

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

CURSO DE TITULACIÓN POR TESIS - 2012

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE CIVIL - (HUANCAMELICA)

TESIS

**“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE
LA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL
TRAMO: HUANCAMELICA - IZCUCHACA (PE - 26)”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
INFRAESTRUCTURA VIAL**

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

PRESENTADO POR:

Bach. CAYLLAHUA CASTRO, José

Bach. CASTILLO GOMEZ, Alejo

ASESOR: Ing. LÓPEZ BARRANTES, Marco Antonio.

CO ASESOR: Ing. RUIZ GALINDO, Luis Guillermo

HUANCAMELICA - 2013



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 14 días del mes de mayo del año 2013, a horas 6:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Freddy Martín MARRERO SAUCEDO (PRESIDENTE)**, Lic. Franklin SURICHAQUI GUTIERREZ (**SECRETARIO**), y en vista que no se encuentra presente el Ing. Uriel NEIRA CALSIN (**VOCAL**), Accede como titular el Lic. Eleuterio Martín **ALCANTARA ESPINOZA** haciendo la veces de (**VOCAL**), designados con la resolución de Decano N° 014-2013-FCI-UNH, de fecha 10 de enero del 2013, y ratificados con la Resolución de Decano N° 132-2013-FCI-UNH de fecha 09 de mayo del 2013, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO: HUANCAVELICA – IZCUCHACA (PE-26)", presentado por los Bachilleres **José Cayllahua Castro y Alejo Castillo Gómez**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del Ing. **Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES**, Asesor y al Ing. **Luis Guillermo RUIZ GALINDO** como Co Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas... 7:30 p.m.; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

José CAYLLAHUA CASTRO

APROBADO POR... *unanimidad*

DESAPROBADO

Alejo CASTILLO GÓMEZ

APROBADO POR... *unanimidad*

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vocal

Vº Rº Decano

169

A mis padres: Alejandro e Irene por brindarme su apoyo incondicional para culminar mis estudios universitarios.

Alejo.

A mí querida madre Paulina y Hermanos, Freddy y Elizabeth, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundido constantemente, para culminación de mis estudios universitarios.

José.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos el más profundo agradecimiento al Ing. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES, personal de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, por el apoyo y colaboración durante la etapa de ejecución del trabajo de investigación.

Nuestra gratitud a nuestro Co asesor Ing. Luis Guillermo RUIZ GALINDO, por su apoyo incondicional y brindarnos la asesoría necesaria para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a nuestros señores padres, Sr. Alejandro Marcelino CASTILLO QUISPE; Sra. Irene GÓMEZ MENDOZA y Sra. Paulina CASTRO GASPAS, por su apoyo incondicional por haber formado nuevas personas.

A todos ellos ¡MUCHAS GRACIAS!

167

ÍNDICE

PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I: PROBLEMA	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.3 HIPÓTESIS	18
2.4 VARIABLES DE ESTUDIO	18
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO	19
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	20

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	21
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	21
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	22
3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	23
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	23
3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	40
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	40
4.2 DISCUSIÓN	54
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	61
ARTÍCULO CIENTÍFICO	
ANEXOS	62
ANEXO A: Explicación del concepto de rigidez y Dos tipos de carga controlada para pruebas de fatiga (Huang, 1993).	
ANEXO B: Propiedades del asfalto (G. Thenoux, 1999). Y Muestra de un pavimento en proceso de enfriamiento, esfuerzo térmico como respuesta del agrietamiento térmico (Haas, et al., 1987).	
ANEXO C: Tipos de agrietamiento por efecto térmico (Fromm y Phang, 1972).	
ANEXO D: Efecto de envejecimiento en la Penetración; Efecto de envejecimiento en el Punto de Ablandamiento	
ANEXO E: Efecto de envejecimiento en el Índice de Penetración; Mecanismo de falla por baja Temperatura (McLeod 1970).	

105

ANEXO F: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C

ANEXO G: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; Relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C.

ANEXO H: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.5 °C

ANEXO I: Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico (Carpenter, 1983).

ANEXO J: Información revisada sobre el ámbito de estudio.

ANEXO K: Variables e Indicadores considerados en la Investigación.

ANEXO L: Relación de estaciones climatológicas próximas al tramo en estudio.

ANEXO M: Máximas y mínimas temperaturas para el año representativo.

ANEXO N: Propiedades de los asfaltos usados en los tramos estudiados

ANEXO Ñ: Proporción de daño por la ubicación en la vía.

ANEXO O: Proporción de daño por el estado de la fisura.

ANEXO P: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (KM. 00+000 AL KM. 30+000).

ANEXO Q: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

ANEXO R: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (KM. 30+000 AL KM. 60+000).

ANEXO S: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

ANEXO T: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (KM. 60+000 AL KM. 76+000).

ANEXO U: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

ANEXO V: Análisis de varianza de un factor.

ANEXO W: Análisis de varianza.

ANEXO X: Aceptación de hipótesis.

“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO: HUANCVELICA – IZCUCHACA (PE-26)”

Alejo Castillo Gomez y José Cayllahua Castro

RESUMEN

La investigación se realizó tomando como referencia el ámbito nacional de la vía Huancavelica – Izcuchaca entre el año de servicio del 2007 – 2012, comprende una evaluación nacional en la inversión del Estado en la construcción y rehabilitación de caminos, ha permitido implementar la red nacional en aproximadamente 8,477 km., de los cuales 2,000 km., corresponden a caminos construidos en regiones identificadas como “zonas de altura” y de 76.00 km. En nuestra zona de estudio. En todos los casos donde las vías han sido pavimentadas, el material utilizado en la superficie de rodadura ha sido la mezcla asfáltica. Este material en la mayoría de los casos presenta un excelente desempeño, sin embargo se ha constatado que el pavimento construido entre Huancavelica – Izcuchaca (PE-26) “zona de estudio”, ha presentado deterioros prematuros.

El presente trabajo se justificó por no existir investigaciones anteriores respecto al sector, por su valor teórico y utilidad práctica, se desea profundizar el conocimiento del comportamiento de la carpeta asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), enfocado específicamente la influencia de la temperatura, por considerarse una de las variables más críticas e influyentes en la falla del pavimento.

El estudio propone un acercamiento Sustantivo – Explicativo, lo cual, en cierta forma lo “encamina hacia la investigación básica o pura”, permitirá representar el comportamiento del pavimento ante la acción del gradiente térmico “temperatura”, en un determinado periodo de tiempo (5 años de servicio).

Los resultados son expresados en términos de “proporción de daño”. Entre los años 2007 y 2012 puesta en servicio la vía en mención, subdividiendo el tramo principal en 03 sub tramos según expediente técnico y construcción de los mismos, entre los kilómetros 04+000 – 05+000; 44+000 – 45+000; 64+000 – 65+000, se realizaron los estudios de “influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica”, pues son tramos que contienen semejantes características de tipo de suelo para idealizar nuestro estudio. Las proporciones de daño encontrados en los sectores de estudio, expresan la probabilidad de que la falla ocurra en tiempo dado; por lo tanto la proporción de deterioro por efecto térmico constituirá la influencia en el rendimiento de las carpetas asfálticas en la zona de estudio mencionado entre el año 2007-2012, siendo la primera en año puesta en servicio y es segundo el año del presente estudio obteniendo datos de deterioro en el 2012 de Proporción de daño por la ubicación en la vía 55.57; 42.34; 49.37 (Anexos N y O) y por el estado de la fisura 32.33; 46.65; 49.37 (Anexos N y O) con niveles de temperatura que bajan hasta -3.9; -3.9; y -2.5 °C (Ver Anexo M), respectivamente por cada sector en estudio mencionado anteriormente. El rendimiento de una superficie de rodadura, es definida por la AASHTO como serviciabilidad y esta representa la habilidad para servir al tipo de tráfico que usa la vía.

En conclusión, se puede afirmar que el mecanismo de agrietamiento por baja temperatura tiene una baja probabilidad de ocurrencia; los resultados del análisis en el modelo demuestran que en ninguno de los tramos evaluados se alcanzan la probabilidad de que $[\delta - H] > 0$ (Ver Anexo X). Conclusión que concuerda con los rangos de temperatura asociados a los dos tipos de agrietamiento, en cual considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983).

ABSTRACT

The research was carried out with reference to the national level via Huancavelica - Izcuchaca between year of service 2007 - 2012, includes a national assessment in the State's investment in the construction and rehabilitation of roads, has allowed the network to implement national about 8.477 km., of which 2,000 km., correspond to roads built in regions identified as "offshore areas" and 76.00 km. In our study area. In all cases where roads are paved, the material used in the tread has been the asphalt mixture. This material in most cases presents an excellent performance, but it was found that the pavement built between Huancavelica - Izcuchaca (PE-26) "study area", presented premature deterioration.

This work was justified by the absence of previous research on the sector for their theoretical and practical value, we want to deepen the knowledge of the behavior of the asphalt on the National Highway Section: Huancavelica - Izcuchaca (PE-26), focused specifically the influence of temperature, are considered one of the most critical variables and influential pavement failure.

The study proposes an approach Noun - Explanatory, which, as the somewhat "moving towards basic or pure research", will represent the behavior of the pavement under the action of thermal gradient "temperature" in a certain period of time (5 years of service).

The results are expressed in terms of "damage ratio". Between 2007 and 2012 commissioning mention VIA, subdividing the main stretch in 03 sub sections as technical dossier and construction thereof, between km 04 +000 - 05 +000, 44 +000 - 45 +000: 64 +000 - 65 +000, studies were conducted "influence of temperature on the deterioration of the asphalt", as are sections that contain characteristics similar soil type to idealize our study. The proportions of damage found in areas of study, which express the probability of

101

failure occurring in the given time, therefore the proportion of deterioration by thermal effect will be the influence on performance of asphalt folders in the above study among the year 2007-2012, the first in years commissioning and is the second year of this study obtained data deterioration in 2012 Proportion of damage via the location 55.57, 42.34, 49.37 (Annexes N and O) and state of the crack 32.33, 46.65, 49.37 (Annexes N and O) with temperature levels down to -3.9, -3.9: -2.5 ° C (See Annex X), respectively and for each sector in the above study. The performance of a rolling surface is defined by AASHTO as serviceability and this represents the ability to serve the type of traffic using the road.

In conclusion, we can say that the mechanism of low temperature cracking has a low probability of occurrence, and the results of the analysis show that the model in any of the sections are reached assessed the likelihood that $[\delta - H] > 0$ (See Annex X). Is consistent with the conclusion that the temperature range associated with the two types of cracking, which considers at low temperature cracking to occur only at temperatures below 20 ° F (-7 ° C) and thermal fatigue cracking to occur thermal ranges of 20 at 70 ° F (-7 to 21 ° C) (Carpenter, 1983).

100

INTRODUCCION

El desarrollo vial del país especialmente a partir de la década de los 90' ha permitido la construcción, rehabilitación y mantenimiento de los caminos de la red nacional, en una longitud aproximada de 8,477 Km de vía pavimentada. En todos los casos donde las vías han sido pavimentadas, el material utilizado como superficie de rodadura ha sido la mezcla asfáltica. Este material en la mayoría de los casos presenta un excelente desempeño; sin embargo se ha podido constatar que los pavimentos asfálticos construidos en la zona de estudio, han presentado un deterioro prematuro, cuyas causas son necesarias investigarlas e incorporar como variables dentro de un esquema de diseño compatible con nuestro medio.

El material de construcción denominado "asfalto", ofrece un comportamiento aglomerante bituminoso en los pavimentos, con su capacidad de ligar entre sí a los áridos, mantenerlos unidos y darle al conjunto de material elaborado, esa flexibilidad hace que las estructuras con mezclas asfálticas se denominan pavimentos flexibles. Estas características permiten adhesión, estabilidad, propiedades reológicas y bajos costos, respecto a otros tipos de pavimento. Sin embargo los límites en la evolución de este material en obra y en servicio, frecuentemente son difíciles de preveer, especialmente en condiciones adversas como las que se presentan en las zonas de altura de nuestro país.

La investigación es la continuación de una serie de estudios y la primera que realiza la Universidad Nacional de Huancavelica con el objeto de incrementar el entendimiento de la influencia de la temperatura en el tramo Izcuchaca – Huancavelica (PE-26), sobre las propiedades de las mezclas para carpetas asfálticas elaboradas y construidas con insumos y equipos disponibles en el medio, para de esta forma generar mayor información confiable que permita aminorar las estimaciones

basadas en metodologías de otras realidades, los cuales son buenos logros, que no necesariamente son aplicables directamente a nuestras condiciones.

En este sentido se ha tomado como ámbito de estudio a la carreteras de la región, en el tramo: Izcuchaca – Huancavelica (PE-26), entre las progresivas Km. 00+000 al Km 76+000; separados en tres sub tramos: Km. 00+000 al Km. 30+000; Km. 30+000 al Km. 60+000; Km. 60+000 al Km. 76+000. En estos tramos el Gobierno ha efectuado permanentemente inversiones; al mismo tiempo cuenta con un nivel de estudio y registros sobre el comportamiento de la superficie de rodadura.

Las siguientes recomendaciones: al Director de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, se le recomienda que programe capacitaciones para el área de pavimentos en atención del deterioro de la carpeta asfáltica con enfoque de implementación del ambiente para el área de pavimentos. A los civiles para que realicen en el momento del deterioro de la carpeta asfáltica orientación sobre las modalidades pavimentos. Se sugiere realizar las mediciones correspondientes a los pavimentos para poder valorar el grado de deterioro y abrir el buzón de sugerencia mensualmente para mejorar la calidad de interpretación de datos obtenidos en el tiempo.

A investigaciones futuras; se recomienda que a partir de estos resultados realicen estudios experimentales para poder aplicar programas en la mejora de la calidad del pavimento asfáltico en nuestra región de Huancavelica.

Se presenta esta tesis con el fin de aportar en el campo del conocimiento de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica.

Los tesisistas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El problema de durabilidad de asfaltos y mezclas asfálticas, dado a las distintas condiciones de servicio, es bastante complejo, según lo resume J. Agnusdei¹; sin embargo después de algunas experiencias e investigaciones en zonas de altura en nuestro país, se ha identificado a la temperatura como la variable más influyente en el deterioro de los pavimentos asfálticos; por lo tanto para comprometer la implicancia que tiene la influencia térmica deberá buscarse resolver las siguientes preguntas:

¿Cómo es el comportamiento térmico en el ámbito de estudio?

¿Cuánto influye la temperatura a las propiedades de fluencia del concreto asfáltico?

¿Cómo se genera el agrietamiento térmico y cómo se desarrolla en el tiempo?

Para el conocimiento térmico del ámbito de estudio, es necesario la ayuda de estaciones climatológicas que nos permitan registros históricos, los cuales sean capaces de representar mediante análisis estadísticos valores próximos al clima en la zona. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, cuenta con una red de estaciones a nivel nacional.

Las propiedades de fluencia de concreto asfáltico han sido investigadas en términos de la rigidez de asfalto o la rigidez de la mezcla a bajas temperaturas. La evaluación más

¹ "Durabilidad de Asfaltos y Mezclas Asfálticas, bajo distintas condiciones de servicio". IV Congreso Nacional del Asfalto APC, Lima: 2000.

precisa requiere que esta sea medida directamente antes que estimada por métodos indirectos. Actualmente en los EE.UU. se ha desarrollado instrumentos dinámicos como los reómeros de la especificación SHRP; sin embargo instrumentos simples capaces de medir la rigidez del asfalto no son disponibles en nuestro país. Las rigideces de una mezcla asfáltica también puede ser estimada usando uno de los métodos desarrollados por la Shell, a partir de la concentración de agregado y asfalto en la mezcla (Draet y Somer, 1965) y la rigidez obtenida por el monograma de Van Der Poel, (1954) modificada por Heukelom y Klomp, (1964). Para efecto son necesarios el conocimiento de las propiedades de los asfaltos y las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Los requisitos de las propiedades de los cementos asfálticos se detallan en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-99) del MTC; en la tabla N° 400-2, "Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración", donde se establecen los análisis necesarios para la elaboración de la susceptibilidad térmica del asfalto, a través de los ensayos como: prueba de calentamiento sobre película fina 3.2 mm, 163°C, 5hrs. (Norma MTC-E-316, AASHTO-M20 y ASTM-D946); ensayos de penetración a 25°C, 100gr. 5 seg. 0.1 mm. (Norma MTC-E-304, AASHTO-M20 y ASTM-D946); temperatura de punto de ablandamiento, en °C (Norma AASHTO-M20, ASTM D946) e índice de penetración, estos análisis deben efectuarse en forma continua desde su producción en la refinería, recepción de obra, mezclado en planta, colocación en pista y periódicamente por recuperación; con el objeto de conocer el grado de envejecimiento del asfalto durante el periodo de servicio del pavimento.

Los requisitos de la mezcla asfáltica son detallados también por las especificaciones EG-99, en la tabla N°410-9 "Requisitos para Mezclas de Concreto Bituminoso", y tabla N°410-10 "Vacíos mínimos en el Agregado Mineral". El control estadístico durante la etapa de construcción nos permitirá conocer el comportamiento representativo de la mezcla colocada en servicio.

La influencia de la temperatura en las propiedades de fluencia de concreto asfáltico, se pueden evaluar mediante estimaciones de esfuerzos y deformaciones, ocasionado por la intervención del gradiente térmico, durante un tiempo dado. Estas estimaciones se pueden determinar por medio de métodos teórico experimentales, a partir de la información térmica

de la zona de estudio, propiedades de asfalto y características de la mezcla. Por lo tanto se requiere identificar un modelo de simulación que recoja las variables establecidas y se traduzca en niveles de deterioro compatibles con lo que se genera en campo.

Por consiguiente, el problema plantea la necesidad de modelar la conducta de la superficie de rodadura de la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), a partir de estimaciones indirectas del comportamiento mecánico de la carpeta asfáltica, posibles de determinar en función de las gradientes de temperatura como cargas cíclicas, propiedades de los asfaltos utilizados, composición de la mezcla, para de esta forma precisar y establecer relaciones en el periodo de vida de la carpeta asfáltica.²

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influye la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el procedimiento “sustantivo – explicativo”, para medir la influencia de la temperatura en el nivel de esfuerzos y deformaciones de la carpeta asfáltica y su influencia en el periodo de vida de la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica - Izcuchaca PE-26?

1.3. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica (m²), en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica– Izcuchaca PE-26.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un procedimiento “sustantivo – explicativo” para cuantificar la influencia de la temperatura en el nivel de esfuerzos y deformaciones de la carpeta asfáltica

² Ing. José Hermogenes Melendez. Tesis con Mención en Ingeniería de Transportes – UNI. LIMA: Palma; 2000.

a su vez establecer su influencia en el periodo de vida del tramo Huancavelica – Izcuchaca PE-26

1.4 JUSTIFICACIÓN:

Desde la década de los 80' toma especial interés en la construcción y rehabilitación de los principales ejes viales del país, considerando así a las rutas de la Panamericana Norte y Sur, y la ruta de penetración por la carretera central, esta última con resultados de deterioro no esperados cuya problemática ha sido identificada definiendo los factores hidrometeorológicos (bajas temperaturas, exposición, precipitación pluvial y nivel freático) propios de las zonas de altura (3200 a 4800 msnm a más); dichos factores comprometieron las diversas capas que componen la estructura del pavimento (granulares y asfálticos).

Al diseñar pavimentos flexibles en zonas de altura será necesario contar con una capacidad de respuesta para un periodo de análisis dado. Esta respuesta deberá ser capaz de absorber esfuerzos y deformaciones generados por las cargas de tráfico y además por las cargas de origen térmico. Este último ha sido definido importante en el deterioro prematuro de las carpetas asfálticas, debido a que el descenso térmico provoca la rigidización de la capa asfáltica tomándola quebradiza.

Los intentos por dar solución a este problema en la generalidad de los casos han sido basados en tecnologías importadas como el Instituto del Asfalto y la Guía AASHTO, para los que el problema térmico de altura no se ha abordado como se presenta en nuestro medio.

Por otra parte, desde 1987, los Estados Unidos ha dedicado un esfuerzo importante en el desarrollo de las nuevas especificaciones que en vez de estas concebidas en ensayos empíricos, estas se basan en propiedades funcionales de asfalto. Posteriormente, luego de 6 años, en 1993 aparecieron las especificaciones SHRP (Programa Estratégico e Investigación de Carreteras) que introdujo el sistema SUPERPAVE, cuyas especificaciones se han abocado al control de las deformaciones permanentes, el agotamiento por fatiga y el comportamiento frágil a bajas temperaturas.

El Ministerio de Transportes cuenta con estudios al respecto: así mismo se viene incorporando algunos criterios de este sistema especialmente para la caracterización y control de los compromisos en las mezclas asfálticas (Nuevas Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-99/MTC). Sin embargo todavía no se cuenta con la tecnología para la producción y control de calidad de este tipo de asfaltos en nuestro país y, en la actualidad, hay poca información sobre resultados de comportamientos reales en pavimentos para vida en servicio medias y largas)³

³ Ing. José Hermogenes Melendez. Tesis con Mención en Ingeniería de Transportes – UNI. LIMA: Palma; 2000

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizados como aglutinante o impermeabilizante. Las primeras carreteras pavimentadas en los EE.UU. fueron en la Av. Pennsylvania, frente a la Casa Blanca. El asfalto usado fue natural proveniente de la Isla Trinidad en las costas de Venezuela. La otra fuente de asfalto natural se encuentra en Bermúdez-Venezuela. (**M.Sc. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMÁN y M.Sc. SILENE MINAYA GONZÁLEZ**,"Capítulo 4: Materiales asfálticos pag. 45).⁴

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135°C) es poco rígido, condición que permite que se adhiera fácilmente a las partículas del agregado, por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente. El cemento asfáltico también es usado como impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. (Principios de la Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22 (MS-22), AsphaltInstitute)⁵

Debido a la necesidad de integración en nuestro país, las carreteras se han constituido en el principal eje de articulación entre las regiones de la costa, sierra y selva, presentando este hecho uno de los mayores retos de la Ingeniería Nacional al paso forzado por la difícil geomorfología de Los Andes del Perú. Significando este

⁴ **M.Sc. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMÁN y M.Sc. SILENE MINAYA GONZÁLEZ.** Diseño Moderno de Pavimento asfáltico. 2da edición. Lima: ICG; 2006.

⁵ Serie de Manuales No.22 (MS-22). AsphaltInstitute.

sector, una de las mayores desventajas, en el desempeño de las carreteras, debido a los niveles de diferencial térmico, exposición solar, vientos, presencia de agua superficial y agua subterránea. A ello se suma la falta de materiales adecuados para la construcción, equipo y tecnología propia.

En todos estos casos donde las vías han sido pavimentadas, el material utilizado como aglomerante en la superficie de rodadura, ha sido el asfalto, presentando en la mayoría de los casos un buen rendimiento; sin embargo se ha constatado que los pavimentos construidos en zonas de altura han presentado deterioros prematuros. (Ing. José H. Meléndez Palma, Capítulo II: Enfoque del problema pág. 25).⁶

Los especialistas nacionales como extranjeros han atribuido este hecho a las dificultades climáticas de estas zonas y a la falta de tecnología que represente el comportamiento de pavimentos en esta región. Sin embargo, se ha ido implementando algunas alternativas de solución basadas en tecnologías traídas del exterior, con similares problemas a los nuestros, así como se ha recurrido a la "experiencia" de los constructores y consultores nacionales.

De esta manera la presente sección hace un enfoque situacional de la más importante vía construida con pavimento asfáltico en la Carretera Nacional Tramo Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), así como se efectúa una revisión de las consideraciones de medio ambiente (temperatura) implementadas por los métodos de diseño más utilizados en nuestro medio.

2.2 BASES TEÓRICAS

A. RIGIDEZ DEL ASFALTO

El agrietamiento del pavimento ha sido investigado en términos de rigidez de mezcla y rigidez de asfalto a bajas temperaturas. La rigidez o módulo stiffness es la relación entre el esfuerzo y la deformación como una función del tiempo de carga y temperatura; esta relación entre el esfuerzo, deformación y tiempo es llamada también conducta reológica del asfalto o de mezclas asfálticas.

⁶Ing. José H. Meléndez Palma. Influencia de la Temperatura en el deterioro de Carpeta Asfáltica. LIMA: PERU; 2000

A altas temperaturas, el incremento de la resistencia al ahuellamiento puede obtenerse por la selección apropiada de un diseño de mezclas, debido a que la rigidez del asfalto tiene una importancia secundaria. Sin embargo la rigidez en el asfalto a bajas temperaturas de servicio es el principal responsable de los agrietamientos.

La respuesta de un sistema tridimensional de esfuerzos que ocurre en una capa de pavimento asfáltico, sujeto a cargas, es bastante compleja. La caracterización es aún más difícil cuando la respuesta también depende del tiempo o de la relación carga y temperatura. En 1954, Van Der Poel, recomendó concentrarse en un solo esfuerzo y deformación resultante, porque para muchos propósitos ello resultaba bastante adecuado, sugiriendo un solo parámetro consolidado de rigidez (S), de acuerdo a la relación:

$$S(t,T) = \delta / \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

S: Rigidez, en psi o kg/cm²

δ : Esfuerzo axial

ϵ : Deformación axial unitaria

t : Tiempo de carga

T : temperatura.

