

Otra forma de prevenir los desplazamientos es seleccionar agregados que tengan un alto grado de fricción interna, que sea cúbico, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. En el momento en que se le aplica una carga a una mezcla asfáltica, las partículas de los agregados se cierran unidas de tal manera que funcionan como una sola, larga y elástica piedra y como el asfalto actuará como una banda elástica, volverá a su forma original cuando desaparezca la carga, de esta forma no se acumula una deformación permanente.

2.2.3. Deformación Permanente por Tracción

Por lo general se acepta que en la mayor parte de las situaciones, el tráfico genera un daño por cansancio de la fatiga que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie. En el modelo tradicional de fatiga las fisuras se originan en la fibra inferior de la mezcla bituminosa (zona donde la tensión de tracción es mayor) y se propaga verticalmente hacia la superficie del pavimento.

El daño por fatiga significa que un estado de tensión incitado por una sollicitación, muy alejada del valor de rotura, llega a producir por acumulación (es decir, por repetición de la sollicitación un número muy elevado de veces) el

agotamiento del material, agotamiento que se da a conocer por la fisuración del mismo.

Ensayos de laboratorio en el mundo, han verificado que existe un vínculo entre la deformación, ξ , (producida por la sollicitación) y la duración o vida de fatiga del material representada por el número N de veces que soporta la sollicitación antes de romperse por fatiga.

Muchos estudios se han elaborado para establecer que parámetros de la mezcla intervienen de manera significativa en la determinación de los valores de k_1 y k_2 . Se ha comprobado que están principalmente afectados por:

- El módulo de la Mezcla (comportamiento esfuerzo - deformación de los materiales que conforman la mezcla asfáltica).
- El contenido de asfalto
- La viscosidad del asfalto (medida por el Índice de Penetración, IP)
- La granulometría y la naturaleza de los áridos
- El contenido de aire (huecos en la mezcla)
- La temperatura del pavimento

La acumulación de daño de fatiga D en cada punto a lo largo de la carretera debido al paso de los vehículos se estima mediante la aplicación de la ley de Miner de acumulación lineal del daño.

2.2.4 Deformación Permanente por uso

Cuando los ahuellamientos son causados por deformaciones en la mezcla asfáltica, el material asfáltico es desplazado lateralmente a lo largo de la trayectoria de los vehículos en el plano de la mezcla, y la huella se forma por depresión en el área de carga por donde rueda el neumático o los neumáticos, dejando crestas de mezcla en ambos lados a lo largo de la trayectoria de los vehículos.

La superficie dentro de la trayectoria del neumático usualmente está lisa y rica en asfalto; el fondo de la huella tal vez sea lisa y en forma de cuchara.

Muchas veces una o más pequeñas crestas existen de la huella entre los espacios de las llantas duales. Las huellas formadas por deformación tienden a variar gradualmente a lo largo de la carretera, por lo cual el pavimento continúa proporcionando el servicio de rodadura a pesar de tener ahuellamientos.

La importancia de utilizar materiales para la superficie de los pavimentos, con alta densidad, pueden minimizar el orden de magnitud de las deformaciones permanentes.

Se ha citado en estudios de investigación que los ahuellamientos mayormente son ocasionados por flujos de deformación acompañadas de cambios de volumen en los materiales.

A continuación se ilustra el efecto sobre una superficie de pavimento debido al número de pasadas de neumáticos en un ensayo de pista.

Estos datos permiten hacer mediciones del promedio de la profundidad de la huella como el volumen de material desplazado por debajo de las llantas y por encima de las zonas adyacentes a ellas.

Con esta información, a través de la figura se pueden obtener dos conclusiones:

1. En el escenario inicial de tráfico, el incremento de las deformaciones irreversibles por debajo de los neumáticos es particularmente mayor que el incremento en las zonas por encima de la superficie. En esta fase inicial, la compactación debida al tráfico, tiene una mayor influencia en las huellas.
2. Después del escenario inicial, el volumen que disminuye por debajo de las llantas es aproximadamente igual que el volumen que se incrementa por los bordes en la parte superior del pavimento.

Esto es un indicador de que mayormente la compactación se lleva a cabo bajo las solicitudes del tráfico y de que las huellas son causadas

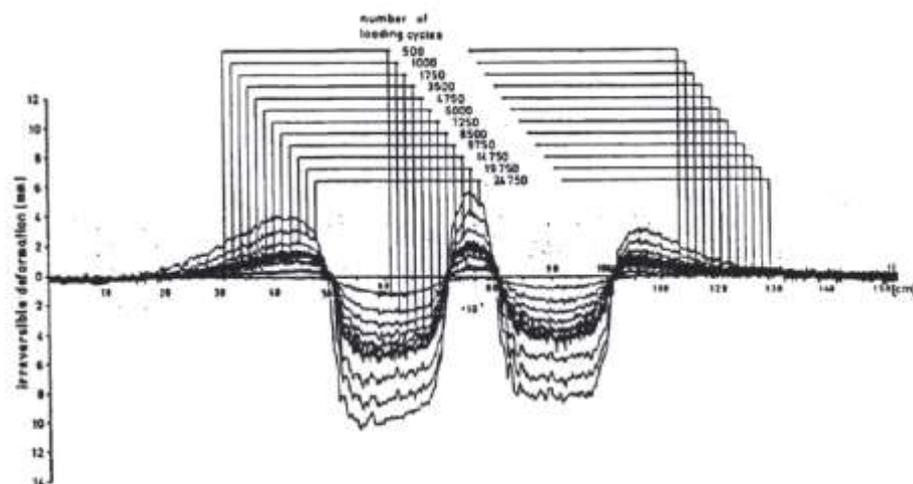
primordialmente por desplazamiento con volumen constante. Esta fase se consideró en gran parte para representar el comportamiento de la deformación en el tiempo de vida del pavimento.

Hofstra y Klomp (1972) (encontraron que la deformación a través de las capas de concreto asfáltico es mayor cerca de la superficie donde se aplican las cargas y gradualmente decrece en las capas de niveles inferiores (A. Padilla).

Los ahuellamientos son causados básicamente por flujo plástico; a mayor profundidad de la mezcla, existe una mayor resistencia al flujo plástico y también a mayor profundidad se reducen los niveles de tensión.

La deformación plástica en una capa de pavimento, puede verse incrementada en la medida en que dicha capa es de menor espesor.

Figura 05: Mecanismo de acumulación de deformaciones irreversibles en la mezcla asfáltica.



Fuente: Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Tesis de Grado: Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México.

Las mezclas asfálticas están conformadas por partículas de agregados de naturaleza elástica, que son los que deben soportar las cargas del tráfico y un

ligante de naturaleza viscoelástica, que actúa como pegamento manteniendo unido el esqueleto mineral.

El ligante asfáltico no soporta las cargas del tráfico, pues debido a su naturaleza viscosa- elástica puede fluir en función de la carga y su tiempo de aplicación, sin embargo el ligante debe tener la suficiente cohesión para prevenir el desprendimiento de partículas y para resistir los esfuerzos de corte que se generan en los puntos de contacto entre agregados y que superan la fricción entre los mismos. Si el ligante no es capaz de sujetar las partículas en su sitio, estas pueden moverse compactando el esqueleto a una configuración más densa.

Las mezclas asfálticas pueden tener un comportamiento elástico lineal, elástico no lineal o viscoso en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. A bajas temperaturas el comportamiento es fundamentalmente elástico lineal, y al aumentar la temperatura se empieza a comportar como un material elástico no lineal, apareciendo el comportamiento viscoso a medida que la temperatura continúa aumentando.

- En invierno, cuando las temperaturas son bajas, no existen deformaciones plásticas, porque la mezcla se comporta de manera elástica.
- En Otoño y Primavera, cuando hay regularmente temperaturas intermedias, la mezcla tiene gran parte de su comportamiento elástico y las deformaciones plásticas son mínimas
- En verano, a altas temperaturas, la cohesión de la mezcla disminuye y las deformaciones originadas por el tráfico se incrementan. Parte de estas deformaciones se dan en la componente viscosa de la mezcla, no siendo recuperables y apareciendo las deformaciones plásticas permanentes o ahuellamientos.

2.2.5 Factores que influyen en la resistencia a la deformación permanente

a) Influencia de la historia esfuerzo

En el momento en que la carga cíclica se aumenta gradualmente sobre un material granular la deformación es mucho más pequeña, que cuando se aplica directamente la carga más grande. Es decir, cargas previas sobre estos materiales causan una reducción significativa, de la deformación vertical experimentada bajo carga subsiguiente y por lo tanto, la máxima carga cíclica aplicada controla la futura magnitud de la deformación permanente.

b) Influencia del contenido del agua

Se da un contenido de agua, que es útil para elevar la resistencia a la deformación permanente. Incrementos adicionales a este contenido óptimo de agua generan en el material un aumento del grado de saturación, acompañado por elevación de la presión de poros y disminución de los esfuerzos efectivos, lo que induce pérdida de la rigidez y de la resistencia a la deformación permanente.

Asimismo se han realizado ensayos triaxiales cíclicos sobre un material tipo macadán y una grava-arena. En el macadán se observó que un aumento en el contenido de agua de 3.1% a 5.7% desarrolla un incremento del 300% en la deformación permanente. De forma parecida un incremento del 200% de la deformación cuando se incrementó en la gravaarena el contenido de agua de 3.0% a 6.6%.

En ensayos triaxiales cíclicos en condiciones drenadas y no drenadas, se ha observado, para un nivel de esfuerzo desviador de 140 kPa y presión de cámara de 70 kPa, que la deformación constante se equilibró al 1% de deformación cuando la condición fue drenada, y para el caso no drenado no se observó equilibrio cuando el ensayo había terminado en el 6% de deformación.

Ensayos basados sobre pistas de prueba en Sudáfrica y empleando 4 materiales granulares distintos (G1, G2, G3, G4), reportan que la tasa de

deformación permanente incrementa en el tiempo cuando es permitido el ingreso del agua a la capa granular en un pavimento y no es posible su drenaje. En un paso posterior se permitió de nuevo el drenaje en la capa granular y el material disminuyó su tasa de deformación hasta alcanzar una fase de equilibrio.

También se ha verificado que adiciones progresivas de agua al material granular generan, un incremento considerable en la deformación permanente, y observado que este efecto es ligeramente mayor cuando el contenido de finos es más alto. Realizando ensayos triaxiales cíclicos sobre una arena, se ha reportado que la deformación permanente que experimentó el material, cuando el grado de saturación era del 80%, fue 3 veces mayor que cuando el grado de saturación era del 55%). Basados en estudios de deformación permanente sobre tres materiales granulares distintos, se determinó que eran muy sensitivos con la variación en el contenido de agua, y la acumulación de la deformación vertical permanente fue mayor cuando la humedad se acercaba al valor óptimo del ensayo Proctor. Así, un aumento en el contenido de agua genera un incremento notable en la deformación permanente vertical. Así mismo, se demuestra que el grado de saturación se relaciona en el valor del esfuerzo para el cual la deformación tiende a un valor estable (deformaciones resiliente casi en su totalidad).

Estudios recientes llevados a cabo con "Ensayos a pequeña escala" donde se fabrican especímenes para simular las capas de subrasante y base granular en un pavimento (empleando tubos de polietileno de 36" de diámetro) han demostrado que materiales granulares empleados para conformar capas de base experimentan un incremento considerable en la deformación, si se encuentran bajo condición saturada.

c) Influencia de la densidad

En general, la reducción en la densidad de un material granular genera disminución de la resistencia a la deformación permanente.

En 1989, 4 laboratorios de investigación (Laboratorio Nacional de Engenharia Civil- LNEC, University of Nottingham - UNOT, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées- LCPC y Delft University of Technology - DUT) realizaron ensayos triaxiales cíclicos sobre un material granular, uno de los fines del estudio era comparar el funcionamiento de los equipos triaxiales.

Los ensayos en los 4 laboratorios utilizaron la misma granulometría, contenido de agua y trayectorias de esfuerzos. Los resultados de deformación permanente fueron distintos en los 4 laboratorios (figura 6.5) y esta diferenciase debió principalmente a que los laboratorios utilizaban gran variedad de técnicas de compactación de las muestras.

Se ha encontrado que cuando hay aumento en la densidad del material genera un aumento en la resistencia a la deformación permanente, pero esta influencia es pequeña para el caso del rango de densidades encontradas en pavimentos (95-100%) de la densidad máxima seca del Proctor modificado).

En una pista de ensayo que después de 6 meses de estudios de carga el desplazamiento vertical fue de 11.3 mm en una zona de baja compactación de la capa granular (97% del valor óptimo de densidad seca del ensayo proctor), y de 3.8 mm en una zona de alta compactación (100% del valor óptimo de densidad seca).

d) Influencia de la granulometría, tamaño máximo, cantidad de finos y forma de partícula.

Es conocido que muestras con gradación uniforme no compactadas muestran mayor resistencia a la deformación permanente que muestras bien gradadas sin compactar.

Muestras con alta presencia de finos reducen la resistencia a la deformación permanente y materiales uniformes muestran mayor

resistencia a la deformación permanente que aquellos bien gradados a pesar de que la rigidez es mayor en los materiales bien gradados.

Los Materiales bien gradados muestran mayor resistencia a la deformación permanente que aquellos con granulometría uniforme. Ensayos triaxiales cíclicos sobre 3 materiales granulares con distinta gradación, demuestran que la granulometría no influye en la resistencia a la deformación permanente.

De acuerdo con estudios ejecutados, los materiales con partículas redondeadas experimentaron dos veces mayor deformación permanente que materiales con partículas fracturadas. Así mismo, cuando la gradación es más fina la tendencia es a experimentar mayor deformación. Si el contenido de finos desarrolla plasticidad, la resistencia a la deformación permanente disminuye. Pavimentos con bases granulares y con gradaciones finas experimentan valores de deformación permanente de 21% superiores a aquellos que emplearon gradaciones gruesas. Contrario a lo anterior la vida de fatiga de las estructuras de pavimentos fue 20% mayor, cuando se usa gradación más fina.

Los altos contenidos de finos son no deseables en materiales granulares, ya que ocasionan problemas hidráulicos debido a la baja porosidad y la posibilidad de retener agua; lo anterior induce a obtener un material con altos grados de saturación y por lo tanto, pérdida de la resistencia a la deformación permanente.

Hay pérdida de resistencia por la presencia de altos contenidos de finos y la resistencia a la deformación permanente es mayor para materiales bien gradados. Una elevada cantidad de finos en materiales granulares crea una mayor deflexión en las estructuras de pavimento, pero existe un valor óptimo de contenido de finos para el cual el material presenta la mayor resistencia a la deformación.

Se recomienda que los ensayos triaxiales cíclicos se realicen con muestras a escala real.

Lo anterior debido a que en muchas ocasiones se remueven las partículas grandes en los especímenes con el fin de reducir las muestras al tamaño requerido para poder ser ensayadas. Ensayos efectuados sobre tres tipos de materiales granulares con diferentes granulometrías señalan que la respuesta estructural de estos materiales depende del tamaño máximo de la partícula utilizada para preparar el espécimen del triaxial.

La reducción de la escala de gradación genera un significativo impacto sobre las características resilientes y de deformación permanente de los materiales ensayados.

De la misma manera los materiales con gradación uniforme y partículas angulares demuestran mayor resistencia a la deformación permanente que materiales con granulometrías bien gradadas y partículas redondeadas.

2.2.6 Fallas del pavimento asfáltico por deformación permanente

2.2.6.1 Causas que originan la falla

a) Solicitaciones de cargas a un pavimento

El tránsito tiende a influenciar en gran proporción en la aplicación de las cargas en un pavimento y su caracterización es bastante compleja debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito.

Para caracterizar las solicitaciones producidas por el tránsito a un pavimento se pueden estudiar independientemente los siguientes aspectos:

- Magnitud de las cargas según la composición del tránsito (carga por eje, número de ejes que circulan, y número de repeticiones de carga).
- Forma geométrica de cada solicitud sobre el pavimento (área de contacto y reparto de presiones sobre la misma).
- Velocidad de los vehículos y tiempo de solicitud en un punto.
- Estados de esfuerzos que producen las cargas, en función de su magnitud y tipología (verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc).
- Características de las capas del pavimento.

Las cargas de los vehículos al pavimento se reflejan a través de las ruedas, en los métodos de diseño mecanicistas es necesario conocer el área de contacto de la llanta con el pavimento, tomando en cuenta que la presión de contacto depende de la presión de inflado del neumático Sin embargo, en el diseño de pavimentos, la presión de contacto generalmente se asume igual a la presión de la llanta, debido a que los ejes de carga pesados tienen presiones altas y efectos más destructivos en el pavimento, utilizar la presión de la llanta como presión de contacto, es estar por el lado de la seguridad.

Cuando se toma en cuenta la teoría multicapas en el diseño de pavimentos flexibles, se diría que cada llanta tiene un área de contacto de forma circular, esta suposición es incorrecta, pero el error en el que se incurre no es significativo.

Otro aspecto a considerar acerca del vehículo es la velocidad, si se utiliza la teoría viscoelástica para el diseño del pavimento, la velocidad está directamente relacionada con la duración de la carga; si se utiliza la teoría elástica, debe seleccionarse adecuadamente el módulo de resiliencia de los materiales para el pavimento, en proporción con la velocidad del vehículo.

Se ha supuesto en algunos casos que los esfuerzos aplicados por una llanta en movimiento se aproximan a una forma senoidal, cuya duración depende de la velocidad del vehículo y de la profundidad del punto al que se está haciendo referencia.

Asimismo sobre los tiempos de pulsación a diferentes profundidades bajo la superficie del pavimento, así como también a diferentes velocidades se ha observado cómo a mayor velocidad del vehículo, el tiempo de aplicación de la carga disminuye, igualmente es evidente que suponiendo el esfuerzo vertical, con una onda triangular, los tiempos de aplicación aumenten. También el tiempo de duración de la carga aumenta con la profundidad.

b) Los agregados pétreos, filler, ligante asfáltico y otras causas que pueden generar deterioro por deformación permanente.

c) El Agua puede aumentar la susceptibilidad de una mezcla asfáltica a las deformaciones plásticas permanentes. Los efectos del agua pueden ser considerados en la periodo inicial de diseño de las mezclas o como una parte del proceso de evaluación de las mezclas. Cuando existe una modificación de la estructura de pavimento de estado seco a húmedo, se presenta una disminución de la resistencia de la mezcla.

En 1993, se realizó un estudio en la Universidad del Estado de Oregon en E.U.A., donde se demuestra que la propensión a los ahuellamientos de las mezclas asfálticas se incrementa significativamente si está sujeta a saturación sostenida de agua. Los resultados fueron obtenidos a partir de ensayos de cortante simple en mezclas antes y después de someterlas a la acción del agua. El incremento en las huellas que podrían ocurrir en el lugar donde pueden ser estimadas utilizando el procedimiento presentado por el programa SHRP.

2.2.6.2 Principales fallas que se presentan por deformación permanente

a) Ondulación

Esta También conocida como corrugación o rizado, es un deterioro caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1,0 m.

b) Hundimiento

Se denominan hundimientos por que corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Este tipo de deterioros pueden generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidropilano. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna, en cualquier caso, el reporte del daño debe incluir en las aclaraciones la orientación o la forma del hundimiento, si es fácilmente identificable en campo.

c) Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión de la zona situada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidropilano por almacenamiento de agua.

