

"AÑO DE LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACIÓN"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL - AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - LIRCAY



A handwritten signature in black ink, appearing to be "V.S.", is located to the right of the university logo.

TESIS

**"INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA
CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO:
RUMICHACA - LOS LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (PE-28A)"**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
TRANSPORTES**

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

PRESENTADO POR:

Bach. FRANCIS SANTIAGO GOETENDIA TORRES
Bach. VICTORINO PEREZ QUISPE

ASESOR:

Lic. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ

LIRCAY - PERÚ
2015



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

EN EL PARANINFO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS-CIVIL, ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL-LIRCAY, A LOS TRECE DIAS DEL MES DE ENERO DEL 2015, SIENDO LAS 12:30 PM, SE INSTALO LOS MIEMBROS DEL JURADO EN BASE A LA RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N° 024-2015-FIMC-UNH DE FECHA 13 DE ENERO DEL 2015 EN EL CUAL SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO: APROBAR LA FECHA Y HORA PARA LA SUSTENTACION DE TESIS CUYO TITULO DE TESIS ES "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA CARPETA ASFALTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO: RUMICHACA - LOS LIBERTADORES (HUAYTARA) (PE-2BA)", SIENDO LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, LOS BACHILLERES EN INGENIERIA CIVIL PEREZ QUSPE VICTORINO Y GOETENDIA TORRES FRANCIS SANTIAGO, MIEMBROS DEL JURADO: ING. URIEL NEIRA CALSIN (PRESIDENTE), ING. ENRIQUE RIGOBERTO CAMAC OJEDA (SECRETARIO), ING. ANDRES Z. NAHUI GASPAR (VOCAU).

CON LA FINALIDAD DE EVALUAR LA SUSTENTACIÓN DE TESIS REFERIDO, INMEDIATAMENTE DESPUES SE PROCEDEO CON LA INTERVENCION DEL PRESIDENTE DANDO LAS INTERVENCIONES CORRESPONDIENTES PARA EL INICIO DE LA SUSTENTACION, PRIMERO DANDO EL TIEMPO REGLAMENTARIO DE TREINTA MINUTOS DE SUSTENTACION, SEGUIDAMENTE TERMINADA LA SUSTENTACION SE PROCEDEO A LA FORMULACIÓN DE PREGUNTAS PERTINENTES, LAS CUALES FUERON ABSUELTAS POR LOS TESISISTAS.

LOS MIEMBROS DEL JURADO DESPUES DE UN INTENSO DEBATE SE RESUELVE: APROBAR LA SUSTENTACION DE TESIS POR UNANIMIDAD, SIENDO LA 1:30 PM DEL DIA TRECE DE ENERO DEL AÑO DOS MIL QUINCE, EN SEÑAL DE CONFORMIDAD FIRMAN AL PIE DEL PRESENTE.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
CERTIFICO QUE LA PRESENTE ES COPIA FIEL
DE LA ORIGINAL QUE TENGO A LA VISTA
HUANCVELICA
Mtro. VICTOR ROBERTO MAMANI MACHACA
Secretario General

15 OCT. 2015

ING. URIEL NEIRA CALSIN.
PRESIDENTE

ING. ENRIQUE CAMAC OJEDA
SECRETARIO

ING. NAHUI GASPAR A
(VOCAU)

DEDICATORIA

A ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa

A mi familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona.

A mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, Santiago Goetendia Alarcon y Rosaluz Torres Flouwer y a mis hermanos Jhordan, José y Cesar por estar siempre presentes cuidándome y brindándome aliento a todos ellos por su confianza, amor, y su apoyo incondicional para cumplir este preciado logro.

Francis Santiago

A mis padres quienes con su apoyo incondicional tanto económico y moral fueron parte de este logro; Juan De Dios Pérez y Juana R. Quispe, además a mis hermanos María, Percy, Sabina y Rosmery que forman parte de mi motivación para alcanzar mis metas y objetivos. Así mismo a mi preciosa esposa Nilda Bendezú y mi hijo Rivao Snaiders, quienes son los pilares en mi formación profesional.

A mi alma mater la Universidad Nacional de Huancavelica.

A mis Docentes que me formaron para una vida de éxito profesional.

Victorino

AGRADECIMIENTO

- ❖ A Dios Todopoderoso, quien nos dio la salud y nos proveyó cada uno de los días de este recorrido; te damos las gracias por darnos la fuerza y sabiduría para salir adelante y terminar con éxito éste trabajo de graduación.
- ❖ A los docentes de la Escuela Académica Profesional de Civil, por su entera disposición a ayudarnos, guiarnos y corregirnos usted con sus conocimientos, su experiencia y su guía continua hicieron que realizáramos una excelente labor, en especial al asesor.
- ❖ A Nuestros Familiares, por ser quienes nos acompañan a diario en cada una de las metas trazadas e indudablemente en este caso no fueron la excepción, siempre estuvieron con nosotros acompañándonos y ayudándonos en la realización de este trabajo, brindándonos el apoyo moral y económico necesario para sacar a flote este proyecto.
- ❖ A Nuestros Amigos, por haber compartido con nosotros toda nuestra formación universitaria y haber constituido durante todo ese tiempo un apoyo fundamental cuando más los necesitamos.
- ❖ A la Universidad Nacional de Huancavelica, por la oportunidad que nos brinda, para poder hacer realidad nuestro más grande anhelo; Ser Ingeniero Civil.

Los Tesistas.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	viii
CAPÍTULO I: PROBLEMA	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICACIÓN	13
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	15
2.1 ANTECEDENTES	15
2.2 BASES TEÓRICAS	17
2.3 HIPÓTESIS	25
2.4 IDENTIFICACION DE VARIABLES	25
2.5 DEFINICION OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO	28
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	30
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	30
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO	33

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	53
4.1 PRESENTACION DE RESULTADOS	53
4.2 DISCUSIÓN	70
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	
ARTICULO CIENTIFICO	
ANEXOS	
GRAFICOS E IMÁGENES	

130

**“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO: RUMICHACA – LOS
LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (PE-28A)”**

Bach. /Ing. Goetendia Torres, Francis Santiago y Bach. /Ing. Perez Quispe, Victorino

RESUMEN

La investigación se realizó tomando como referencia el ámbito nacional de la vía Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) entre el año de servicio del 2009 – 2014, comprende una evaluación nacional en la inversión del Estado en la construcción y rehabilitación de caminos, ha permitido interpretar la red nacional en aproximadamente 18 299 km, de las cuales 7,500 km, corresponden a caminos construidos en regiones identificadas como "zonas de altura" y de 45.5 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 Rumichaca – los Libertadores (Huaytará) (PE-28A) "zonas 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: Rumichaca – los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), 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, que permitirá representar el comportamiento del pavimento ante la acción del gradiente térmico "temperatura", en un determinado periodo de tiempo (06 años de servicio).