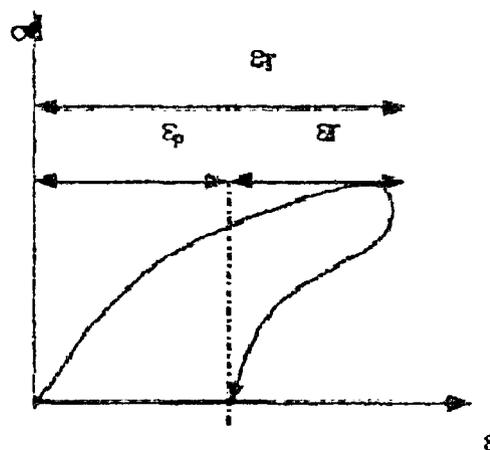


Figura N° 01: Explicación del concepto de rigidez. (Anexo A.)

En instantes muy cortos de carga y/o temperaturas muy bajas, la conducta de una mezcla asfáltica es casi elástica en el sentido clásico y la rigidez (S) es análogo al módulo de elasticidad (E). Para tiempos más largos de carga y temperaturas superiores, la rigidez simplemente es una relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante. Recíprocamente, si la rigidez que corresponde a un tiempo y temperatura particulares y cada esfuerzo o deformación son conocidos, una estimulación puede hacerse de los esfuerzos y deformaciones desarrolladas en la mezcla de asfalto.

De acuerdo con el Instituto del Asfalto, los ensayos tradicionales de medición de propiedades del asfalto como ductibilidad, viscosidad y penetración, frecuentemente han sido correlacionados como un medio de control del agrietamiento transversal de pavimentos a baja temperatura, lo cual resultó en mediciones inapropiadas para este fin, ya que estos no son suficientes para controlar el efecto térmico. Por lo tanto la rigidez del asfalto (S) introducida por Van Der Poel, se consideró como un medio simple de caracterización de la consistencia del asfalto sobre una gama amplia de temperaturas, lo que conllevó a tomar especial interés en la búsqueda o acercamiento de la cuantificación del módulo de rigidez, para lo cual se ofrece dos acercamientos:

- a) Métodos indirectos: estos métodos proporcionan una estimación de la rigidez sin considerar mediciones directas en laboratorio. Estos datos rutinarios de ensayos de asfalto para estimar la rigidez con el uso de monogramas.
- b) Métodos directos: la rigidez del cemento asfáltico es obtenida por ensayos directos de fluencia, relajación o ensayos de relación de esfuerzos constantes en tracción y compresión. También pueden usarse los métodos de ensayos dinámicos flexionales, en pruebas de especímenes de asfalto basados en deformaciones resilientes (sistema SUPERPAVE).

Obviamente que la evaluación más precisa de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas se hace con métodos directos, antes que con métodos indirectos, sin embargo no se encuentran disponibles en el país instrumentos simples capaces de medir la rigidez del asfalto. En los EE.UU. se han desarrollado instrumentos dinámicos, los cuales son capaces de medir la rigidez del asfalto hasta casi la rigidez límite, sin embargo las frecuencias altas empleadas por esos instrumentos resultaron midiendo la rigidez de los asfaltos muy por encima de las temperaturas de agrietamiento de los pavimentos reales. La introducción del sistema SUPERPAVE ha permitido la incorporación de aparatos y métodos basados en el comportamiento de los asfaltos, efectuando mediciones mediante el uso de reómetros (Bending Beam Rheometer (BBR) – Direct Tension Test (DTT)). Cuyo propósito permite la medición de la rigidez del asfalto (S) a baja temperatura, así como ejercer un mayor control sobre la variación del módulo con la temperatura.

B. TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PAVIMENTO

En la siguiente expresión, se muestra uno de los modelos que analiza las teorías de conducción de calor y que aplica el método de las diferencias finitas para resolver la ecuación de Fourier, para flujo de calor uni-dimensional.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

T: temperatura

t: tiempo

Z: Profundidad debajo de la superficie

α Difusión térmica que se relaciona a la conductividad térmica y la capacidad térmica de los materiales del pavimento.

La convección y radiación juegan un papel dominante en la transferencia de calor, es decir que el calor será proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie del pavimento asfáltico y la del aire. Así mismo se considera que la conductividad juega un papel separado transfiriendo el calor dentro del sistema del pavimento. La profundidad total (z) es un parámetro variable de entrada en el modelo de transferencia de calor.

La conductividad térmica, (K) y la capacidad específica (C), es una mezcla de concreto asfáltico son requeridas para calcular el régimen térmico en una capa de concreto asfáltico y ambas son reguladas por las propiedades térmicas del agregado y el aglomerante bituminoso. Estas propiedades pueden ser medidas en laboratorio; sin embargo, han sido determinadas por algunos investigadores, las cuales no varían significativamente entre mezclas, por lo tanto valores de conductividad térmica y de capacidad térmica específica a menudo se asumen dentro de los límites $K = 0.82 - 0.86$ (BTU/hr)/(ft²)(°F/ft) y $C = 0.20 - 0.22$ (BTU/lb)/(°F).

Si la temperatura del aire es constante durante un tiempo (t_i) y las propiedades térmicas de la carpeta asfáltica (z) tienden a un régimen permanente proporcional a su profundidad (z) en el tiempo transcurrido, es decir $T(z)_{\text{carp}} = f(T_{\text{aire}}, z)^\circ\text{C}$, cuando $t = t_i$. Bajo esta consideración la ecuación (02) es resuelta y la temperatura en la carpeta asfáltica de un pavimento, puede ser estimada de acuerdo con la ecuación concebida por Barker y Brubstone (1977).

$$T_{\text{carp}} = \frac{((0.39z + 4.95)T_{\text{aire}} + 1.29z + 12.1)}{(0.39z + 4)} \dots\dots\dots (03)$$

La ecuación (3), ha sido contrastada con lecturas efectuadas por los tesisistas realizadas para la evaluación de la Carretera Nacional Tramo Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), presentando un acercamiento bastante próximo; por consiguiente, se puede asumir que las condiciones de convección y conductividad térmica para el ámbito de estudio, pueden expresarse por esta ecuación.

C. MECANISMOS DE FALLA

Los métodos empíricos mecanísticos de diseño de pavimentos, establecen un número de criterios de falla, cada uno dirigido a un tipo específico de daño. Ello hace contraste con el método de diseño AASHTO y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) indicará la condición general del pavimento usado.

Es de general acuerdo que el agrietamiento por fatiga y ahuellamiento debido a cargas de tráfico, así como el agrietamiento térmico, son tres tipos principales de mecanismos de falla considerados en los pavimentos flexibles. El agrietamiento por fatiga debido a cargas de tráfico, se basa en la deformación producida por tracción horizontal al fondo de la carpeta asfáltica. El criterio de falla relaciona el número aceptable de repeticiones de carga a la deformación producida por tracción basada en la prueba de fatiga de laboratorio en especímenes pequeños de mezcla asfáltica.

El caso de ahuellamiento solo ocurre en los pavimentos flexibles y se considera como una deformación permanente o profundidad de huella a lo largo del eje del camino. Se ha

usado dos métodos de diseño para controlar el ahuellamiento; el primero es asimilar la deformación por compresión vertical encima de la subrasante y el otro limitar el ahuellamiento en una cantidad tolerable, como 0.5 pulg. (13 mm).

El agrietamiento térmico, es el tipo de falla que influye el agrietamiento por baja temperatura y el agrietamiento por fatiga térmica. El agrietamiento por baja temperatura es normalmente asociado a los pavimentos flexibles en regiones como Huancavelica, donde las temperaturas invernales caen por debajo de -3°C . El agrietamiento por fatiga térmica puede ocurrir en regiones mucho más apacibles como nuestra región y se origina cuando se usa un asfalto excesivamente duro o este se endurece debido a su envejecimiento.

El mecanismo de agrietamiento por fatiga térmica es similar al agrietamiento por fatiga ocasionando por las cargas de tráfico. Este se generará por la deformación producida por tracción en la capa del asfalto debido al ciclo de temperatura diaria. El daño acumulado puede evaluarse por la hipótesis de Miller.

D. CRITERIOS DE FATIGA

En 1945 Miner, introdujo el concepto de acumulación de daño, el cual es usado para predecir el agrietamiento por fatiga; donde el número permisible de repeticiones de carga, está relacionado con la deformación producida por tracción, en la última capa asfáltica. La cantidad de daño es expresada como una relación entre la predicción y el número permisible de repeticiones de carga. El daño ocurrirá cuando la suma de la relación de daño alcanza el valor uno (1). Debido a la variabilidad de respuestas, el daño no ocurrirá exactamente como se describe y algunas veces incluso aun cuando la relación alcance el valor de uno (1). Si se usan parámetros promedio en el diseño, una relación de daño (1), indica que la probabilidad de falla es 50% del área experimentará agrietamiento por fatiga.

Los procedimientos de prueba en laboratorio aplican dos tipos de carga controlada: esfuerzo constante y deformación constante. En el primer caso, el esfuerzo permanece constante pero la deformación se incrementa con el número de repeticiones. En el segundo caso, la deformación se mantiene constante y el esfuerzo se disminuye con el número de repeticiones. La prueba de carga de esfuerzo constante es aplicable a pavimentos donde la

carpeta asfáltica es mayor de 6 pulg. de espesor, debido a que el tránsito es el componente principal de carga. Cuando la carpeta asfáltica se pone frágil bajo repetidas veces, la deformación debe aumentarse con el número de repeticiones

La prueba de carga a deformación constante es aplicable a pavimentos donde la carpeta asfáltica es menor de 2 pulg (51mm) de espesor, debido a que la deformación en la capa de asfalto está gobernada por las capas subyacentes y no es afectada por la disminución en la rigidez de la mezcla asfáltica. Para espesores intermedios deberá efectuarse una combinación de métodos de prueba a esfuerzos constantes y deformaciones constantes.

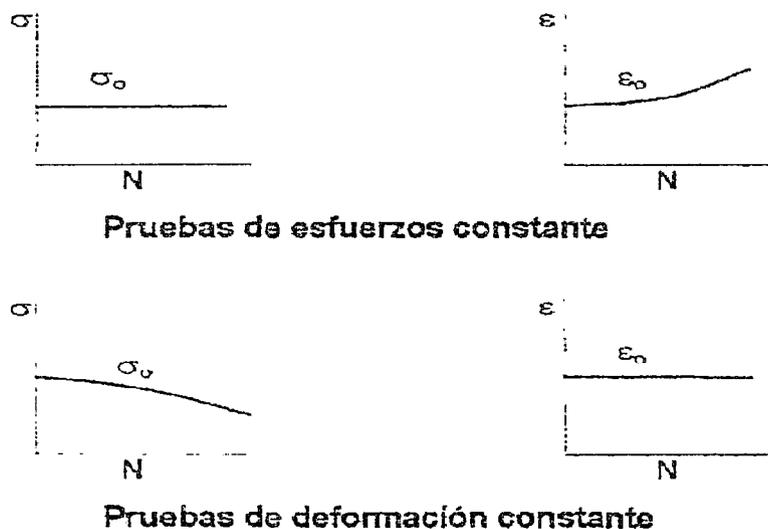


Figura N° 02: Dos tipos de carga controlada para pruebas de fatiga (Huang, 1993). (Anexo A)

E. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES TÉRMICAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO.

Un fluido es llamado newtoniano, si su viscosidad es independiente de la tensión de cizallamiento y la velocidad de deformación a que es sometido. Cuando la viscosidad es función de la velocidad de deformación, la tensión de cizallamiento y tiempo de aplicación, como en ciertos derivados del petróleo (asfalto), estos se llaman fluidos no newtonianos. Las propiedades de los asfaltos se citan en la figura N° 03.

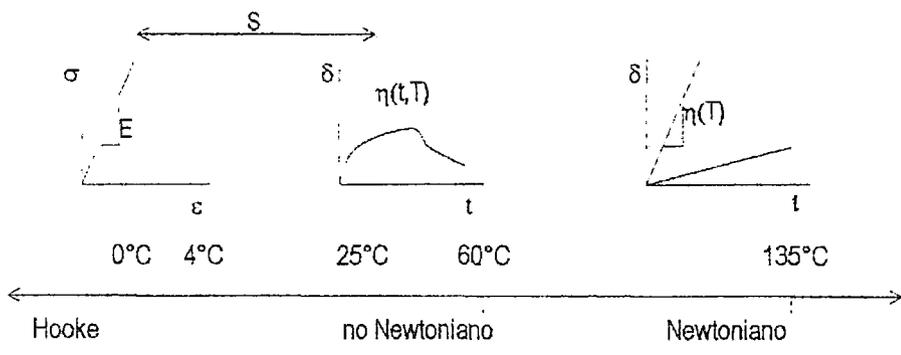


Figura N° 03: Propiedades del asfalto (G. Thenoux, 1999).(Anexo B).

El asfalto, como material de construcción, es un material termoplástico porque sus propiedades reológicas son susceptibles a la temperatura y viscoelástico debido a que sus propiedades reológicas son susceptibles a las velocidades de carga. De acuerdo con la figura N° 03: el concreto asfáltico también puede ser considerado de actuación viscoelástico a temperaturas altas; consecuentemente los esfuerzos térmicos que se desarrollan cuando la temperatura este, en una gama de temperaturas altas, serán disipadas a través de la relajación de los esfuerzos. Sin embargo en una gama de temperaturas bajas, el concreto asfáltico se comportará como un material elástico y los esfuerzos térmicos no podrán disiparse; por consiguiente el agrietamiento puede ocurrir. Esta situación crítica será analizada en esta sección.

Los esfuerzos térmicos se calculan de acuerdo con la aproximación dada por Hills y Brien, (1966), basadas en el comportamiento pseudo – elástico de una mezcla asfáltica incluida a bajas temperaturas.

$$\sigma(T) = \alpha \sum_{T_0}^T S(t, T) \cdot \Delta T \dots\dots\dots (4)$$

Donde.

$\sigma (T)$: esfuerzo térmico máximo inducido, acumulado para una velocidad de enfriamiento T'

- α : Coeficiente de contracción térmica
- T_0 : temperatura inicial
- T_f : Temperatura final
- $S(t,T)$: Modulo de rigidez, dependiente del tiempo y la temperatura, de modo que se reconoce la naturaleza viscosa del material.
- ΔT : Incremento de la temperatura sobre el cual $S(t,T)$, sea aplicable.

Se asume que los esfuerzos y deformaciones son despreciables al final de cada día y que el esfuerzo máximo diario ocurre a la mínima temperatura diaria en el pavimento, como resultado de la acumulación de incrementos de esfuerzos térmicos durante el día. El esfuerzo calculado en la ecuación está asociado a una franja infinita completamente fija.

El mecanismo asociado con el agrietamiento térmico, consiste en que los esfuerzos de tracción se desarrollan en un pavimento asfáltico a medida que la temperatura cae a un valor extremadamente bajo. Cuando el esfuerzo de tracción es igual a su resistencia para una temperatura dada, una micro rajadura se forma en la superficie del pavimento, la rajadura luego se propagará a través de la profundidad de la capa, mientras esté sujeta a ciclos térmicos adicionales. Este proceso se ilustra en la figura N° 04.

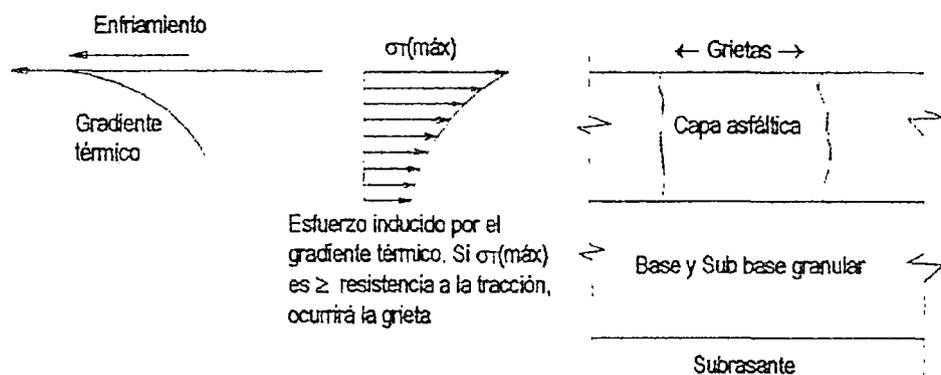


Figura N° 04: Muestra de un pavimento en proceso de enfriamiento, esfuerzo térmico como respuesta del agrietamiento térmico (Haas, et al., 1987). (Anexo B).

F. TIPOS DE FALLA EN PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Los tipos de falla más importantes en pavimentos de concreto asfáltico son los agrietamientos y las deformaciones. Dentro de esta agrupación el agrietamiento, se ha relacionado con el daño generado en un pavimento, debido a cargas de tráfico, fenómenos térmicos, procesos de reflejo, grietas, procesos constructivos, etc.

Las fisuras transversales y en bloque; dentro del grupo de fallas tipo agrietamiento, se considera que son ocasionadas por efectos térmicos. Sin embargo no se debe perder de vista el resultado de grietas que muestra una configuración similar a las fallas antes citadas, como es el caso de fisuras reflejadas causadas por agrietamientos bajo superficie de un pavimento antiguo, grietas en pavimentos colocados sobre losas de concreto y grietas que son generadas por un mal proceso constructivo en las juntas. En fin se deberá tomar en cuenta el Manual de Identificación de fallas (DIM), para una correcta selección.

Por lo tanto, si las grietas transversales y en bloque son consecuencia de la contracción de la capa asfáltica a bajas temperaturas y temperaturas diarias, generando esfuerzos y deformaciones cíclicas, este tipo de falla no está asociado a cargas de tráfico, aunque dichas cargas pueden aumentar la severidad de las grietas. La ocurrencia de grietas en bloque normalmente indica que el asfalto se ha endurecido significativamente y esta normalmente ocurre sobre una porción extensa de área de pavimento, pero a veces puede ocurrir en áreas sin tráfico.

Este tipo de fallas en los pavimentos asfálticos son cuantificadas en unidades de área. Así mismo, otro aspecto que debe tenerse presente en la identificación de una grieta de origen térmico, es la progresión que esta desarrolla, desde la superficie hacia el fondo, como se muestra en la figura N° 04. Un resumen fotográfico, sobre este tipo de falla se exhibe en el anexo 09.

El espaciamiento de las grietas transversales suelen alcanzar desde 1 a 100 m. si el espaciamiento del agrietamiento transversal es menor que el ancho del pavimento, se puede generar una grieta longitudinal, por lo tanto un patrón de bloque puede

desarrollarse. Los tipos de grietas transversales de origen térmico definidos por Fromm y Phang (1972), se muestra en la figura N° 05.

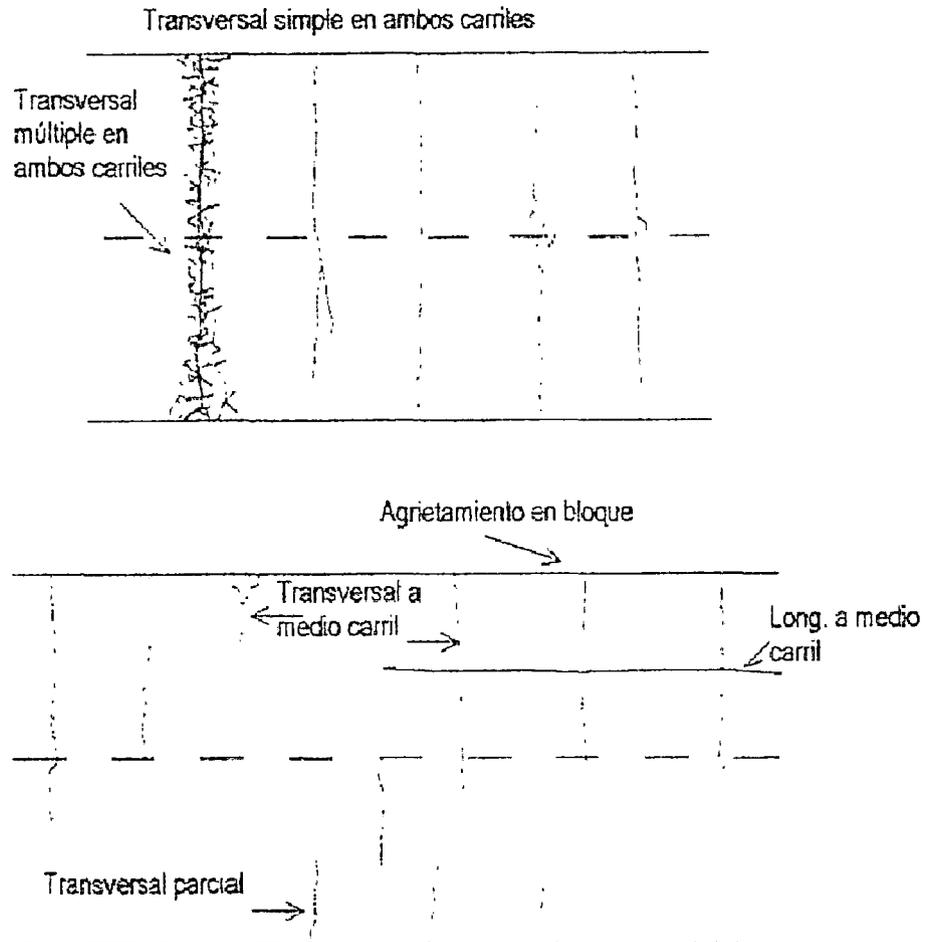


Figura N° 05: Tipos de agrietamiento por efecto térmico (Fromm y Phang, 1972), (Anexo C.)

2.3 HIPÓTESIS

a. El comportamiento de la carpeta asfáltica en el tramo Huancavelica – Izcuchaca puede ser prevista a partir de modelos mecanísticos que evalúen esfuerzos y deformaciones en concreto asfáltico, considerando niveles de gradiente térmico, propiedades de asfaltos y características de mezclas empleadas a fin de establecer relaciones en el periodo de vida en la carpeta asfáltica

81

Ha: La temperatura influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

Ho: La temperatura no influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

2.4 VARIABLES DE ESTUDIO

DEFINICIÓN OPERATIVA

- Gradiente térmico (variación de temperatura)
- Deterioro en carpetas asfálticas

INDICADORES

- ✓ Temperatura máxima y mínima.
- ✓ Medición de grietas (m²).
- ✓ Rigidez de la mezcla.
- ✓ Proporción de daño en el tiempo.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

✓ **ESPACIAL**

- **UBICACIÓN POLÍTICA**

Departamento	:	Huancavelica
Provincia	:	Huancavelica
Distrito	:	Huancavelica
Tramo	:	Huancavelica–Izcuchaca (Carretera Nacional PE-26)

- **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El tramo Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), como parte de la Carretera Nacional Huancavelica – Huancayo – Lima, del cual se determinará tres tramos cercanos a las estaciones pluviométricas más cercanas, tiene su ubicación en Los Andes del Perú, exactamente en la provincia de Huancavelica, el cual cruza en su trayectoria diversas comunidades y centros poblados, presenta una altitud que varía desde los 3,600 a 4,200 msnm aproximadamente con una temperatura promedio anual que varía entre los 5°C y 15°C.

✓ TEMPORAL

Los estudios y recolección de datos que se efectuarán serán a partir de la construcción de la carretera año 2006 y su funcionamiento hasta el 2012.



(Fuente⁷)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- "Sustantiva – Explicativa"

El tipo de investigación es sustantiva pues intenta responder un problema teórico de las variaciones de un modelo y se orienta a "describir y explicar", lo cual, el cierta forma lo "encamina hacia la investigación básica o pura" (Sánchez y Reyes, 2002. Pág. 18-19)

⁷ Mapa Sistema Vial DS. 036-2011, MTC Unidad Gerencia Desarrollo Institucional; 2011

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

- “Estudios de Comprobación de Hipótesis causales”, (Sánchez y Reyes, 2002. Pág. 19)

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la investigación se efectuaron estimaciones indirectas de comportamiento pseudo – elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas de temperatura representada por el gradiente térmico, los cuales fueron evaluados con simulaciones de acuerdo con las variables identificadas. Los resultados preliminares encontrados en las simulaciones fueron contrastadas con los fenómenos realmente ocurridos en campo. Las respuestas de las simulaciones se considera que constituyen modelos de deterioro por efecto térmico.

a. Estrategia:

Se estableció tres tramos de aproximadamente 1 km. En función a su proximidad a estaciones climatológicas distribuidos por el SENAMHI.

Posteriormente se realizará las siguientes acciones en función a la estrategia propuesta:

- 1.- Investigación bibliográfica e información existente.
- 2.- Evaluación de datos de clima.
- 3.- Reconocimiento de campo y medición de daños en el pavimento.
- 4.- Caracterización de las mezclas y determinación de las propiedades de asfalto.
- 5.- Determinación del comportamiento elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas térmicas.
- 6.- Procesamiento e interpretación de resultados.

b. Desarrollo por etapas

Investigación bibliográfica e información existente

Bibliotecas

Internet

77

Archivos del MTC y CIP

Datos de clima

Procesamiento de datos y análisis estadístico

Reconocimiento de campo y medición de grietas.

Reconocimiento de los tramos de estudio.

Medición de fisuras de origen térmico en campo y análisis.