2.2.7. Fundamentos teóricos de comportamiento reológico del asfalto respecto a fallas por deformación permanente

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre. Excavaciones arqueológicas revelan de su empleo en épocas anteriores a nuestra era. En Asia, Mesopotamia el asfalto era usado como aglutinante en trabajos de albañilería y construcción de estrados. Los reservorios de agua de los baños sagrados eran impermeabilizados con asfalto.

Se usó en pavimentación en 1802 en Francia; 1838 en Filadelfia (USA) y en 1909 se da lugar al uso del “Asfalto derivado del Petróleo”, el cual por sus características de economía y pureza en relación a asfaltos naturales, forman actualmente la principal fuente de abastecimiento.

2.2.7.1 Asfalto, propiedades y características

El asfalto es un material aglutinante de consistencia variable, de color negro, se puede ubicar naturalmente y/o por refinación de petróleos. Está compuesto por una mezcla muy variada de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular.

Los asfaltos naturales pueden encontrarse en depresiones de la corteza terrestre formando los Lagos de Asfalto o aparecen impregnados en poros de rocas formando las llamadas Rocas Asfáltitas (Gilgonita). Se hallan también mezclados con impurezas minerales.

Figura N° 06: Muestras de asfalto



Fuente: http://www.asnafu.es/t13/page_img1.asp?Id=158321&idd=104189&var889=0

Hoy en día, la mayor parte del asfalto derivado y empleado en el mundo es obtenido del petróleo del cual es obtenido exento de impurezas.

Son preparados especialmente por presentar cualidades y consistencias propias para uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos.

Es ideal para poner en práctica en trabajos de pavimentación por sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los ácidos y álcalis en general. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por la viscosidad dinámica o absoluta y por su penetración (PEN).

Los componentes del asfalto interactúan entre sí formando un fluido de comportamiento viscoelástica y comportamiento reológico el cual depende de la composición química de la fuente de procedencia y del proceso de refinación.

- Ligantes Asfálticos que existen en el mercado peruano
- Cementos Asfálticos de Petróleo : CAP - PEN
- Asfaltos Diluidos, Recortados o CutBacks
- Emulsiones Asfálticas
- Asfaltos Modificados con Polímeros
- Asfaltos Espumados
- Otros tipos de Asfaltos

2.2.7.2 Composición química del asfalto

Químicamente se reporta en términos de dos (02) fracciones principales:

- Fracción Pesada: Conformada por los asfaltenos de alto peso molecular
- Fracción Ligera: Conformada por los maltenos de bajo peso molecular

La parte malténica puede subdividirse en tres fracciones principales: parafinas, resinas y aceites aromáticos.

a) Influencia de los componentes químicos del asfalto

Asfaltenos

- Proporcionan la dureza al asfalto
- No intervienen directamente en la adherencia de los materiales pétreos
- Su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas del asfalto

Resinas

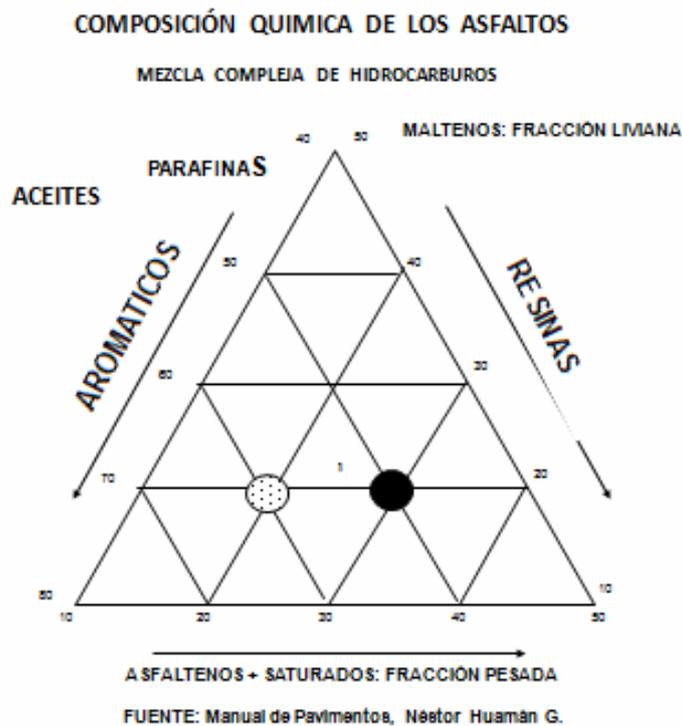
- Dan las características cementantes o aglutinantes

Aceites

- Dan la consistencia necesaria para hacerlos trabajables
- Son líquidos poco viscosos, color claro, no adherentes, muy estables

- Permiten el desplazamiento entre componentes de la fase dispersa (micelas)
- Generan la deformación del asfalto
- Un asfalto con alto contenido de aceite se comporta como un fluido viscoso

Figura 07: Representación esquemática de la composición química del asfalto



Fuente: *El Estado del Arte de los Pavimentos Asfálticos - Huamán N.(2010). Curso TITEX URP. Perú.*

La composición química de los asfaltos es compleja y varía considerablemente en función de la naturaleza de los petróleos y del esquema de refinación para su producción.

Para simplificar, se puede admitir que esos ligantes asfálticos están formados por una suspensión de asfaltenos peptizadas por resinas, en un medio

compuesto de aceites saturados y aceites Aromáticos. Esta concepción es importante en la medida que permita establecer las relaciones entre su composición química y fraccionamiento en grupos genéricos (asfaltos, resinas, aceites aromáticos y aceites saturados) y sus propiedades mecánicas y reológicas.

La consistencia de los asfaltos varía en proporción a cada uno de los componentes presentes. No todos los crudos producen Cementos Asfálticos de Petróleo (CAP) en especificación, ya que la naturaleza química del crudo es determinante; un crudo contiene en diferentes proporciones combustibles o asfaltos; dependiendo de su procedencia, así como de su refinación.

La presencia de asfaltenos en un petróleo crudo no garantiza las propiedades correctas de desempeño y calidad de un asfalto, sin embargo su influencia para mejorar la susceptibilidad térmica así como el mejoramiento de alta viscosidad a altas temperaturas, hace que su presencia sea deseable. A medida que el contenido de asfaltenos aumenta, la viscosidad también va en aumento, lo que significa que este componente solamente coadyuva a mejorar las características reológicas del asfalto, que sin duda se reflejara en una ayuda en la mejora de las condiciones de calidad que un asfalto debe cumplir.

Asimismo, el hecho de que se encuentren otros componentes ayudará a mejorar las condiciones de susceptibilidad térmica del asfalto hasta llevarlo al punto óptimo de calidad en lo que se refiere a la ductilidad antes y después de someterlo a pruebas de calentamiento para definir las resistencias a la tracción. Bajo este contexto se considera que los asfaltos presentan fortalezas y debilidades que nos permitirán caracterizarlos mejor para su utilización; como son:

Fortalezas: propiedades como consistencia, adhesividad, impermeabilidad, durabilidad, entre otras.

Debilidades:

- Muy susceptible a los cambios de temperatura

- Sufre envejecimiento por intemperismo
- Es afectado por la oxidación y la fotodegradación
- Sus propiedades mecánicas son muy pobres
- Es quebradizo a bajas temperaturas
- Fluye a temperaturas un poco arriba de la temperatura ambiente
- Tiene una baja recuperación elástica, que limita ampliamente su rango de utilidad.

2.2.7.3 Características y Ensayos Convencionales

El Cemento Asfáltico de Petróleo de una determinada penetración (CAP PEN), es un material termoplástico, reológico, tixotrópico, ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación posee además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, características de flexibilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos y álcalis. Los CAP en sus aplicaciones deben estar libres de agua.

Dos de las funciones más importantes en los asfaltos en pavimentación son:

- Aglutinadora
- Impermeabilizadora

Como aglutinante consiste en proporcionar una íntima ligación entre agregados, capaz de resistir una “acción mecánica de desagregado“, producida por la carga de los vehículos. Como impermeabilizante garantiza un pavimento verdaderamente eficaz contra la penetración del agua, proveniente tanto de las precipitaciones pluviales como la del subsuelo por capilaridad.

Ningún otro material garantiza mejor que un asfalto la realización económica y simultánea de esas 2 funciones, al mismo tiempo que proporciona al pavimento características de flexibilidad que permiten su acomodo sin fisuramiento a eventuales recalentamientos de capas subyacentes. Naturalmente para que un

asfalto desempeñe satisfactoriamente las funciones que le son inherentes, es necesario de que sea de buena calidad.

Ante la necesidad de caracterizar el comportamiento del asfalto es que se realizan ensayos de laboratorio como los que se indican:

- Penetración: Históricamente mide la consistencia de un Asfalto a 25°C. Hay que tomar en cuenta que el asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía considerablemente con la temperatura.
- Punto de Ablandamiento: Es otra medida empírica de consistencia, que corresponde aproximadamente a la temperatura en la cual el asfalto se torna blando. Esta temperatura es visualizada cuando una esfera empuja para abajo el CAP contenido en un pequeño anillo (Ring and Ball) hasta tocar el fondo del recipiente.
- Ductilidad: Este ensayo consiste en traccionar a 25°C a una velocidad de 5 cm./minuto un determinado cuerpo de prueba de un CAP, se mide en cms.
- Volatilidad: La volatilidad es una medida necesaria en el sentido de informarse qué cantidad de material volátil puede ser perdido por lo que producirá el endurecimiento del asfalto. La prueba del efecto del calor conforme a la norma ASTM D 1754 (This Film Over Test), una película de 3 mm de espesor es sometida por 5 horas a una temperatura de 163°C. Posterior al calentamiento, se somete el residual asfáltico a los ensayos de penetración y variación de peso. Este ensayo informa también sobre el caducidad durante la mezcla en uso y durante la vida de servicio del pavimento.
- Punto de Inflamación: Este ensayo es visto como un indicador de prevención de incendio. Indica la temperatura a la cual los vapores

emanados durante el calentamiento del CAP se inflaman en contacto con una llama.

- Índice de Penetración: Estudios experimentales han demostrado que la variación de la penetración con la temperatura de un CAP es una línea recta en un sistema semilogarítmico. El coeficiente angular de esta recta (pendiente) traduce la susceptibilidad térmica en términos de penetración.

Por razones históricas Pfiffer y Van Voormal la han llamado índice de penetración (IP) y su ecuación de la recta es que está en función de: Penetración a 25°C y punto de ablandamiento (Amolecimiento). Normalmente se limita al IP entre +1 y -2, valores mayores que (+1) indican generalmente asfaltos oxidados (bajísima susceptibilidad térmica) y valores menores que (-2) indican asfaltos que se ablandan mucho más rápido con la temperatura.

Viscosidad: Se usan dos tipos de viscosidad

- Viscosidad Absoluta o Dinámica o Poise (Po)
- Viscosidad Cinemática o Centistokes (cSt)

La viscosidad es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.

Viscosidad absoluta: Puede ser detallada como la medida de la resistencia del fluido al escurrimiento, o la fuerza por unidad del área requerida para conservar el fluido a velocidad constante sin considerar el espacio. Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el poise o centipoise (gr/Seg Cm), siendo muy utilizada a fines prácticos.

Fuerzas que ocasiona su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión. Su unidad es el stoke o centistoke (cm^2/seg).

Un fluido es llamado Newtoniano si su viscosidad es independiente a la tensión de cizallamiento y la velocidad de deformación a que es sometido. Cuando la viscosidad es función de la velocidad de deformación y de la tensión de cizallamiento y de su tiempo de estudio como en ciertos derivados del Petróleo como las Grasas Lubricantes, Combustibles con alto contenido de asfaltenos y los Asfaltos son llamados Fluidos No Newtonianos.

De todas formas, es importante resaltar que todas las determinaciones de viscosidad en el Laboratorio deben efectuarse a 28°C debajo del punto de inflamación para evitar vaporización de ligeros o sea la pérdida de las fracciones livianas que están conformadas por los maltenos entre ellos los aceites y parafinas.

2.2.7.4 La susceptibilidad térmica del asfalto

Su susceptibilidad térmica se precisa como el cambio de la consistencia, medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura. En el caso del asfalto viene a ser la variación de sus propiedades al ser sometido a temperaturas establecidas.

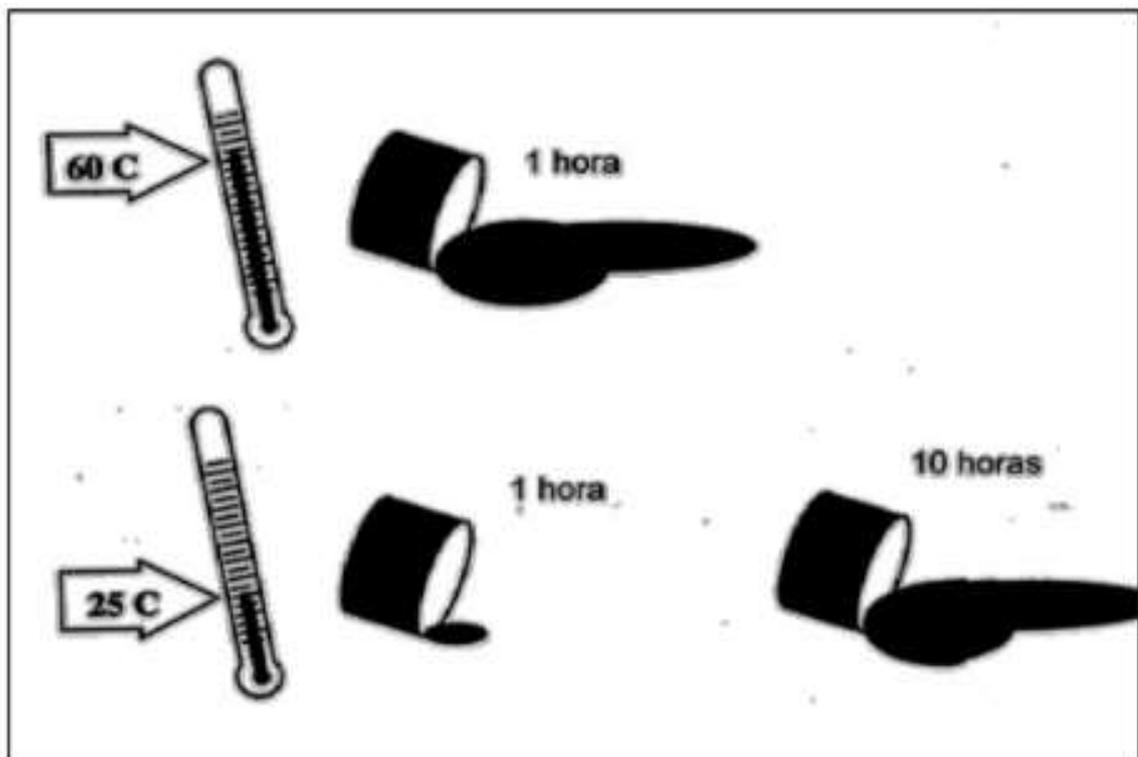
El cemento asfáltico es un material termoplástico, cuya consistencia cambia con la temperatura, la magnitud y la duración de la carga; es una propiedad inseparable a todo cemento asfáltico, que se debe manejar y aprovechar al máximo.

Esta característica del asfalto cuando es sometido a diferentes temperaturas. Se requiere dos medidas de la viscosidad como mínimo, para poder determinar la susceptibilidad térmica de un asfalto. Los cementos asfálticos con un alto

grado de susceptibilidad térmica no son deseables, ya que su viscosidad a 135°C - muy baja - puede ocasionar inconvenientes durante el proceso de mezclado y compactación. Por otro lado, a bajas temperaturas de servicio su viscosidad puede resultar muy alta y ser causante de problemas de fisuramiento por contracciones térmicas.

Si un cemento asfáltico registra una viscosidad muy baja (muy fluido) a las altas temperaturas de servicio, se pueden generar ahuellamientos. Si por el contrario, el cemento asfáltico presenta altas viscosidades (muy viscosos) a bajas temperaturas de servicio, habrá fisuramiento. Lo anterior va unido a los cambios en el sistema coloidal que pudieron presentarse durante la elaboración de la mezcla en planta.

Figura N° 08: Efectos de la Susceptibilidad Térmica del Asfalto



Fuente: *El Estado del Arte de los Pavimentos Asfálticos - Huamán N.(2010). Curso TITEX URP. Perú.*

La susceptibilidad térmica de un cemento asfáltico se utiliza principalmente en los siguientes casos:

- a) Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación
- b) Calibración de las temperaturas de manejo en planta y en servicio

Asimismo permite obtener información sobre el origen y tratamiento de éstos a través del índice de Penetración o índice de Pfeiffer, pudiendo obtenerse con el Nomograma de Heukelom,

a) Índice de susceptibilidad térmica mediante el Nomograma de Heukelom

Para obtener el índice de susceptibilidad térmica, se siguen los siguientes pasos:

1. después de cuatro ensayos reológicos; penetración, punto de ablandamiento anillo y bola, punto de fragilidad Fraass y medidas de viscosidad; Heukelom elaboró en 1969, un nomograma para caracterizar los Ligantes asfálticos desde el punto de vista de su comportamiento reológico y que permite obtener información sobre el origen y tratamiento de éstos.
2. Los ensayos de penetración y de viscosidad se efectúan bajo las siguientes condiciones:
 - Ensayo de penetración: 100g, 25°C, 5s.
 - Ensayo de viscosidad absoluta: 60°C, 300 mm Hg de presión de vacío.
 - Ensayo de viscosidad cinemática: 135° C
3. Nomograma de Heukelom:
 - a) El Nomograma de Heukelom, tal como muestra la figura 9, tiene en la abscisa principal una escala lineal de temperatura y en las ordenadas dos

escalas logarítmicas: una, en el sector superior izquierdo donde se encuentran los valores de la penetración y la otra, en el sector inferior derecho donde se encuentran los valores de viscosidad. Este nomograma tiene además dos abscisas intermedias: una para el punto de fragilidad fraass y la otra para el punto de ablandamiento de anillo y bola. El diagrama se completa con un punto ubicado en la parte superior y una escala de índice de penetración o Índice de Pfeiffer.

b) Con los valores obtenidos de los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, punto de fragilidad fraas, viscosidad cinemática y viscosidad absoluta, se traza la mejor recta, la cual se traslada en forma paralela hasta el punto ubicado en la parte superior del diagrama. La intersección de esta última recta con la escala de Índice de Penetración entrega el valor de IP, tal como se muestra en la figura 4.5 (Nomograma de Heukelom).

c) En función de la representación obtenida, Heukelom clasifica los Ligantes asfálticos en tres tipos:

- * Tipo S: Corresponden a este tipo los ligantes de destilación directa (Straight) normalmente utilizados en pavimentación, representados por una línea recta. Están formados por hidrocarburos no saturados, son óptimos como ligantes para construcción de carreteras.
- * Tipo W: se basan a este tipo de ligantes parafínicos (Wax), representados por dos rectas sensiblemente paralelas y con una zona intermedia de discontinuidad. La zona de transición es consecuencia de los posibles estados de cristalización (fusión de las parafinas). Estos ligantes asfálticos proceden de crudos parafínicos, (exceso de parafinas en su composición química), compuestos generalmente de hidrocarburos saturados, no proporcionan buenos asfaltos para vías

con un proceso simple de refinación; para ello requieren un proceso adicional de oxidación parcial.