131

Los resultados son expresados en términos de "proporción de daño". Entre los años 2009 y 2014 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 150+850-151+850; 173+520-174+520; 191+000-192+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 2009 – 2014, siendo la primera en año puesta en servicio y es según el año del presente estudio obteniendo datos de deterioro en el año 2014 de proporción de daño por la ubicación en la vía 44.1; 45.3; y 52.2 (Anexo N y O) y por el estado de la fisura 28.9; 48.65; y 51.35 (Anexo N y O) con niveles de temperatura que bajan hasta -3.9; -3.9 y -2.8°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 servicialidad 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).

INTRODUCCIÓN

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 18 299 km de la 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 si 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 condiciones adversas como las que 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 le objeto de incrementar el entendimiento de la influencia de la temperatura en el tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), sobre las propiedades de las mezclas para carpeta 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, las cuales son buenos logros, que no necesariamente son aplicables directamente a nuestras condiciones.

En este sentido se ha tomado como ámbito de estudio a las carreteras de la región, en el tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), entre las progresivas km 148+500 al km 194+000; separados en tres sub tramos: km 148+500 al km 170+000; km

170+000 al km 176+000; km 176+000 al km 194+000. En estos tramos el Gobierno ha efectuado permanentemente inversiones; al mismo tiempo cuenta con un nivel de estudio y registro sobre el comportamiento de la superficie de la rodadura.

A investigaciones a 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 Lircay.

Los Tesistas.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El problema de durabilidad de asfaltos y mezclas asfálticas dado 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 importancia 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

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

132

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 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-2013) del MTC; en la tabla N° 415-2, "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, ASTM-D1754 MTC-E-304 y MTC-E-306); 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-2013, en la tabla N°423-06 "Requisitos para Mezclas de Concreto Bituminoso", y tabla N°423-08 "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, ocasionando 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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), 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

a) PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influye la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)?

b) PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Cuál es el procedimiento teórico - experimental para medir la influencia del gradiente térmico en el nivel de esfuerzos y deformaciones de la

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

carpeta asfáltica y su influencia en el periodo de vida de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)?

1.3. OBJETIVOS

a) OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica (m2), en la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A).

b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Proponer un procedimiento teórico - experimental para cuantificar la influencia del gradiente térmico en el nivel de esfuerzos y deformaciones de la carpeta asfáltica a su vez establecer su influencia en el periodo de vida del tramo Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A).

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 (3500 a 4200 msnm) 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 han 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 (Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013/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 Tesis con Mención en Ingeniería de Transportes – UNI. Ing. Jose Hermogenes Melendez Palma LIMA - 2000

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

2.1.1. INTERNACIONAL

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 adhiere fácilmente a las partículas del agregado y, 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

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

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 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. Melendez Palma, Capítulo II: Enfoque del Problema pag. 25).⁶

De esta manera la presente sección hace un enfoque situacional de la más importancia de la vía construida con pavimento asfáltico en la Carretera Nacional Tramo Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), así como se efectúa una revisión de las consideraciones de medio ambiente (temperatura) implementadas por los métodos de diseño más utilizados en nuestro medio.

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

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

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 la temperatura; esta relación entre el esfuerzo, deformación y tiempo es llamada también conducta reológica del asfalto o de mezclas asfálticas.

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.

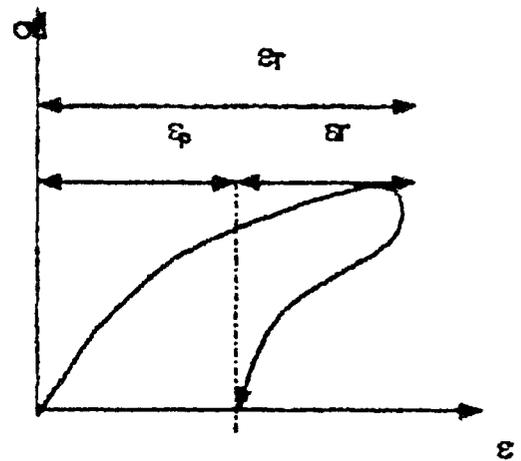


Figura N° 01: Explicación del concepto de rigidez. (Anexo A.)

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 unidimensional.

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

Dónde:

T: temperatura

t: tiempo

Z: Profundidad debajo de la superficie

∞ 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.

Si la temperatura del aire es constante durante un tiempo (tt) 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)carp= f(T aire , z)°C, cuando t = tt. 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).

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

La ecuación (3), ha sido contrastada con lecturas efectuadas por los tesisistas realizadas para la evaluación de la Carretera Nacional Tramo Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), 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. Ellos hace contraste con el método de diseño AASHTO el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) indicara 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 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 de deformación por compresión vertical encima de la subrasante y el otro limitar el ahuellamiento en una cantidad tolerable, como 0.5 pulg. (13 mm)

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 experimentara 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, la deformación debe aumentarse con el número de repeticiones.

La prueba de carga a deformación constante es aplicable a pavimentos donde al 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.

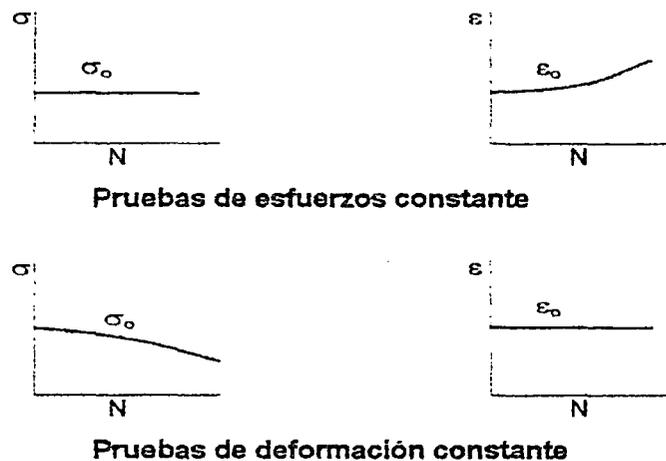


Figura N° 02: Dos tipos de carga controlada para pruebas de fatiga (Huang, 1993). (Anexo A)

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.

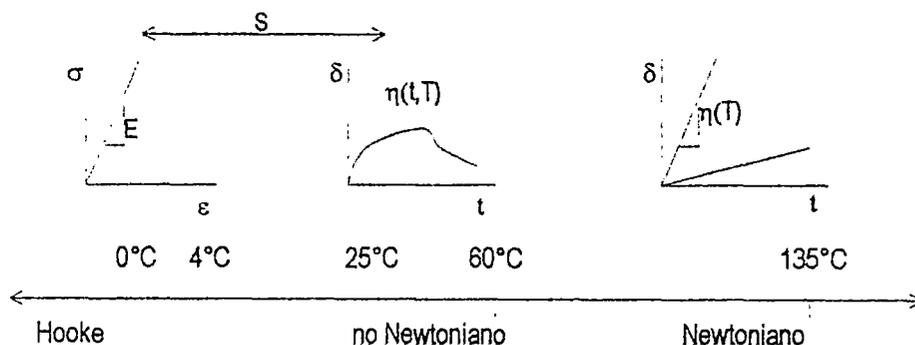


Figura N° 03: Propiedades del asfalto (G. Thenoux, 1999). (Anexo B).

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

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.

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

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 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.