Determinación del comportamiento elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas de temperatura

Sistematización de nomograma de Van Der Poel

Sistematización de las curvas de resistencia

Contrastación de modelo, con información recogida de campo

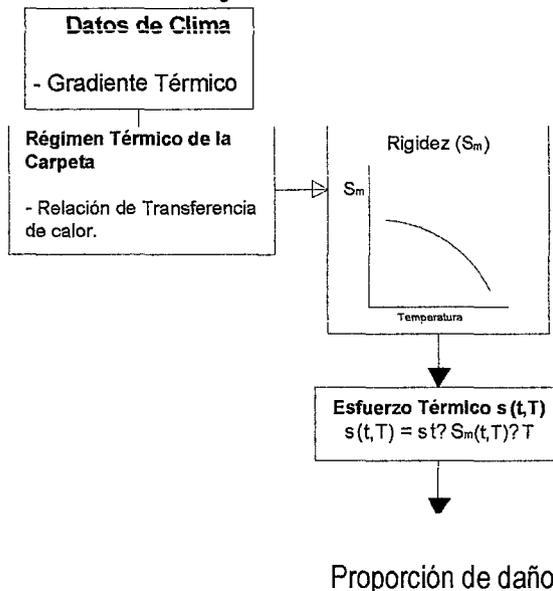
Procesamiento e interpretación de resultados

Trabajos de gabinete

El total de los trabajos será aproximadamente de 120 días.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACION

El diseño de investigación utilizado es Transversal y Correlacional en el presente estudio.



3.6 POBLACION, MUESTRA, MUESTREO

En el presente estudio de investigación de la Carretera Nacional Tramo Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), de 76 Kilómetros de longitud; se tomara tres tramos sectorizados de la siguiente forma para la recolección de los respectivos datos:

- ✓ POBLACIÓN: Dentro de la población de estudio se integra 01 tramo de experimentación Huancavelica – Izcuchaca (PE-26).
- ✓ MUESTRA: Se indica tres sub tramos de cada 1 km de longitud cada uno, cercanos a estaciones de registro meteorológico del SENAMHI los cuales corresponden a zonas lluviosas y frías.
 - ± Sachapite - Huancavelica. (km. 60+000 al km. 76+000), "prueba de recolección de datos en el Km. 64+000 al Km. 65+000"
 - ± Huando - Sachapite. (km. 30+000 al km. 60+000), "prueba de recolección de datos en el Km. 44+000 al Km. 45+000"
 - ± Izcuchaca - Huando. (km. 00+000 al km. 30+000), "prueba de recolección de datos en el Km. 04+000 al Km. 05+000"
- ✓ MUESTREO: Probabilístico: homogeneidad de poblaciones – cercanía a estaciones de meteorológicas de SENHAMI.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se estableció como ámbito de estudio tres tramos de la carretera nacional Huancavelica – Izcuchaca (PE-26), distribuidos estratégicamente para la zona de estudio.

El criterio de distribución, así formulado, se debe a la mejor proximidad encontrada en distancias a las estaciones climatológicas distribuidos por el SENAMHI, a los largo del tramo de estudio.

La estrategia planteada propuso las siguientes acciones:

75

a) investigación bibliográfica e información existente.

Ha sido necesario efectuar previamente una revisión bibliográfica e histórica de expedientes desarrollados sobre el tema y ámbito de estudio. La información revisada se ha tomado de las bibliotecas de Internet y archivos del Programa Especial de Rehabilitación de Transportes PERT y Dirección General de Caminos DGC, del MTC.

Cuadro N° 01: Información revisada sobre el ámbito de estudio.

proyecto/Carretera	Estudio		Construcción		Evaluación/Supervisión	
	Entidad	Año	Entidad	Año	Entidad	Año
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 00+000 al km. 30+000	2005-2007	MTC.	2005-2007
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 30+000 al km. 60+000	2005-2007	MTC.	2005-2007
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 60+000 al km. 76+000	2005-2007	MTC.	2005-2007

Fuente: Elaboración propia ejecutada por los tesisistas. (Anexo J).

La cual ha permitido un diagnóstico preliminar a fin de definir el problema de pavimentos asfálticos de Huancavelica – Izcuchaca, como también se efectúa una revisión del estado del arte de las metodologías de diseño con implicancia al problema térmico de la zona de estudio.

b) Evaluación de datos de clima

La variable temperatura se determinó a partir de las estaciones climatológicas, distribuidas por el SENAMHI alrededor de la carretera estudiada, para luego someterlas a los análisis estadísticos respectivos.

c) Reconocimiento de campo y extracción de muestras

El reconocimiento de campo ha permitido tener una idea clara sobre el ámbito de estudio e identificar algunos parámetros, para las fases posteriores del trabajo de campo.

La extracción de muestras se efectúa con el objeto de contar con información sobre las propiedades de mezcla y tipo de asfalto usado, luego de un tiempo de la puesta en servicio, a fin de comparar y establecer las relaciones de envejecimiento con las propiedades encontradas antes y luego de la construcción.

Las mediciones de grietas de origen se efectuaron de acuerdo con las consideraciones dadas, con el objeto de compatibilizar los resultados analíticos y las fallas reales en campo.

El procedimiento para la selección y ubicación de las muestras, se han desarrollado de acuerdo a la cercanía de los tramos a las estaciones de registro meteorológico del SENAMHI.

d) Procesamiento e interpretación de resultados.

Debido a que las respuestas de las simulaciones representan el comportamiento más próximo ante los fenómenos de cambios bruscos de temperatura, expresados como proporción de daño, estos se constituyen en un modelo de deterioro por efecto térmico.

3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo con el Instituto del Asfalto, los ensayos tradicionales de medición de propiedades del asfalto como ductilidad, viscosidad y penetración, frecuentemente han sido correlacionados como medio de control del agrietamiento transversal de pavimentos a bajas temperaturas, lo cual resultó en mediciones inapropiadas para este fin, ya que estos no son suficientes para controlar el efecto térmico. Por lo tanto la rigidez del asfalto (S) introducida por Van Der Poel, se consideró como un medio simple de caracterización de la consistencia del asfalto sobre una gama amplia de temperaturas, lo que conllevó a tomar especial interés en la búsqueda o acercamiento de la cuantificación del módulo de rigidez, para lo cual se ofrecen dos acercamientos:

a). Métodos indirectos: estos métodos proporcionan una estimación de la rigidez sin considerar mediciones directas en laboratorio. Ellos usan datos rutinarios de ensayos de asfalto para estimar la rigidez con el uso de nomogramas.

b). **Métodos directos:** la rigidez del cemento asfáltico es obtenida por ensayos de fluencia, relajación o ensayos de relación de esfuerzos constantes en tracción o compresión. También pueden usarse los métodos de ensayo dinámicos flexionales, en pruebas de especímenes de asfalto basados en deformaciones resilientes (sistema SUPERPAVE).

Cuadro comparativo, entre los métodos de cuantificación de la rigidez del asfalto.

Métodos directos:

- Método basado en propiedades funcionales del asfalto (reológica).
- Evaluación más precisa de la rigidez (S) de acuerdo con el modelo usado, SUPERPAVE y otros.
- El uso de frecuencias altas puede causar una distorsión cuando se trata de correlacionar con temperaturas reales de agrietamiento.
- En el sistema SUPERPAVE, no existen resultados concretos a mediano y largo plazo por el momento.
- Requiere de equipos sofisticados, no están disponibles en el medio y son altamente caros.
- Es probable que la siguiente generación de especificaciones se basen en la metodología SHRP.

Método indirecto:

- Método empírico, basado en mediciones rutinarias de las propiedades del asfalto.
- Evaluación aproximada de la rigidez (S), considera simplificaciones bajo suposiciones experimentales.
- Las estimaciones se efectúan proponiendo frecuencias y temperaturas que se esperan en campo.

- Desde 1964, en que Heukelom y Klomp proponen el método, este se ha constituido como una de las formas más apropiadas para estimar la rigidez (S).
- Uso de equipo para ensayos rutinarios de propiedades de asfalto, disponibles en el medio.
- Probablemente este procedimiento representa una forma de comprobación de las mediciones directas.

Cuadro N° 02: Variables e indicadores considerados en la investigación.

VARIABLES	INDICADORES
EN EL ANÁLISIS DE DATOS <ul style="list-style-type: none"> - Gradiente térmico. - Resultados bibliográficos. - Lectura de áreas fisuradas equivalente en campo (m2). 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura máxima y mínima. - Distribución de frecuencias. - Desviación estándar. - Promedio de valores de mayor frecuencia. - Medición de grietas.
EN LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Pronóstico de la falla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proporción de daño en el tiempo.

Fuente: Elaboración propia.(Anexo K).

DATOS DE CLIMA.

La zona de estudio está sujeta durante el año a dos estaciones marcadamente definidas, la estación de verano y la estación de invierno. La segunda estación se presenta entre los meses de noviembre a abril con temperaturas bajas y presencia de lluvias. La primera estación se presenta entre los meses de junio a setiembre con presencia de temperaturas más frías y heladas superficiales.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI define a la zona de estudio, según el Método Thornthwaite, del tipo B(o,i)C´H₃ como una zona fría, lluviosa, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa definida como húmeda. La información con la que se cuenta corresponde a temperaturas máximas y mínimas diarias absolutas por años, de las siguientes estaciones climatológicas:

71

Cuadro N° 03: Relación de estaciones climatológicas próximas al tramo estudiado.

CARETERA TRAMO HUACAVELICA - IZCUCHACA (PE-26)	PROGRESIVA (Km)	ALTITUD (msnm)	ESTACION CLIMATOLOGICA	ALTITUD (msnm)
HUANCAVELICA- SACHAPITE	64+000 AL 65+000	4120 - 4250	Huancalpi (Vilca)	4450
SACHAPITE - HUANDO	44+000 AL 45+000	3905 - 3980	Huancalpi (Vilca)	4450
HUANDO - IZCUCHACA	04+000 AL 05+000	3130 - 3305	Pilchaca (Izcuchaca)	3650

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir información verificada en campo y datos proporcionados por el SENAMHI. (Anexo L).

Los datos de temperatura corresponden a registros entre los años 2007 y 2012. Las temperaturas representativas se han obtenido por análisis estadístico y de acuerdo con los indicadores citados en el cuadro N° 02.

Considerando que el tamaño de muestra es N=5 (años), se asumió que la distribución de las frecuencias sea de tipo Student, proponiendo intervalos de confianza del 95% a fin de estimar la media representativa de la población diaria, durante todo el año.

Las fluctuaciones de la temperatura para el año representativo se muestra en el cuadro N° 04. Los resultados del análisis para temperaturas diarias se puede apreciar en el Anexo 01.

Cuadro N° 04: Máximas y mínimas temperaturas para el año representativo.

ESTACIÓN	PROMEDIO ANUAL (C°)		PROMEDIO MES MÁS FRIO (C°)		MÁXIMA Y MÍNIMA OBSERVADOS(C°)	
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
Huancalpi (Vilca)	18.8	0.63	19.15	0.54	22.20	-3.90
Huancalpi (Vilca)	18.8	0.63	19.15	0.54	22.20	-3.90
Pilchaca (Izcuchaca)	20.2	2.15	20.55	1.90	22.40	-2.50

Fuente: Elaboración propia, información analizada a partir de datos proporcionados por el SENAMHI. (Anexo M).

PROPIEDADES DEL ASFALTO

Las propiedades del asfalto, necesarias en este tipo de investigación, debiera contemplar todo el historial sobre el comportamiento del asfalto, es decir el conocimiento de sus

propiedades desde su fabricación en refinería, recepción en la planta de mezclado, luego del mezclado, luego de la colocación en pista y periódicamente luego de la puesta en servicio; lo cual no siempre es posible. Sin embargo a partir de la revisión de la documentación encontrada, según lo especifica el cuadro N°01. El resumen de las propiedades de los asfaltos usados y resultados de análisis se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 05: Propiedades de los asfaltos usados en el tramo en estudio.

Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	-	-	1030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	88	63.2	34.33
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	-	-	894.5
Punto de ablandamiento °C	46.09	50.51	61.5
Índice de penetración	-0.83	-0.051	0.47
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	1020	-	1030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	122.5	55.13	40
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	215	500	586.66
Punto de ablandamiento °C	44	52.45	61.5
Índice de penetración	-0.46	-0.37	0.81
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	1019	-	1020
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	137	68.5	57
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	166.4	-	483.53
Punto de ablandamiento °C	40.78	49.39	53.53
Índice de penetración	-0.88	-0.59	-0.16

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información tomada de las referencias y resultados de análisis de laboratorio, (*) información asumida.(Anexo N).

3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

Para la realización de la presente investigación se utilizaron.

3.9.1. Estadística Descriptiva: Se usaron cuadros simples, gráficos (barras), medida de tendencia central (moda, media, mediana), medias de dispersión (desviación estándar, varianza, coeficiente de variación).

3.9.2. Estadística Inferencial: Se realizó el contrastación de hipótesis con la prueba T-student, con una significancia del 5%.

3.9.3. Paquete y software estadísticos: Se empleó Microsoft Office Excel 2010 para el procesamiento de datos.

El índice de penetración, en todos los casos ha sido calculado por la expresión de Pheiffer y Van Doormaal.

$$PI=(20-500A)/(1+50A) \dots \dots \dots (5)$$

Donde A es la susceptibilidad térmica y expresa la pendiente de la línea recta entre el logaritmo de penetración y la temperatura.

$$A= \frac{\log(\text{pen a } T_1) - \log(\text{pen a } T_2)}{T_1 - T_2} \dots \dots \dots (6)$$

T1 y T2 son temperaturas de ensayos de penetración. Sin embargo una temperatura conveniente de uso general, es la temperatura de punto de ablandamiento ($T_{R\&B}$) como lo especifica la prueba AASHTO-89 T53-84. Esta es una temperatura de referencia en la cual todos los asfaltos tienen la misma viscosidad o penetración de aproximadamente 800. T2 reemplazamos en la ecuación (6) por ($T_{R\&B}$) y penetración a T2 por 800.

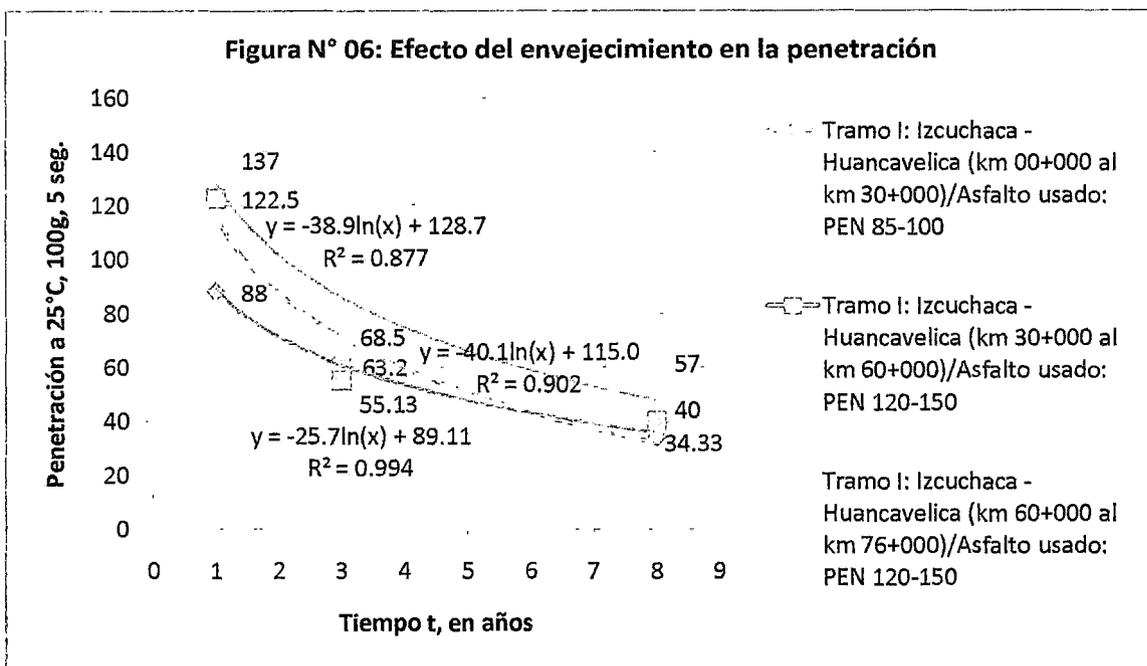
$$A= \frac{\log(\text{pen a } T) - \log(800)}{T_1 - T_{R\&B}} \dots \dots \dots (7)$$

En el caso de las propiedades de asfaltos residuales, se ha considerado, las certificaciones de los ensayos en los asfaltos originales a partir de la prueba de calentamiento sobre película delgada a 163°C, 5 horas, expresada como penetración del residuo a 25°C, 100gr, 5 seg, (0.1 mm). El punto de ablandamiento ($T_{R\&B}$), para esta consideración puede ser estimada a partir de la expresión de Duriez y Arrambide.

$$\text{Log } (T_{R\&B}) = (7.96 - \log(\text{PEN}_{25^\circ\text{C}}))/3.616 \dots \dots \dots (8)$$

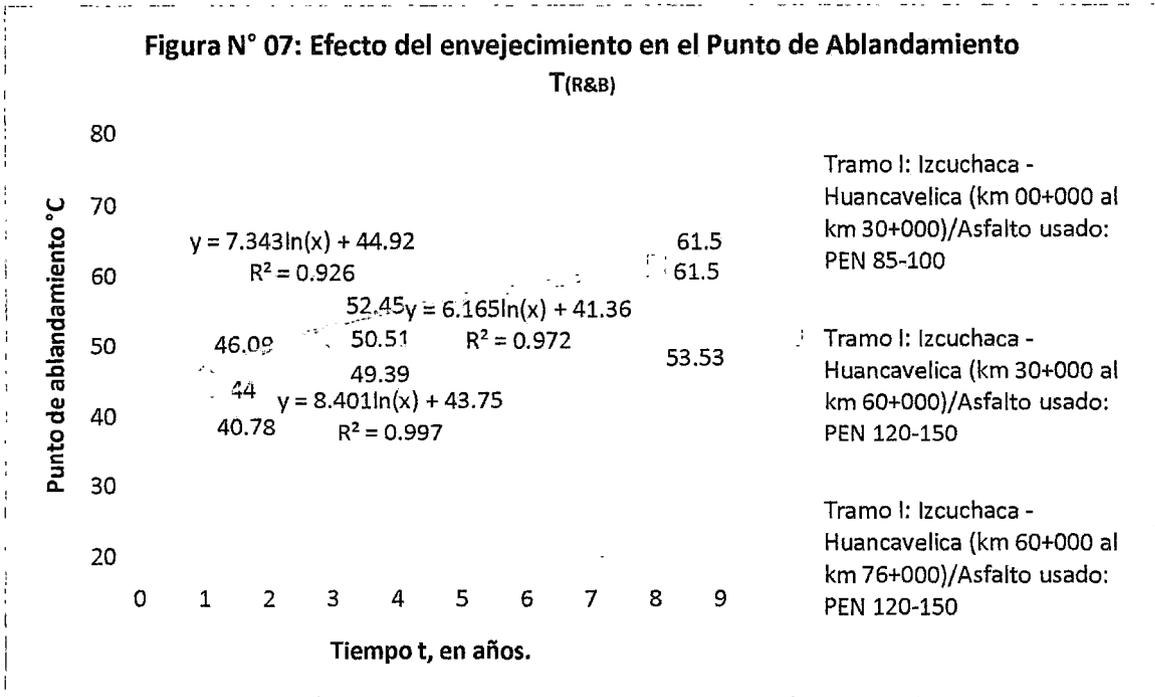
Las propiedades de los asfaltos recuperados, han sido tomadas de los resultados de recuperación asfáltica efectuadas en el laboratorio de Control de Calidad del MTC.

Uno de los aspectos importantes en esta sección, se refiere al acercamiento del efecto de envejecimiento en las propiedades del asfalto, desde su puesta en servicio a la fecha de evaluación, dado que la edad de un pavimento tiene influencia sobre el inicio del agrietamiento y será capaz de resistir ciertas bajas de temperatura en los años iniciales de servicio, pero a futuro tendrá dificultades bajo las mismas temperaturas. Una forma de representar este efecto, se muestra en las figuras siguientes, las cuales han sido obtenidas a partir de los resultados de Cuadro N° 05.

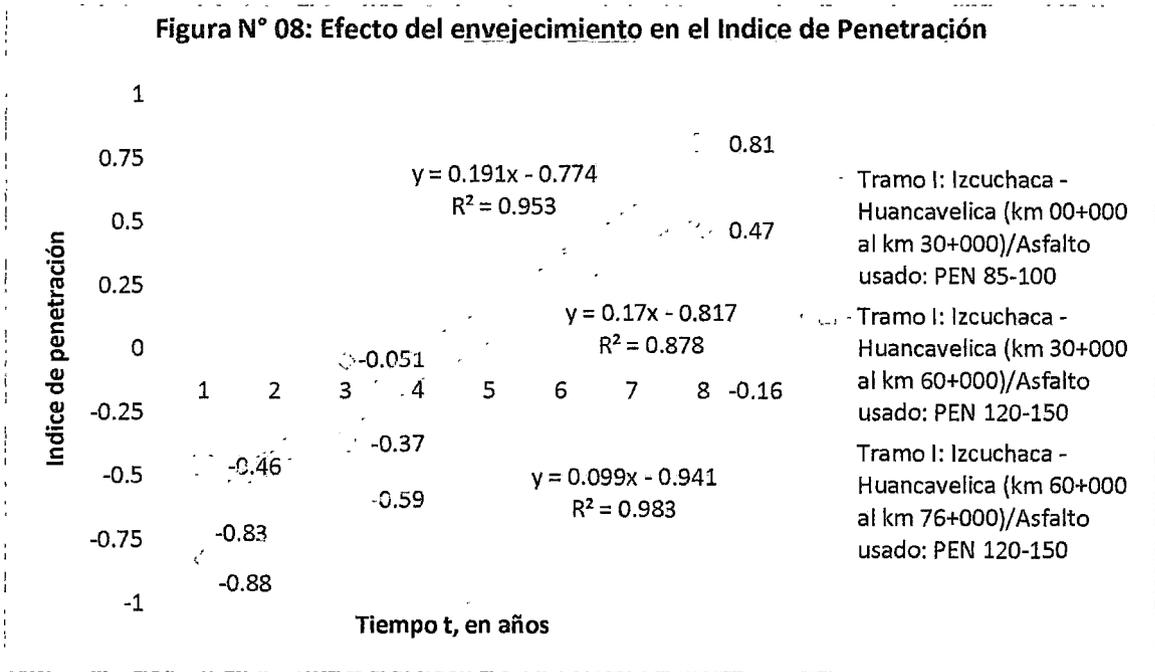


Fuente: Elaboración propia, ejecutado a partir de las propiedades de los asfaltos analizados (Anexo N° D).

En las figuras 06, 07 y 08, el efecto del tiempo analizados, muestran que la razón de envejecimiento, para los asfaltos (PEN 120 - 150) usados en condiciones climáticas adversas (ver cuadro N° 04), son menores que para asfaltos (PEN 85- 100) usados en condiciones climáticas más críticas; en las tres figuras, se aprecia que en el tramo Huancavelica – Izcuchaca (km. 30+000 al km. 60+000), existe una mayor tendencia a la caída de la penetración, mayor temperatura de punto de ablandamiento y mayor índice de penetración. En el caso de los otros sectores del tramo en estudio, el comportamiento es algo moderado respecto al tramo anterior y se muestran casi paralelos, lo cual se podría atribuir a las condiciones climáticas similares y la diferencia entre uno y otro (figuras 06, 07 y 08) se muestran las ecuaciones de correlación las cuales solo son referenciales.



Fuente: Elaboración propia, ejecutado a partir de las propiedades de los asfaltos analizados (Anexo N° D).



Fuente: Elaboración propia, ejecutado a partir de las propiedades de los asfaltos analizados (Anexo N° E).

DESARROLLO DEL MODELO

El desarrollo de flujo descrito, es ligeramente diferente al modelo original propuesto por Shahin y McCullough (1972), debido a la adecuación del cálculo e ingresos de datos como: el clima, determinación del régimen térmico en la capa asfáltica, efecto de envejecimiento del asfalto, índice de penetración, tiempo de carga y criterios de fatiga. Lo cual no significa alejarse del modelo ya que el concepto siempre es el mismo.

- a) Los datos de clima en esta investigación, en un intento de mayor acercamiento a los fenómenos climáticos, utiliza información diaria procesada estadísticamente en un periodo de observación de 5 años:

De acuerdo con la información proporcionada por el SENAMHI, el ciclo térmico diario en la zona de estudio se presenta con mínimas temperaturas por las madrugadas y las máximas aproximadamente al medio día. Por consiguiente, el agrietamiento térmico que se evalúa, corresponde al descenso de la máxima y mínima temperatura, desde las 12 m. hasta 4^a.m. del día siguiente.

- b) La transferencia de la temperatura del medio ambiente sobre la carpeta asfáltica se calcula mediante la ecuación de Barker y Brubstone(). Esta ecuación estima la temperatura en la capa asfáltica a una profundidad (z) a partir de la temperatura del aire e indirectamente incorpora los efectos de viento, exposición solar y propiedades térmicas en el concreto asfáltico.

La profundidad (z) considerada como representativa para evaluar las condiciones térmicas de una capa asfáltica es 20 mm, según algunos autores como la SHRP(). Un acercamiento próximo a la superficie podría encontrarse a una capa asfáltica fuertemente afectada por las radiaciones ultravioletas (), peor aún si se considera que en la zona de estudio la radiación solar se incrementa. Así mismo se considera que hasta los primeros 6 mm la viscosidad del asfalto en la carpeta alcanza un valor de 50% más alto que a una profundidad de 12 mm. Por lo tanto la profundidad representativa adoptada para el cálculo de la temperatura en la carpeta será 20 mm.