- * Tipo B: Corresponden a este tipo los ligantes soplados (Bronw), representados por dos rectas que se cortan. A bajas temperaturas la recta tiene menos pendiente que la obtenida a altas temperaturas. El soplado del asfalto se obtiene a través de un proceso continuo de oxidación de residuos de petróleo; no son apropiados para preparar mezclas asfálticas.

En la figura 09 se representan los tipos de ligantes mencionados anteriormente.

A partir de las representaciones obtenidas con este nomograma es posible evaluar el comportamiento reológico de los Ligantes asfálticos, así como también determinar en forma indirecta la presencia de parafinas y si ha habido durante su fabricación algún proceso de soplado.

2.2.8 ASFALTOS

Los asfaltos son mezclas de hidrocarburos de alto peso molecular. En conjunto presentan propiedades termoplásticas, cuyo estado y nivel de consistencia varía de sólido a semisólido e incluso a líquido viscoso. Se encuentran en estado natural o pueden ser obtenidos de diferentes procesos de refinación del petróleo crudo.

Asfaltos sólidos

Llamados también **Cementos Asfálticos**, son asfaltos que se emplean en mezclas calientes para su uso en construcciones de pavimentos asfálticos por sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, las cuales brindan características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por ensayo de PENETRACIÓN.

Cementos Asfálticos

Cemento asfáltico 40/50 PEN

Cemento asfáltico 60/70 PEN

Cemento asfáltico 85/100 PEN

FOTO 01



Planta de asfalto de PETROPERU

Asfaltos Líquidos

Es un asfalto con disolventes orgánicos, de curado medio, y por su viscosidad es ideal para superficies muy porosas y maltratadas, además sirve para imprimir las superficies a impermeabilizar.

ASFALTO LÍQUIDO MC – 30

ASFALTO LÍQUIDO RC – 70

ASFALTO LÍQUIDO RC – 25

FOTO 02



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO ASFALTICO DE PETRO PERU

PETROLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A., empresa líder en el sector hidrocarburos, produce y comercializa en el mercado nacional e internacional los Asfaltos Sólidos y los Asfaltos Líquidos.

CUADRO 01



PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ				
CLASE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO				
TIPO DE PRODUCTO				
CEMENTO ASFÁLTICO				
NOMBRE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MIN.	MAX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49
VOLATILIDAD				
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	99.0		D-2042	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0.8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar			
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				

PETROPERÚ ... LA ENERGÍA QUE MUEVE TU MUNDO

CUADRO 02

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO DE LA EMPRESA REPSOL.

○ **Cemento Asfáltico 60/70**

Tipo	AASHTO(M20)			ASTM (D948)			MTC			NTP (321.051)		
	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.
CARACTERÍSTICAS												
Penetración												
a 25° C, 100 gr, 5 seg, 0.1 mm	T-49	60	70	D-5	60	70	MTC-E304	60	70	321.033	60	70
Punto de inflamación												
[Copa abierta Cleveland, °C]	T-48	232	-	D-92	232	-	MTC-E312	232	-	16:05-013	232	-
Ductibilidad												
a 25° C, 5cm/min, cm	T-51	100	-	D-113	100	-	MTC-E306	100	-	16:05-009	100	-
Solubilidad												
en Tridorcetileno, % masa	T-44	99.0	-	D-2042	99.0	-	MTC-E302	99.0	-	16:05-012	99.0	-
Ensayos en el Residuo obtenido de película fina	T-179			D-1754			MTC-E316			D-1754		
3.2 mm, 163°C, 5 hrs.												
Penetración												
en residuo, % del original	T-49	54	-	D-5	52+	-	MTC-E304	52	-	321.033	52+	-
Ductibilidad												
a 25° C, 5 cm/min, cm	T-51	50	-	D-113	50	-	MTC-E306	50	-	16:05-009	50	-
Pérdida por calentamiento												
% masa	-	-	0.8						0.8			
Índice de susceptibilidad térmica												
								-1.0	+1.0			
Ensayo de la Mancha												
(optical)	T-102		Negativo				MTC-E314		Negativo			

CUADRO 03

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
 (Conforme al Reglamento CE N° 1907/2006 - REACH)
CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
Empresa: REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.	Nombre comercial: CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA	
	Nombre químico: Asfalto.	
Dirección: Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1	Sinónimos: Asfalto de petróleo, asfalto para carreteras.	
Tel# (51-1) 517-2021 (51-1) 517-2022	Fórmula: Mezcla compleja de hidrocarburos del petróleo.	N° CAS: 8052-42-4
Fax# (51-1) 517-2026		
	N° CE (EINECS):	N° Anexo I (Dir. 67/540/CEE):

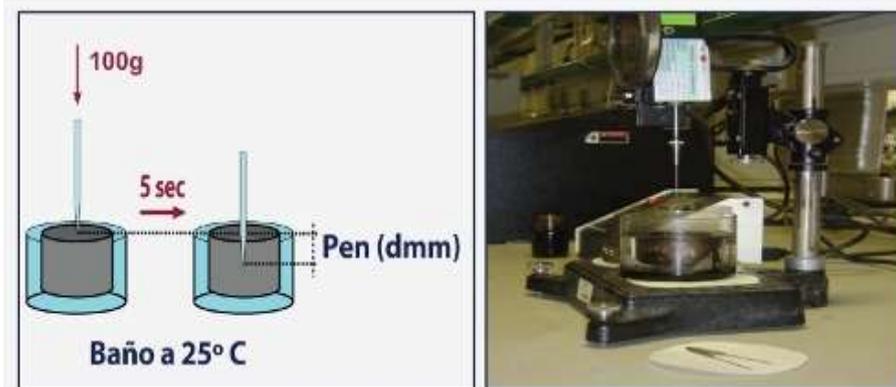
2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	
FÍSICOQUÍMICOS	TOXICOLÓGICOS (SÍNTOMAS)
Los asfaltos de carretera se almacenan y manejan normalmente por encima de los 100°C y al contacto con agua puede conducir a una expansión violenta, peligro de salpicaduras y desbordamiento por ebullición.	Inhalación: Cuando son calentados los asfaltos producen humos. Aunque no se piensa que éstos produzcan un daño significativo para la salud, la prudencia aconseja que se debe minimizar la exposición, observando buenas prácticas de trabajo y asegurando buena ventilación en las áreas de trabajo. El sulfuro de hidrógeno puede acumularse en el espacio de cabeza de los tanques de almacenamiento y potencialmente puede alcanzar concentraciones peligrosas.
Aunque no están clasificados como inflamables, los asfaltos son materiales hidrocarbonados y pueden arder.	Ingestión/Aspiración: No es probable.
	Contacto piel/ojos: Los asfaltos se manejan normalmente a alta temperatura lo que puede causar quemaduras térmicas. Los asfaltos para carreteras no están clasificados como peligrosos según los criterios de la CE, pero contienen concentraciones muy bajas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PCA's). En los asfaltos sin diluir estos PCA's no se consideran biodisponibles. Sin embargo si los asfaltos de carretera se mezclan con diluyentes se cree que tales materiales pueden llegar a ser biodisponibles si el producto

CUADRO 04

ENSAYOS QUE SE LE HACEN AL ASFALTO

Penetración

Ensayo de Penetración



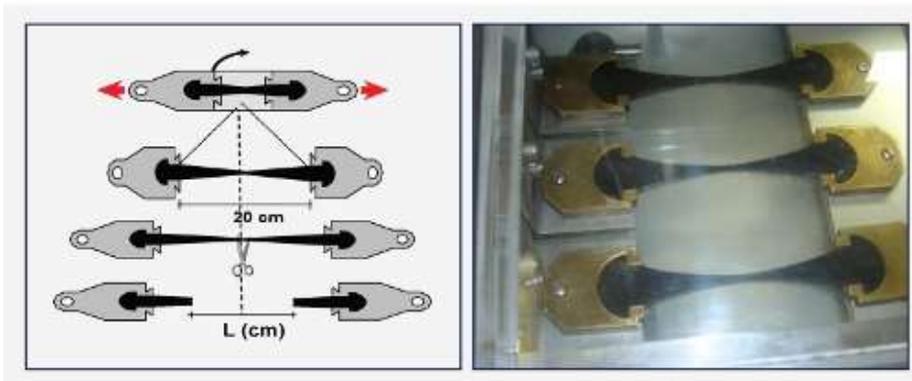
Penetrómetro: Mide la consistencia del asfalto a 25°C.

- El Asfalto es un material Termoplástico.
- Su consistencia varía considerablemente con la temperatura.

Ductibilidad

CUADRO 05

Recuperación Elástica (100%)= $100(L/20)$



- Es la facilidad para alcanzar cierta elongación sin ruptura.
- Es la medida en centímetros de la longitud final que alcanza el asfalto por estiramiento hasta su ruptura.

CUADRO 06

Punto de Ablandamiento

Anillo y Bola equipo automático y manual

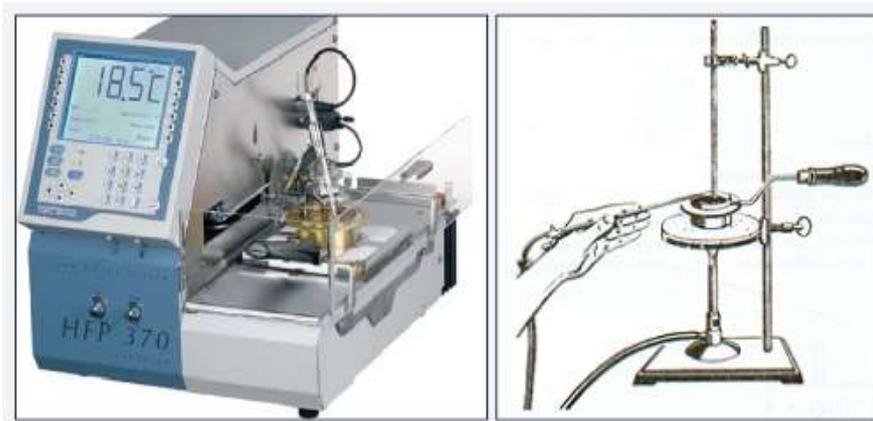


Es otra medida empírica de Consistencia, que corresponde aproximadamente a la temperatura en la cual el asfalto se torna "Blando"

Punto de Inflamación

CUADRO 07

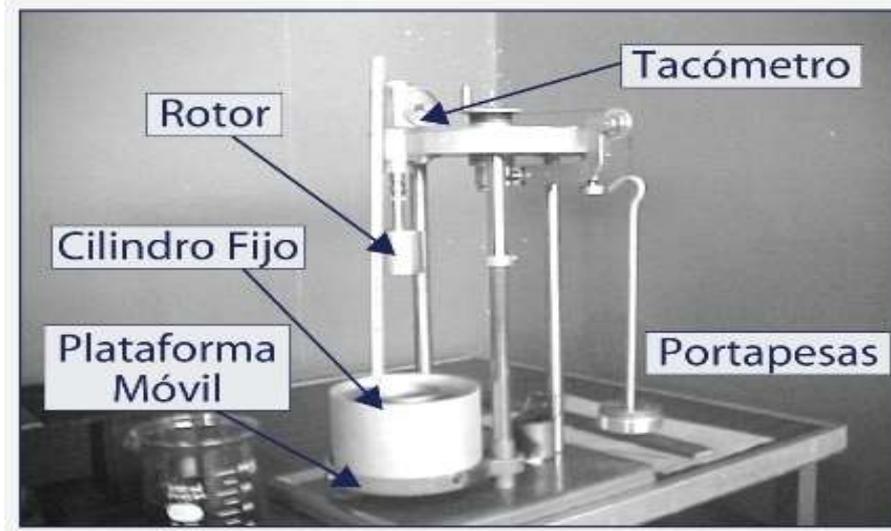
Aparato COC



Es la Temperatura a la cual los vapores del Asfalto se inflaman al entrar en contacto con una "llama de prueba". Bajo condiciones controladas del Ensayo

CUADRO 08

Viscosidad Absoluta



Determina la Resistencia al desplazamiento en el rango de temperaturas usadas durante los usos de aplicación.

Se mide con Viscosímetros Cinemáticos

Ensayo de la Mancha

CUADRO 09

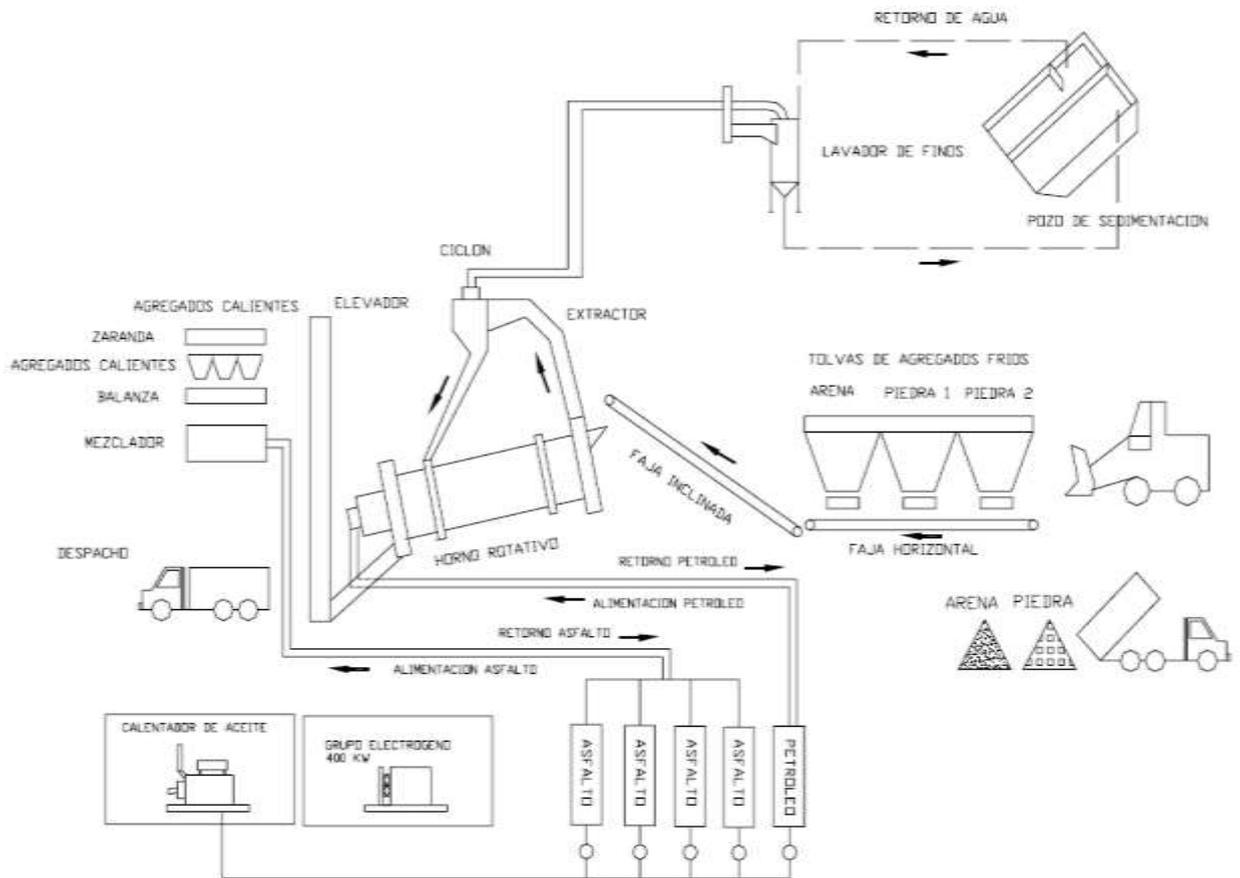
Ensayo de la Mancha



Este ensayo llamado también de OLIENSIS, data de los 1940's y tiene como objetivo determinar la existencia de productos craqueados o sobrecalentados, existiendo una distorsión en el significado de dicho ensayo por la floculación y precipitación de asfaltenos ante la presencia de un electrólito de cadena simple o alifática como el n-heptano en el desarrollo de la prueba, no pasando la prueba por este efecto de solubilidad.

DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CUADRO 10



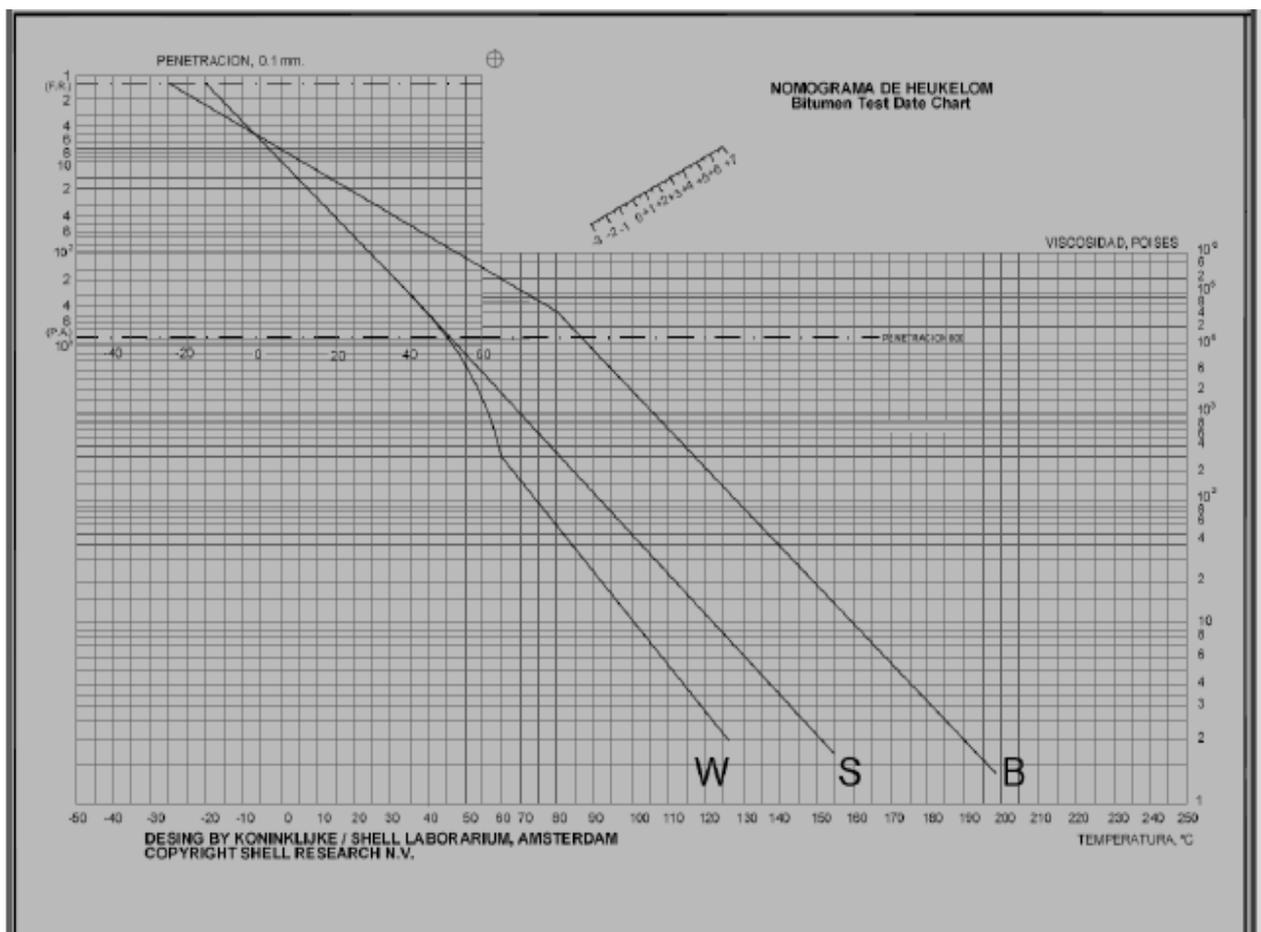
4. Valores del Índice de Penetración o Índice de Pfeiffer

- Proporciona un criterio de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos a los cambios de temperatura, dando además una indicación de su estructura coloidal y de su comportamiento reológico.
- En función del valor del IP obtenido, los ligantes asfálticos se pueden clasificar en:

- Asfaltos con $IP > +1$: Son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad y tixotropía; corresponden a este grupo los asfaltos sopladados.
- Asfaltos con $IP < -1$: Son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano.
- Asfaltos con $-1 < IP < +1$: Poseen características, reológicas y de flujo intermedias entre los dos casos anteriores.