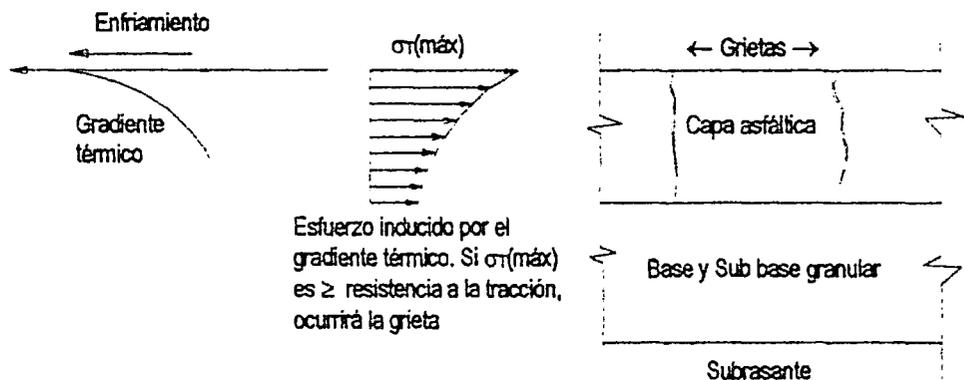


Figura N° 04: Muestra de un pavimento en proceso de enfriamiento, esfuerzo térmico como respuesta del agrietamiento térmico (Haas, et al., 1987). (Anexo B).

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.

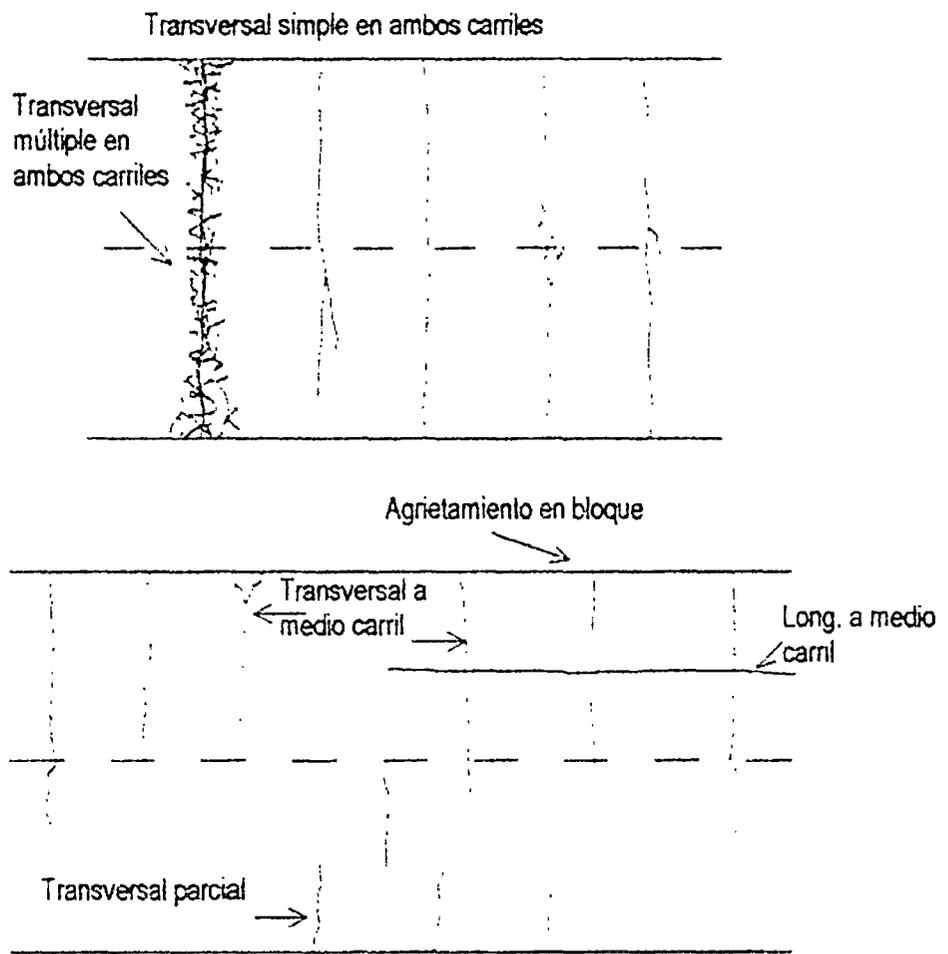


Figura N° 05: Tipos de agrietamiento por efecto térmico (Fromm y Phang, 1972), (Anexo C.)

2.3 HIPÓTESIS

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El comportamiento de la carpeta asfáltica en el tramo Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A) puede ser prevista a partir de modelos mecánicos 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.

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- a) Para determinar los esfuerzos y deformaciones del concreto asfáltico se da a partir métodos teórico experimentales.
- b) Es posible evaluar el gradiente térmico a partir de la información climatológica de la zona de estudio monitoreada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- c) Las propiedades del asfalto se determina mediante el reporte del laboratorio del diseño de pavimentos flexibles, ejecutada a partir de información tomada de las referencias y resultados de análisis de laboratorio, información asumida a partir de datos rutinarios, de la zona de estudio.

2.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Temperatura (X)

2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

- Deterioro de la carpeta asfáltica (m²) (Y)

2.5 DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICIÓN	VALORIZACION DE RANGO
<u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u> TEMPERATURA (X)	La temperatura es una variable el cual se determina a partir de las estaciones climatológicas, distribuidas por el SENAMHI alrededor de la carretera estudiada.	es aquella que se determina en un rango de temperatura máxima y mínima, para luego someterlas a los análisis estadísticos respectivos.	proporciona datos de temperatura en base a registros obtenidos a través del tiempo por	temperatura máxima y mínima (°C)	(°C)	-7 °C y 21 °C
<u>VARIABLE DEPENDIENTE</u> DETERIORO DE LA CARPETA ASFALTICA (Y)	es el daño provocado por acción de los agentes externos, climatológicos, e intemperismo, durante la vida útil de la superficie de rodadura.	esta referida al agrietamiento ocasionado a través del tiempo proporcionalmente en (m2)	Cálculo del deterioro de la carpeta asfáltica.	Medición de grietas (m2). Rigidez de la mezcla (kg/cm2). Proporción de daño en el tiempo fisuras (mm)	(m2) (kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia de los tesistas (Cuadro N° 01) Definición operativa de variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES
EN EL ANALISIS DE DATOS - Gradiente Térmico. - Resultados de laboratorio. - 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. - Distribución de frecuencias - Desviación estándar - Promedio de valores de mayor frecuencia
EN LA RELACION ESFUERZO / TEMPERATURA - Rigidez de asfalto - Rigidez de la mezcla - Esfuerzo máximo de tracción.	- Tiempo de carga - Punto de ablandamiento - Índice de penetración - % de vacíos - % en volumen de agregados en la mezcla - % de volumen de asfalto en la mezcla - Rigidez de la mezcla - Coeficiente de contracción térmica
EN LA RELACION RESISTENCIA TEMPERATURA - Resistencia a la tracción	- Rigidez de la mezcla
EN LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN - Pronóstico de la falla	- Proporción de daño en el tiempo

Fuente: Elaboración propia de los tesisistas (Cuadro N° 02) variables e indicadores

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

✓ ESPACIAL

- **UBICACIÓN POLÍTICA**

Departamento: Huancavelica

Provincia : Huaytará

Distrito : Pilpichaca

Tramo : Rumichaca – Los Libertadores (Carretera Nacional PE-28A)

- **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El tramo Rumichaca – Los Libertadores como parte de la Carretera Nacional PE-28A Ayacucho – Huaytará (Hvca) – Pisco (Ica), del cual se determinara tres tramos cercanos a las estaciones pluviométricas más cercanas, tiene su ubicación en los andes del Perú exactamente en las provincias de Huancavelica el cual cruza en su trayectoria diversas comunidades y centros poblados, presenta una altitud que varía desde los 3,500 a 4,200 msnm aproximadamente con una temperatura promedio anual que varía entre los -5°C y 21°C.