- c) Las propiedades del asfalto se han considerado variables en el tiempo, en un intento de representar el envejecimiento del asfalto, desde su puesta en servicio y proyección en el tiempo. Se ha asumido que esta tendrá un comportamiento lineal y puede ser expresado en función de las variaciones del índice de penetración (P) (Pheiffer y Van Doormaal) y el punto de ablandamiento, determinados de acuerdo a los resultados del cuadro N° 05.
- d) Las características de la mezcla, se consideran como una proporción de volumen del asfalto, agregados y vacíos en la mezcla, adicionalmente se ha adoptado como coeficiente de contracción térmica para la capa asfáltica el valor de $\alpha = 2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, coeficiente que se estima sobre la caída del gradiente térmico. El Instituto del Asfalto propone el valor $\alpha = 1.58 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, y la SHRP propone valores entre $\alpha = 2 - 2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.
- e) La rigidez de la mezcla asfáltica (S_m), se ha estimado usando uno de los métodos desarrollados por la Shell, a partir de la concentración de agregado y de asfalto en la mezcla (Draat y Somer, 1965) y la rigidez obtenida por el monograma de Van Der Poel (1954), modificada por Heukelom por Klomp (1954).

$$S_m = S_b (1 + (2.5/n)C_v/(1-C_v))^n \dots\dots\dots (9)$$

$$n = 0.83 \log ((4 \times 10^{10})/S_b) \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

S_m = módulo de rigidez de la mezcla asfáltica (N/m²)

S_b = módulo de rigidez del cemento asfáltico (N/m²)

C_v = representa la concentración volumétrica del agregado (inclusive filler) en la mezcla asfáltica.

$$C_v = V_{ag}/(V_{ag} + V_b) \dots\dots\dots (11)$$

Para mezclas asfálticas con más de 3% de vacíos, C_v debe sustituirse por C'_v , por lo tanto la ecuación (11) será.

$$C'_v = 100 C_v / (100 + \%V_v - 3.0) \dots\dots\dots (12)$$

El tiempo de carga considerado para el uso del monograma de Van Der Poel es una hora considerando intervalos de descenso de la temperatura también de una hora. Haas (1973), sugiere que el módulo de rigidez sea evaluado a una temperatura específica, la cual representa el punto medio de un intervalo de temperatura discreta ΔT , usando un tiempo de carga que corresponde al intervalo de tiempo, para el intervalo de la temperatura seleccionada.

- f) La resistencia (H), en el concreto asfáltico puede especificarse directamente de la relación de temperatura – resistencia propuesto por Heukelom (1966) o Instituto del Asfalto (Gaw, Burgess y Young, 1954), basados en la máxima resistencia a la tensión de una mezcla asfáltica como función de la rigidez del asfalto o la mezcla bituminosa.
- g) Los esfuerzos térmicos $\alpha(t, \Delta T)$, son calculados por la expresión de Hills y Brien (1966), ampliamente descrito, para lo cual se ha asumido que el descenso del gradiente térmico sea uniforme y distribuido en intervalos iguales ΔT de una hora de duración. Los incrementos de los esfuerzos térmicos se obtuvieron de la ecuación (4) que son acumulados para estimar el esfuerzo máximo y deformación durante el día

$$\sigma(t, \Delta T) = \frac{\alpha \sum_{T_0}^{T_1} S_m(t, T) \cdot \Delta T}{\dots} \quad (4)$$

CALIBRACIÓN DEL MODELO

La aplicación del modelo en los tramos de estudio, ha sido posible a partir de información seleccionada, sin embargo ha sido necesario compatibilizar los resultados del modelo con mediciones en campo, de agrietamiento considerados de origen térmico. Para lo cual se ha propuesto un plan de mediciones de niveles de agrietamiento de acuerdo con las consideraciones, los formatos para el levantamiento de la información y criterios para la selección de muestras han sido fuente elaboración propia.

Se considera que las grietas transversales y en bloque, son causadas principalmente por la contracción de la mezcla de asfalto a bajas temperaturas cíclicas diarias; para su identificación en campo, se ha tomado en cuenta la ubicación de las fisuras en la vía y el nivel

de daño cuantificando la abertura de la grieta. Estos aspectos se detallan en los cuadros siguientes.

Cuadro N° 06 Proporción de daño por la ubicación en la vía.

Carretera Huancavelica - Izcuchaca (PE-26)	% fisura long. a media calzada	% fisura transversal parcial	% fisura transversal a media calzada	% fisura transversal ambos carriles
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 00+000 al Km. 30+000) "Km. 04+000 al Km. 05+000"	25.99	18.44	55.57	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 30+000 al Km. 60+000) "Km. 44+000 al Km. 45+000"	39.31	42.34	18.35	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 60+000 al Km. 76+000) "Km. 64+000 al Km. 65+000"	8.44	49.37	42.19	0

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recopilada en campo (Anexo N°).

Cuadro N° 07 Proporción de daño por el estado de la fisura.

Carretera Huancavelica - Izcuchaca (PE-26)	% fisura e < 2 mm.	% fisura 2 < e < 4 mm.	% fisura 4 < e < 6 mm.	% fisura 6 < e < 8 mm.	% fisura 8 < e < 10 mm.	% fisura selladas.
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 00+000 al Km. 30+000) "Km. 04+000 al Km. 05+000"	10.53	32.33	21.54	11.52	24.08	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 30+000 al Km. 60+000) "Km. 44+000 al Km. 45+000"	46.65	43.47	9.88	0	0	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 60+000 al Km. 76+000) "Km. 64+000 al Km. 65+000"	49.37	14.62	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recopilada en campo (Anexo O).

Los resultados de la evaluación de campo, han sido analizados debidamente, a efectos de contar con el nivel de daño representativo, expresado como proporción de agrietamiento por tramo. Se considera que 0.30 m de agrietamiento lineal equivale a 0.46 m² de área agrietada, también se asume que la distribución de las muestras observadas son de tipo Student, debido al tamaño de la muestra (N=5 años). El daño representativo se calculó para una confiabilidad, los resultados de las mediciones y análisis se encuentran en el anexo 05.

Debido a que el trabajo es de tipo "sustantivo – explicativo", se han tomado precauciones sobre las variables utilizadas y resultados obtenidos, los cuales se manejan de acuerdo a indicadores que se sustentan en bases, teórica – explicativas. El cuadro N° 02 detalla al respecto:

Métodos de Ensayo y Especificaciones SHRP – Sistema SUPERPAVE:

Recientemente el Programa de Investigación Estratégica de Carreteras SHRP, introdujo desde 1993, el sistema SUPERPAVE, cuyas especificaciones se han abocado al control de las deformaciones permanentes; el agotamiento por fatiga y el comportamiento frágil a baja temperatura. Para controlar estos tres parámetros introdujo aparatos y métodos de ensayo que se detallan.

- Reómetro de Corte Directo (Dynamic Shear Rheometer – DSR), su propósito es la medida de propiedades del asfalto a temperaturas altas e intermedias. Las mediciones que ofrece son el G^* (módulo complejo) y δ (ángulo de fase).
- Viscosímetro Rotacional (Rotational Viscosimeter – RV), su propósito es la medida de propiedades del asfalto a altas temperaturas. La medición que ofrece es la Viscosidad.
- Reómetro de Viga de Flexión (Bending Beam Rheometer – BBR), su propósito es la cuantificación de las propiedades del asfalto a bajas temperaturas. Los parámetros que se miden son el Módulo de Rigidez (S) y la velocidad (m) de variación de (S).
- Ensayo de Tracción Directa (Direct Tension Test – DTT), el objeto es la medida de propiedades del asfalto, también a baja temperatura con lo cual se obtiene deformaciones a la rotura en ensayos de tensión – deformación.
- Ensayo de Calentamiento Sobre Película Fina (Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT), cuyo objeto es la medida del envejecimiento en la puesta de servicio.
- Vaso de Envejecimiento a Presión (Pressure Aging Vessel – PAV), cuyo propósito es la medida del envejecimiento después de un tiempo largo de servicio.

Se considera que la deformación permanente (Rutting) ocurre a temperaturas de servicio altas. La especificación SUPERPAVE define el componente $G^*/\text{Sen}\delta$ (módulo de ahuellamiento), que representa el componente viscoso del módulo del ligante. El componente

debe tomar un valor mínimo de 1 KPa para el asfalto original y menos de 2.2 KPa para el asfalto luego del ensayo RTFOT. El resultado del ensayo del módulo complejo (G^*) corresponde a condiciones de temperatura y frecuencia de sollicitación determinadas y puede expresarse con dos números: el módulo dinámico como la relación de la amplitud de la onda de tensión y la amplitud de la onda de deformación y el ángulo de fase (δ), que es el desfase entre las ondas senoidales de tensión y deformación. El módulo complejo es uno de los muchos métodos usados para describir la relación de esfuerzo-deformación de materiales viscoelásticos, este módulo es una cantidad compleja, donde la parte real representa la rigidez elástica y la parte imaginaria caracteriza la amortiguación interior del material. El valor absoluto del módulo complejo, normalmente es llamado módulo dinámico.

En la rotura por fatiga (Fatigue Cracking), G^* y δ , también se usan para evaluar el control de la fatiga. La fatiga ocurre a moderadas y bajas temperaturas después de que el pavimento haya estado en servicio durante un cierto tiempo. Por lo tanto la especificación SUPERPAVE requiere que el ensayo se realice después de las pruebas de PAV y RTFOT. Se exige un valor de G^* . Sen δ superior a 5000 KPa.

Para determinar la fragilidad a bajas temperaturas (Low Temperature Cracking) que es nuestro propósito, se utiliza el ensayo BBR, el cual se trata de un ensayo en el que se aplica una carga a una muestra prismática de asfalto a bajas temperaturas y se mide el Módulo de Rigidez (S) de la muestra. A medida que disminuye la temperatura dicho módulo aumentará. Cuando el módulo es muy alto el asfalto se vuelve frágil y se produce las fisuras, por esta razón se especifica para evitar fragilidad a bajas temperaturas un módulo máximo de 300,000 KPa. Así mismo debido a razones de disipación de energía acumulada, también se controla la variación del módulo con la temperatura (parámetro m), de dicho parámetro exige un valor inferior a 0.30.

En algunos casos, cuando el valor de S está comprendido entre 300,000 y 600,000 KPa, se utilizará el ensayo DTT. Cuando la temperatura del pavimento disminuye, el asfalto se contraerá, si la tensión que se produce supera la resistencia del ligante, se formarán fisuras por rotura frágil. Los investigadores de la SHRP han demostrado que si el ensayo DTT supera un incremento de longitud de 1% sin rotura frágil, es muy difícil que esta ocurra.

Finalmente la característica más importante de la especificación SUPERPAVE, es el desarrollo de mapas de clima por región, con el objeto de establecer la climatología del sitio donde se va a poner en servicio un pavimento, designándose diferentes grados PG (Grado de Performance) de asfalto requerido, como función de la temperatura máxima y mínima de servicio.

De acuerdo con Chang (1997), la aplicación de las normas SUPERPAVE en el Perú, sería sumamente útil debido a que los procedimientos pueden utilizarse para hacer una predicción detallada de la performance real de los pavimentos asfálticos, permitiendo estimar la vida de servicio de las mezclas asfálticas, en términos de ejes equivalentes o del lapso de tiempo transcurrido para alcanzar un determinado nivel de falla. Sin embargo, inclusive en los EE.UU, donde se ha desarrollado la metodología aún no se emplea en forma masiva por tratarse de un sistema que involucra ensayos y criterios nuevos completamente distintos a los empleados hasta el momento y requieren un proceso de implementación progresivo. La dificultad más trascendente, es que este sistema requiere de una serie de ensayos y equipos que involucran una alta capacitación de personal, así como un alto costo para la implementación de laboratorios, lo cual dificulta su aplicación para fines prácticos. Por lo tanto deberá pasar todavía un tiempo para que en nuestro país pueda implementarse un sistema como el SUPERPAVE. Sin embargo las recomendaciones sobre los materiales y el enfoque basado en la performance puede incorporarse en forma gradual a fin de estar mejor preparados para el cambio que significa esta nueva metodología.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

a) Agrietamiento por baja temperatura

El mecanismo de falla por baja temperatura se desarrolla según lo describe McLeod (1970). A efectos de representar el mismo mecanismo de falla, se ha considerado los días de mayor gradiente térmico en los tres tramos estudiados (figuras N° 10, 11 y 12), los cuales muestran un comportamiento casi paralelo; en contraste a la figura N° 09. Esto se debe a que las temperaturas mínimas observadas en nuestra investigación solo alcanzan valores de -3.9 y -2.5, respectivamente, en los tres tramos analizados; por lo tanto, un mayor decremento térmico mostraría una respuesta similar.

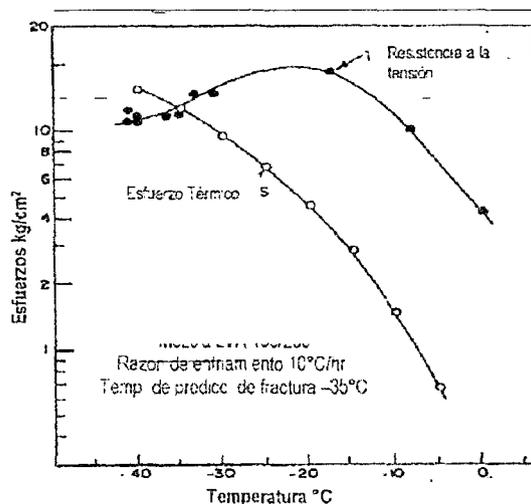


Figura N° 09: Mecanismo de falla por baja Temperatura (McLeod 1970). (Anexo E).

58

RESULTADOS TRAMO I: HUANCAVELICA – IZCUCHACA (KM. 00+000 AL KM. 30+000).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico δT=Σ(Si*α*ΔT)
0	5.00E+01	1.00E-01	
-5			1.00E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	5.00E+03	1.00E+01	
-25			1.11E+01
-30	6.10E+04	1.22E+02	
-35			1.33E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.13E+03
-50	1.00E+07	2.00E+04	
-55			2.11E+04
-60	7.20E+07	0.00E+00	
			2.11E+04

Cuadro N° 08: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (Anexo P).

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm ²	Incremento de rigidez Kg/cm ² / 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm ²	Esfuerzo de ruptura Kg/cm ²
10	6.10E+00			
7.5	1.10E+01	0.0		
5	1.80E+01		0.0	0.1
2.5	4.10E+01	0.0		
0	5.00E+01		0.0	0.15
-2.5	1.00E+02	0.0		
-5	1.80E+02		0.0	0.2
-7.5	2.20E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	1.00E+03	0.1		
-15	1.50E+03		0.1	0.41475
-17.5	3.50E+03	0.3		
-20	5.00E+03		0.4	1.185
-22.5	1.00E+04	0.8		
-25	2.00E+04		1.2	3.95
-27.5	3.50E+04	2.8		

57

-30	6.10E+04		3.9	9.638
-32.5	1.00E+05	7.9		
-35	2.10E+05		11.8	24.885
-37.5	4.00E+05	31.6		
-40	5.00E+05		43.4	39.5

Cuadro N° 09: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C. (Anexo Q).

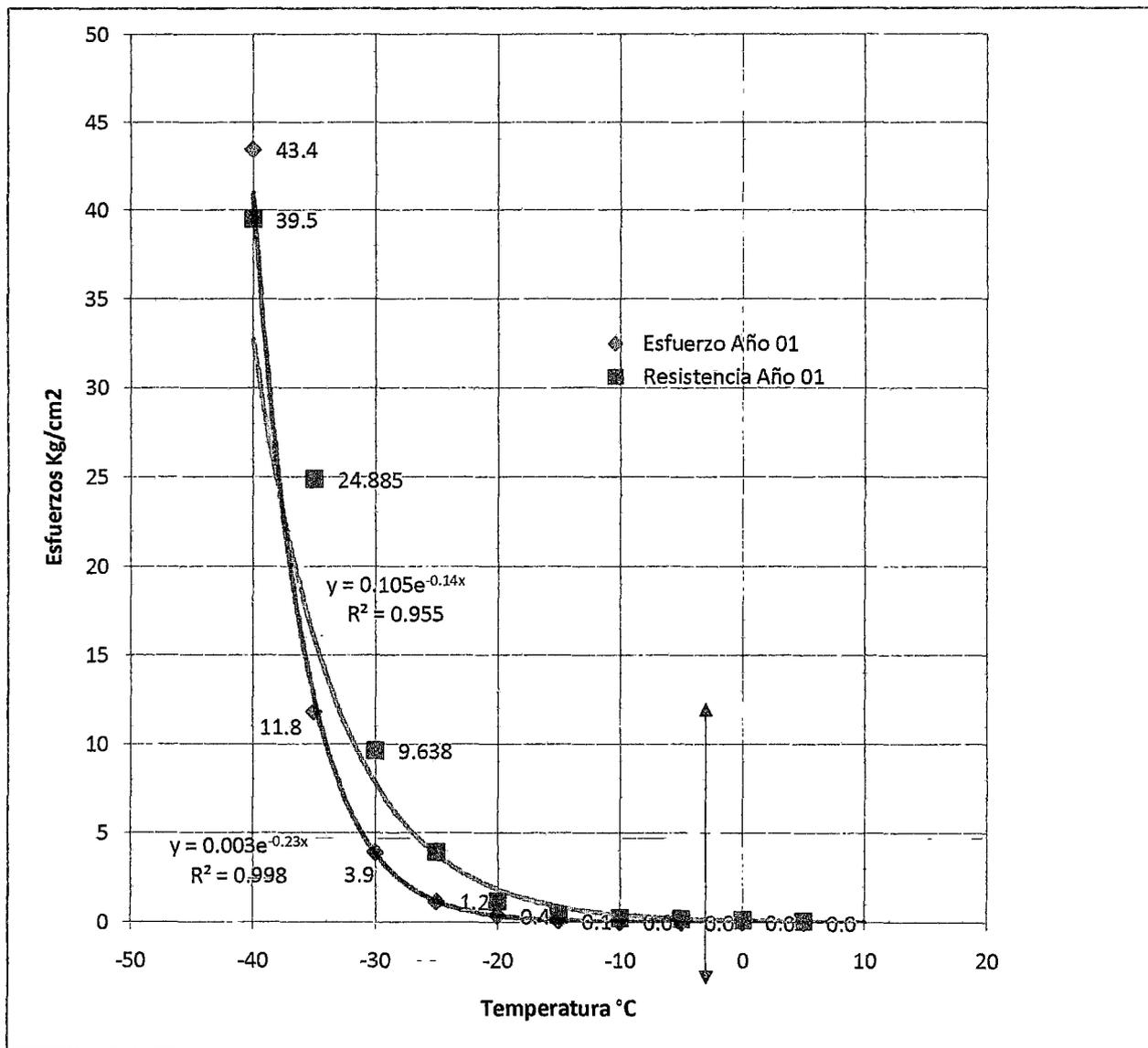


Figura N° 10: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.5 °C, (Anexo F).

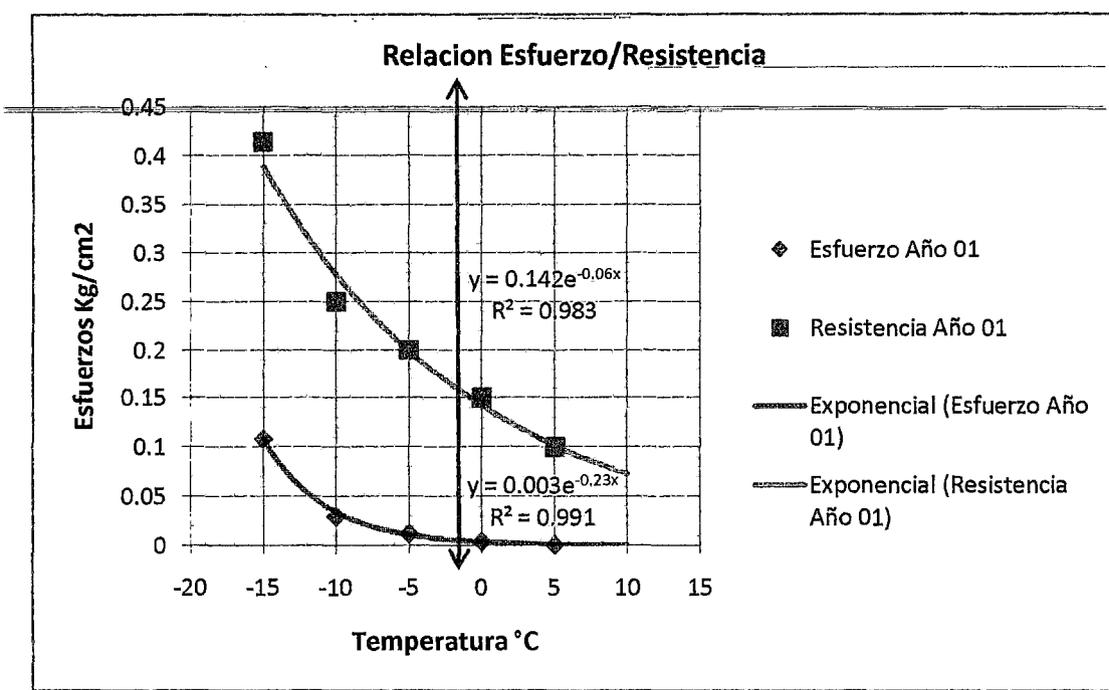


Figura N° 10: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.5 °C, (Anexo F).

RESULTADOS TRAMO I: HUANCAVELICA – IZCUCHACA (KM. 30+000 AL KM. 60+000)

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico $\delta T = \Sigma(Si * \alpha * \Delta T)$
0	5.10E+01	1.02E-01	
-5			1.02E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	3.80E+03	7.60E+00	
-25			8.70E+00
-30	5.00E+04	1.00E+02	
-35			1.09E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.11E+03
-50	5.00E+06	1.00E+04	
-55			1.11E+04
-60	5.00E+07	0.00E+00	
			1.11E+04

Cuadro N° 10: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (Anexo R).

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm ²	Incremento de rigidez Kg/cm ² / 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm ²	Esfuerzo de ruptura Kg/cm ²
10	7.50E+00			
-7.5	1.10E+01	0.0		
5	2.00E+01		0.0	0.1
2.5	4.00E+01	0.0		
0	5.10E+01		0.0	0.15
-2.5	7.50E+01	0.0		
-5	1.50E+02		0.0	0.2
-7.5	2.00E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	7.50E+02	0.1		
-15	1.00E+03		0.1	0.2765
-17.5	1.90E+03	0.2		
-20	3.80E+03		0.2	0.9006
-22.5	7.50E+03	0.6		
-25	1.00E+04		0.8	1.975
-27.5	2.00E+04	1.6		

-30	5.00E+04		2.4	7.9
-32.5	7.50E+04	5.9		
-35	1.50E+05		8.3	17.775
-37.5	2.00E+05	15.8		
-40	5.00E+05		24.1	39.5

Cuadro N° 11: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C. (Anexo S).

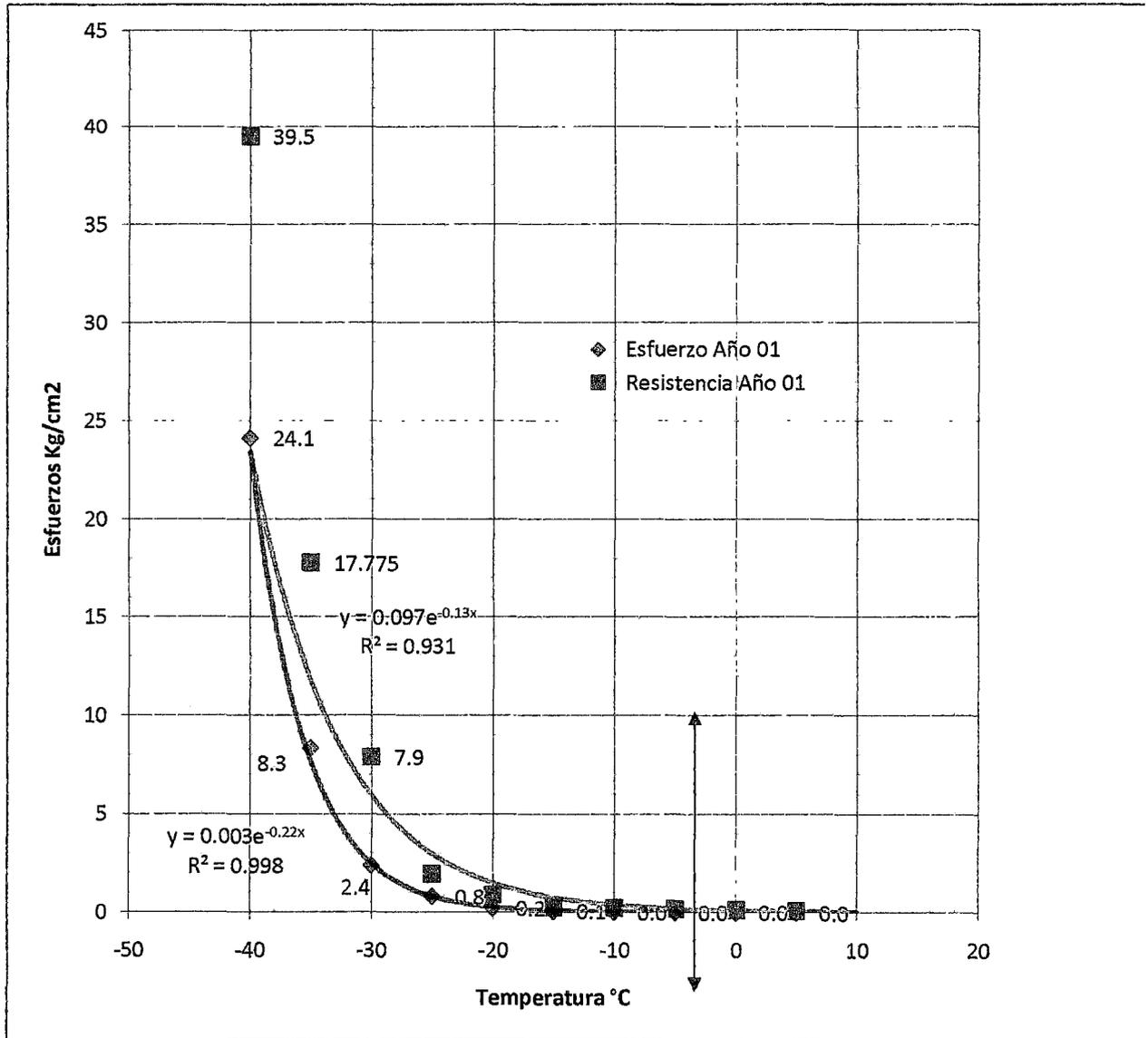


Figura N° 11: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo G).