La mayoría de los Ligantes asfálticos empleados en pavimentación presentan valores de IP comprendido en este rango.

Figura N° 09: Nomograma de Heukelom



Fuente: Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras (2009) – Administración Boliviana de Carreteras.

2.2.8.1 La Reología del asfalto

Los materiales bajo la aplicación de una carga. Los antecedentes históricos de la Reología son, a menudo, difícilmente separables de los de la mecánica del medio continuo.

Se consideran como antecedentes básicos, respecto al estudio de la reología lo siguiente:

- La ley de la viscosidad de Newton (1686) para los fluidos viscosos.
- La ley de Hooke (1676) para los medios deformables elásticos.

Trabajos ejecutados en el siglo XIX por Cauchy, Poisson, Navier, Saint Venant y Stokes. El viscosímetro capilar está Relacionado a los nombres de Hagen (1797-1884) y de Pouseuille (1799-1869).

2.2.8.2 Propiedades reológicas de los materiales asfálticos

a) Definición:

La Reología es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir siendo una parte de la mecánica de medios continuos. La reología mide la deformación de los cuerpos que no son ni sólidos ni líquidos, es decir, de cuerpos intermedios entre sólido elástico y líquido viscoso.

La reología estudia las siguientes propiedades:

- La teoría de la elasticidad y resistencia de los materiales.
- La plasticidad.
- La viscosidad.
- La hidráulica.

Los materiales se toman como cuerpos ideales y elásticos, donde el modelo elástico no tiene más validez. Los fenómenos secundarios se pueden obviar, ya que en la teoría elástica no tiene importancia; siendo

el objetivo determinar las deformaciones de los cuerpos intermedios entre sólidos elásticos y líquidos viscosos bajo las fuerzas actuantes teniendo como interés básico el movimiento relativo de las partículas que lo forman.

La reología se divide en 2 campos que son la parte experimental y la parte teórica.

- **La reología experimental** mide sobre cuerpos reales las deformaciones resultantes de las sollicitaciones particulares, fáciles de realizar en el laboratorio
- **La reología teórica** define matemáticamente en comportamiento de estos cuerpos, de manera que se puedan predecir las respuestas en condiciones diferentes del laboratorio.

b) Características reológicas del asfalto

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad.

La viscosidad de asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material sólido con propiedades elásticas. Con el propósito de conocer las características de flujo del asfalto a distintas temperaturas, se utilizan actualmente monogramas y curvas que relacionan las principales propiedades del asfalto.

c) Propiedades reológicas y comportamientos en servicio

La reología es la rama de la mecánica que analiza el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de la carga, mediante el estudio de propiedades de flujo y deformación como la viscosidad, la ductilidad y la fragilidad, logrando establecer una relación entre el estado coloidal de los cementos asfálticos y su composición química.

Cualquier material sometido a un esfuerzo cortante suficientemente grande es capaz de deformarse o fluir. Mientras la mecánica racional considera los cuerpos como elementos indeformables y la mecánica elástica los asimila a sólidos perfectamente elásticos, consecuentes con la ley de Hooke, la reología trata el caso más general en el que las deformaciones producidas, por un agente exterior o por un proceso intrínseco que están ligadas íntimamente al factor tiempo.

La estructura coloidal de los ligantes asfálticos hace bastante complicado el estudio de sus propiedades reológicas, que se dificulta aún más por su acentuado carácter termoplástico. Este carácter, es decir, su propiedad de ablandarse y hacerse deformable por efecto del calor, y de recuperar sus propiedades primitivas al enfriarse, ha hecho posible el empleo del cemento asfáltico como ligante desde la más remota antigüedad, pero es también lo que más complica el estudio de sus propiedades reológicas, pues todas deben estudiarse en función de la temperatura, representadas por curvas más o menos complicadas.

A los fluidos en los que existe una proporcionalidad entre la tensión cortante y la velocidad de deformación se les denominara newtonianos o de fluir simple. El flujo de este tipo se conoce como flujo viscoso o flujo lineal y la gráfica obtenida se le llama curva de flujo o curva de consistencia. En los materiales newtonianos, la viscosidad (η) caracteriza completamente el fluir, ya que ésta es independiente de la fuerza aplicada y de la velocidad de deformación.

Una propiedad particular de los cementos asfálticos de flujo newtoniano es que cuando la tensión cortante se multiplica por un factor A , la velocidad de deformación cortante se multiplica exactamente por el mismo factor.

No obstante, existen muchos materiales de interés técnico, llamados en general no newtonianos, que por no ser verdaderos fluidos muestran viscosidades anómalas. Las leyes de deformación de dichos materiales son intermedias entre las aplicables a los líquidos newtonianos y los sólidos.

Las curvas de consistencia de los mismos presentan formas mucho más complejas, apartándose de las rectas que caracterizan a los líquidos normales, esto significa que el valor de la viscosidad no es una constante, sino que cambia con la intensidad de la fuerza aplicada o con la velocidad de deformación.

d) Curvas de flujo de los cementos asfálticos

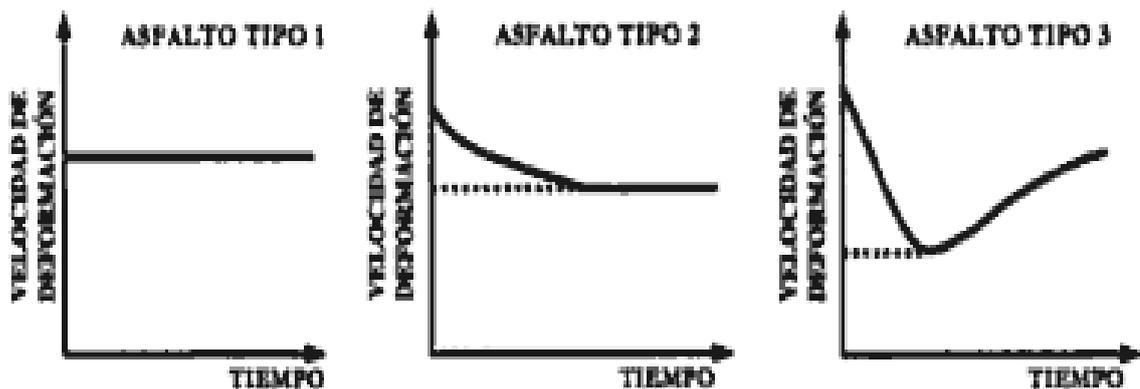
En el diagrama velocidad de flujo - fuerza de corte sólo se indica si el material es newtoniano o no.

Es necesario, por tanto, realizar otras determinaciones que complementen la información anterior para poder conocer exactamente el tipo de flujo no newtoniano. Una de ellas es dibujar las curvas de desplazamiento vs. tiempo y velocidad vs. tiempo, manteniendo constante la fuerza aplicada.

- Cemento asfálticos tipo 1: La velocidad de deformación es constante y proporcional a la fuerza (o tensión cortante) aplicada. Son los denominados cementos asfálticos newtonianos.

- Cemento asfáltico tipo 2: La velocidad de deformación disminuye en principio después de la aplicación de la carga, hasta hacerse sensiblemente constante en un valor proporcional a la carga aplicada. Son característicos de los cementos asfálticos viscoelásticos.
- Cemento asfáltico tipo 3: La velocidad de deformación disminuye inicialmente, pasando por un mínimo y dependiendo de la fuerza aplicada puede llegar a crecer de modo indefinido a detenerse en una situación de equilibrio. Son característicos de los cementos asfálticos tixotrópicos.

Figura N° 10: Variación de velocidad de deformación para diferentes tipos de cementos asfálticos



Fuente: Reyes Lizcano Fredy (2005) - Libro Diseño Racional de Pavimentos. Editorial Javeriana. Colombia.

La clasificación de un cemento asfáltico en alguno de los tipos citados dependerá fundamentalmente de la composición química, tal como se aprecia en la figura.

Al tipo 1 corresponderán aquellos cementos asfálticos con un bajo contenido asfaltenos y los que proceden de una destilación en donde se ha presentado cracking o los muy aromáticos. Los primeros presentarán micelas (pequeñas micas) muy dispersas que no afectaran el comportamiento del fluido intermicelar, lo cual hace que su comportamiento sea el de un fluido viscoso. En los segundos, la concentración de micelas puede ser grande, pero éstas se encuentran saturadas con asfaltenos de relación C:H (número de átomos de carbono / número de átomos de hidrógeno) muy alta (alto grado de aromaticidad), son muy rígidas y su deformación bajo tensiones que hacen fluir la fase intermicelar es despreciable, por lo que la deformación elástica no se aprecia en el conjunto.

Al tipo 2 de cemento asfáltico, corresponden a aquellos que tienen un contenido de asfaltenos más alto que los del primer grupo. La concentración de micelas es elevada y deformable elásticamente bajo esfuerzos de tensión moderados. Las micelas se ubican bien peptizadas, de modo que no existe ninguna unión estructural entre ellas.

Los cementos asfálticos de tipo 3 presentan mayor contenido de asfaltenos y la concentración de micelas es muy elevada. Existen uniones entre ellas que las convierten en una verdadera estructura elástica en el seno del líquido, medio intermicelar, que puedan consistir en verdaderos enlaces químicos entre algunas moléculas de micelas contiguas o un simple entrecruzamiento de ramificaciones de estas moléculas.

e) Influencia de la temperatura en la viscosidad

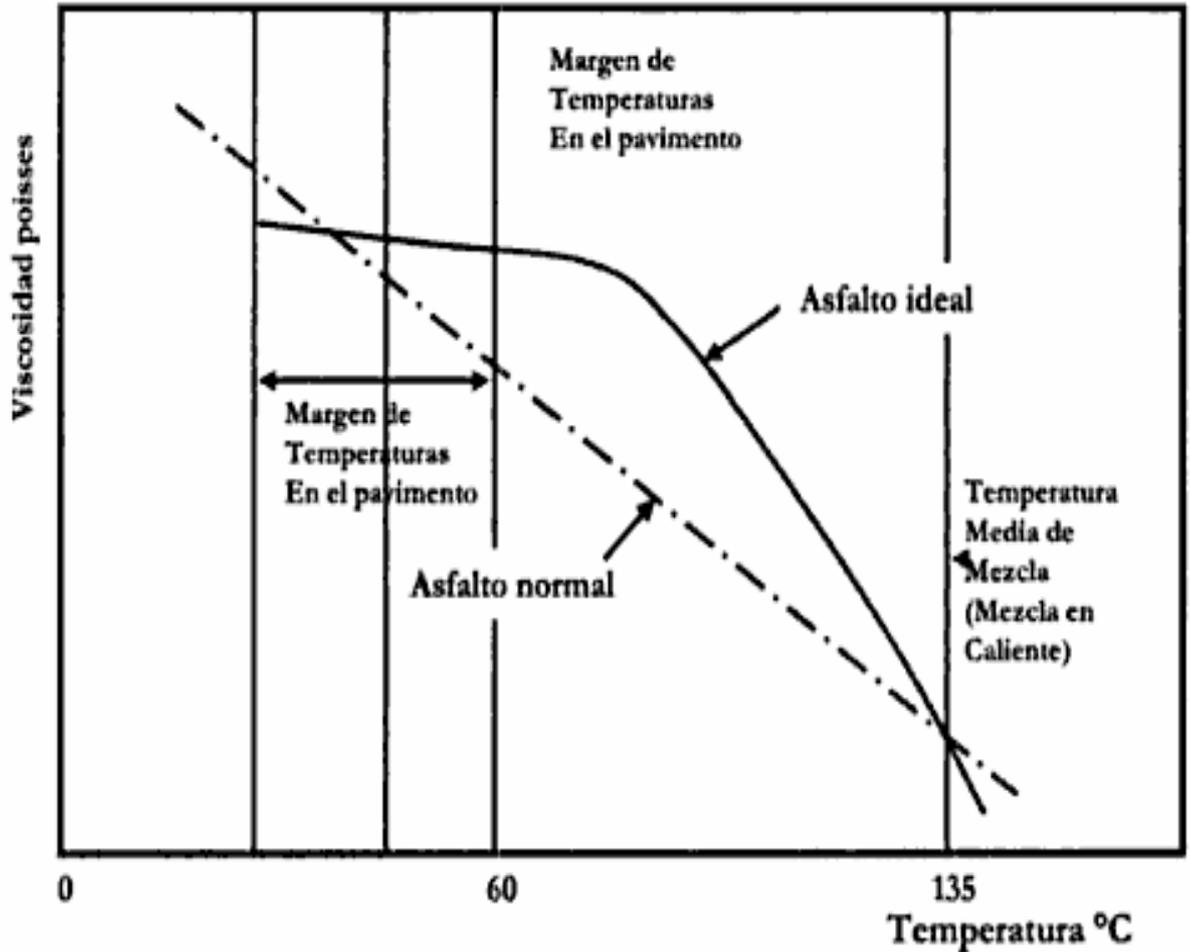
El estudio cuantitativo de la influencia de la temperatura en la viscosidad del cemento asfáltico soporta un alto interés práctico. En casi todas las aplicaciones del cemento asfáltico hay que modificar la viscosidad por calentamiento en algún momento, por lo cual conviene disponer de las curvas viscosidad o temperatura de los ligantes, obtenidas empíricamente, para determinar la viscosidad del producto a una serie de temperaturas.

El cemento asfáltico se conforma de micelas en cuyo núcleo la concentración de asfaltenos es muy elevada y se pasa a las resinas y a los aceites o líquido intermicelar por un proceso gradual de dilución. Al elevarse la temperatura, las fuerzas de absorción que unen las moléculas disminuyen, lo que se traduce en un aumento de la actividad de los disolventes que hace que, en un cemento asfáltico caliente, el líquido intermicelar ocupe un volumen mucho mayor que en el mismo cemento asfáltico frío, mientras que la viscosidad del líquido intermicelar también se reduce.

En conjunto, se tienen micelas de menor volumen dispersas en un líquido intermicelar de viscosidad menor. Por lo cual, los enlaces entre micelas que pudieron existir inicialmente habrán desaparecido o se habrán debilitado, de manera que la viscosidad del cemento asfáltico disminuye con el calentamiento.

Si el aumento de la temperatura es de gran magnitud, se produce un cambio de tipo reológico; es decir, un cemento asfáltico que a una temperatura dada pertenece al tipo 2, puede comportarse a una temperatura más elevada como un cemento asfáltico tipo 1 a la temperatura inicial. De acuerdo con lo anterior, el conocimiento de la susceptibilidad térmica de un cemento asfáltico es vital para determinar las temperaturas óptimas de manejo, tal como se aprecia en la figura.

Figura N° 11: Relación viscosidad - temperatura de un cemento asfáltico



Fuente: Reyes Lizcano Fredy (2005) - Libro Diseño Racional de Pavimentos. Editorial Javeriana. Colombia

2.2.8.1 Parámetros reológicos del asfalto

El estudio de los ligantes asfálticos y su comportamiento reológico de orden superior es efectuado a través de la tecnología SUPERPAVE, (Superior Performing Asphalt Pavements) que es una nueva especificación sobre ligantes asfálticos con un nuevo conjunto de ensayos.

La singularidad del nuevo sistema para ligantes asfálticos reside en que es una especificación basada en el desempeño; especifica ligantes en base al clima y a la temperatura prevista en el pavimento.

El Grado de Performance (PG) de un ligante, ejemplo PG 58-16, el primer número (58) es el grado de alta temperatura. Esto significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas al menos hasta los 58 °C (alta temperatura correspondiente al clima en el que el ligante estará en servicio).

Así mismo el segundo número (-16) es llamado frecuentemente grado de baja temperatura y significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas hasta al menos los -16 °C. Consideraciones adicionales se dan sobre el tiempo de carga (carreteras, calles urbanas, intersecciones, etc.) y la magnitud de la carga (camiones pesados). Otro aspecto clave en la evaluación de ligantes con el sistema Superpave es que las propiedades físicas son medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en laboratorio para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento real; algunas mediciones de las propiedades físicas de los ligantes son ejecutadas sobre ligantes sin envejecer.

Las propiedades físicas son también medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en el horno de película delgada rotativa (RTFO: rollingthin film oven) para simular el endurecimiento por oxidación que ocurre durante el mezclado en caliente y la colocación. Un equipo de envejecimiento a presión (PAV: pressureaging vessel) se usa en el laboratorio para simular el severo envejecimiento que sufre el ligante después de varios años de servicio en un pavimento.

Estas nuevas especificaciones representan, cambios significativos en los procedimientos de ensayo de ligantes y de mezclas asfálticas, visto que privilegia la evaluación de las propiedades reológicas por ensayos más representativos de las mismas que los actuales, basadas en los ensayos tradicionales de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Análisis del tránsito

Es el factor es el más importante, por lo que debe reflejar correctamente el tipo de tráfico que recibirá la vía a reforzar durante su nuevo periodo de diseño.

Asfalto

Sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. Se utiliza para revestir carreteras, impermeabilizar estructuras, como depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas.

Carretera

Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y comunicaciones.

Concreto Asfáltico.

Es una mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada, de cemento asfáltico y agregados de buena calidad bien gradados, que se debe compactar perfectamente para formar una masa densa y uniforme, tipificada por las mezclas Tipo IV del instituto del Asfalto.

Deterioro

Degeneración, empeoramiento gradual de algo

Hundimiento

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Pavimento

Superficie artificial que se hace para que el piso esté sólido y llano.

Ondulación

También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1,0 m.

Pavimentos Asfálticos.

Son pavimentos compuestos por una capa superficial de agregado mineral recubierto y aglomerado con cemento asfáltico, colocada sobre superficies de apoyo tales como bases asfálticas, piedra triturada o grava; o sobre un pavimento de concreto de cemento Portland, de ladrillo o bloques.

Suelo

El suelo es una compleja mezcla de material rocoso fresco y erosionado, de minerales disueltos y re depositados, y de restos de cosas en otro tiempo vivas. Estos componentes son mezclados por la construcción de madrigueras de los animales, la presión de las raíces de las plantas y el movimiento del agua subterránea.