✓ **TEMPORAL**

Los estudios y recolección de datos se efectuaron de acuerdo a los antecedentes históricos de temperaturas, de la zona en estudios en todas las estaciones del año que serán a partir del año 2009 hasta su funcionamiento en el 2014. En las cuatro estaciones del año primavera, verano, otoño, e invierno.

✓ **TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS**

El total de la ejecución del proyecto de tesis de los trabajos en campo y gabinete será aproximadamente de 150 días.

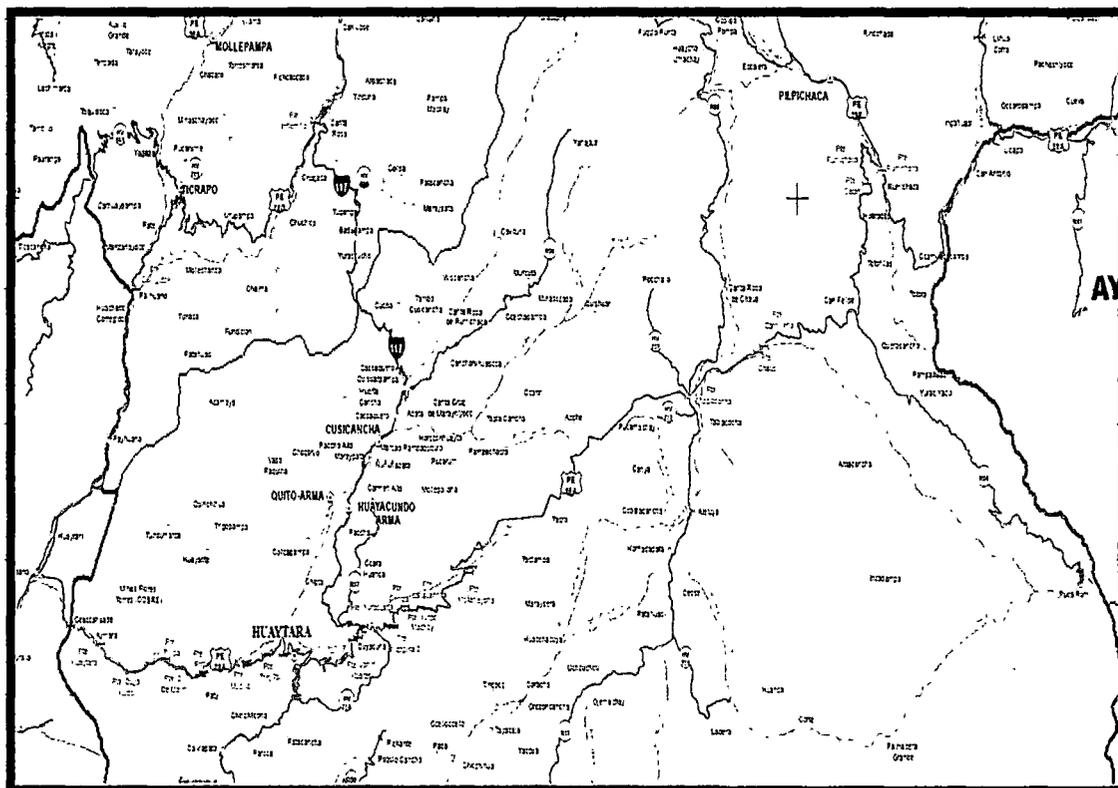


Imagen N° 01: Muestra la zona de estudio del proyecto (Fuente: MTC - 2013)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- "Sustantiva – Explicativa".

224

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, en cierta forma lo “encamina hacia la investigación básica o pura” (Sánchez y Reyes, 2002. Pág. 18-19)

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 efectuarán estimaciones indirectas de comportamiento pseudo – elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas de temperatura representada por el gradiente térmico, para luego efectuar simulaciones de acuerdo con las variables identificadas.

a. Estrategia:

Se establecerá 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 extracción de muestras
- 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
Archivos del MTC y CIP

Datos de Clima

Procesamiento de datos y análisis estadístico

Reconocimiento de campo y extracción de muestras

Reconocimiento de los tramos de estudio
Extracción y transporte
Medición de fisuras de origen térmico en campo y análisis

Caracterización de las mezclas y determinación de propiedades del

asfalto

Lavado asfáltico ASTM D2172
Análisis granulométrico por tamizado
Ensayos en el asfalto recuperado
Ensayos en el agregado recuperado

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
Ecuaciones de envejecimiento del asfalto
Simulaciones mediante el uso del modelo de Shahin y McCullough
Calibración de modelo, con información recogida de campo

Procesamiento e interpretación de resultados

Trabajos de gabinete

El total de los trabajos será aproximadamente de 150 días

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que utilizaremos es Transversal y Correlacional para el presente estudio.



Dónde:

M = Muestra

A = Análisis

R = Resultados

- **La investigación transversal:** cuando el estudio se circunscribe a un momento puntual, un segmento de tiempo durante el año a fin de medir o caracterizar la situación en ese tiempo específico.

- **La investigación correlacional:** cuando se pretende hacer ver o determinar el grado de relación que pueden tener dos o más variables en una investigación.

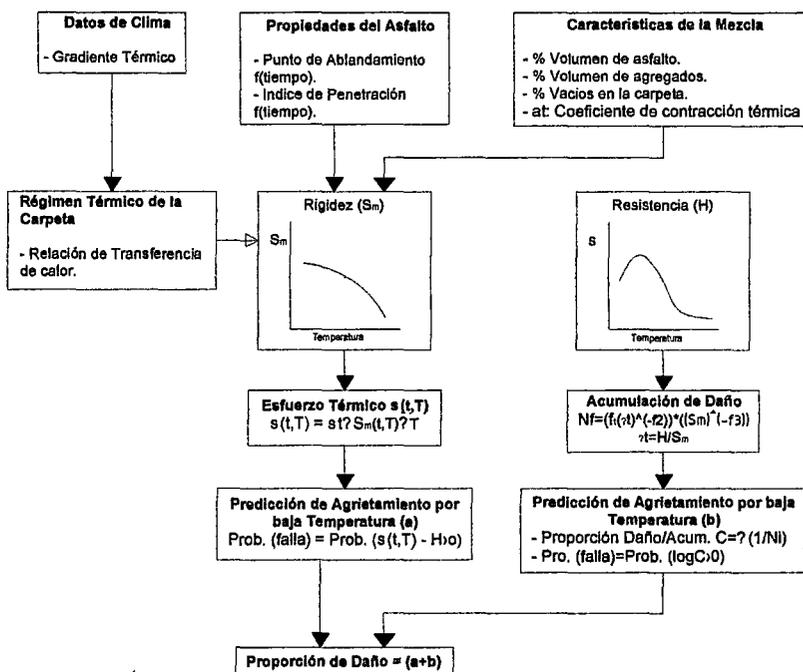


Figura N° 06 Diseño de Investigación. (Fuente elaboración propia de los tesisistas)