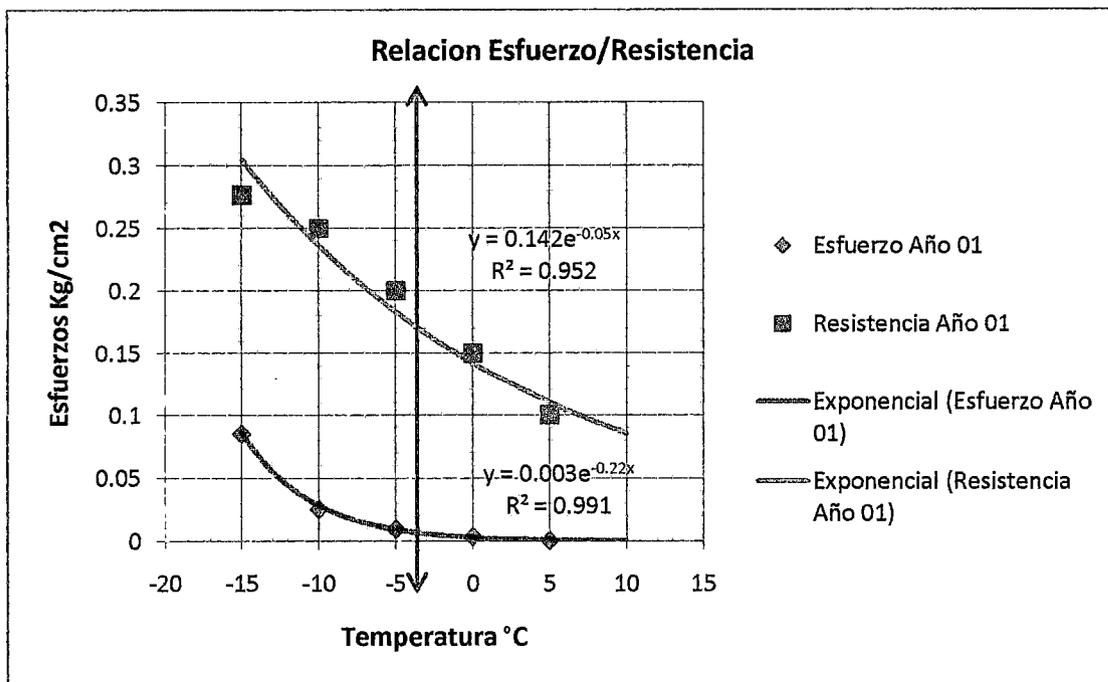


Figura N° 11: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo G).

52

RESULTADOS TRAMO I: HUANCVELICA – IZCUCHACA (KM. 60+000 AL KM. 76+000).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico $\delta T = \Sigma(Si * \alpha * \Delta T)$
0	5.00E+01	1.00E-01	
-5			1.00E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	5.00E+03	1.00E+01	
-25			1.11E+01
-30	6.10E+04	1.22E+02	
-35			1.33E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.13E+03
-50	1.00E+07	2.00E+04	
-55			2.11E+04
-60	7.20E+07	0.00E+00	
			2.11E+04

Cuadro N° 12: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (Anexo T).

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm ²	Incremento de rigidez Kg/cm ² / 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm ²	Esfuerzo de ruptura Kg/cm ²
10	6.10E+00			
7.5	1.10E+01	0.0		
5	1.80E+01		0.0	0.1
2.5	4.10E+01	0.0		
0	5.00E+01		0.0	0.15
-2.5	1.00E+02	0.0		
-5	1.80E+02		0.0	0.2
-7.5	2.20E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	1.00E+03	0.1		
-15	1.50E+03		0.1	0.41475
-17.5	3.50E+03	0.3		
-20	5.00E+03		0.4	1.185
-22.5	1.00E+04	0.8		
-25	2.00E+04		1.2	3.95
-27.5	3.50E+04	2.8		

91

-30	6.10E+04		3.9	9.638
-32.5	1.00E+05	7.9		
-35	2.10E+05		11.8	24.885
-37.5	4.00E+05	31.6		
-40	5.00E+05		43.4	39.5

Cuadro N° 13: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C. (Anexo U).

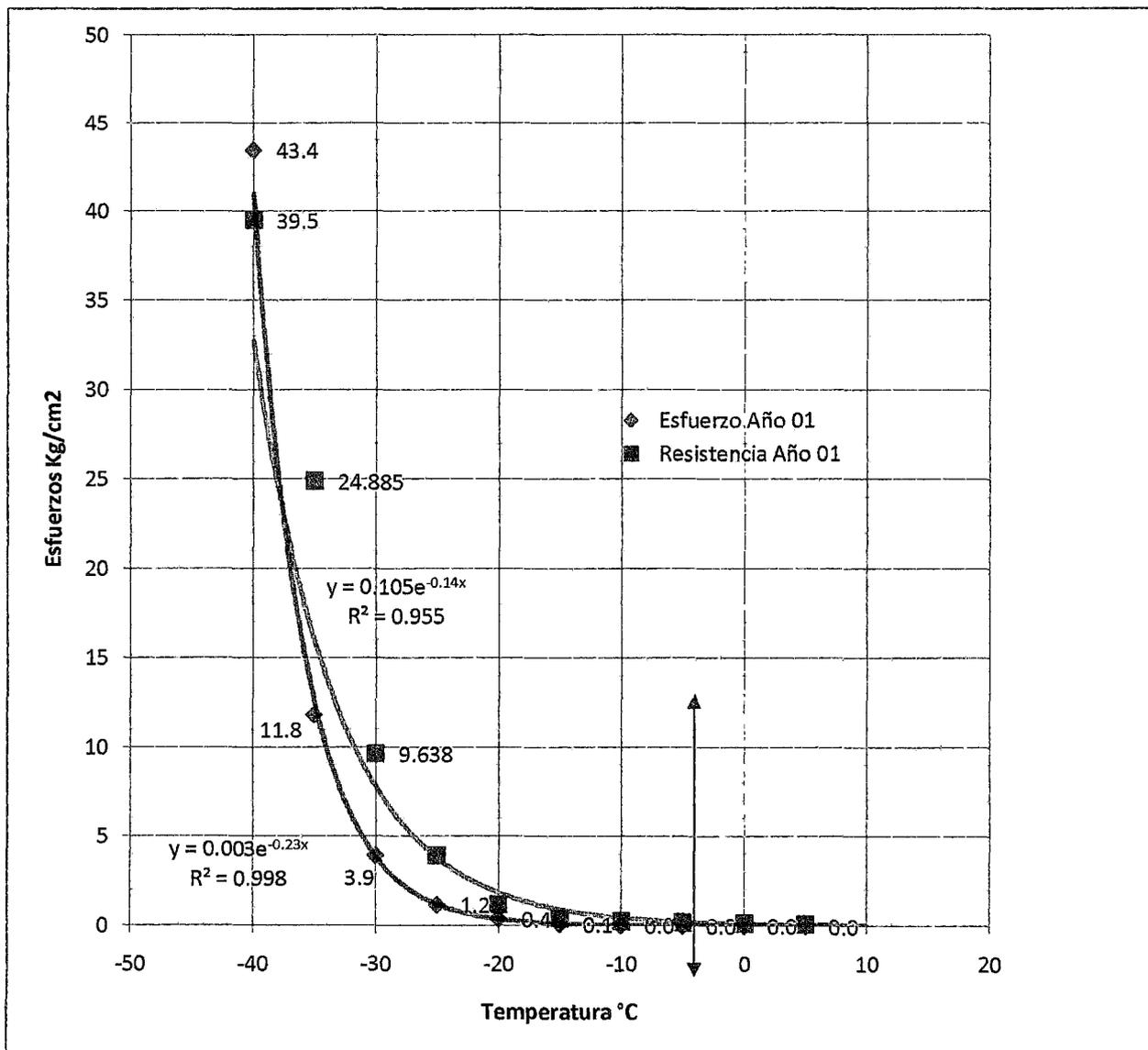


Figura N° 12: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo H).

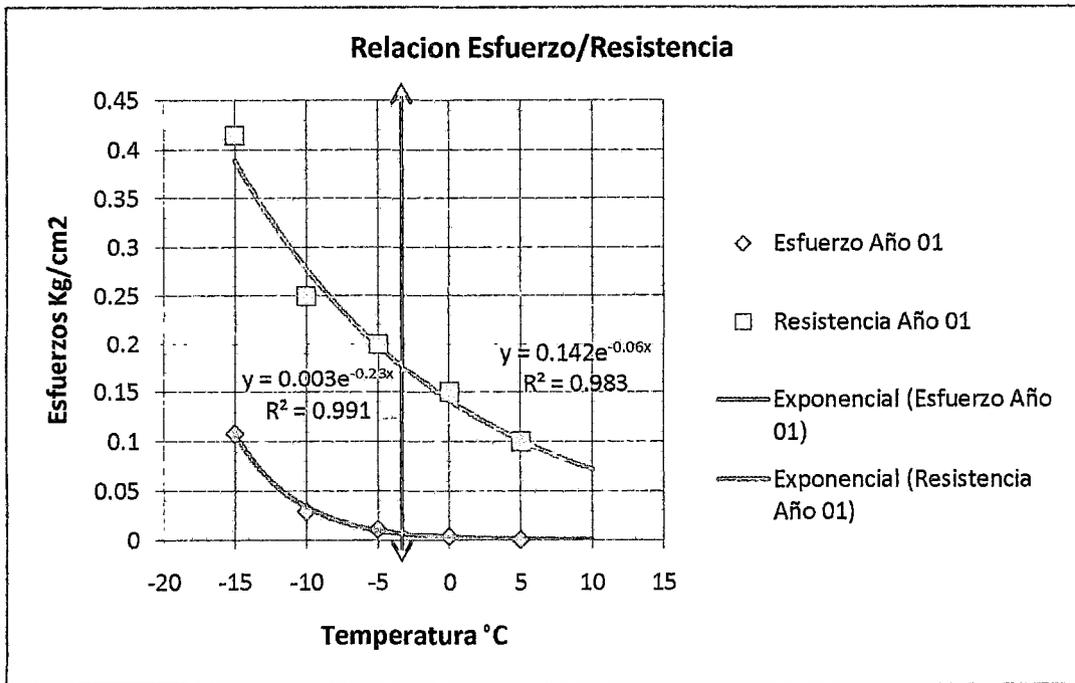


Figura N° 12: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo H).

En términos cuantitativos lo que se observa en las figuras N° 10, 11 y 12, es que la razón de variación de los esfuerzos con respecto a la temperatura, demuestran que a medida que la temperatura cae los esfuerzos se incrementan, hasta que las tensiones iguales y/o superen las resistencias, como lo describe la figura N° 09, en nuestro estudio no se ha alcanzado a una temperatura de fractura, debido a que las temperaturas evaluadas no superan caídas térmicas inferiores a -3.9 °C.

Haciendo una proyección para cierto tiempo de servicio (figuras N° 10, 11 y 12) los niveles de esfuerzos y resistencias en el concreto asfáltico demuestran en los tres casos analizados en incremento progresivo, la cual se debe a que a medida que pasa el tiempo, las propiedades resilientes del asfalto van deteriorándose (índice de penetración, punto de ablandamiento), por consiguiente el concreto asfáltico se endurecen e incrementan sus propiedades de resistencia, mientras que los esfuerzos máximos se mantienen casi constantes debido a que dependen más de la temperatura. Con fines de verificación se acompañan las ecuaciones de correlación referenciales en cada caso.

En conclusión se puede afirmar que el mecanismo de agrietamiento por baja temperatura tiene una baja probabilidad de ocurrencia; los resultados del análisis en el modelo demuestran que en ninguno de los tramos evaluados se alcanzan la probabilidad de que $[\delta - H] > 0$ (Ver Anexo X). Conclusión que concuerda con los rangos de temperatura asociados a los dos tipos de agrietamiento, en cual considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983).

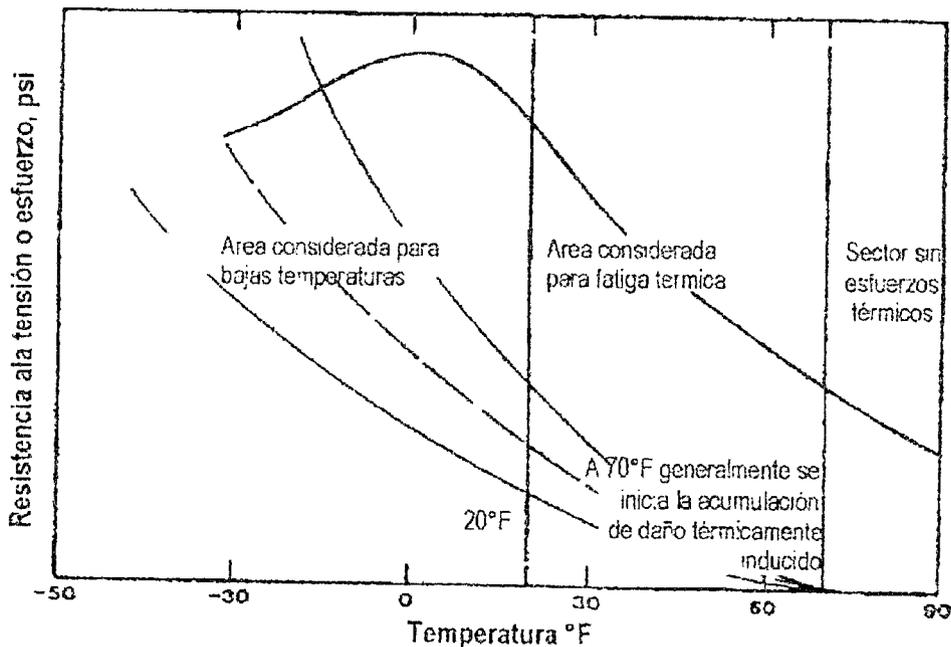


Figura 13: Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico (Carpenter, 1983), (Anexo I).

b) Agrietamiento por fatiga térmica.

Debido a que la probabilidad de ocurrencia de grietas por baja temperatura es prácticamente descartada en los tramos de estudio, se ha considerado que el mecanismo de falla por fatiga térmica sea la que represente el deterioro por efecto térmico.

Por consiguiente, para la adopción del criterio que mejor representa el efecto térmico en el ámbito de estudio, se plantea que este debe guardar relación con las siguientes consideraciones:

- Mayor daño a mayor gradiente térmica observada.

- Mayor daño a mayor deterioro de propiedades del asfalto → oxidación (penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración).
- Mayor daño a mayor dureza de asfalto utilizado (Pen 85-100 Vs Pen 120-150).

Aunque no todo estos requisitos son cumplidos satisfactoriamente en cada tramo estudiado, existe un orden de deficiencias que nos permitirá adoptar el daño que se espera en cada tramo en forma más aproximada.

Tramo – 01:

Presenta el menor nivel de gradiente térmico (0.63 °C promedio anual); muestra un grado intermedio de envejecimiento en el asfalto usado; el tipo de asfalto usado es el PEN 85-100; Ver cuadros N° 04 y 05.

Tramo – 02:

Presenta el menor nivel de gradiente térmico (0.63 °C promedio anual), inferior al tramo – 03 e igual al tramo – 01, respectivamente muestra el mayor grado envejecimiento en el asfalto usado; el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; y sin embargo su gradación de agregados es aceptable, mejor que el tramo – 03 y tramo – 01 respectivamente. Ver cuadro N° 04 y 05.

Tramo – 03:

Presenta un gradiente térmico intermedio (2.15 °C promedio anual), entre los tramos – 01 y tramo – 02; muestra también el menor nivel de envejecimiento en el asfalto usado; el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; y su gradación es aceptable después del tramo – 02. Ver Cuadros N° 04 y 05.

La figura N° 10, 11 y 12, muestra la forma cómo evolucionan los daños causados por efecto térmico durante su periodo de servicio. Como se puede observar el agrietamiento térmico total se desarrolla como la suma de los daños causados por bajas temperaturas.

4.1.1. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

a) FORMULACION DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICO.

Ha: La temperatura influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

H₀: La temperatura no influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

b) TIPO DE PRUEBA Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA

La prueba será de tipo bilateral a con nivel significancia de significancia.

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

c) DETERMINACIÓN DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA

Se empleó el método Diseño Completamente Aleatorizado

e) TOMA DE DECISIÓN:

DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO (DCA)

Análisis de varianza de un factor

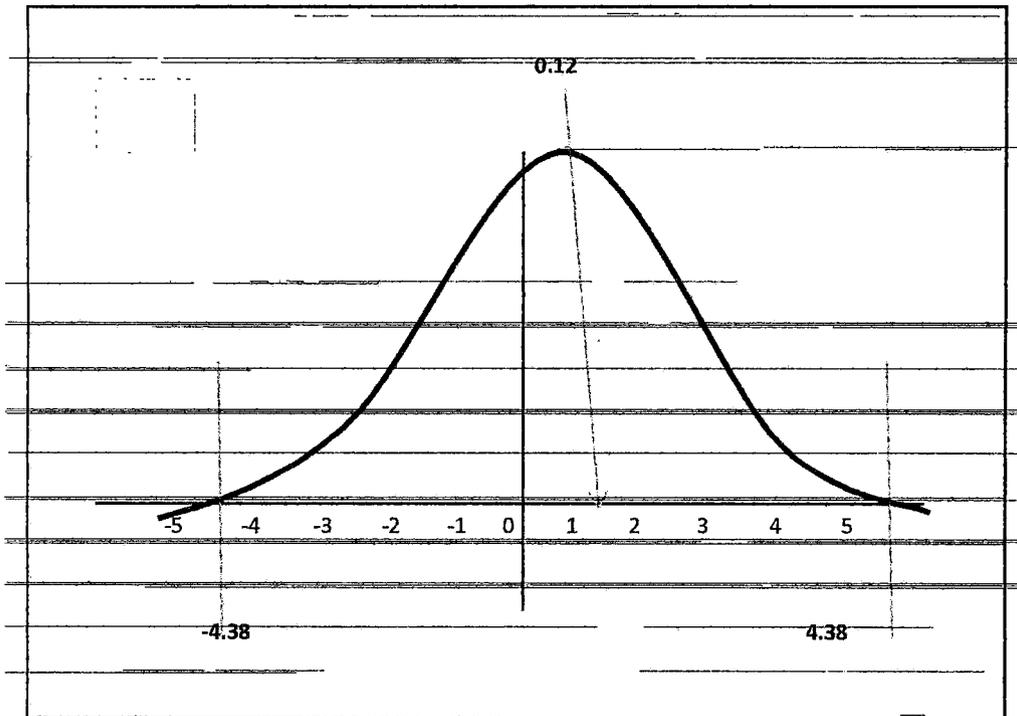
RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	
Fila 1	2	20.35091697	10.17545848	1.44421307	
Fila 2	2	20.47744237	10.23872119	0.81095822	
Fila 3	2	21.08086662	10.54043331	0.24239897	
Fila 4	2	21.34542275	10.67271137	0.54938498	
Fila 5	2	20.85591174	10.42795587	0.19379994	
Fila 6	2	20.07732341	10.03866171	2.34902109	

Método de análisis estadístico, (Ver Anexo V).

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.572515448	5	0.11450309	0.12290627	0.981931781	4.387374187
Dentro de los grupos	5.589776274	6	0.931629379			
Total	6.162291722	11				

Análisis de Varianza, (Anexo W).



Validación de hipótesis, (Anexo X).

POR LO TANTO COMO $F_c < F_t$
 (ALPHA=0.05)
 SE ACEPTA LA HIPÓTESIS

Quando $F_c > F_t$	Se rechaza la hipótesis nula, es decir se acepta la hipótesis alterna
Quando $F_c < F_t$	Se acepta la hipótesis nula

Es decir: **H₀**: La temperatura no influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

Inferimos con las conclusiones estadísticas que los resultados obtenidos de la prueba estadística por el método del **DCA** caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula, por lo tanto: Existe diferencia en el nivel de satisfacción ante la atención de la influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica de Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26).

4.2 DISCUSIÓN

PRIMERA HIPÓTESIS

“El comportamiento de las carpetas asfálticas en la zona de estudio puede ser prevista a partir de modelos mecánicos que evalúen esfuerzos y deformaciones en el concreto asfáltico, considerando niveles de gradiente térmico, propiedades de asfalto y características de mezcla empleadas; a fin de establecer relaciones en el periodo de vida en la carpeta asfáltica”.

El comportamiento de las carpetas asfálticas sometidas a gradientes térmicos, ha sido pronosticado mediante la implementación del modelo propuesto por Hills. Este modelo ha demostrado que el mecanismo de falla por baja temperatura es poco probable y que el fenómeno cíclico de la temperatura diaria, genera fatiga en los pavimentos construidos en los tramos de altura de la carretera nacional tramo; Huancavelica – Izcuchaca.

SEGUNDA HIPÓTESIS

Durante el desarrollo de esta tesis, se estudio la influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica en la carretera nacional tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26). Afirmando la Hipótesis nula la cual ha sido demostrada para cada tramo en estudio mediante el siguiente análisis:

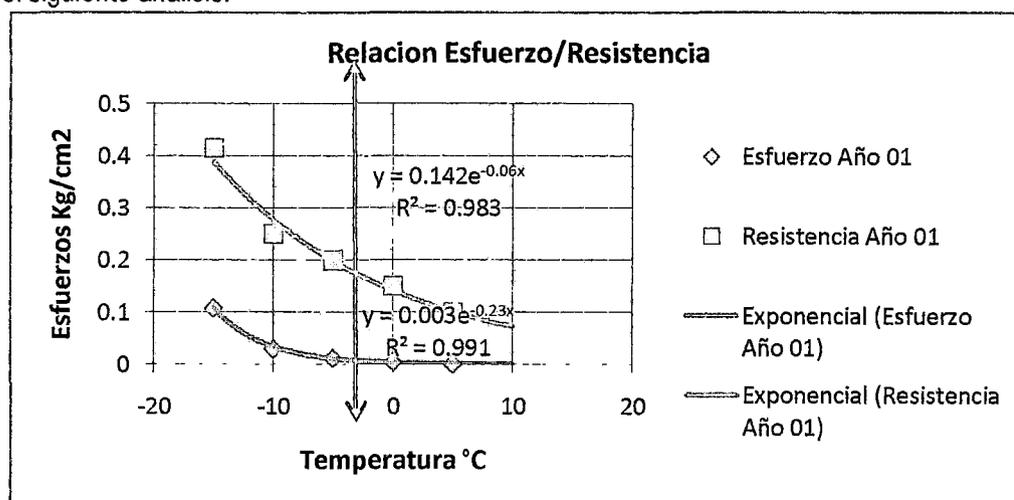


Figura N° 10: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.5 °C, (Anexo F).

- El grafico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -2.5 °C, mínimo registrada por la estación meteorológica Pilchaca (Izcuchaca), con un esfuerzo = 0.01 kg/cm² y resistencia = 0.17 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -37.5 °C el esfuerzo y resistencia llega a 23 kg/cm² en el cual ambos se intersecan y será la falla del pavimento. Se considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983), pero en el tramo I: Huancavelica Izcuchaca km 0+000 al 30+000, la temperatura mínima registrada es de -2.5 °C lo cual nos indica que en este tramo aun no ocurren fallas por temperatura térmica sino por fatiga térmica.