FALLAS POR DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LOS PAVIMENTOS

Son las condiciones que se presentan en un pavimento cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

Fallas funcionales

Se produce una falla en la capacidad funcional del pavimento, es decir, se pierde la calidad de la superficie de rodadura y no se tiene una adecuada fricción superficial, y que afectan al cómodo movimiento de los vehículos.

Las fallas más comunes son:

- Las ondulaciones longitudinales.
- Deformaciones transversales.
- La textura de la superficie.
- El porcentaje de baches y áreas reparadas.

FOTO 03



Ondulaciones

Fallas Estructurales

Son fallas graves e involucran al paquete estructural, se originan cuando se produce la falla estructural en una o varias capas del pavimento, lo que ocasiona el rompimiento del mismo. Estos deterioros afectan significativamente la capacidad de soportar las solicitaciones para las cuales fue diseñado el pavimento.

FOTO 04



Fisuras y grietas por fatigamiento.

CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Agrietamientos o roturas

Piel de cocodrilo

Grietas interconectadas de diferentes tamaños, de forma poligonal, similares a la piel de un cocodrilo. Pueden deberse a fatiga de la carpeta asfáltica, bajo la acción repetida de las cargas de tránsito. Ocurre en áreas sometidas a cargas de tránsito.

FOTO 05



Fisura en bloque

Serie de fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de unos 30 x 30 cm. a 3 x3 metros.

FOTO 06



Las posibles causas:

1. La contracción del concreto asfáltico y los ciclos diarios de temperatura (Ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Cabe mencionar que este tipo de fallas no está asociado a las cargas de tránsito que afectan las capas de rodadura.
2. Envejecimiento del asfalto. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento.

Desprendimientos

Perdida de agregados/Calaveras o surcos/Perdida de la base/Bache superficial

Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento de mezcla asfáltica que al paso de los vehículos se va provocando el desprendimiento del material de la base.

FOTO 07



Posibles causas:

1. Esparcido irregular de asfalto.
2. Asfalto inadecuado.
3. Agregado pétreo inadecuado por falta de adherencia en la liga asfáltica.
4. Agregado sucio, con polvo adherido.
5. Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.
6. Falta de resistencia de la carpeta.
7. Defectos de construcción (espesor deficiente).
8. Drenaje inadecuado o insuficiente.
9. Desintegración localizada por tránsito.

Abultamientos y hundimientos

Los abultamientos son una serie de levantamientos tipo onda que, como su nombre lo dice, se desplazan hacia arriba, y están localizados en la superficie. Los hundimientos son deformaciones hacia abajo del pavimento

FOTO 08



Posibles Causas:

1. Estancamiento de aguas
2. Transito más pesado para el que fue diseñado

Fisuras de reflexión de junta

Son grietas transversales y longitudinales producidas por la reflexión de las juntas del pavimento rígido a la superficie de asfalto. Las fisuras por reflexión de juntas son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto por debajo de la superficie asfáltica, ante los cambios térmicos y de humedad, sin relacionarse con las carga de tránsito a la que son sometidos.

FOTO 09



Fisura de borde

Las grietas de borde son paralelas y están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde del pavimento. Se acelera por las cargas de tránsito y se puede originar por debilitamiento de la base o sub-rasante próxima al borde del pavimento (Falta de confinamiento o compactación de las capas inferiores a la de rodadura) y por condiciones climáticas (Drenaje inadecuado).

FOTO 10



Posibles Causas:

1. Se acelera por las cargas de tránsito
2. Se origina por el debilitamiento de la base o sub-rasante próxima al borde del pavimento
3. Falta de confinamiento o compactación de las capas inferiores a la de rodadura) y por condiciones climáticas (Drenaje inadecuado).

Fisuras transversales y longitudinales

Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Las transversales, en cambio, son perpendiculares al eje del pavimento o a la dirección de construcción.

FOTO 11



Posibles causas:

1. Fatiga en huella de llantas.
2. La contracción de la superficie del asfalto debido a los cambios de temperatura.
3. Endurecimiento del asfalto o también por una fisura de reflejo que se produce debajo de la superficie de uso.

Grieta Parabólica

Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito.

FOTO 12



FOTO 13



Posibles causas:

1. Carpeta asfáltica débil.
2. Zonas de frenado de las ruedas.
3. Efecto en el arranque de las ruedas.
4. Mezcla inestable.

Roderas o canalizaciones

Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos.

FOTO 14



FOTO 15



Posibles causas:

1. Baja estabilidad de la carpeta.
2. Carpeta mal compactada.
3. Consolidación de una o varias capas subyacentes.

FOTO 16

Ondulaciones transversales (corrugaciones)

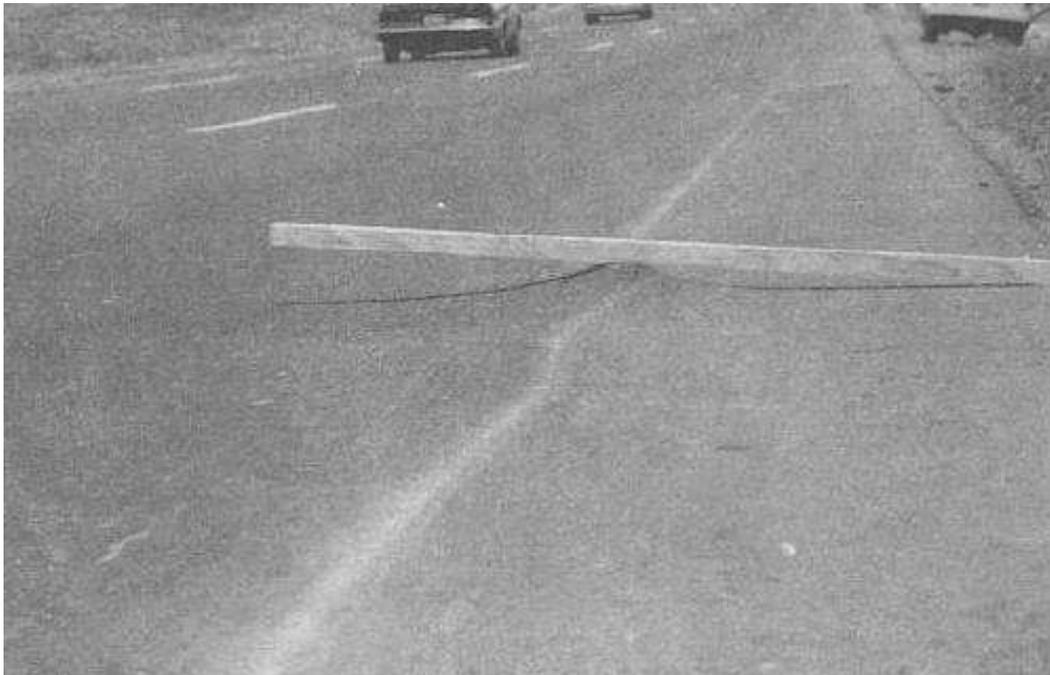


Posibles Causas

1. Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
2. Estabilidad de la mezcla deficiente.
3. Acción de tránsito intenso.
4. Bases de mala calidad.
5. Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenados de los vehículos.
6. Mala calidad de los materiales de suelos de cimentación.
7. Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores.

FOTO 17

Protuberancias



Posibles causas:

1. Acción del tránsito intenso.
2. Estabilidad inadecuada.
3. Compactación inadecuada.
4. Deformaciones plásticas de los materiales.
5. Acción de heladas.

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

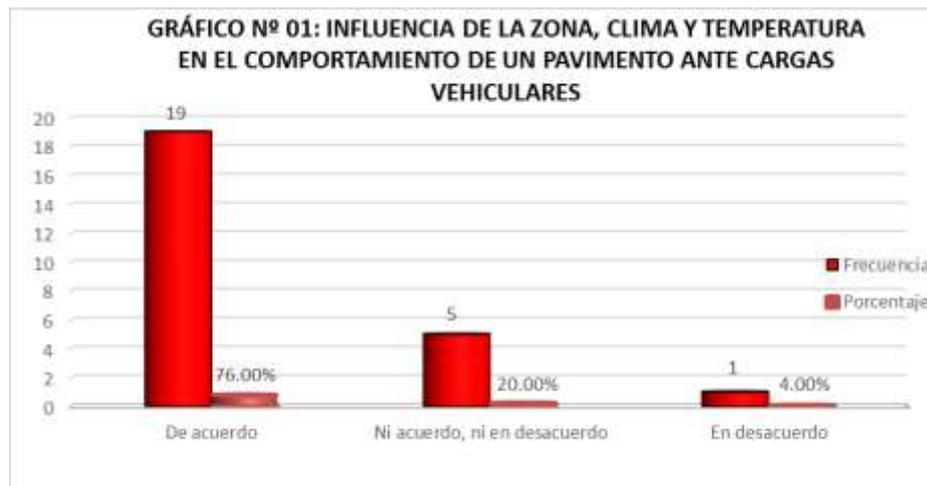
3.1. Análisis de Tablas y Gráficos

3.1.1 Análisis de datos

Tabla N° 01: ¿La zona, clima y temperatura influyen en el comportamiento de un pavimento ante cargas vehiculares?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	19	76.00%	76.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	5	20.00%	96.00%
En desacuerdo	1	4.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 01

Interpretación:

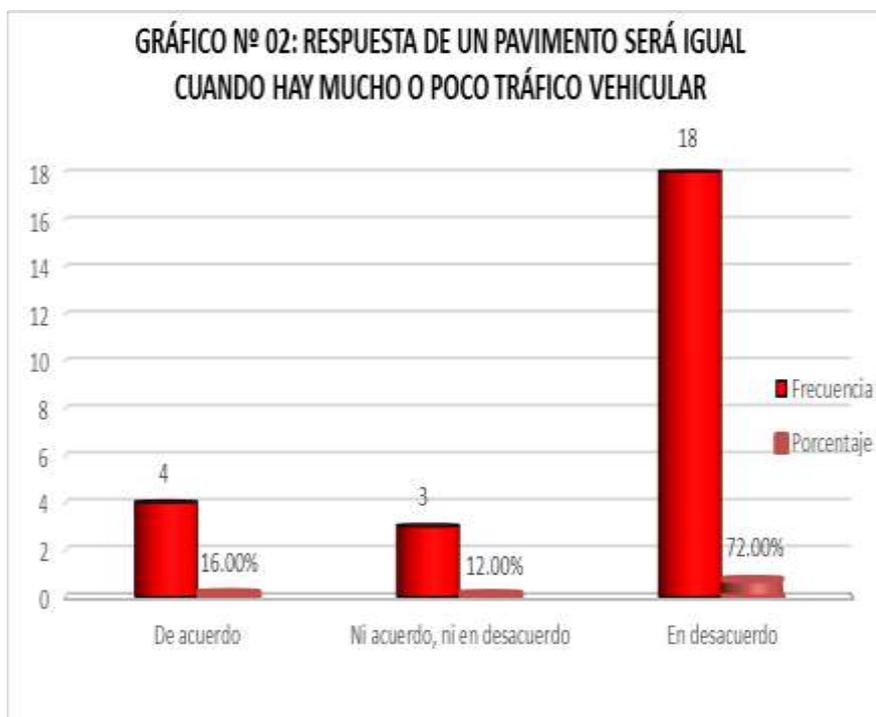
En la figura N° 01, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 76,00% está de acuerdo en afirmar que la zona, clima y temperatura influyen en el comportamiento de un pavimento ante cargas vehiculares, el 20,00% declaró que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 4,00% sostuvo que está en desacuerdo en sustentar que la zona, clima y

temperatura influyen en el comportamiento de un pavimento ante cargas vehiculares.

Tabla N° 02: ¿La respuesta de un pavimento será igual cuando hay mucho o poco tráfico vehicular?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	4	16.00%	16.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	3	12.00%	28.00%
En desacuerdo	18	72.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 02

Interpretación:

En la figura N° 02, se muestran los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 72,00% está en desacuerdo en asegurar que la respuesta de un pavimento será igual cuando hay mucho o poco tráfico vehicular, el 16,00% declaro que está de acuerdo y el 12,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo en afirmar que la respuesta de un pavimento será igual cuando hay mucho o poco tráfico vehicular.

Tabla N° 03: Si disminuimos es espesor de la carpeta asfáltica determinando el tipo de pavimento de una vía ¿La resistencia del pavimento s1erá la misma?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	0	0.00%	0.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	5	20.00%	20.00%
En desacuerdo	20	80.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



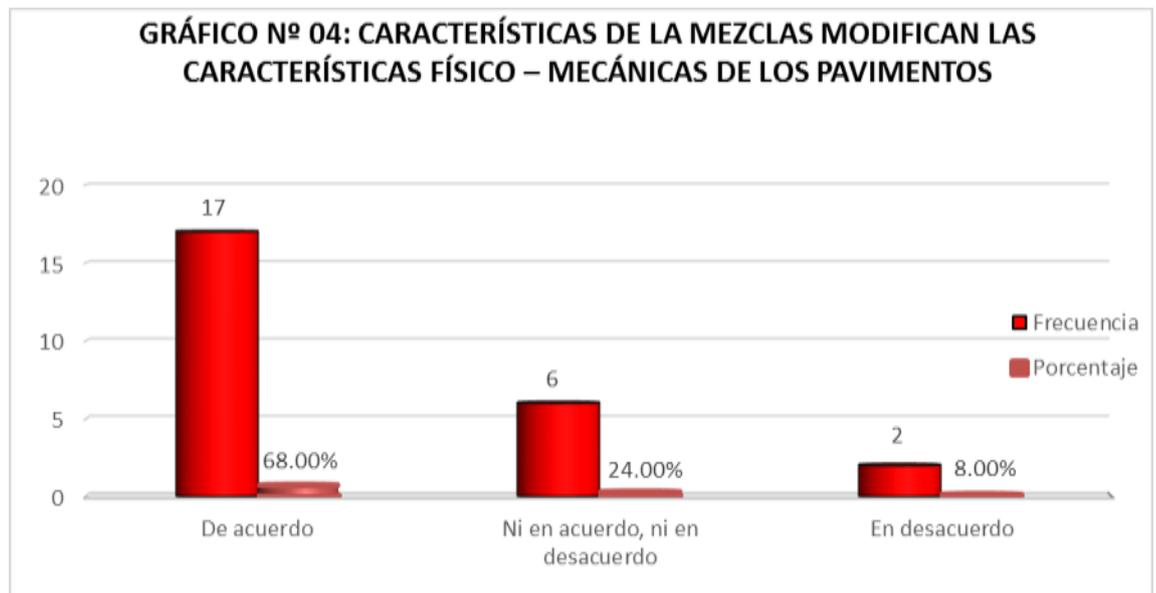
Fuente: Tabla N° 03

En la figura N° 03, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 80,00% está desacuerdo en argumentar que la disminución del espesor de la carpeta asfáltica determinando el tipo de pavimento de una vía, cambia la resistencia del pavimento, y el 20,00% declaro que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo en afirmar que la disminución del espesor de la carpeta asfáltica determinando el tipo de pavimento de una vía, cambia la resistencia del pavimento.

Tabla N° 04: ¿Crees que las características de la mezclas modifican las características físico – mecánicas de los pavimentos?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	17	68.00%	68.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	6	24.00%	92.00%
En desacuerdo	2	8.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 04

Interpretación:

En la figura N° 04, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 68,00% está de acuerdo en asegurar que las características de la mezclas modifican las características físico – mecánicas de los pavimentos, el 24,00% declaro que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 8,00% sostuvo que está en desacuerdo con sustentar que las características de la mezclas modifican las características físico – mecánicas de los pavimentos.

Tabla N° 05: Uno de los factores principales que se debe tener en cuenta es el tránsito vehicular ¿sería conveniente utilizar asfaltos modificados para la construcción de una vía con poco tránsito vehicular?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	4	16.00%	16.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	7	28.00%	44.00%
En desacuerdo	14	56.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 05

Interpretación:

En la figura N° 05, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 56,00% está en desacuerdo en argumentar que sería conveniente utilizar asfaltos modificados para la construcción de una vía con poco tránsito vehicular, el 28,00% declaro que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 16,00% está de acuerdo en sustentar que sería conveniente utilizar asfaltos modificados para la construcción de una vía con poco tránsito vehicular.

Tabla N° 06: ¿El diseño de la mezcla asfáltica se realizará eligiendo el material correcto para la aplicación deseada?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	16	64.00%	64.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	8	32.00%	96.00%
En desacuerdo	1	4.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 06

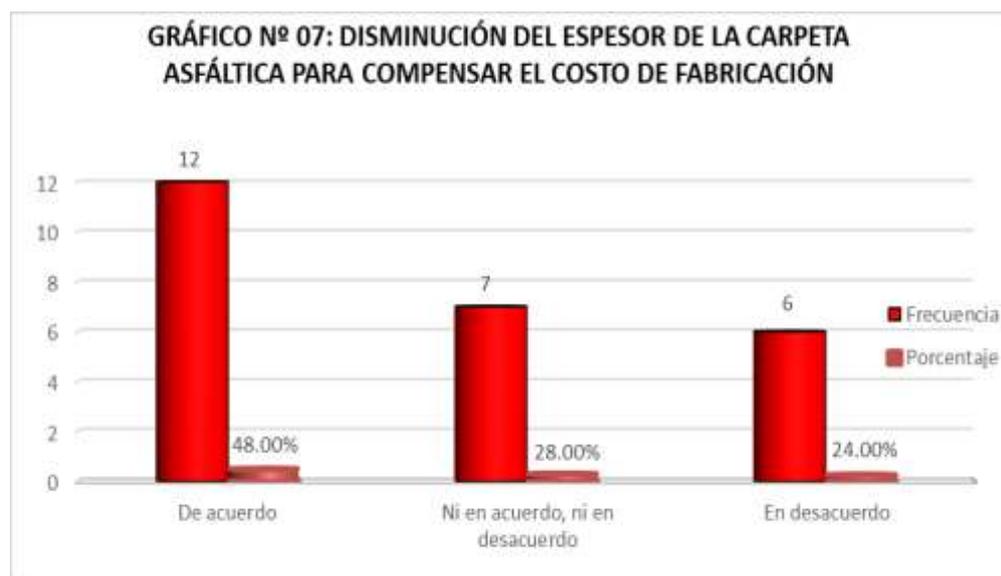
Interpretación:

En la figura N° 06, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 64,00% está de acuerdo en asegurar que el diseño de la mezcla asfáltica se realiza eligiendo el material correcto para la aplicación deseada, el 32,00% declaró que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 4,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que el diseño de la mezcla asfáltica se realiza eligiendo el material correcto para la aplicación deseada.