3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

En el presente estudio de investigación de la carretera Nacional tramo Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A); se tomara tres tramos sectorizados (sub tramos) de la siguiente forma para la recolección de los respectivos datos:

- ✓ **POBLACIÓN:** Dentro de la población de estudio se integra 01 tramo de experimentación Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará).
- ✓ **MUESTRA:** Se indica tres sub tramos de cada 1 km de longitud cada uno, cercanos a estaciones de registro meteorológico del SENAMHI los cuales correspondan a zonas lluviosas y frías.

- ✚ Rumichaca – San Felipe. (km. 194+000 al km 176+000);
“prueba de recolección de datos en el km. 191+000 al km 192+000”.

- ✚ San Felipe – Chaupi. (km 176+000 al km 170+000)
“prueba de recolección de datos en el km. 173+500 al km 174+500”.

- ✚ Chaupi – Los Libertadores (Huaytará).) (km 170+000 al km 148+500) “prueba de recolección de datos en el km. 150+850 al km 151+850”.

- ✓ **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 Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará), 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:

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 la UNI, PUCP, Internet y archivos del Programa Especial de Rehabilitación de Transportes PERT y Dirección General de Caminos DGC, del MTC.

Cuado N° 03 : Información revisada sobre el ámbito de estudio.

Proyecto/Carretera	Estudio		Construcción		Evaluación/Supervisión	
	Entidad	Año	Entidad	Año	Entidad	Año
Rumichaca – San Felipe		1994	Tramo km. 194+000 al km. 176+000	1995-1998	MTC.	1995-1998
San Felipe – Chaupi		1994	Tramo km. 176+000 al km. 170+000	1995-1998	MTC.	1995-1998
Chaupi – Los Libertadores (Huaytará)		1994	Tramo km. 170+000 al km. 148.5+000	1995-1998	MTC.	1995-1998

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 Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará), 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 usados, luego de un tiempo de 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 efectuarán 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

Son las siguientes fuentes para la obtención y recolección de datos:

Reporte de las estaciones meteorológicas monitoreadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú Dirección Provincial de Huaytará. (SENAMHI).

Reporte del laboratorio del diseño de pavimentos flexibles, ejecutada a partir de información tomada de las referencias y resultados de análisis de laboratorio, (*) información asumida a partir de datos rutinarios, carretera vía los libertadores Tramos: Pámpano - Huaytará; Huaytará - Rumichaca; Rumichaca - Licapa; y Licapa - Ayacucho.

Para el cálculo de las muchas variables presentes en el diseño se realizará con una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2013 realizando una tabla de cálculo con las ecuaciones pertinentes y se aplicará la estadística descriptiva según sea el caso a analizar los sub tramos en estudio.

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 trate 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, éste 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 represente una forma de comprobación de las mediciones directas.

Cuadro N° 04 Variables e indicadores considerados en la investigación.

VARIABLES	INDICADORES
EN EL ANALISIS DE DATOS - Gradiente Térmico. - Resultados bibliográficos. - 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 SIMULACIÓN - Pronóstico de la falla	- Proporción de daño en el tiempo

Fuente: elaboración propia (Anexo K)

DATOS DE CLIMA

La zona de estudio esta sujeta durante años a dos estaciones marcadamente definidas, la estación de verano y la estación de invierno. La segunda estación se presentada 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 la zona de estudio, según el Método Thomttwaite, 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 húmedo. La información con la que se cuenta corresponde a temperaturas máximas y mínimas darias absolutas por años, de las siguientes estaciones climatológicas.

Cuadro N° 05: Relación de estación climatológica próxima al tramo estudio.

CARRETERA TRAMO RUMICHACA - LOS LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (PE-28A)	PROGRESIVA (Km)	ALTITUD (msnm)	ESTACION CLIMATOLOGICA	ALTITUD (msnm)
RUMICHACA – SAN FELIPE	191+000 AL 192+000	3960 - 4483	Cusicancha (Huaytará)	3550
SAN FELIPE - CHAUPI	173+500 AL 174+500	4483 - 4353	Cusicancha (Huaytará)	3550
CHAUPI – LOS LIBERTADORES	150+850 AL 151+850	4353 - 4407	Tambo (Huaytará)	3212

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

Los datos de temperaturas corresponden a registros entre los años 2009 y 2014 las temperaturas representativas se han obtenido por análisis estadístico y de acuerdo con los indicadores citados en el cuadro N° 02.

Considerado que el tamaño de muestra es N= 06 (años), se asumió que la distribución de las frecuencias sea de tipo Fisher y aplicando el método estadístico DCA, proponiendo intervalos de confianza del 95% a fin de estimar la media representativa de la población diaria, durante todo el año.

Las fluctuaciones de las temperaturas para el año representativo se muestran en el cuadro N° 04. Los resultados del análisis para temperaturas diarias se pueden apreciar en el Anexo M.

Cuadro N° 06: 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
Cusicancha (Huaytará)	19,12	0,89	19,15	0,56	19,90	-3,90
Cusicancha (Huaytará)	19,12	0,89	19,15	0,56	19,90	-3,90
Tambo (Huaytará)	19,82	1,82	20,55	1,55	22,40	-2,80

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 completar 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 mezcla, luego del mezclado, luego de la colocación en pistas 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 muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 07: Propiedades de los asfaltos usados en el tramo en estudio.

Tramo I: Rumichaca – San Felipe (Huaytará) (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120 - 150			
Reportes/Ensayos	1996/Original	2009/Residual	2014/Recuperado
Peso específico g/cc	1039	-	1040
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	100	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
Tramo I: San Felipe – Chaupi (Huaytará) (km 176+000 al km 170+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	1996/Original	2009/Residual	2014/Recuperado
Peso específico g/cc	1040	-	1050
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	124	56.2	41.5
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: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)/Asfalto usado: PEN 85 -100			
Reportes/Ensayos	1996/Original	2009/Residual	2014/Recuperado
Peso específico g/cc	-	-	1050
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	95	68.5	36
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	-	-	894.5
Punto de ablandamiento °C	46.09	50.51	61.5
Índice de penetración	-0.73	-0.051	0.48

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 utilización.

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

3.9.2 Estadística Inferencial: Se realizó la contrastación de hipótesis con la prueba T-student, el Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) trabajando con la F de Fisher la cual fue la más acertada con una significancia del 5%.