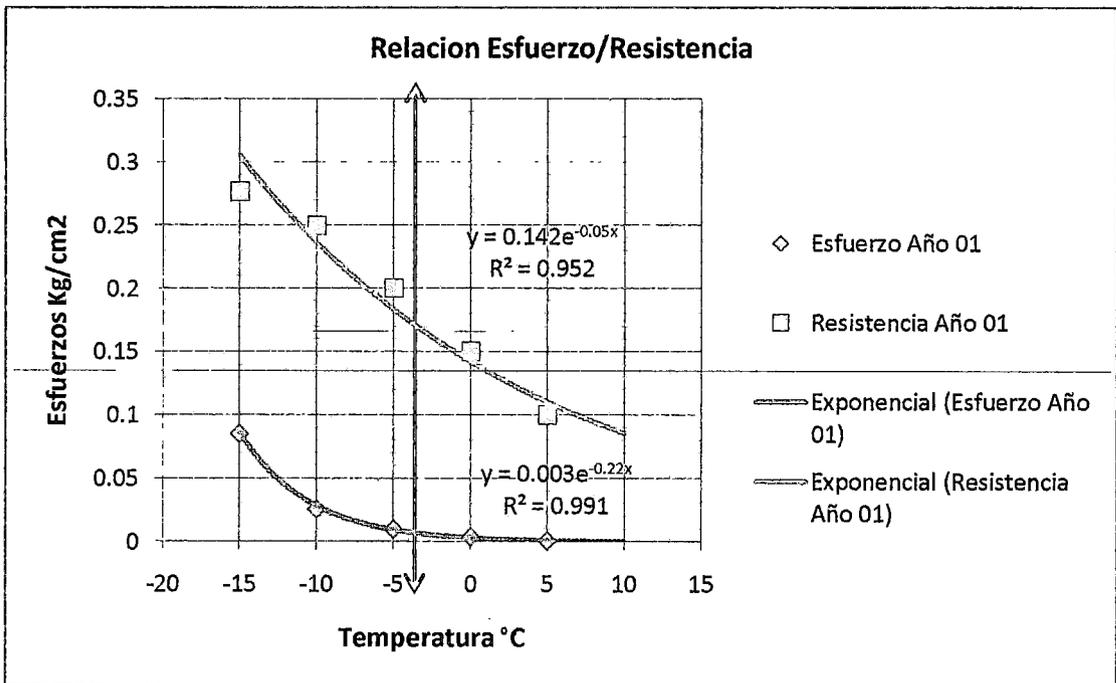


Figura N° 11: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo G).

- El grafico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -3.9 °C mínimo registrado por la estación meteorológica Huancalpi (Vilca), con un esfuerzo = 0.008 kg/cm² y resistencia = 0.17 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -40.00 °C el esfuerzo y resistencia llega a 24 kg/cm² en el cual ambos se intersecan y será la falla del pavimento. Se considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983), pero en el tramo I: Huancavelica Izcuchaca km 0+000 al 30+000, la temperatura mínima registrada es de -2.5 °C lo cual nos indica que en este tramo aun no ocurren fallas por temperatura térmica sino por fatiga térmica.

temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983), pero en el tramo I: Huancavelica Izcuchaca km 30+000 al 60+000, la temperatura mínima registrada es de -3.9 °C lo cual nos indica que en este tramo aun no ocurren fallas por temperatura térmica sino por fatiga térmica.

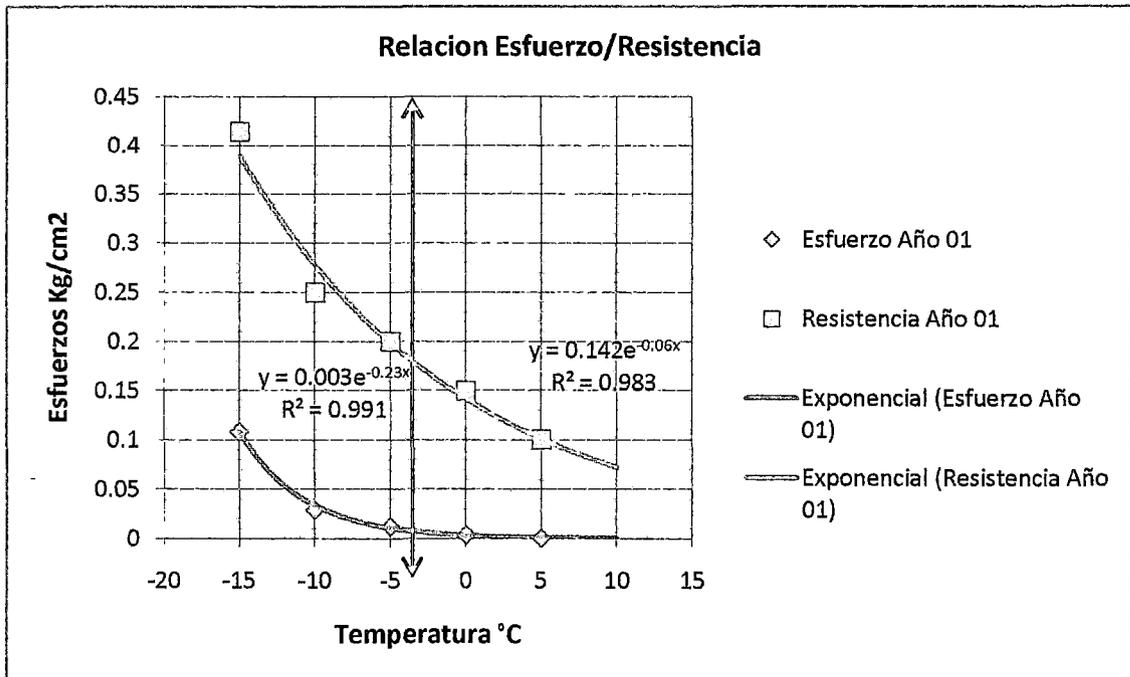


Figura N° 12: Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo H).

- El gráfico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -3.9 °C, mínimo registrado por la estación meteorológica (Wilca), con un esfuerzo = 0.007 kg/cm² y resistencia = 0.18 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -38.00 °C el esfuerzo y resistencia llega a 23.50 kg/cm² en el cual ambos se intersecan y será la falla del pavimento. Se considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °C), (Carpenter, 1983), pero en el tramo I: Huancavelica Izcuchaca km 60+000 al 76+000, la temperatura mínima registrada es de -3.9 °C lo cual nos indica que en este tramo aun no ocurren fallas por temperatura térmica sino por fatiga térmica.

El agrietamiento térmico, a diferencia del hinchamiento del suelo de fundación o levantamiento por congelamiento, se refiere a los cambios de volumen en la mezcla asfáltica, debido a las altas gradientes de temperatura que ocasionan esfuerzos de tensión y deformaciones que se traducen en grietas, produciendo una distorsión permanente en la superficie de pavimento; a ello se debe añadir el efecto del ingreso de las precipitaciones, donde la actuación combinada inciden en el deterioro prematuro y acelerado del pavimento. Por lo tanto, el problema implica tomar las precauciones y el juicio necesario en el incremento del espesor estructural del pavimento, con atención a la capa asfáltica, ya que está demostrado que el espesor juega un papel importante en la incidencia del agrietamiento térmico, debido a que las grietas necesitarán de mayor tiempo para su propagación. No se debe perder la atención en el diseño de las mezclas, el uso de materiales, especialmente asfaltos adecuados y procedimientos constructivos, que son influyentes en el rendimiento y respuesta a los fenómenos ambientales.

Por consiguiente, se respalda **la segunda hipótesis** (Hipótesis nula) de la presente investigación, puesto que la temperatura en los 03 tramos en estudio no influye para el deterioro de la carpeta asfáltica encontrándose que la temperatura más crítica es $-3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ con el cual aun según el cálculo no genera deterioro por temperatura, puesto que se considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a $20\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de $20\text{ a }70\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-7\text{ a }21\text{ }^{\circ}\text{C}$), (Carpenter, 1983). Dado los resultados se puede recomendar el incorporar la variable GRADIENTE TÉRMICO, en el proceso de diseño mediante el análisis que ofrece la Guía AASTHO – 93.

RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tramo: Huancavelica - Izcuchaca	Temperatura $^{\circ}\text{C}$ min.	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Resistencia (Kg/cm^2)	Temperatura $^{\circ}\text{C}$ punto de fisuramiento	Esfuerzo (kg/cm^2) punto de fisuramiento	Resistencia (kg/cm^2) punto de fisuramiento	Resultado	Discusión
km 0+000 al km 30+000	-2.5	0.01	0.17	-37.5	23	23	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica.
km 30+000 al km 60+000	-3.9	0.008	0.17	-40	24	24	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica.
km 60+000 al km 76+000	-3.9	0.007	0.18	-38	23.5	23.5	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica.

CONCLUSIONES

- a) Se concluye sobre las variables estudiadas, que lo más importante es el gradiente térmico observado en los tres tramos de la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26); sin embargo se considera también como importantes en el desempeño de las carpetas asfálticas, el proporcionamiento de las mezclas bituminosas y las propiedades del asfalto (penetración, punto de ablandamiento e índice de penetración), como una forma indirecta de acercamiento al módulo de rigidez del asfalto a bajas temperaturas, en ausencia de tecnología y equipos en el medio para la medición directa como lo propone las especificaciones SHRP.
- b) El modelo desarrollado representa el comportamiento del pavimento ante la acción del gradiente térmico en un determinado periodo de tiempo, expresado como proporción de daño y ello representa la cuantificación del gradiente térmico en el nivel de esfuerzos y deformaciones de carpetas asfálticas construidas en la zona de estudio.
- c) De acuerdo con el modelo ensayado, el mecanismo de agrietamiento por baja temperatura tiene poca probabilidad de ocurrencia. En ninguno de los tres tramos estudiados los esfuerzos máximos de tracción superaron las resistencias de las mezclas asfálticas utilizadas. Por lo tanto, el mecanismo de agrietamiento por fatiga térmica se considera como la responsable más importante en el deterioro de los pavimentos construidos en la zona de estudio.
- d) Finalmente se debe aclarar que la presente investigación solo ha desarrollado un acercamiento al efecto de deterioro por efecto térmico, el cual puede ser complementado mediante el uso de modelos de análisis multicapa e introducir el efecto de cargas de tráfico; este sumado al análisis de deterioro estudiado en el presente trabajo, permitirá una aproximación completa del comportamiento de nuestros pavimentos.

RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda, como alternativa que contempla los efectos de temperatura "gradiente térmico" en nuestro medio, el proceso de diseño implementado por la Guía AASHTO-93, considerando la incorporación de un modelo de deterioro por efectos de fatiga térmica que expresa el nivel de agrietamiento térmico durante el periodo de análisis. Incorporación que permite por medios iterativos la recomposición del espesor estructural del pavimento con atención a la capa asfáltica, hasta que sea capaz de absorber los efectos térmicos y permitir que el pavimento alcance la serviciabilidad deseada en un tiempo equivalente al periodo de análisis del pavimento que se diseñe.
- b) La investigación desarrollada toma información climática, composición de mezcla y propiedades de asfaltos usados en la fase de construcción y de puesta en servicio luego de un periodo. Este último aspecto ha conllevado suponer cierto tipo de comportamiento de las propiedades del asfalto; sin embargo se recomienda a efectos de lograr un mayor acercamiento sobre la influencia de la temperatura en pavimentos de la zona de estudio, la evaluación periódica especialmente del comportamiento de los asfaltos usados. Así mismo se hace necesario un mayor control de mediciones de agrietamiento por efecto térmico y tráfico a fin de posibilitar mayores puntos de calibración, tanto para simulaciones de deterioro por efectos ambientales y de tráfico, para de esta forma posibilitar el desarrollo de metodologías como lo propone esta investigación para el control de la performance en nuestros pavimentos de manera más cercana a la realidad.
- c) Con cara al futuro, será necesario implementar mayores líneas de investigación, primero contemplando la influencia de la temperatura para diversas zonas consideradas de altura en nuestro país y con más razón en nuestra región de Huancavelica, para de esta forma contar con un solo criterio consolidado, que aborde este tema. En segundo término se deberá complementar mediante el uso de modelos de análisis multicapa el efecto del tráfico y a

través de una comparación con resultados reales en campo podrá darse una validación definitiva del método propuesto en el presente trabajo.

- d) Finalmente, deberá también abordarse el tema de la influencia de la temperatura en el proporcionamiento de las mezclas, considerando la variación del contenido de asfalto, porcentaje de vacíos relación flujo/estabilidad e insistir en la investigación de temas, como la exposición solar, envejecimiento de los asfaltos y mezclas producidas en nuestro país. Aspectos que permitan un mayor acercamiento al problema abordado en esta investigación.

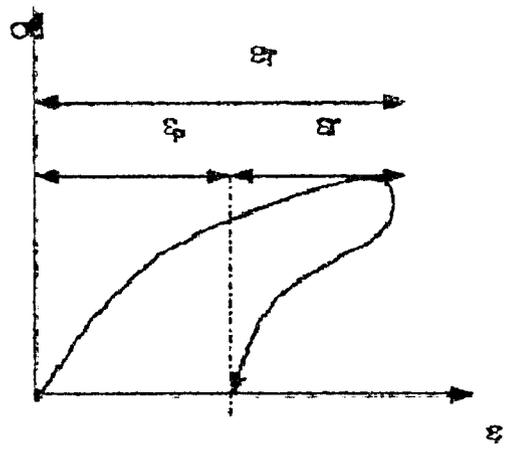
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Tesis con Mención en Ingeniería de Transportes – UNI. Ing. José Hermogenes Melendez Palma LIMA – 2000
- DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS ICG-SEGUNDA EDICION LIMA 2006
- HTTP: //www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm
- Principios de la Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22 (MS-22), AsphaltInstitute
- Mapa Sistema Vial DS. 036-2011,MTC Unidad Gerencia Desarrollo Institucional; 2011
- Estadística Experimental, Alfonso Gregorio Cordero Fernández.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Ing. Jorge Coronado Iturbide, Noviembre del 2002.
- Boletín Climático Nacional, SENHAMI, agosto del 2012.
- Pavimentos Flexibles, Capitulo 02, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tipo de Investigación, Sánchez y Reyes, 1999.
- Metodología para la Calibración de los Modelos de Deterioro de Pavimentos, Universidad de el Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil, 2009.
- Pavimentos Asfálticos en Zonas de Altura, Ing. M. Sc. J. Rafael Menéndez A. Julio del 2005.
- Diseño de Investigación Científica, Taller 3, Ministerio de Educación – Perú, 2003-2012.
- Metodología de Cálculo de la Temperatura de Ruptura de Pavimentos Sometidos a Bajas Temperaturas y Causas Probables de Fisuramiento, Autores: Ing. José René De Castro Esteves, Ing. Joaquim Raphael Colóssio, Ing. Ricardo Quispe González. Quito – Ecuador.

37

ANEXOS

ANEXO A:



Explicación del concepto de rigidez.



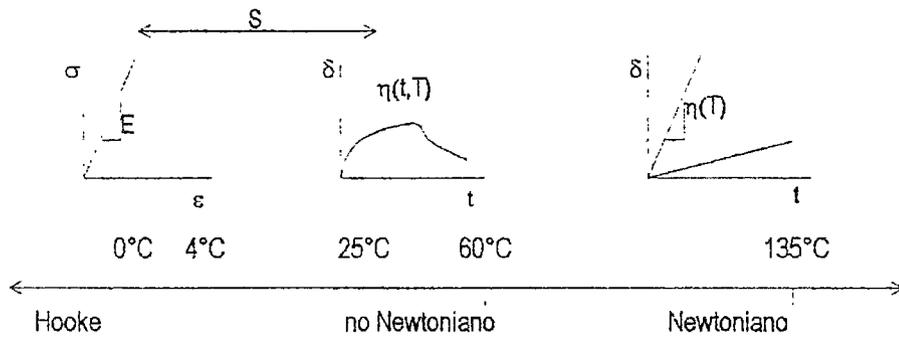
Pruebas de esfuerzos constante



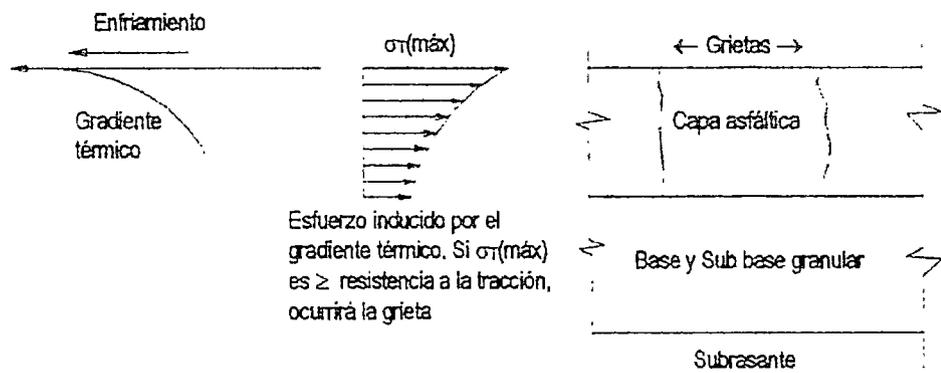
Pruebas de deformación constante

Dos tipos de carga controlada para pruebas de fatiga (Huang, 1993).

ANEXO B:

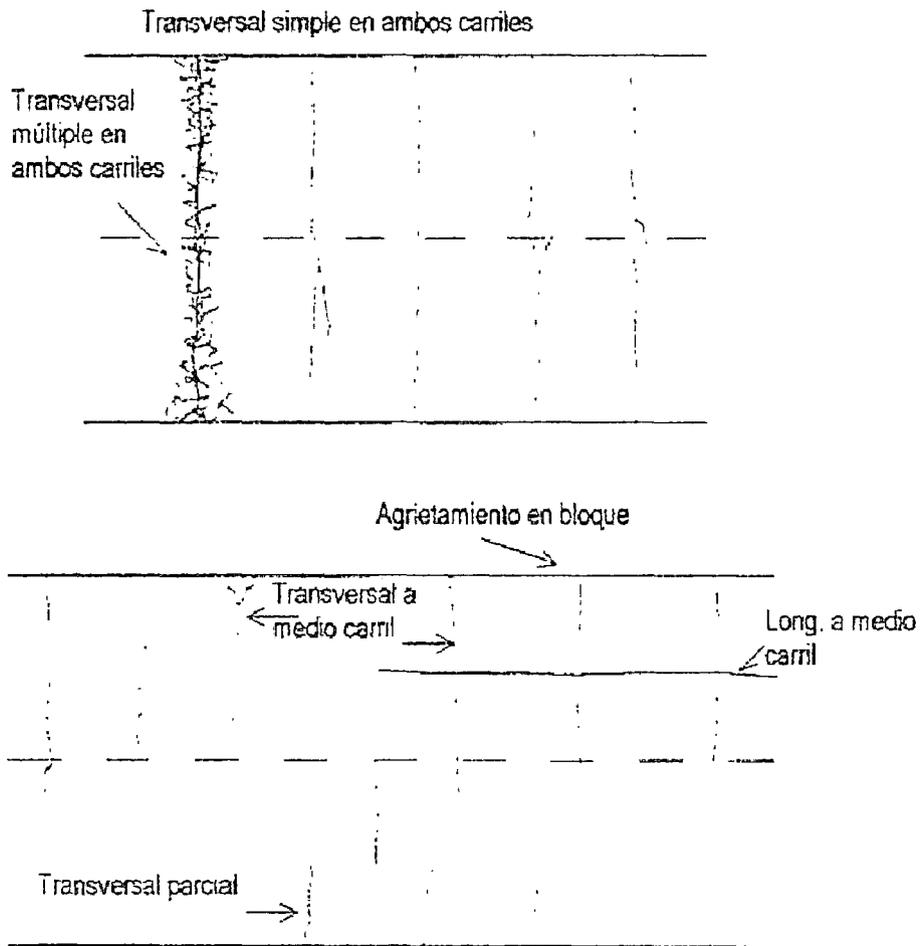


Propiedades del asfalto (G. Thenoux, 1999).



Muestra de un pavimento en proceso de enfriamiento, esfuerzo térmico como respuesta del agrietamiento térmico (Haas, et al., 1987).

ANEXO C:



Tipos de agrietamiento por efecto térmico (Fromm y Phang, 1972).

ANEXO D:

Figura N° 06: Efecto del envejecimiento en la penetración

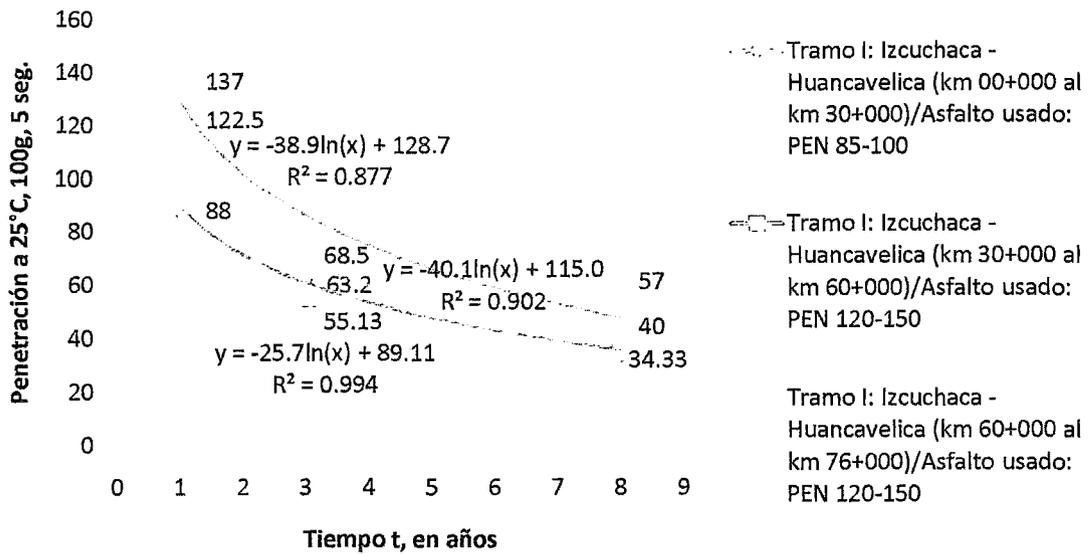
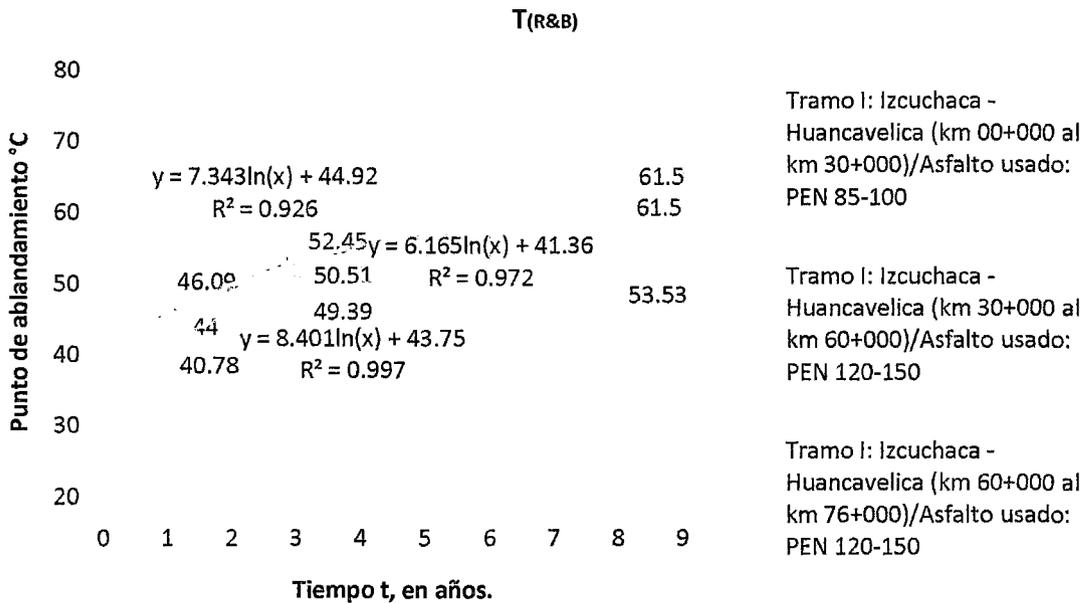
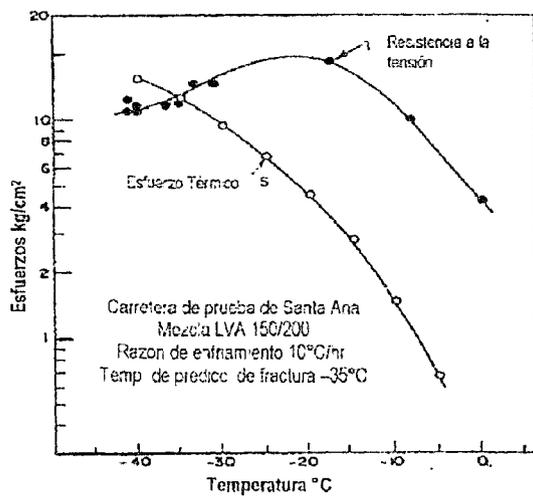
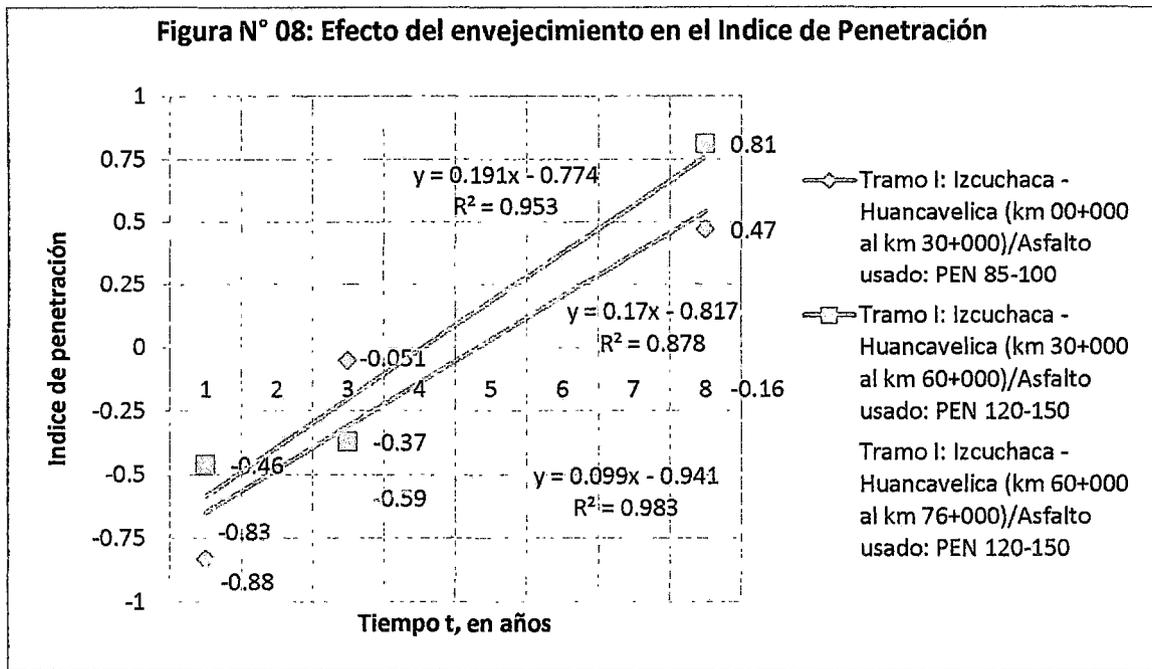