Tabla N° 07: Para realizar un diseño de pavimento modificado ¿cree que se podría disminuir es espesor de la carpeta asfáltica y así compensar el costo de fabricación?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	12	48.00%	48.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	7	28.00%	76.00%
En desacuerdo	6	24.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 07

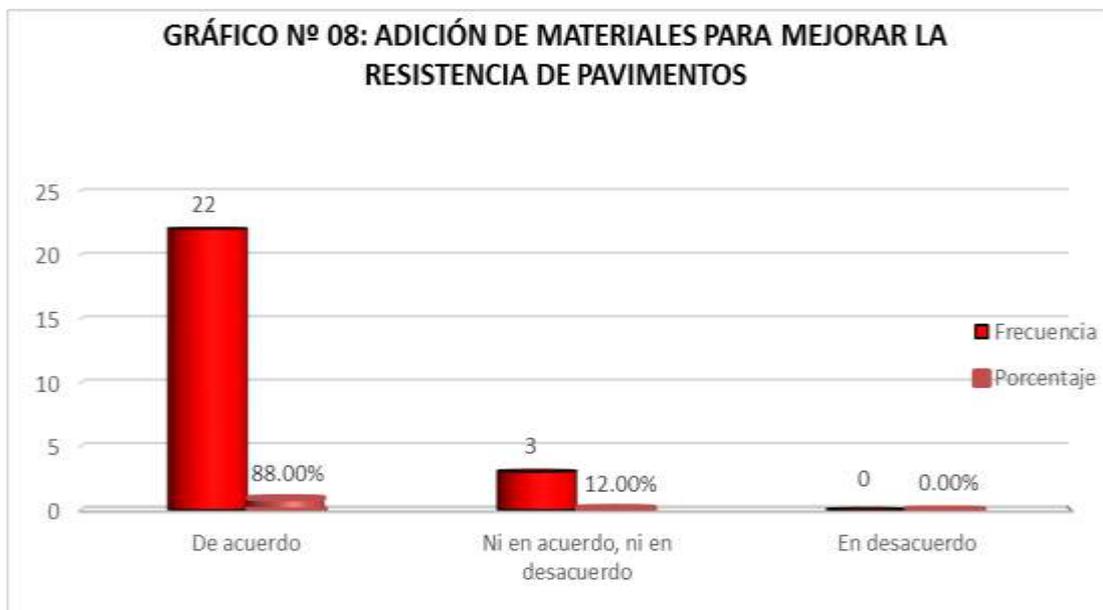
Interpretación:

En la figura N° 07, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 48,00% está de acuerdo en asegurar que se podría disminuir el espesor de la carpeta asfáltica y así compensar el costo de fabricación, el 28,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 24,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que se podría disminuir es espesor de la carpeta asfáltica y así compensar el costo de fabricación.

Tabla N° 08: ¿Con la adición de materiales como polímeros podemos mejorar la resistencia de pavimento ante deformaciones?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	22	88.00%	88.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	3	12.00%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 08

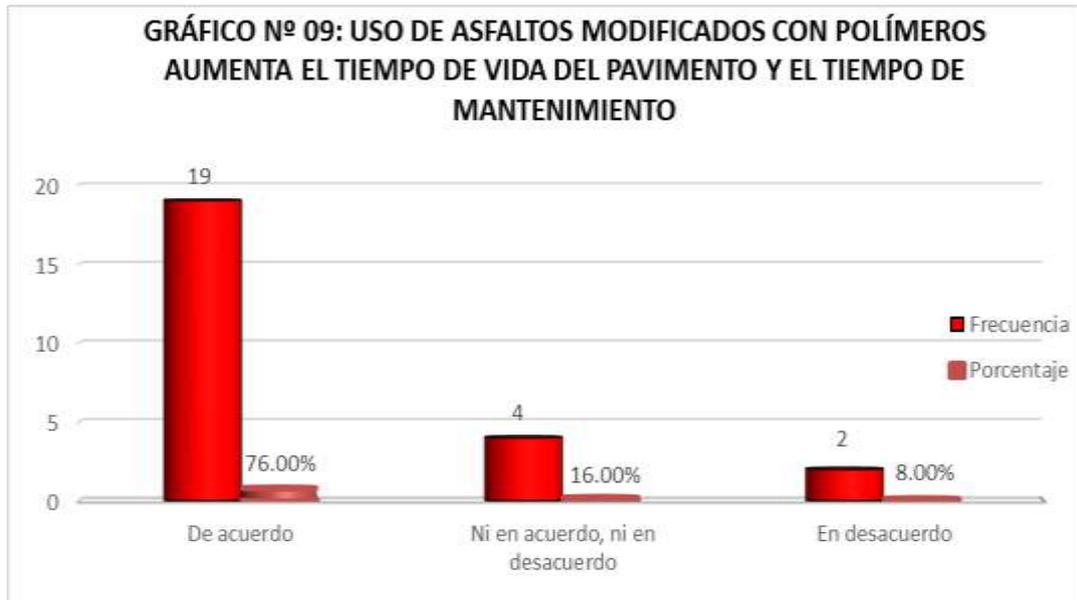
Interpretación:

En la figura N° 08, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 88,00% está de acuerdo en asegurar que la adición de materiales como polímeros mejora la resistencia de pavimento ante deformaciones, el 12,00% declaró que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo en sustentar que la adición de materiales como polímeros mejora la resistencia de pavimento ante deformaciones.

Tabla N° 09: Al usar asfaltos modificados con polímeros ¿Aumentamos el tiempo de vida del pavimento y a la vez alargaremos el tiempo de mantenimiento?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	19	76.00%	76.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	4	16.00%	92.00%
En desacuerdo	2	8.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 09

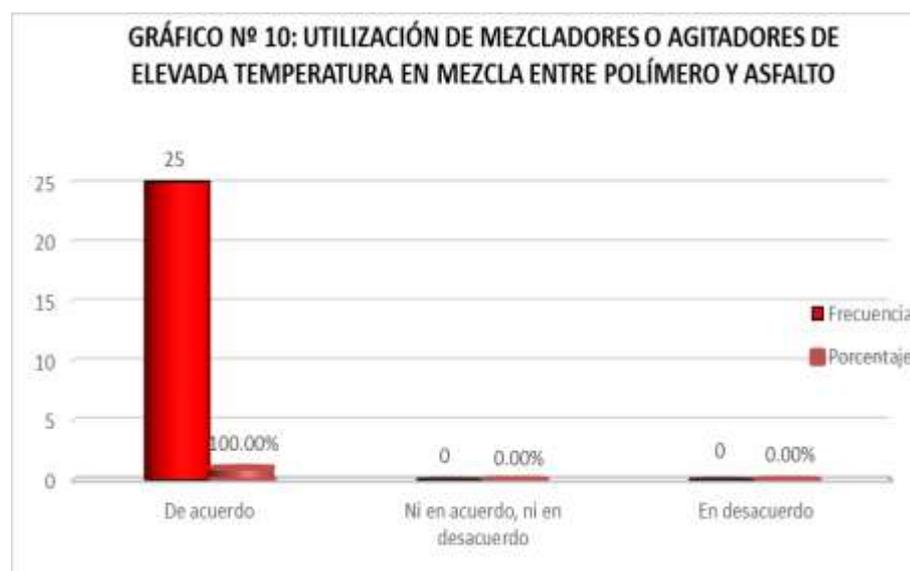
Interpretación:

En la figura N° 09, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la Universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 76,00% está de acuerdo en manifestar que el uso de asfaltos modificados con polímeros aumentamos el tiempo de vida del pavimento y a la vez alarga el tiempo de mantenimiento, el 16,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 8,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que el uso de asfaltos modificados con polímeros aumentamos el tiempo de vida del pavimento y a la vez alarga el tiempo de mantenimiento.

Tabla N° 10: ¿Para lograr la mezcla entre polímero y asfalto, es necesario utilizar mezcladores o agitadores de elevada temperatura?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	25	100.00%	100.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la Universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 10

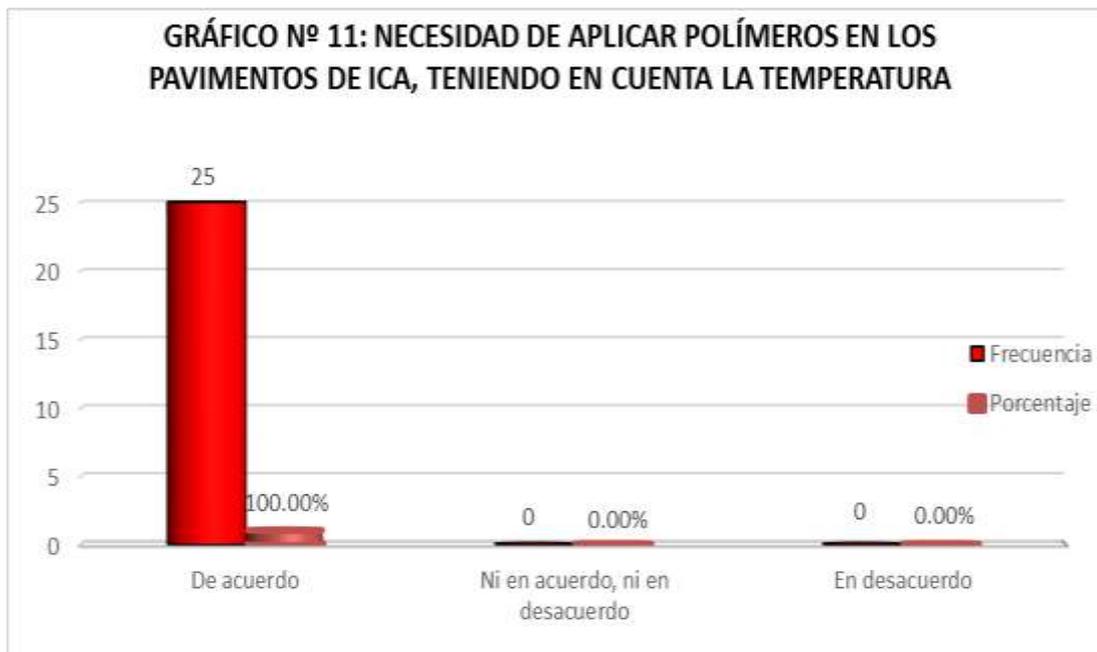
Interpretación:

En la figura N° 10, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 100,00% está de acuerdo en asegurar que para lograr la mezcla entre polímero y asfalto, es necesario utilizar mezcladores o agitadores de elevada temperatura.

Tabla N° 11: ¿Considera necesario aplicar polímeros en los pavimentos de Ica, teniendo en cuenta la temperatura?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	25	100.00%	100.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 11

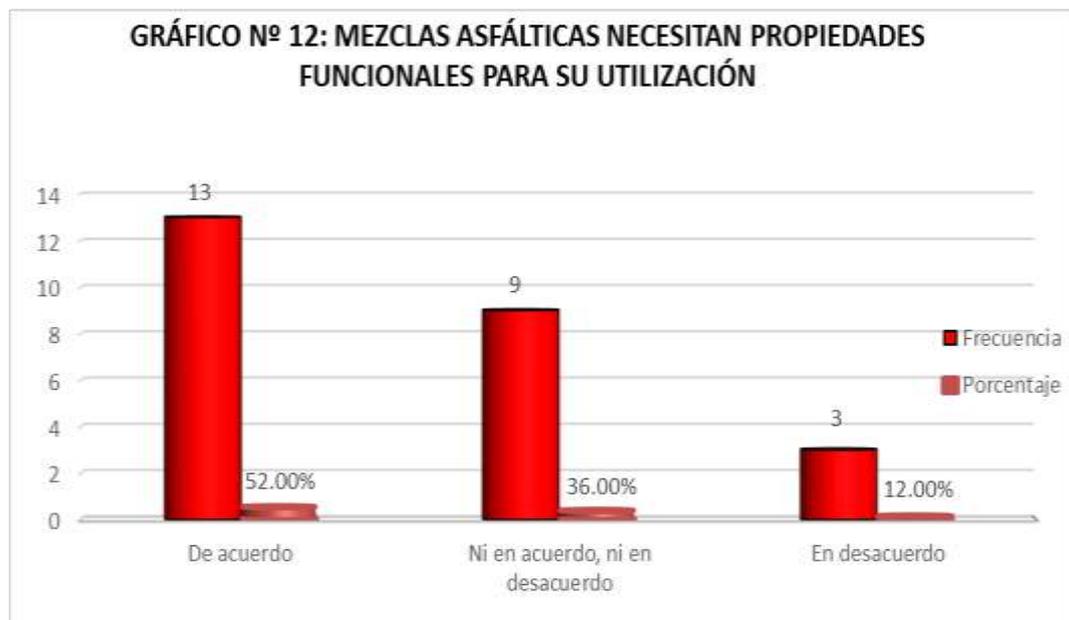
Interpretación:

En la figura N° 11, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 100,00% está de acuerdo en asegurar que es necesario aplicar polímeros en los pavimentos de Ica, teniendo en cuenta la temperatura.

Tabla N° 12: ¿Las mezclas asfálticas deben presentar propiedades funcionales para su utilización?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	13	52.00%	52.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	9	36.00%	88.00%
En desacuerdo	3	12.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 12

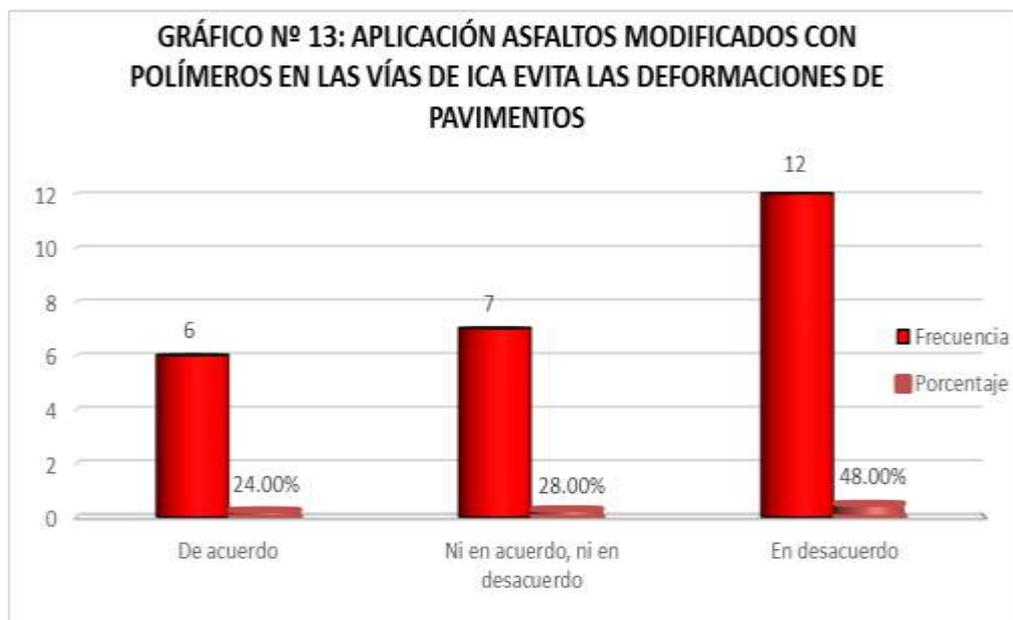
Interpretación:

En la figura N° 12, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 52,00% está de acuerdo en manifestar que las mezclas asfálticas deben presentar propiedades funcionales para su utilización, el 36,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 12,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que las mezclas asfálticas deben presentar propiedades funcionales para su utilización.

Tabla N° 13: Si se aplicara asfaltos modificados con polímeros en las vías de Ica ¿evitaríamos las deformaciones de pavimentos?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	6	24.00%	24.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	7	28.00%	52.00%
En desacuerdo	12	48.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 13

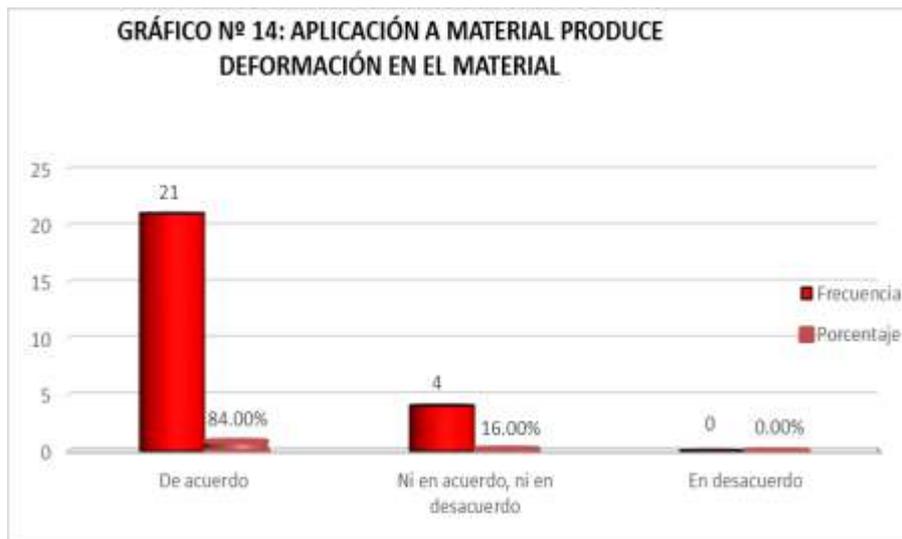
Interpretación:

En la figura N° 13, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 48,00% está en desacuerdo en argumentar que la aplicación asfaltos modificados con polímeros en las vías de Ica evitaría las deformaciones de pavimentos, el 28,00% declaro que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 24,00% está de acuerdo en sustentar que la aplicación asfaltos modificados con polímeros en las vías de Ica evitaría las deformaciones de pavimentos.

Tabla N° 14: ¿Si a un material asfáltico se le aplica una señal de carga dinámica, el material responde con una señal de deformación?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	21	84.00%	84.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	4	16.00%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 14

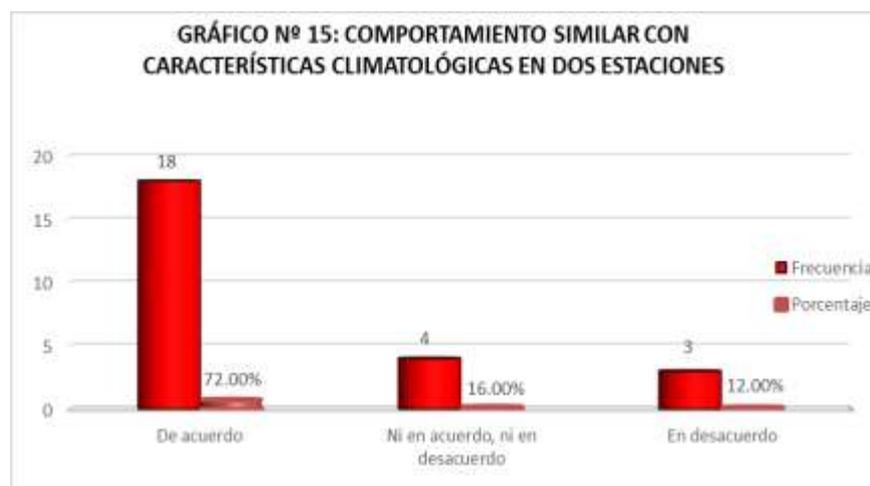
Interpretación:

En la figura N° 14, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 84,00% está de acuerdo en asegurar que si a un material asfáltico se le aplica una señal de carga dinámica, el material responde con una señal de deformación, el 16,00% declaró que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo en sustentar que si a un material asfáltico se le aplica una señal de carga dinámica, el material responde con una señal de deformación.

Tabla N° 15: ¿En la región Ica meteorológicamente homogénea, las características climatológicas en dos estaciones debe mostrar el mismo comportamiento?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	18	72.00%	72.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	4	16.00%	88.00%
En desacuerdo	3	12.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 15

Interpretación:

En la figura N° 15, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 72,00% está de acuerdo en manifestar que las características climatológicas en dos estaciones debe mostrar el mismo comportamiento, el 16,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 12,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que las características climatológicas en dos estaciones debe mostrar el mismo comportamiento.