3.9.3 Paquete y software estadístico: Se empleo Microsoft Office Excel 2013 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.

$$A = \frac{\log(\text{pen a } T1) - \log(\text{pen a } T2)}{T1 - T2} \dots\dots\dots (6)$$

T1 y T2 son temperaturas de ensayos de penetración. Sin embargo una temperatura conveniente de uso general, es la temperatura de punto de ablandamiento (TR&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 remplazamos en la ecuación (6) por (TR&B) y penetración a T2 por 800.

$$A = \frac{\log(\text{pen a } T) - \log(800)}{T1 - TR\&B} \dots\dots\dots (7)$$

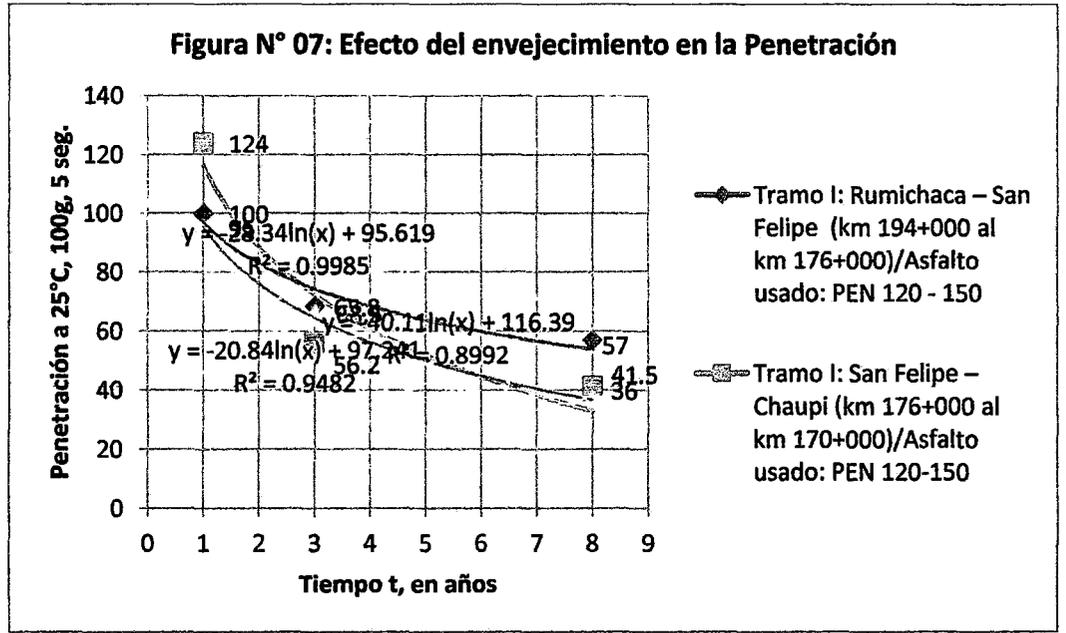
En el caso de las propiedades de asfalto residuales, se ha considerado, las certificaciones de los ensayos en los asfaltos originales a partir de la prueba de

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 (TR&B), para esta consideración puede ser estimada a partir de la expresión de Duriez y Arrambide.

Log (TR&B) = (7.96 - log (PEN_{25°C}))/3.616..... (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.

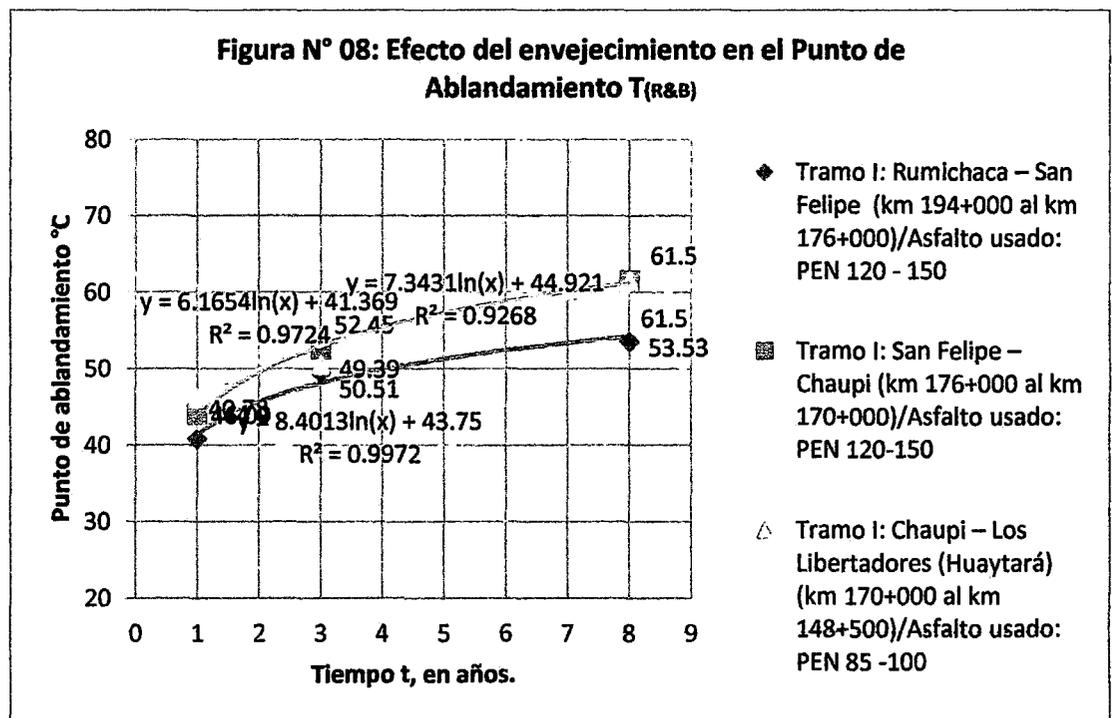
Uno de los aspectos importantes en esta sección, se refiere al acercamiento del afecto de envejecimiento en las propiedades del asfalto, desde su puesta en servicio a la fecha de evaluación, dado que la edad de un pavimento tiene influencia sobre el inicio del agrietamiento y será capaz de resistir ciertas 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. Una forma de representar este efecto, se muestran en las figuras siguientes, las cuales han sido obtenidas a partir de los resultados de Cuadro N° 07.