Figura N° 07: Efecto del envejecimiento en el Punto de Ablandamiento

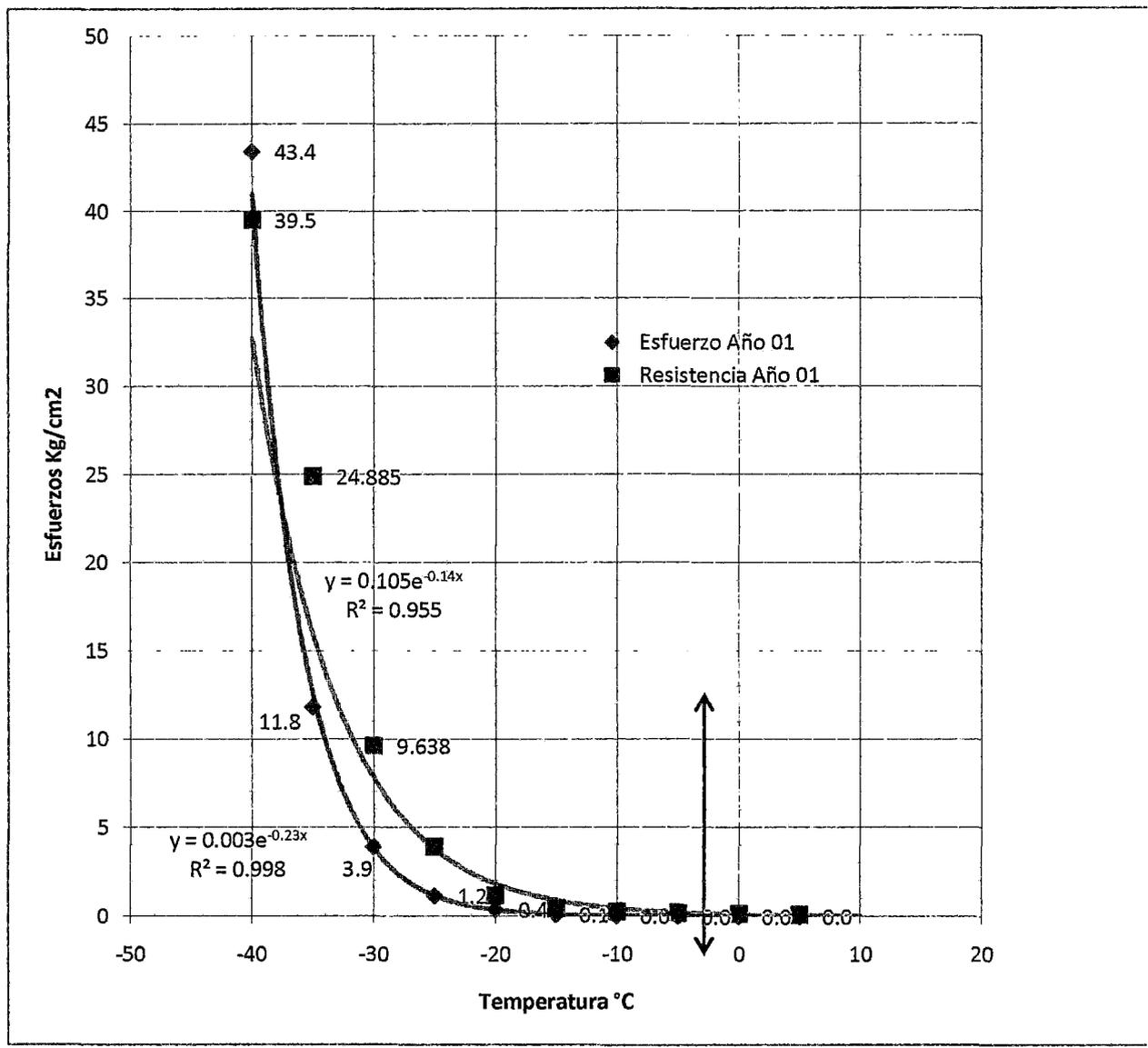


ANEXO E:



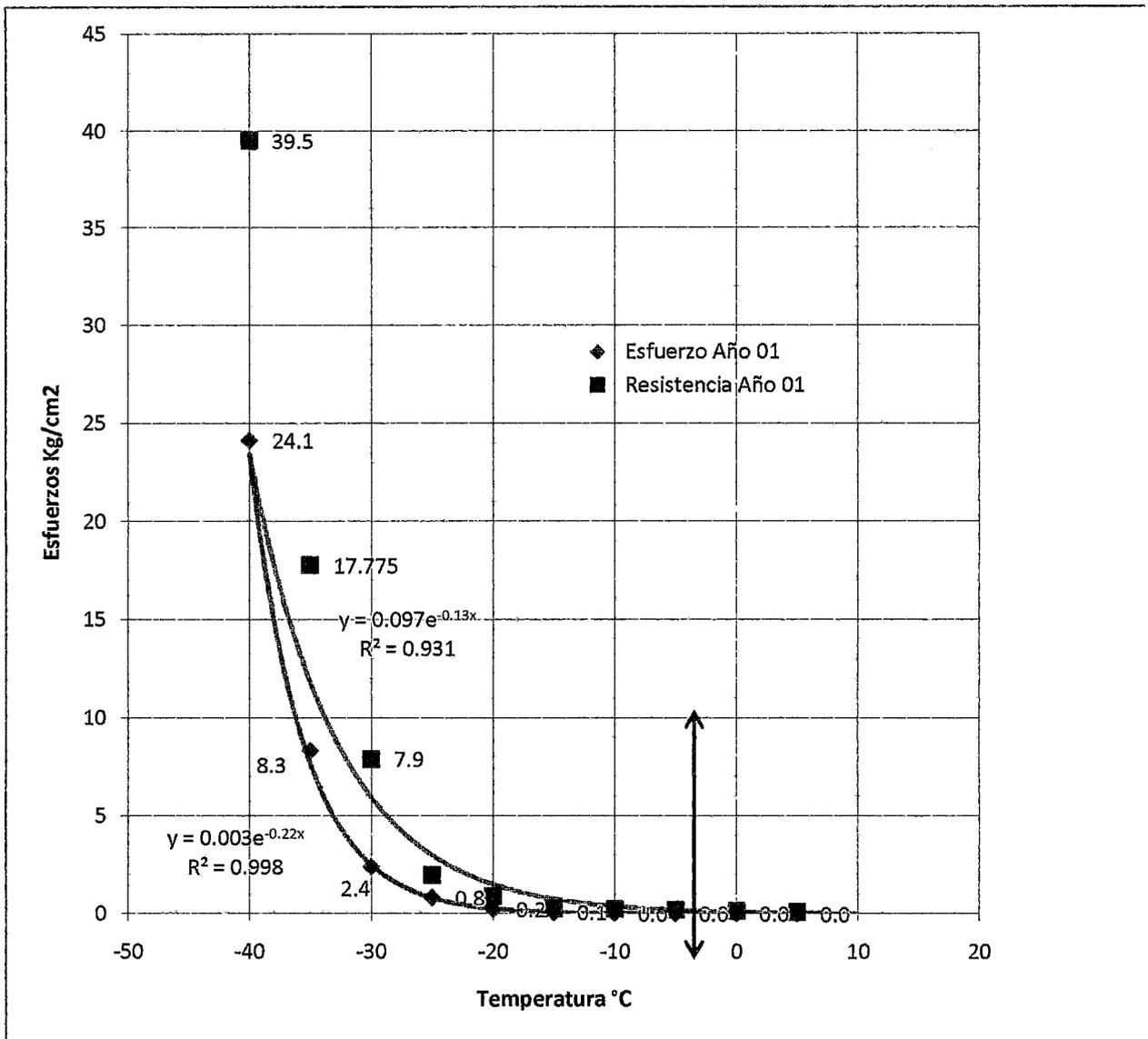
Mecanismo de falla por baja Temperatura (McLeod 1970).

ANEXO F:



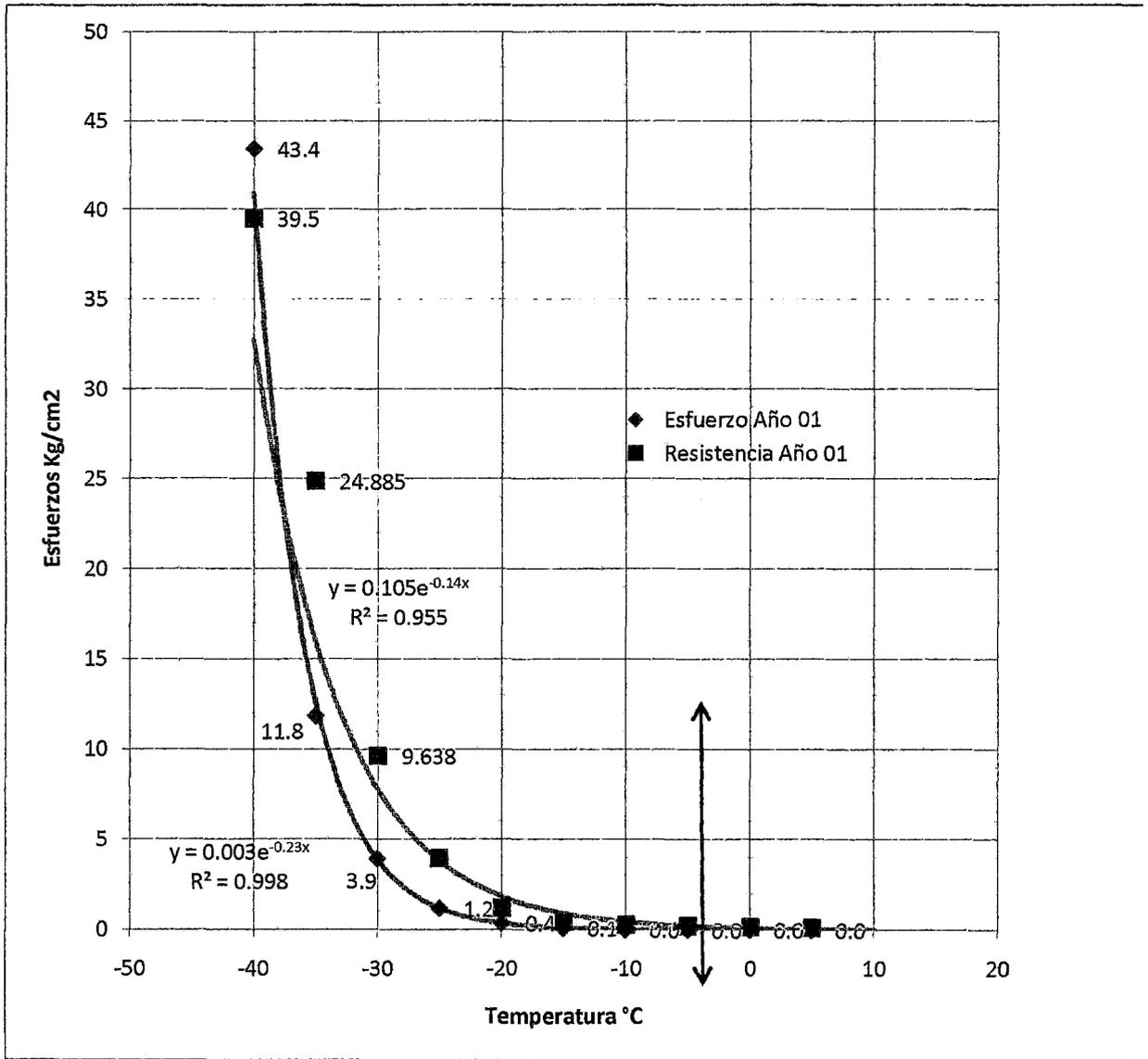
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.5 °C

ANEXO G:



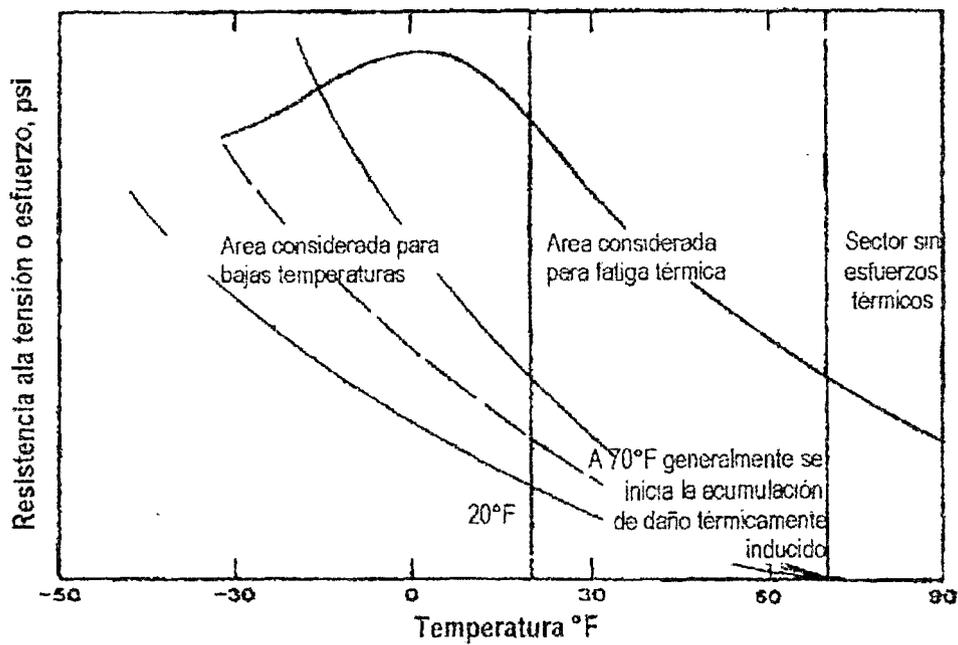
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150;
Relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C.

ANEXO H:



Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C

ANEXO I:



Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico (Carpenter, 1983)

ANEXO J:

Cuadro N° 01 Información revisada sobre el ambito de estudio

proyecto/Carretera	Estudio		Construccion		Evaluacion/Supervision	
	Entidad	Año	Entidad	Año	Entidad	Año
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 00+000 al km. 30+000	2005-2007	MTC.	2005-2007
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 30+000 al km. 60+000	2005-2007	MTC.	2005-2007
Huancavelica - Izcuchaca		2004	Tramo km. 60+000 al km. 76+000	2005-2007	MTC.	2005-2007

Fuente: Elaboracion propia.

27

ANEXO K:

Cuadro N° 02: Variables e Indicadores considerados en la Investigación.

VARIABLES	INDICADORES
EN EL ANALISIS DE DATOS - Gradiente Térmico. - Resultados Bibliograficos. - Lectura de áreas fisuradas equivalente en campo (m2).	- Temperatura máxima y mínima - Distribución de frecuencias - Desviación estándar - Promedio de valores de mayor frecuencia - Medición de grietas.
EN LOS RESULTADOS DE LA SIMULACION - Pronóstico de la falla	- Proporción de daño en el tiempo

Fuente: Elaboracion propia.

ANEXO L:

Cuadro N° 03: Relación de estaciones climatológicas proximas al tramo en estudio.

CARETERA TRAMO HUACAVELICA - IZCUCHACA (PE-26)	PROGRESIVA (Km)	ALTITUD (msnm)	ESTACION CLIMATOLOGICA	ALTITUD (msnm)
HUANCAVELICA-SACHAPITE	64+000 AL 65+000	4120 - 4250	Huancalpi (Vilca)	4450
SACHAPITE - HUANDO	44+000 AL 45+000	3905 - 3980	Huancalpi (Vilca)	4450
HUANDO - IZCUCHACA	04+000 AL 05+000	3130 - 3305	Pilchaca (Izcuchaca)	3650

Fuente: Elaboracion propia.

ANEXO M:

Cuadro N° 04: Máximas y mínimas temperaturas para el año representativo.

ESTACION	PROMEDIO ANUAL (C°)		PROMEDIO MES MAS FRIO (C°)		MAXIMA Y MINIMA OBSERVADOS(C°)	
	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA
Huancalpi (Vilca)	18.8	0.63	19.15	0.54	22.20	-3.90
Huancalpi (Vilca)	18.8	0.63	19.15	0.54	22.20	-3.90
Pilchaca (Izcuchaca)	20.2	2.15	20.55	1.90	22.40	-2.50

Fuente: Elaboracion propia.

ANEXO N:

Cuadro N° 05: Propiedades de los asfaltos usados en los tramos estudiados

Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 00+000 al km 30+000)/Asfalto usado: PEN 85-100			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	-	-	1030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	88	63.2	34.33
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	-	-	894.5
Punto de ablandamiento °C	46.09	50.51	61.5
Índice de penetración	-0.83	-0.051	0.47
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 30+000 al km 60+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	1020	-	1030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	122.5	55.13	40
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	215	500	586.66
Punto de ablandamiento °C	44	52.45	61.5
Índice de penetración	-0.46	-0.37	0.81
Tramo I: Izcuchaca - Huancavelica (km 60+000 al km 76+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	2005/Original	2007/Residual	2012/Recuperado
Peso específico g/cc	1019	-	1020
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	137	68.5	57
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	166.4	-	483.53
Punto de ablandamiento °C	40.78	49.39	53.53
Índice de penetración	-0.88	-0.59	-0.16

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información tomada de las referencias y resultados de análisis de laboratorio, (*) información asumida a partir de datos rutinario, carretera central Tramos San Mateo - Morococha; Morococha - La Oroya y Huayre - Chicrin.

ANEXO Ñ:

Cuadro N° 06 Proporción de daño por la ubicación en la vía.

Carretera Huancavelica - Izcuchaca (PE-26)	% fisura long. a media calzada	% fisura transersal Parcial	% fisura transversal a media calzada	% fisura transversal Ambos carriles
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 00+000 al Km. 30+000) "Km. 04+000 al Km. 05+000"	25.99	18.44	55.57	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 30+000 al Km. 60+000) "Km. 44+000 al Km. 45+000"	39.31	42.34	18.35	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 60+000 al Km. 76+000) "Km. 64+000 al Km. 65+000"	8.44	49.37	42.19	0

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recopilada en campo.

ANEXO O:

Cuadro N° 07 Proporción de daño por el estado de la fisura.

Carretera Huancavelica - Izcuchaca (PE-26)	% fisura e < 2 mm.	% fisura 2 < e < 4 mm.	% fisura 4 < e < 6 mm.	% fisura 6 < e < 8 mm.	% fisura 8 < e < 10 mm.	% fisura selladas.
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 00+000 al Km. 30+000) "Km. 04+000 al Km. 05+000"	10.53	32.33	21.54	11.52	24.08	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 30+000 al Km. 60+000) "Km. 44+000 al Km. 45+000"	46.65	43.47	9.88	0	0	0
Huancavelica - Izcuchaca (Km. 60+000 al Km. 76+000) "Km. 64+000 al Km. 65+000"	49.37	14.62	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recopilada en campo.

ANEXO P:

RESULTADOS TRAMO I: HUANCAVELICA – IZCUCHACA (KM. 00+000 AL KM. 30+000).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico $\delta T = \Sigma(Si*\alpha*\Delta T)$
0	5.00E+01	1.00E-01	
-5			1.00E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	5.00E+03	1.00E+01	
-25			1.11E+01
-30	6.10E+04	1.22E+02	
-35			1.33E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.13E+03
-50	1.00E+07	2.00E+04	
-55			2.11E+04
-60	7.20E+07	0.00E+00	
			2.11E+04

Esfuerzos en intervalo de 10°C.

ANEXO Q:

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm2	Incremento de rigidez Kg/cm2/ 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm2	Esfuerzo de ruptura Kg/cm2
10	6.10E+00			
7.5	1.10E+01	0.0		
5	1.80E+01		0.0	0.1
2.5	4.10E+01	0.0		
0	5.00E+01		0.0	0.15
-2.5	1.00E+02	0.0		
-5	1.80E+02		0.0	0.2
-7.5	2.20E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	1.00E+03	0.1		
-15	1.50E+03		0.1	0.41475
-17.5	3.50E+03	0.3		
-20	5.00E+03		0.4	1.185
-22.5	1.00E+04	0.8		
-25	2.00E+04		1.2	3.95
-27.5	3.50E+04	2.8		
-30	6.10E+04		3.9	9.638
-32.5	1.00E+05	7.9		
-35	2.10E+05		11.8	24.885
-37.5	4.00E+05	31.6		
-40	5.00E+05		43.4	39.5

Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

ANEXO R:

RESULTADOS TRAMO I: HUANCVELICA – IZCUCHACA (KM. 30+000 AL KM. 60+000).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico δT=Σ(Si*α*ΔT)
0	5.10E+01	1.02E-01	
-5			1.02E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	3.80E+03	7.60E+00	
-25			8.70E+00
-30	5.00E+04	1.00E+02	
-35			1.09E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.11E+03
-50	5.00E+06	1.00E+04	
-55			1.11E+04
-60	5.00E+07	0.00E+00	
			1.11E+04

Esfuerzos en intervalo de 10°C.

ANEXO S:

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm ²	Incremento de rigidez Kg/cm ² / 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm ²	Esfuerzo de ruptura Kg/cm ²
10	7.50E+00			
7.5	1.10E+01	0.0		
5	2.00E+01		0.0	0.1
2.5	4.00E+01	0.0		
0	5.10E+01		0.0	0.15
-2.5	7.50E+01	0.0		
-5	1.50E+02		0.0	0.2
-7.5	2.00E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	7.50E+02	0.1		
-15	1.00E+03		0.1	0.2765
-17.5	1.90E+03	0.2		
-20	3.80E+03		0.2	0.9006
-22.5	7.50E+03	0.6		
-25	1.00E+04		0.8	1.975
-27.5	2.00E+04	1.6		
-30	5.00E+04		2.4	7.9
-32.5	7.50E+04	5.9		
-35	1.50E+05		8.3	17.775
-37.5	2.00E+05	15.8		
-40	5.00E+05		24.1	39.5

Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

ANEXO T:

RESULTADOS TRAMO I: HUANCVELICA – IZCUCHACA (KM. 60+000 AL KM. 76+000).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m2 (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico $\delta T = \Sigma(Si*\alpha*\Delta T)$
0	5.00E+01	1.00E-01	
-5			1.00E-01
-10	5.00E+02	1.00E+00	
-15			1.10E+00
-20	5.00E+03	1.00E+01	
-25			1.11E+01
-30	6.10E+04	1.22E+02	
-35			1.33E+02
-40	5.00E+05	1.00E+03	
-45			1.13E+03
-50	1.00E+07	2.00E+04	
-55			2.11E+04
-60	7.20E+07	0.00E+00	
			2.11E+04

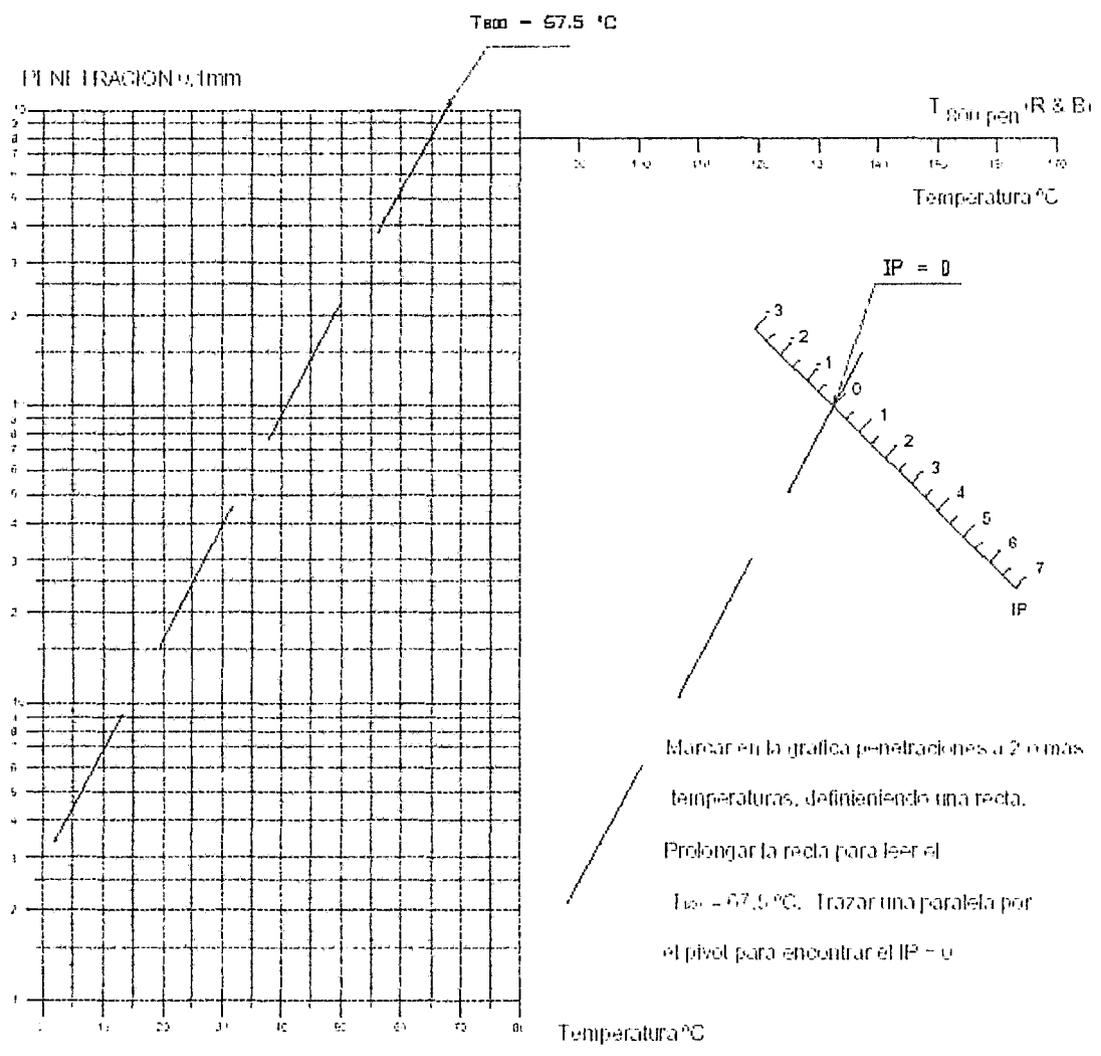
Esfuerzos en intervalo de 10°C.