Tabla N° 16: ¿Una de las causas que produce las deformaciones de los pavimentos es que las mezclas asfálticas se comportan de forma viscoelástica, por lo que en la carpeta de rodadura se pueden producir deformaciones permanentes cuando existen exigencias desfavorables de carga y temperatura?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	20	80.00%	80.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	4	16.00%	96.00%
En desacuerdo	1	4.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 16

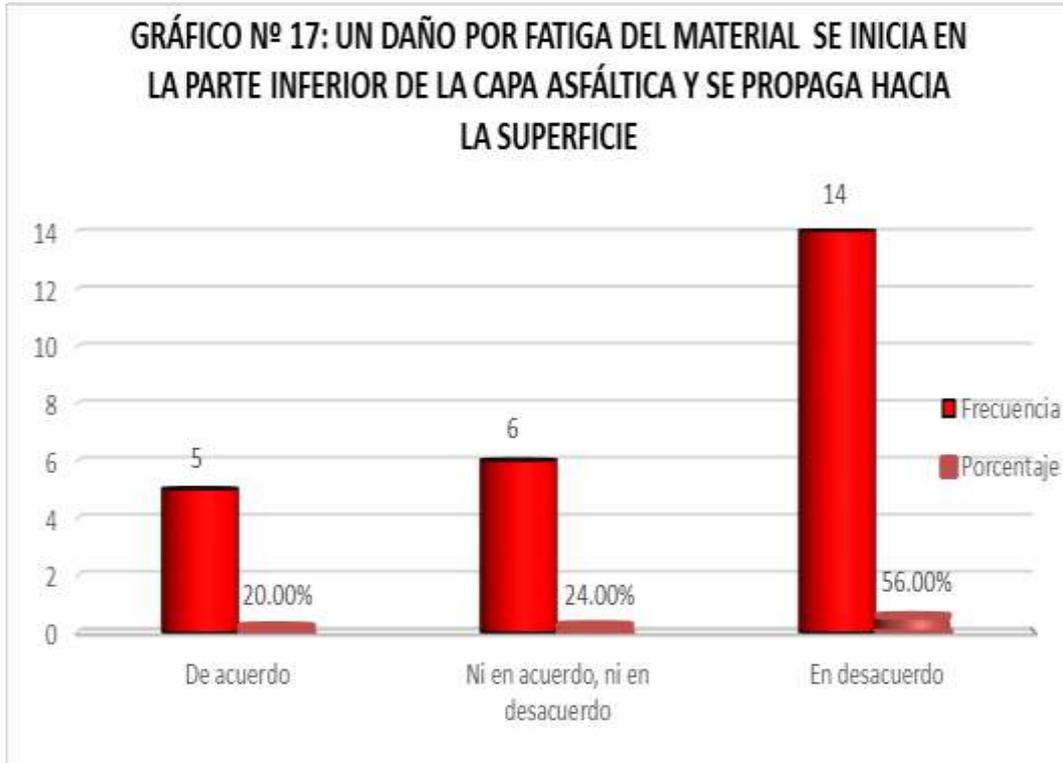
Interpretación:

En la figura N° 16, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la Universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 80,00% está de acuerdo en manifestar que una de las causas que produce las deformaciones de los pavimentos es que las mezclas asfálticas se comportan de forma viscoelástica, por lo que en la carpeta de rodadura se pueden producir deformaciones permanentes cuando existen exigencias desfavorables de carga y temperatura, el 16,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 4,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que una de las causas que produce las deformaciones de los pavimentos es que las mezclas asfálticas se comportan de forma viscoelástica, por lo que en la carpeta de rodadura se pueden producir deformaciones permanentes cuando existen exigencias desfavorables de carga y temperatura.

Tabla N° 17: ¿Generalmente en la mayor parte de las situaciones, el tráfico genera un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	5	20.00%	20.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	6	24.00%	44.00%
En desacuerdo	14	56.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla Nº 17

Interpretación:

En la figura Nº 17, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 56,00% está en desacuerdo en argumentar que un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie, el 24,00% declaro que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 20,00% está de acuerdo en sustentar que un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie.

Tabla N° 18: ¿La temperatura del asfalto en la ciudad de Ica, es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	16	64.00%	64.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	6	24.00%	88.00%
En desacuerdo	3	12.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 18

Interpretación:

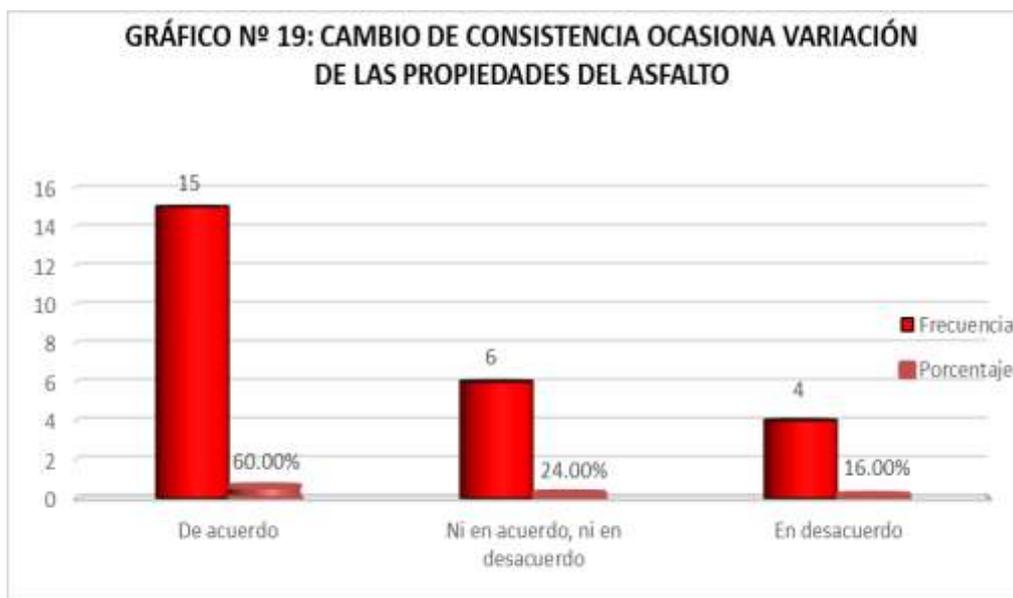
En la figura N° 18, se presenta los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 64,00% está de acuerdo en manifestar que la temperatura del asfalto en la ciudad de Ica, es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente, el 24,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 12,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que

la temperatura del asfalto en la ciudad de Ica, es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente.

Tabla N° 19: ¿El cambio de consistencia medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura ocasiona variación de las propiedades del asfalto?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	15	60.00%	60.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	6	24.00%	84.00%
En desacuerdo	4	16.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla N° 19

Interpretación:

En la figura N° 19, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 64,00% está de acuerdo en manifestar que el cambio de consistencia medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura

ocasiona variación de las propiedades del asfalto, el 24,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 12,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que el cambio de consistencia medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura ocasiona variación de las propiedades del asfalto.

Tabla Nº 20: ¿El tránsito tiene gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitudes adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito?

CATEGORÍA	f(i)	h(i)%	ACUMULADO
De acuerdo	18	72.00%	72.00%
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	4	16.00%	88.00%
En desacuerdo	3	12.00%	100.00%
TOTAL	25	100.00%	

Fuente: encuesta aplicada a 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica.



Fuente: Tabla Nº 20

Interpretación:

En la figura N° 20, tenemos los resultados de 25 ingenieros de la universidad Alas Peruanas de Ica, quienes representan el 100%, donde el 64,00% está de acuerdo en manifestar que el tránsito tiene gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito, el 24,00% sostuvo que no está ni en acuerdo, ni en desacuerdo y el 12,00% sostuvo que está en desacuerdo con afirmar que el tránsito tiene gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito.

3.1.2 Prueba de hipótesis:

3.1.2.1 Prueba de Hipótesis General:

H_G : Las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

H_0 : Las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global no son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

Estadísticos

		ZONA	CLIMA	MEZCLAS	COMPORTAMI ENTO
N	Válidos	25	25	25	25
	Perdidos	0	0	0	0
Media		2,72	2,72	2,60	2,60
Mediana		3,00	3,00	3,00	3,00
Moda		3	3	3	3
Desv. típ.		,542	,542	,645	,707
Varianza		,293	,293	,417	,500
Asimetría		-1,864	-1,864	-1,414	-1,537
Error típ. de asimetría		,464	,464	,464	,464
Mínimo		1	1	1	1
Máximo		3	3	3	3

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
ZONA * DEFORMACIONES	25	86,2%	0	13,8%	25	100,0%
CLIMA *	25	86,2%	0	13,8%	25	100,0%
DEFORMACIONES						
TEMPERATURA *	25	86,2%	0	13,8%	25	100,0%
DEFORMACIONES						

Tabla de contingencia ZONA * DEFORMACIONES

Recuento

		DEFORMACIONES			Total
		EN DESACUERDO	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	EN DESACUERDO	
ZONA	EN DESACUERDO	0	1	0	1
	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	0	1	4	5
	DE ACUERDO	1	2	16	19
Total		1	4	20	25

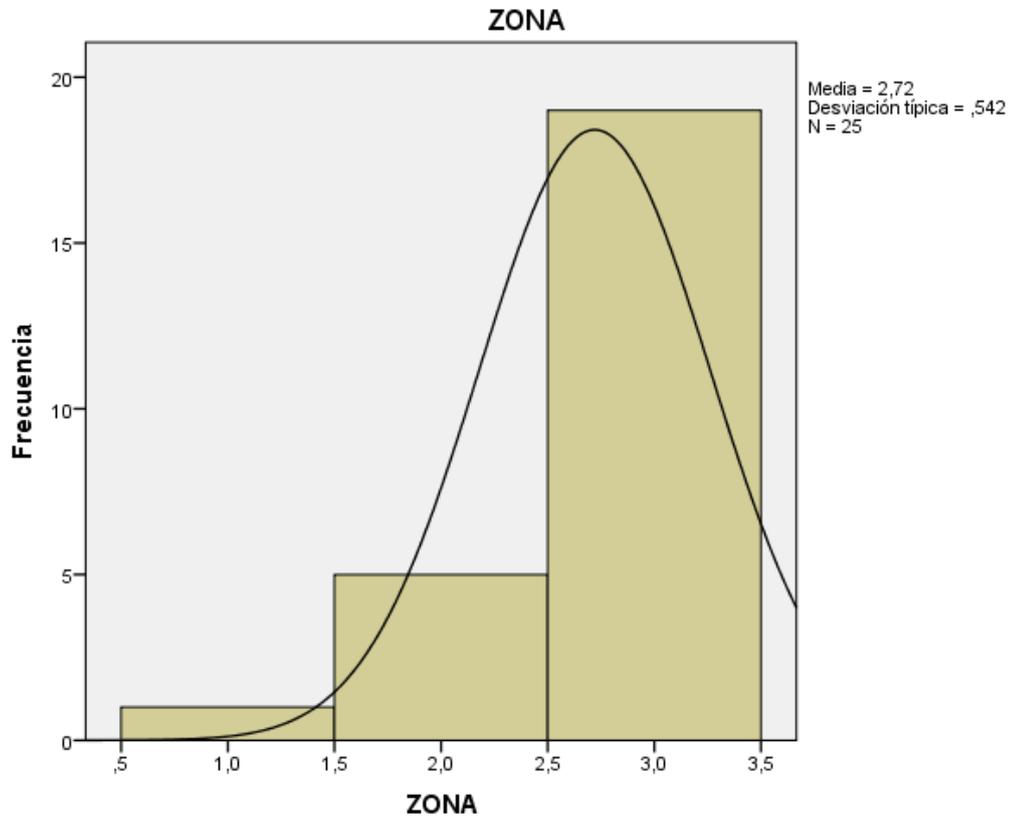


Tabla de contingencia CLIMA * DEFORMACIONES

Recuento		DEFORMACIONES			Total
		EN DESACUERDO	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	EN DESACUERDO	
CLIMA	EN DESACUERDO	0	0	1	1
	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	0	1	4	5
	EN DESACUERDO	1	3	15	19
Total		1	4	20	25

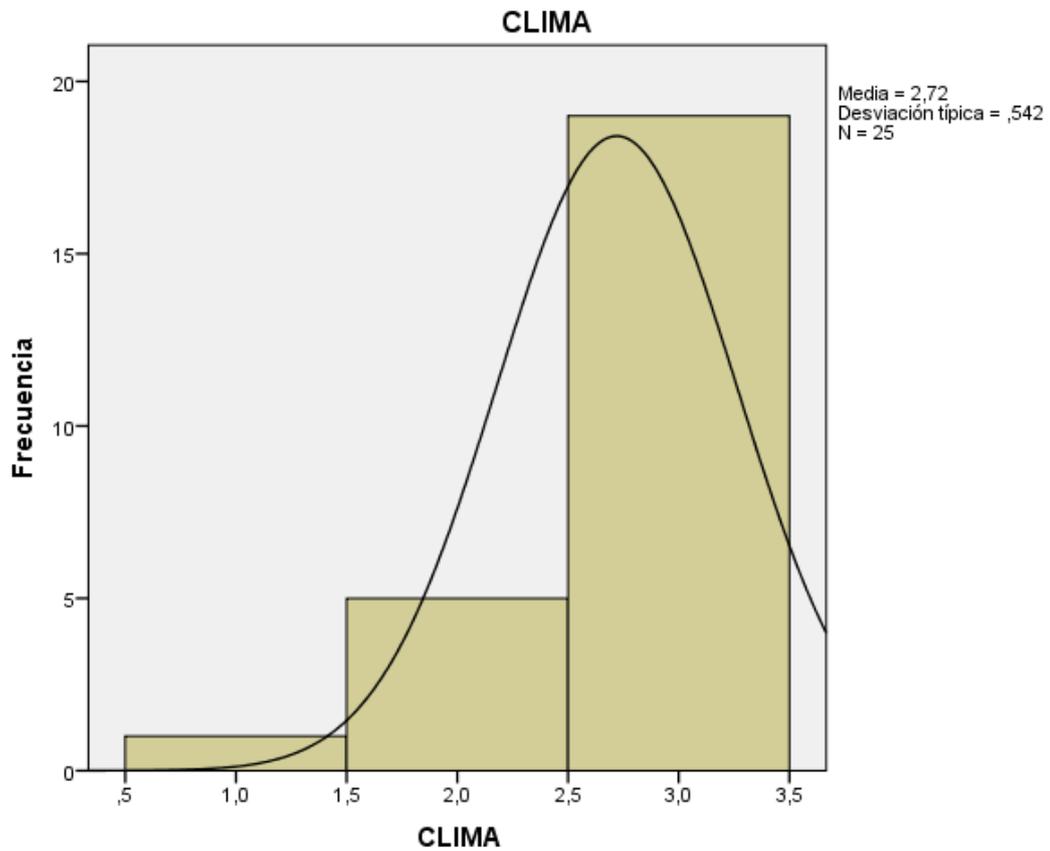


Tabla de contingencia MEZCLA * DEFORMACIONES

Recuento

		DEFORMACIONES			Total
		EN DESACUER -DO	NI EN ACUERDO NI EN DESACUE- RDO	EN DESACUERDO	
MEZCLAS	EN DESACUERDO	0	0	1	1
	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	0	2	3	5
	EN DESACUERDO	1	2	16	19
Total		1	4	20	25

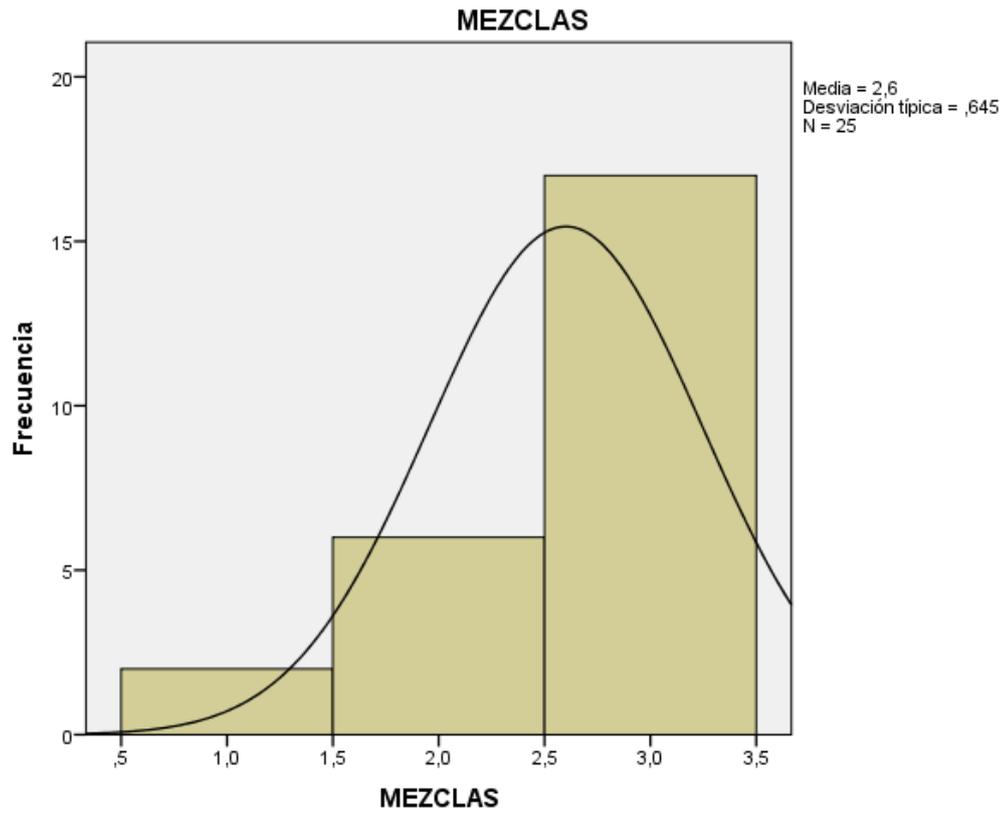


Tabla de contingencia COMPORTAMIENTO * DEFORMACIONES

Recuento

		DEFORMACIONES			Total
		EN DESACUERDO	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	EN DESACUERDO	
COMPORTAMIENTO	EN DESACUERDO	0	0	3	3
	NI EN ACUERDO NI EN DESACUERDO	0	1	3	4
	EN DESACUERDO	1	3	14	18
Total		1	4	20	25

Correlaciones

		CLIMA	DEFORMACIONES
Rho de Spearman	Coeficiente de correlación	1,000	-,065
	CLIMA Sig. (bilateral)	.	,759
	N	25	25
	Coeficiente de correlación	-,065	1,000
	DEFORMACIONES Sig. (bilateral)	,759	.
	N	25	25

Decisión:

Se observa un coeficiente de correlación de $r = 0,759$ con una $p = 0,01$ ($p < 0,05$), con el cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se confirma que las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