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

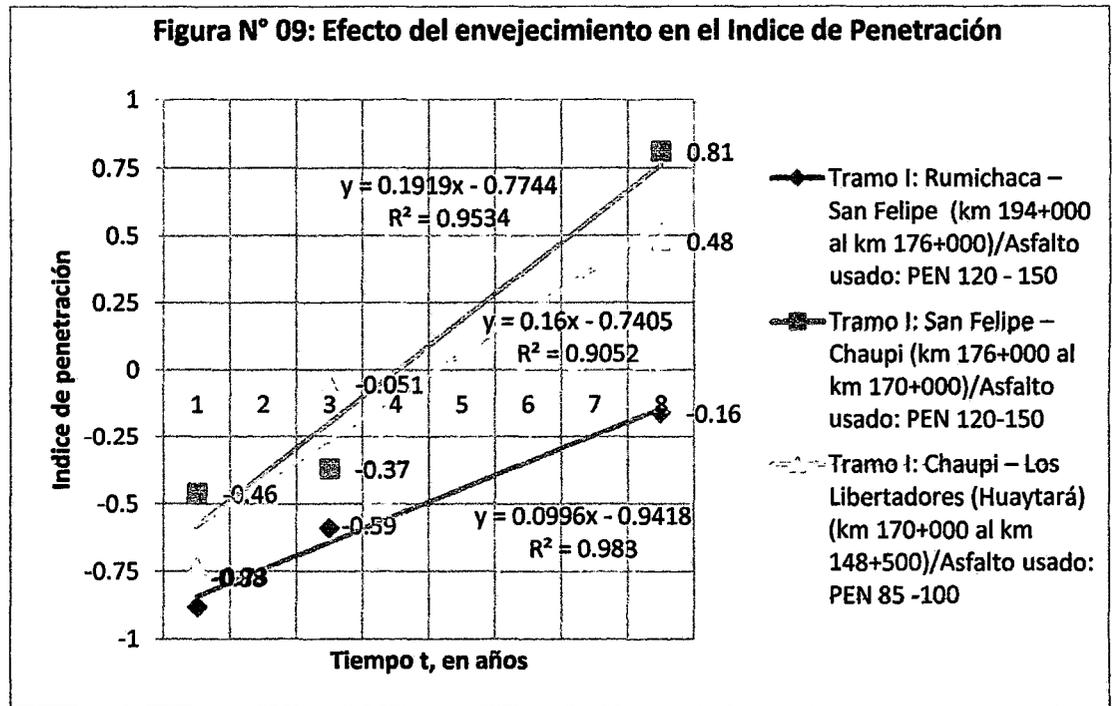
En las figuras 07,08 y 09, el efecto del tiempo analizados, muestran que la razón de envejecimiento, para los asfaltos (PEN 120 - 150) usados en condiciones climáticas más críticas, en las tres figuras, se aprecia que el tramo Rumichaca – San Felipe (Km 194+000 al km 176+000), existe un mayor tendencia 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 07, 08 y 09) 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).

Figura N° 09: Efecto del envejecimiento en el Índice de Penetración



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

DESARROLLO DEL MODELO.

El desarrollo del 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 06 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 p.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 del viento, exposición solar y propiedades térmicas en el concreto asfáltico.

La profundidad (z) considerada como representativa para evaluar las condiciones térmicas de una carpeta 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 aun si se considera que en la zona de estudio la radiación solar se incrementa. Así mismo se considera que hasta los próximos 6 mm la viscosidad del asfalto en la carpeta alcanza un valor de 50% mas 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, (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 considera como una proporción de volumen del asfalto, agregados y vacíos en la mezcla, adicionalmente se ha adoptado como coeficientes 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 agrietamiento térmico. El instituto del asfalto propone el valor de $\alpha = 1.58 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, y la SHRP propone valores entre $\alpha = 2.0 - 2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.
- 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 agregados 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 descanso 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.

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

CALIBRACIÓN DEL MODELO

La ampliación 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 en el nivel de daño cuantificado la abertura de la grieta. Estos aspectos se detallan en los cuadros siguientes:

Cuadro N° 08 proporción de daño por la ubicación de la vía.

Carretera Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)	% fisura long. a media calzada	% fisura transversal parcial	% fisura transversal a media calzada	% fisura transversal ambos carriles
Rumichaca – San Felipe (Km. 194+000 al Km. 176+000) "Km. 191+000 al Km. 192+000"	33.4	22.5	44.1	0
San Felipe – Chaupi (Km. 176+000 al Km. 170+000) "Km. 173+500 al Km. 174+500"	40.1	45.3	14.6	0
Chaupi – Los Libertadores (Km. 170+000 al Km. 148+500) "Km. 150+850 al Km. 151+850"	10.6	52.2	37.2	0

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

Cuadro N° 09 proporción de daño por el estado de la fisura.

Carretera Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)	% 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
Rumichaca – San Felipe (Km. 194+000 al Km. 176+000) "Km. 191+000 al Km. 192+000"	12.2	28.9	22.5	11.62	24.78	0
San Felipe – Chaupi (Km. 176+000 al Km. 170+000) "Km. 173+500 al Km. 174+500"	48.65	41.2	10.15	0	0	0
Chaupi – Los Libertadores (Km. 170+000 al Km. 148+500) "Km. 150+850 al Km. 151+850"	51.35	12.64	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=06 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 manejaron de acuerdo a indicadores que sustentan en bases, teóricas – explicativas. El cuadro N° 04 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 Tensión 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 modulo 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.

97

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 formaran 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 aun 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 costos 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

4.1.1 Evaluación y obtención de datos de clima de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)” en la zona de estudio.

a) Evaluación de datos de clima

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

Los estudios y recolección de datos se efectuaron de acuerdo a los antecedentes históricos de temperaturas, de la zona en estudios en todas las estaciones del año que serán a partir del año 2009 hasta su funcionamiento en el 2014. En las cuatro estaciones del año primavera, verano, otoño, e invierno. Se adjunta Anexo Z1.

4.1.2 Evaluación de muestras de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)” en la zona de estudio.

La vía en mención se visitó al campo (sub tramos de la vía), para la evaluación y obtención de muestras como fisuramientos, grietas pronunciadas

transversalmente y longitudinalmente de la carpeta asfáltica, en los sub tramos estudiadas, las mediciones se realizo en (mm), (m2) respectivamente.

Panel fotográfico:



Imagen N° 02 Muestra la medición de las fisuras y grietas de la carpeta asfáltica de los tramos en estudio.



Imagen N° 03 Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica. Medición de fisura en metros lineales utilizando la wincha.

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 -2.8, respectivamente, en los tres tramos analizados por lo tanto, un mayor decremento térmico mostraría una respuesta similar.

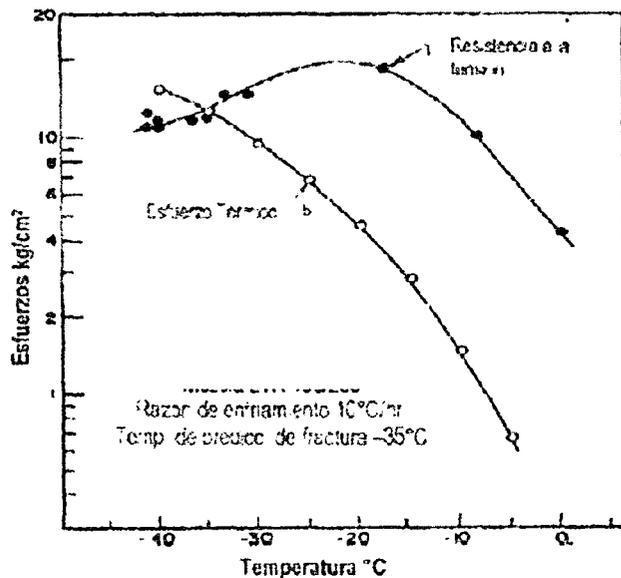


Figura N° 10: Mecanismo de falla por baja Temperatura (McLeod 1970). (Anexo E).