ANEXO U:

Temp. °C	Si rigidez de la mezcla (1/2 hr) Kg/cm2	Incremento de rigidez Kg/cm2/ 5°C	Esfuerzo térmico Kg/cm2	Esfuerzo de ruptura Kg/cm2
10	6.10E+00			
7.5	1.10E+01	0.0		
5	1.80E+01		0.0	0.1
2.5	4.10E+01	0.0		
0	5.00E+01		0.0	0.15
-2.5	1.00E+02	0.0		
-5	1.80E+02		0.0	0.2
-7.5	2.20E+02	0.0		
-10	5.00E+02		0.0	0.25
-12.5	1.00E+03	0.1		
-15	1.50E+03		0.1	0.41475
-17.5	3.50E+03	0.3		
-20	5.00E+03		0.4	1.185
-22.5	1.00E+04	0.8		
-25	2.00E+04		1.2	3.95
-27.5	3.50E+04	2.8		
-30	6.10E+04		3.9	9.638
-32.5	1.00E+05	7.9		
-35	2.10E+05		11.8	24.885
-37.5	4.00E+05	31.6		
-40	5.00E+05		43.4	39.5

Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C.

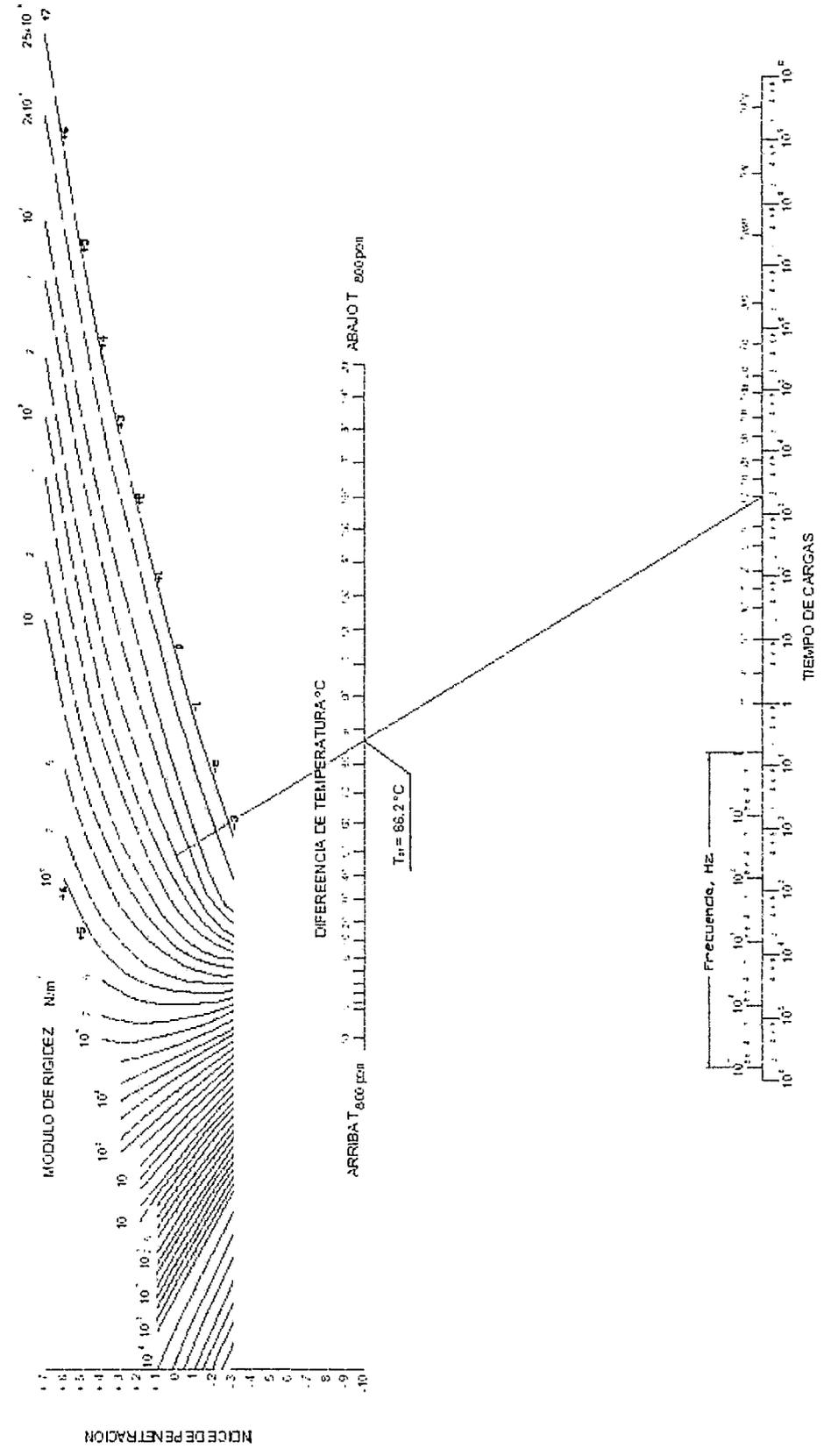
CUADRO PARA DETERMINACION DE T_{800 pen Y} INDICE DE PENETRACION (IP)



FUENTE: RR 81-1

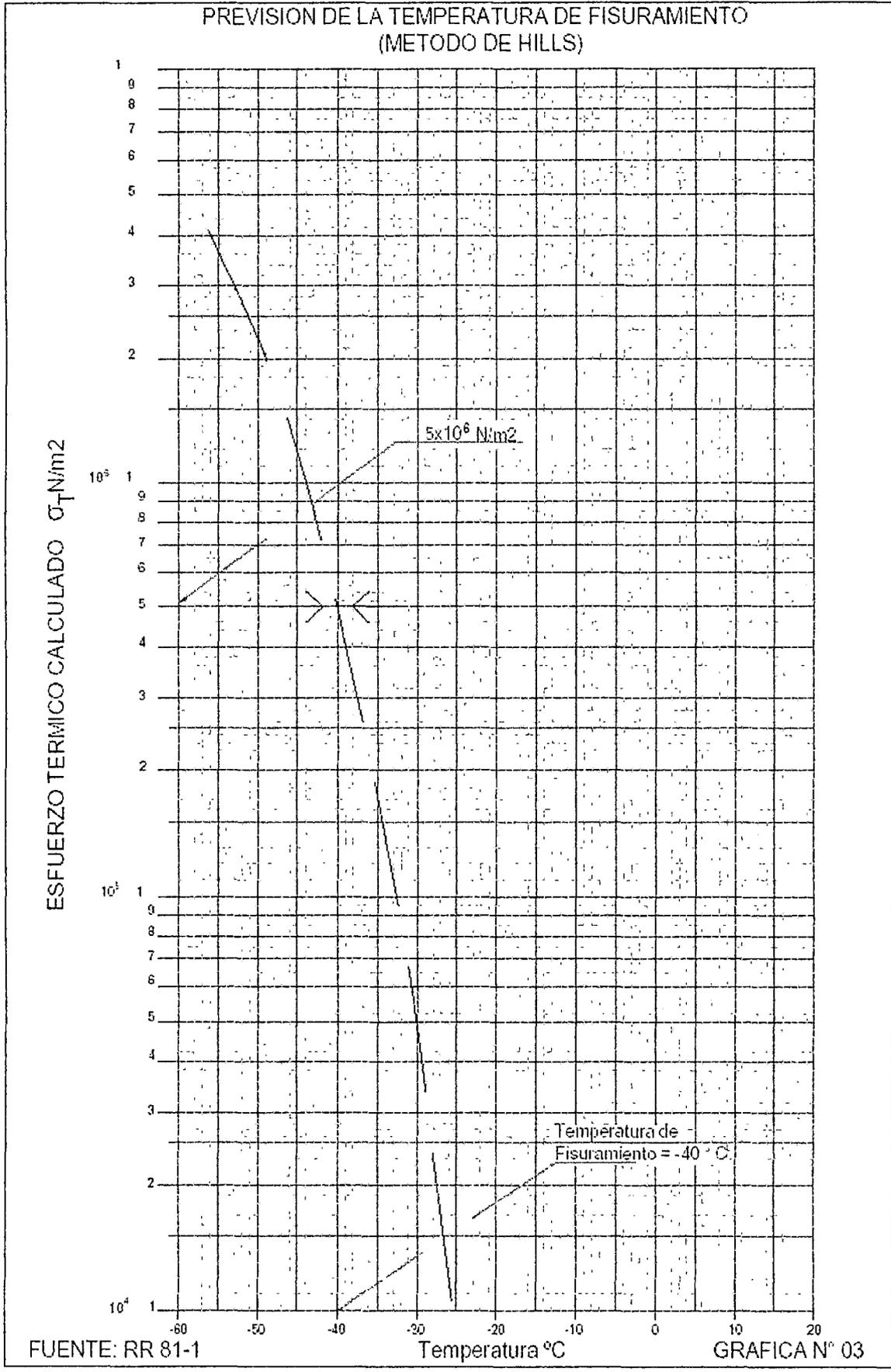
GRAFICA N° 01

NOMOGRAMA DE VAN DER PÖEL PARA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ DEL ASFALTO

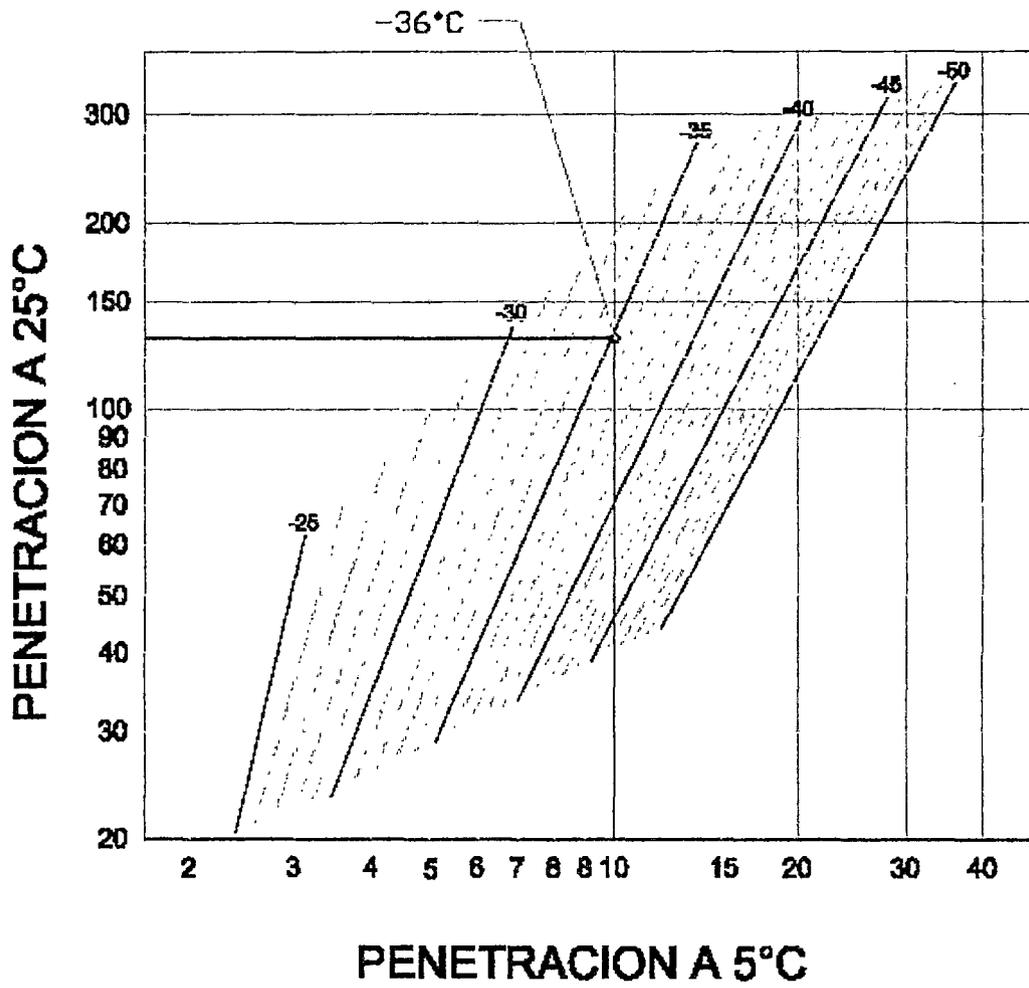


GRAFICAN° 02

FUENTE: RRS-1-1



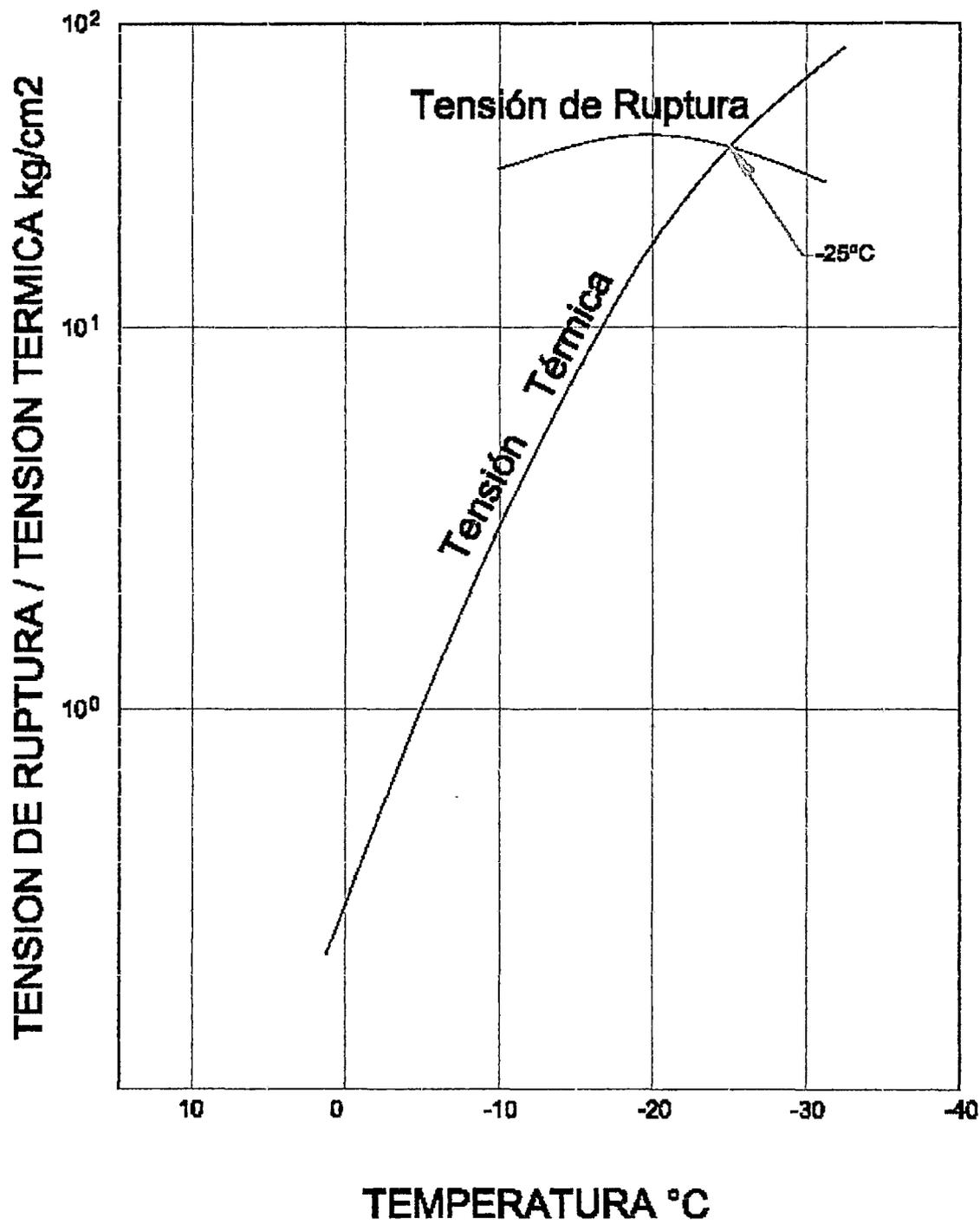
NOMOGRAMA PARA PREVISION DE LA TEMPERATURA DE FISURAMIENTO



FUENTE: RR 81-1

GRAFICA N° 04

PREVISION DE LA TEMPERATURA DE FISURAMIENTO



FUENTE: RR 81-1

GRAFICA N° 06

ANEXO V:

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	2	20.35091697	10.17545848	1.44421307
Fila 2	2	20.47744237	10.23872119	0.81095822
Fila 3	2	21.08086662	10.54043331	0.24239897
Fila 4	2	21.34542275	10.67271137	0.54938498
Fila 5	2	20.85591174	10.42795587	0.19379994
Fila 6	2	20.07732341	10.03866171	2.34902109

ANEXO W:

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.572515448	5	0.11450309	0.12290627	0.981931781	4.387374187
Dentro de los grupos	5.589776274	6	0.931629379			
Total	6.162291722	11				

REFERENCIA

LIBRO: ESTADISTICA EXPERIMENTAL

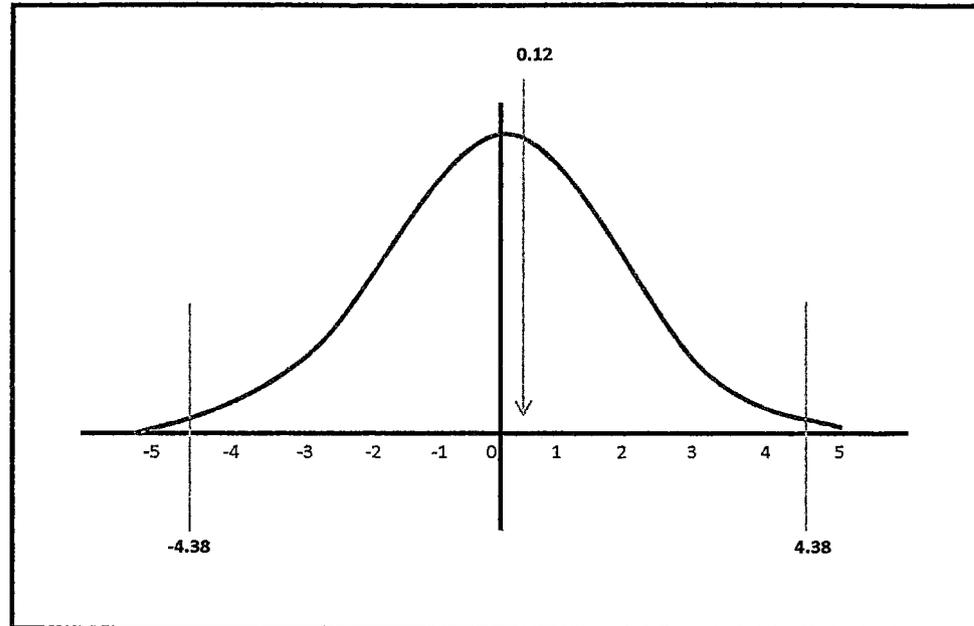
SOLUCIONES CON LOS APLICATIVOS SAS, SPSS, EXCEL EN EXPERIMENTOS ZOOTECNICOS Y AGRONOMICOS

AUTOR:

ALFONSO GREGORIO CORDERO FERNANDEZ

ANEXO X:

Aceptacion de Hipotesis.



POR LO TANTO COMO $F_c < F_t$ ($\alpha = 0.05$)
SE ACEPTA LA HIPOTESIS

Cuando $F_c > F_t$ se rechaza la hipótesis nula, es decir se acepta la hipótesis alterna
Cuando $F_c < F_t$ se acepta la hipótesis nula

Es decir: **H₀**: La temperatura no influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

ok

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Clasificación de los tramos en estudio.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Medición de grieta en milímetros.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Medición de fisura en metros lineales.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisura longitudinal.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Lectura de posición y altura de los lugares fisurados en el tiempo.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



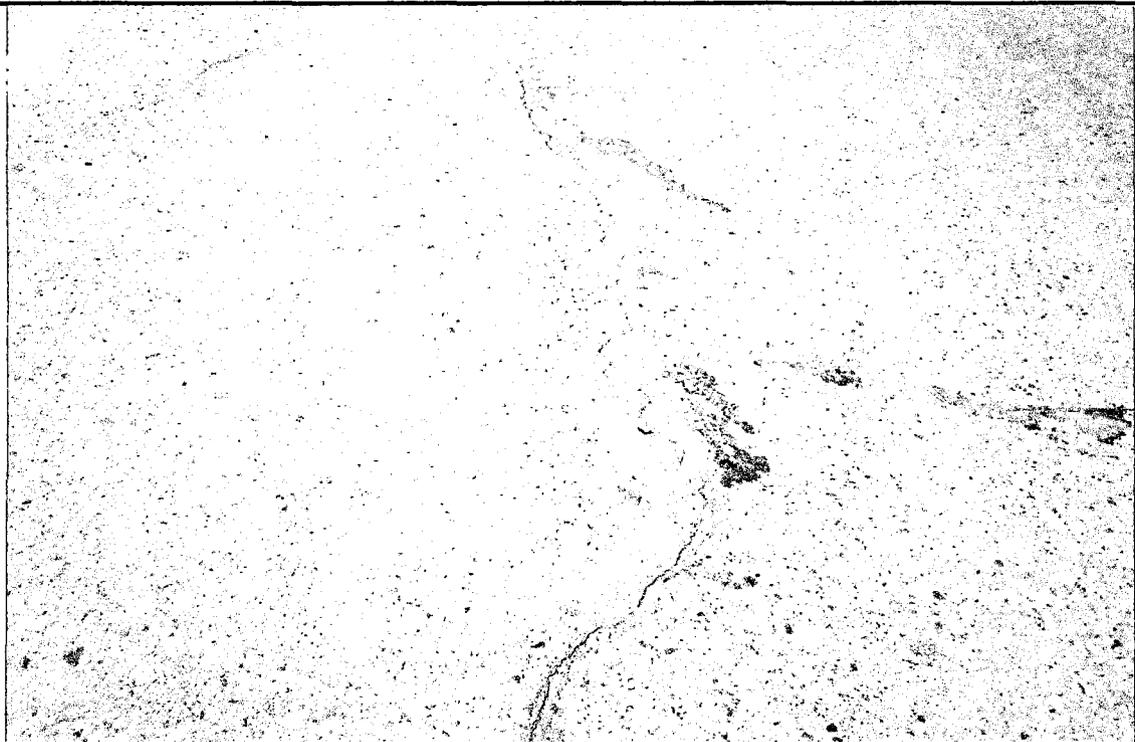
Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Recolección de datos de fisuras en campo de estudio.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo en bloque "longitudinales y transversales"

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo en bloque "longitudinales y transversales"

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Medición de fisuras longitudinales y transversales.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Clasificación de tipos de fisuras en campo de estudio.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo en bloque "longitudinales y transversales"

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo longitudinales.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo en bloque "longitudinales y transversales"

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Huancavelica – Izcuchaca (PE-26)"**



Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Vista panorámica de fisuras tipo en bloque "longitudinales y transversales".