3.1.2.2 Prueba de Hipótesis específicas

Prueba de hipótesis específica 1

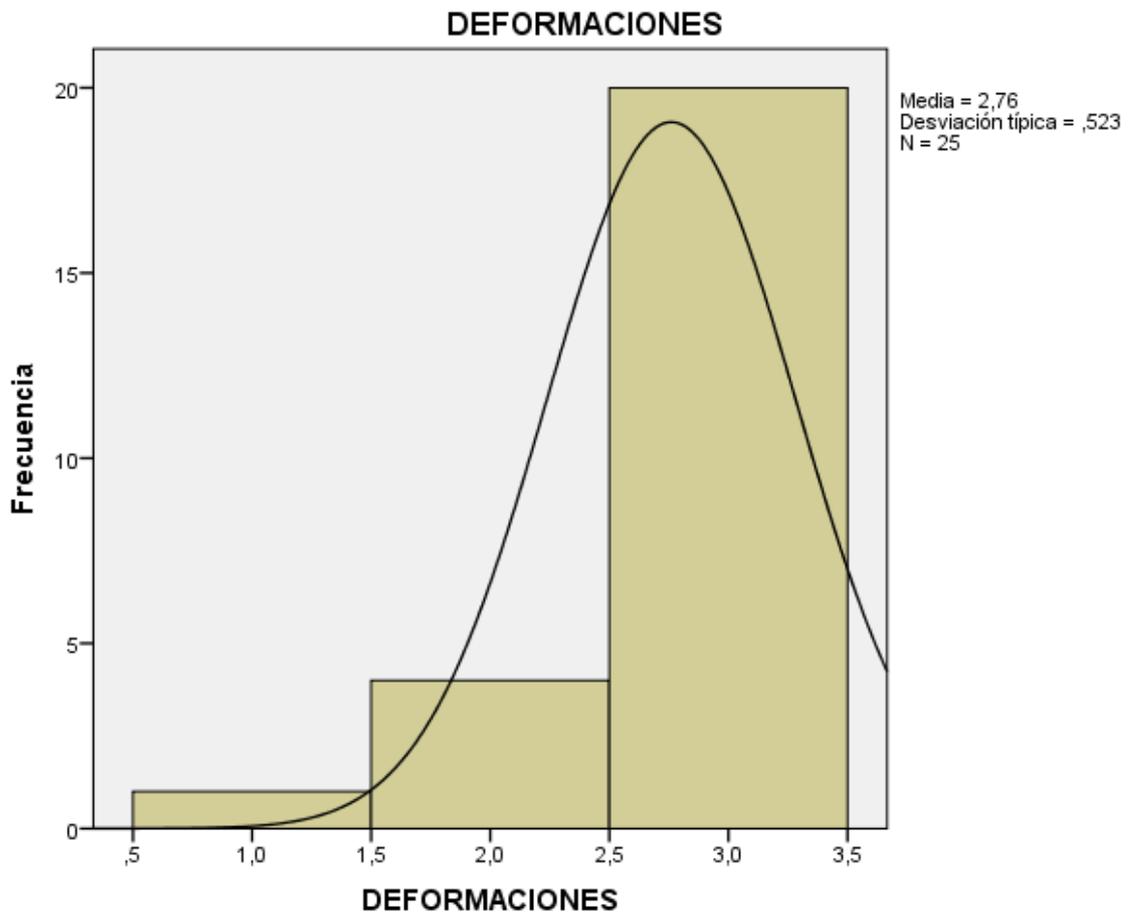
HG: Las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos.

H0: Las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño no influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos.

Correlaciones

			CLIMA	ZONA	DEFORMACIONES
CLIMA		Coeficiente de correlación	1,000	,688**	-,065
		Sig. (bilateral)	.	,000	,759
		N	25	25	25
Rho de Spearman ZONA		Coeficiente de correlación	,688**	1,000	,203
		Sig. (bilateral)	,000	.	,331
		N	25	25	25
DEFORMACIONES		Coeficiente de correlación	-,065	,203	1,000
		Sig. (bilateral)	,759	,331	.
		N	25	25	25

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).



Decisión:

Se observa un coeficiente de correlación de $r = 0,688$ con una $p = 0,01$ ($p < 0,05$), con el cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se confirma que las características geográficas, climatológicas del territorio iqueño influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos.

Prueba de hipótesis específica 2

H1: Los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados.

H0: Los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento no influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados.

Correlaciones

			MEZCLAS	COMPORTAMI ENTO
Rho de Spearman	REOLOGÍA	Coeficiente de correlación	1,000	,001
		Sig. (bilateral)	.	,994
		N	25	25
	COMPORTAMIENTO	Coeficiente de correlación	,001	1,000
		Sig. (bilateral)	,994	.
		N	25	25

Decisión:

Se observa un coeficiente de correlación de $r = 0,688$ con una $p = 0,01$ ($p < 0,05$), con el cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se confirma que los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento influyen moderadamente en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados.

.

Prueba de hipótesis específica 3

Las conclusiones y recomendaciones de esta investigación influyen en la prevención de deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica.

De acuerdo a las conclusiones y recomendaciones de la investigación que surgieron a partir de los datos observados podemos afirmar que este trabajo contribuye en la prevención del deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en la ciudad de Ica.

3.1.3 Discusión de resultados.

A partir de las hipótesis planteadas y del comportamiento de datos observados en los gráficos, discutimos lo siguiente:

Se comprueba la hipótesis general que las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

Las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos. Confirmando lo sostenido por Choque (2012), quien sostiene que las partículas finas al aglutinarse con los agregados gruesos expuestos al medio ambiente

pierden humedad; y con la acción física externa del tránsito vehicular genera disgregamiento superficial, convirtiéndose así en polvo particulado y posteriormente aparecen fallas superficiales como baches, ondulaciones, ahuellamientos, etc.

Los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados. Considerando lo sostenido por Altamirano (2007) quien sostiene que la mayoría de los deterioros encontrados corresponden al fisuramiento de las estructuras de pavimentos que por falta o inadecuado mantenimiento, estas progresan hasta tal grado de generar a través de su evolución deterioros mayores como fisuramiento en bloques; baches de profundidad que afecta el tráfico circundante y propicio para acumulación de agua; grietas longitudinales y transversales con longitudes que atraviesan en ocasiones más de un tablero de losa; deficiencia en los materiales de sellos producto del alabeo de las losas por los cambios volumétricos debido a las temperaturas permitiendo esfuerzos de flexión en el interior de las grietas y ocasionando fracturamiento superior y descascaramientos; peladuras con incidencia de rugosidades altas y moderadas que propician la aparición de hundimientos y baches localizados; hundimientos producto de la falta de soporte de la fundación por la calidad de los suelos que integran las capas inferiores a la carpeta de rodamiento.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.

Específicamente en lo que respecta a la geografía y el clima que presenta el territorio iqueño, reflejado a sus altas temperaturas, haciéndolas proclives a la falla por deformación permanente, como consecuencia de la susceptibilidad térmica que por constitución química está presente en el asfalto.

Se observa que las fallas son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes, es necesario incrementar la resistencia de las mezclas no sólo utilizando cemento asfáltico más viscoso, sino un tipo de asfalto que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento y así tenga una mejor recuperación elástica que evite la acumulación de deformaciones plásticas permanentes. Así, cuando se aplique la carga, el cemento asfáltico actuará como una banda elástica recuperando su posición original luego del paso de la carga en lugar de deformarse.

Asimismo de la bibliografía consultada podemos concluir que una de las causas de la deformación permanente es la incorrecta selección del material viéndose reflejado en las deformaciones de los pavimentos por que estos no tienen la capacidad estructural para soportar cargas aplicadas debido a la presencia de capas débiles en la estructura del pavimento.

RECOMENDACIONES

Se sugiere tener cuidado en la selección, diseño y verificación de la calidad de los agregados con que se fabrican las mezclas asfálticas, considerando que éstos conforman el esqueleto estructural del pavimento en su conjunto y por lo tanto su respuesta para resistir las cargas de los vehículos es determinante para una mayor durabilidad del mismo, evitando de esta manera la falla por deformación permanente. Teniendo como premisa el clima de Ica que tiene como característica ser cálido y tener energía solar intensa durante la mayoría de meses del año.

Es importante que las instituciones públicas y privadas adquieran equipos de laboratorio de acuerdo a los nuevos avances, que permitan mejorar la selección de los materiales y efectuar los diseños más convenientes que aseguren un mejor comportamiento del pavimento ante las deformaciones permanentes.

Se recomienda que se actualice la normatividad vigente en la que se incluya nuevas especificaciones técnicas y nuevos ensayos de laboratorio que permitirán la utilización de asfaltos modificados con polímeros o con polvo caucho y aplicación del Sistema Superpave. Todo esto deberá ser producto de investigación y adecuación de la realidad de nuestros pavimentos a las exigencias de nuestro medio.

Es conveniente que las Universidades del Perú que cuentan con facultades de Ingeniería Civil; incluyan en sus sílabos cursos de ingeniería de pavimentos, así como adquirir equipos de laboratorio y de campo de última generación que les permita formar profesionales en esta especialidad a través de trabajos de investigación en laboratorios y en situ.

Se recomienda la capacitación continua de parte de los docentes y profesionales de la actividad pública y privada que trabajan en esta especialidad de la Ingeniería Civil; esto puede lograrse con la decisión política del estado a través de sus funcionarios, el mismo que debe invertir para mejorar esta tecnología que tanto requiere el país. Igual actitud debe tomar la empresa privada, ya que de esta manera los proyectos y obras serán mejor manejadas y los resultados definitivamente favorecerán al desarrollo del país.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Altamirano (2007). Deterioro de pavimentos rígidos. Universidad de Ingeniería–Lima.

American Concrete Pavement Association (ACPA), “Boletín Técnico - Subgrades and Subbases for Concrete Pavements”.

Asociación de Productores del Cemento del Perú (ASOCEM), “Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos”.

Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), “Boletín Técnico N° 81- Tipos de Pavimento de Concreto”.

Carlos Alberto Chuyes. “Diseño del subdrenaje de pavimentos y su aplicación a dos zonas de Piura”, 1998.

Gaete, R. (2009). *Un sistema de gestión para la mantención de caminos no pavimentados*. Chile.

Gamboa (2013). “Mal estado de los pavimentos y su efecto en el tránsito vehicular del distrito de Trujillo, año 2012”, universidad César Vallejo, sede Trujillo.

German Vivar Romero, “Diseño y Construcción de Pavimentos”, 1995.

Huamán N. (2010): El Estado del Arte de los Pavimentos Asfálticos - Curso TITEX URP. Perú.

Instituto del Asfalto, “Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation”, Manual Series No 17 (Ms – 17), 1983.

Javier Llorach Vargas, “Manual de Diseño Estructural de Pavimentos”, 1992.

José Andrés Bermeo Romero. Tesis “Diseño de sobrecapas asfálticas de refuerzo en pavimentos usando el método del Instituto del Asfalto”, 2003.

Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web www.carreros.org.

Manual para la elaboración del Inventario del Estado Funcional de Pavimentos, tomo VI, publicado por la secretaria de Desarrollo Social de México (SEDESOL) en la página web www.sedesol.gob.mx.

Mukht, M.T y B. J. Dempsey, “Capa Compuesta Absorbente de Esfuerzos”, (ISAC - Interlayer Stress Absorbing Composite), Reporte Final No 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois.

Rafael Feria Torres (2000). “Técnicas de análisis de accidentes de tránsito con alguna aplicación en la ciudad de Piura”, Perú.

Reglamento de peso y dimensión vehicular para la circulación en la red vial nacional.

Ruíz (2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos*, Universidad del Oriente, Venezuela.

Transportation Research Board (TRB), “Portland Cement Concrete Resurfacing”, No 204, 1994.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

ANEXO 02: INSTRUMENTOS

ANEXO 03: FICHAS DE VALIDACIÓN DE ESPERTOS

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN ICA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <p>¿Cuáles son los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño que influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos de</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos, discutiendo las causas que las producen</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Presentar las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño y su influencia en la presencia de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.</p> <p>Describir los factores relevantes y mecanismos que originan la deformación permanente como</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Las características geográficas, climatológicas, de la mezcla asfáltica y el comportamiento estructural global son mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos en Ica.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>Las características geográficas y climatológicas del territorio iqueño influyen en la aparición de fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos.</p> <p>Los factores relevantes como la reología del asfalto, las características de la mezcla</p>	<p>Deformación permanente en las mezclas asfálticas.</p>	<p>Características geográficas</p> <p>Características climatológicas</p> <p>Características de la mezcla</p> <p>Comportamiento global del pavimento</p>	<p>Diseño de la Investigación</p> <p>El diseño de la investigación es no experimental - transversal</p> <p>Tipo de Investigación</p> <p>La presente investigación es aplicada de naturaleza correlacional, explicativa.</p> <p>Población:</p> <p>Estará constituida por 25 Ingenieros</p>

<p>Ica?</p> <p>¿Cuáles son los factores relevantes que influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados?</p> <p>¿De qué manera las conclusiones y recomendaciones de esta investigación influyen en la prevención del deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica?</p>	<p>es la reología del asfalto, las características de la mezcla asfáltica y agregados; el comportamiento estructural global del pavimento, procesos constructivos, entre otros.</p> <p>En función al logro de los dos objetivos específicos mencionados anteriormente, presentar conclusiones y recomendaciones para evitar el deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica.</p>	<p>asfáltica y el comportamiento estructural global del pavimento influyen en la aparición de la deformación permanente asfáltica y agregados.</p> <p>Las conclusiones y recomendaciones de esta investigación influyen en la prevención de deterioro por deformación permanente de los pavimentos asfálticos en Ica.</p>	<p>Deterioro de los pavimentos asfálticos</p>	<p>Suceptibilidad térmica del asfalto.</p> <p>Reología del asfalto</p>	<p>que trabajan en universidad Alas Peruanas de Ica</p> <p>Muestra: Estará constituida por la totalidad de la población en estudio.</p> <p>Técnica: Encuesta Observación Ficha de registro</p> <p>Instrumento: Cuestionario Guía de observación</p>
--	--	---	--	--	--

ANEXO 02: INSTRUMENTOS



ILUSTRACIONES FOTOGRAFICAS

I. FICHA TECNICA

Tema: Deformación permanente de las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en Ica.

Fecha: Julio – Noviembre 2016

FOTO 18



Av. Matías manzanilla.

FOTO 19



Av. Lambayeque 2da cuadra.

FOTO 20



FOTO 21



FOTO 22

Av. Lambayeque 2da cuadra.



Av. Lambayeque 2da cuadra.

FOTO 23



Av. Juan José de Loyola

FOTO 24



Av. Santa Magdalena. (Santa María)

FOTO 25



Av. Tupac Amará (Los Viñedos)

FOTO 26



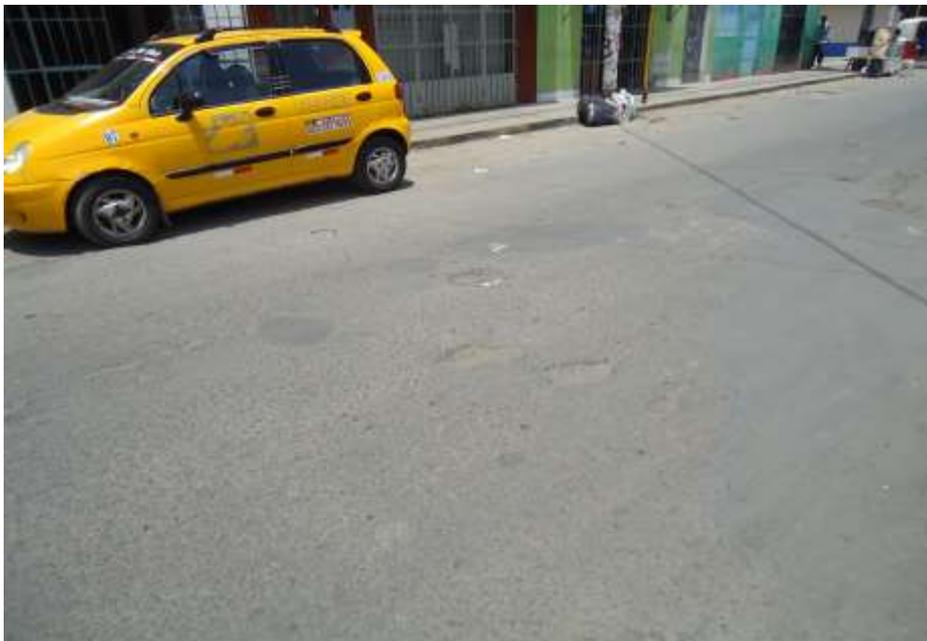
Av. Tupac Amará (Los Viñedos)

FOTO 27



Calle Puno segunda cuadra

FOTO 28



Calle Puno segunda cuadra.

FOTO 29



Calle San Carlos



ENCUESTA SOBRE DEFORMACIÓN PERMANENTE DEL PAVIMENTO

Estimado Ingeniero el presente cuestionario es con fines de investigación, agradecemos conteste con sinceridad las siguientes preguntas:

1. ¿La zona, clima y temperatura influyen en el comportamiento de un pavimento ante cargas vehiculares?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

2. ¿La respuesta de un pavimento será igual cuando hay mucho o poco tráfico vehicular?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni acuerdo ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

3. Si disminuimos el espesor de la carpeta asfáltica determinando el tipo de pavimento de una vía ¿La resistencia del pavimento será la misma?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

4. ¿Crees que las características de las mezclas modifican las características físico – mecánicas de los pavimentos?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

5. Uno de los factores principales que se debe tener en cuenta es el tránsito vehicular ¿sería conveniente utilizar asfaltos modificados para la construcción de una vía con poco tránsito vehicular?

- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
6. ¿El diseño de la mezcla asfáltica se realizará eligiendo el material correcto para la aplicación deseada?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
7. ¿Para realizar un diseño de pavimento modificado ¿cree que se podría disminuir el espesor de la carpeta asfáltica y así compensar el costo de fabricación?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
8. ¿Con la adición de materiales como polímeros podemos mejorar la resistencia de pavimento ante deformaciones?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
9. Al usar asfaltos modificados con polímeros ¿Aumentamos el tiempo de vida del pavimento y a la vez alargaremos el tiempo de mantenimiento?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
10. ¿Para lograr la mezcla entre polímero y asfalto, es necesario utilizar mezcladores o agitadores de elevada temperatura?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

11. ¿Considera necesario aplicar polímeros en los pavimentos de Ica, teniendo en cuenta la temperatura?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

12. ¿Las mezclas asfálticas deben presentar propiedades funcionales para su utilización?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

13. Si se aplicara asfaltos modificados con polímeros en las vías de Ica ¿evitaríamos las deformaciones de pavimentos?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

14. ¿Si a un material asfáltico se le aplica una señal de carga dinámica, el material responde con una señal de deformación?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

15. ¿En la región Ica meteorológicamente homogénea, las características climatológicas en dos estaciones debe mostrar el mismo comportamiento?
 - a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo

16. ¿Una de las causas que produce las deformaciones de los pavimentos es que las mezclas asfálticas se comportan de forma viscoelástica, por lo que

- en la carpeta de rodadura se pueden producir deformaciones permanentes cuando existen exigencias desfavorables de carga y temperatura?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
17. ¿Generalmente en la mayor parte de las situaciones, el tráfico genera un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
18. ¿La temperatura del asfalto en la ciudad de Ica, es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
19. ¿El cambio de consistencia medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura ocasiona variación de las propiedades del asfalto?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo
20. ¿El tránsito tiene gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito?
- a) De acuerdo
 - b) Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
 - c) En desacuerdo