RESULTADOS TRAMO I: RUMICHACA - SAN FELIPE (Km 194+000 Al Km 176+000)

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m2 (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° 10: Esfuerzos en intervalo de 10°C. (Anexo P).

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

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

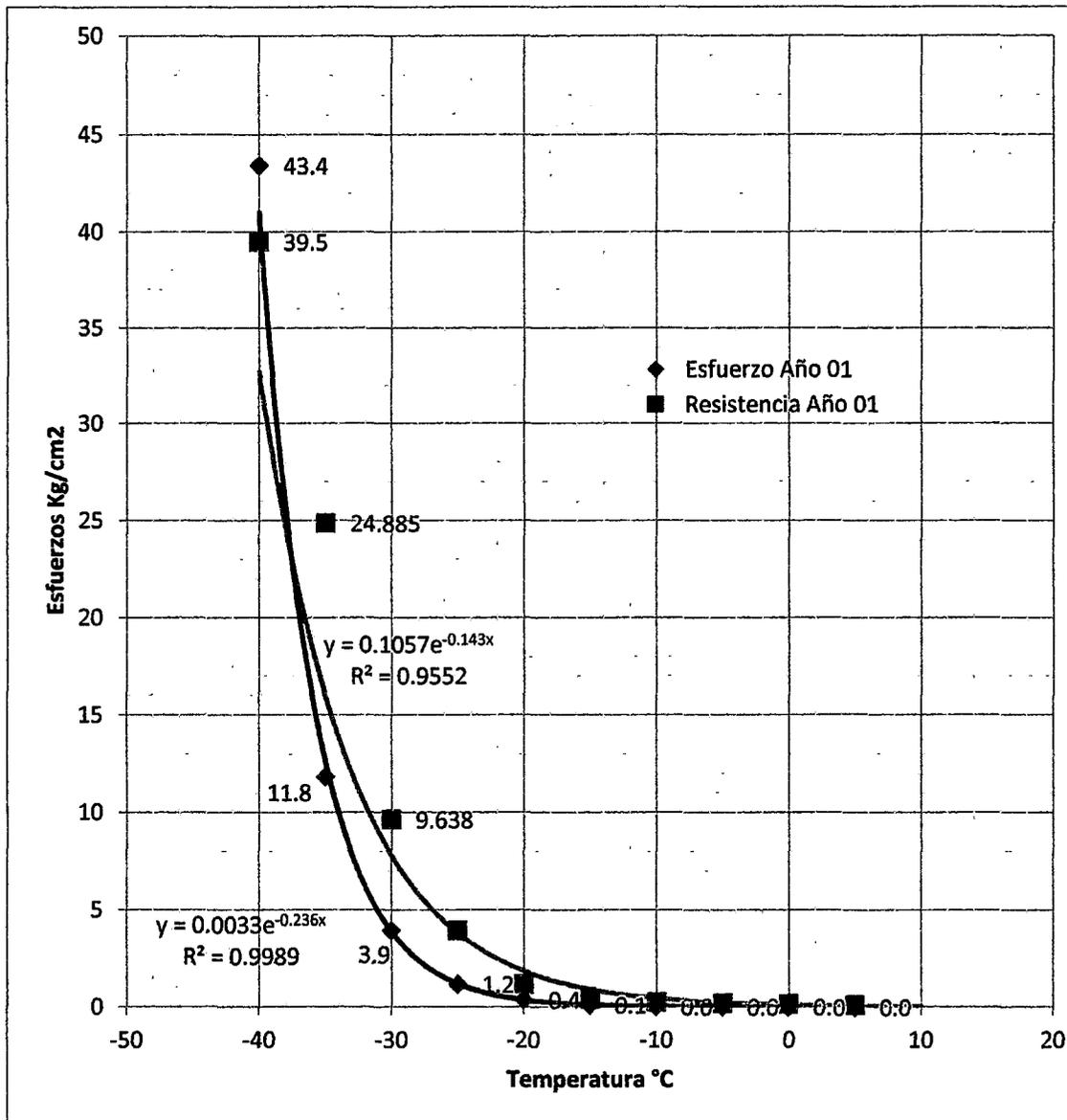


Figura N° 11: Tramo I: Rumichaca – San Felipe (Huaytará) (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo F).

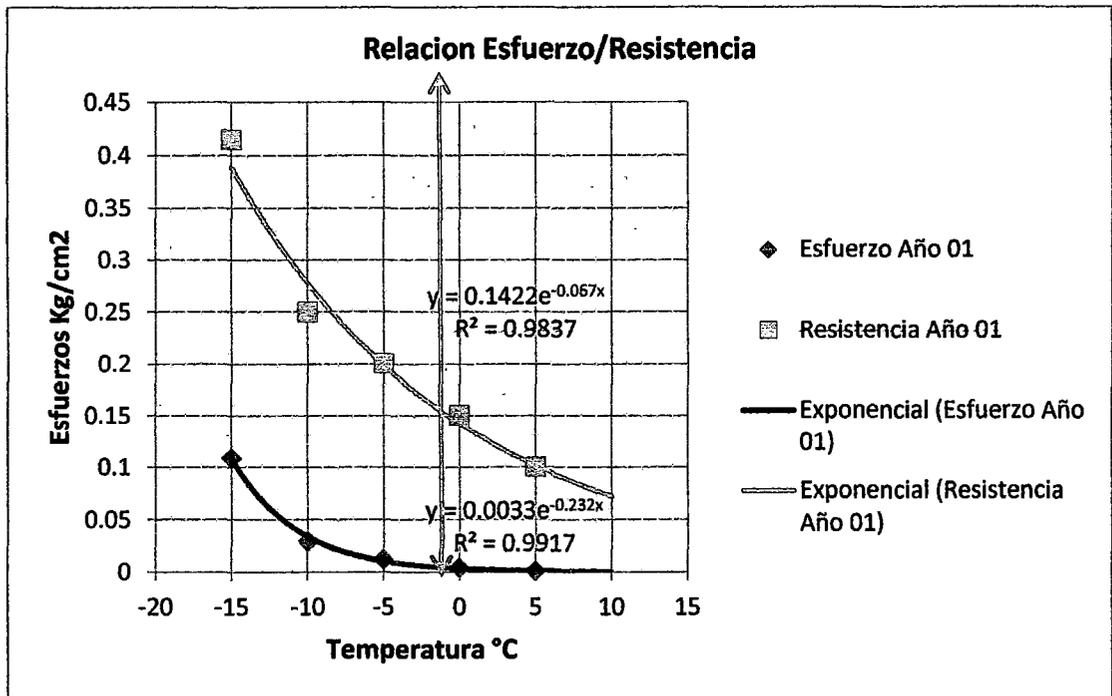


Figura N° 11: Tramo I: Rumichaca – San Felipe (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo F).

RESULTADOS TRAMO I: SAN FELIPE – CHAUPI (KM. 176+000 AL KM. 170+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

Cuadro N° 12: 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° 13: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C. (Anexo S).

RESULTADOS TRAMO I: SAN FELIPE – CHAUPI (KM 176+000 AL KM 170+000)

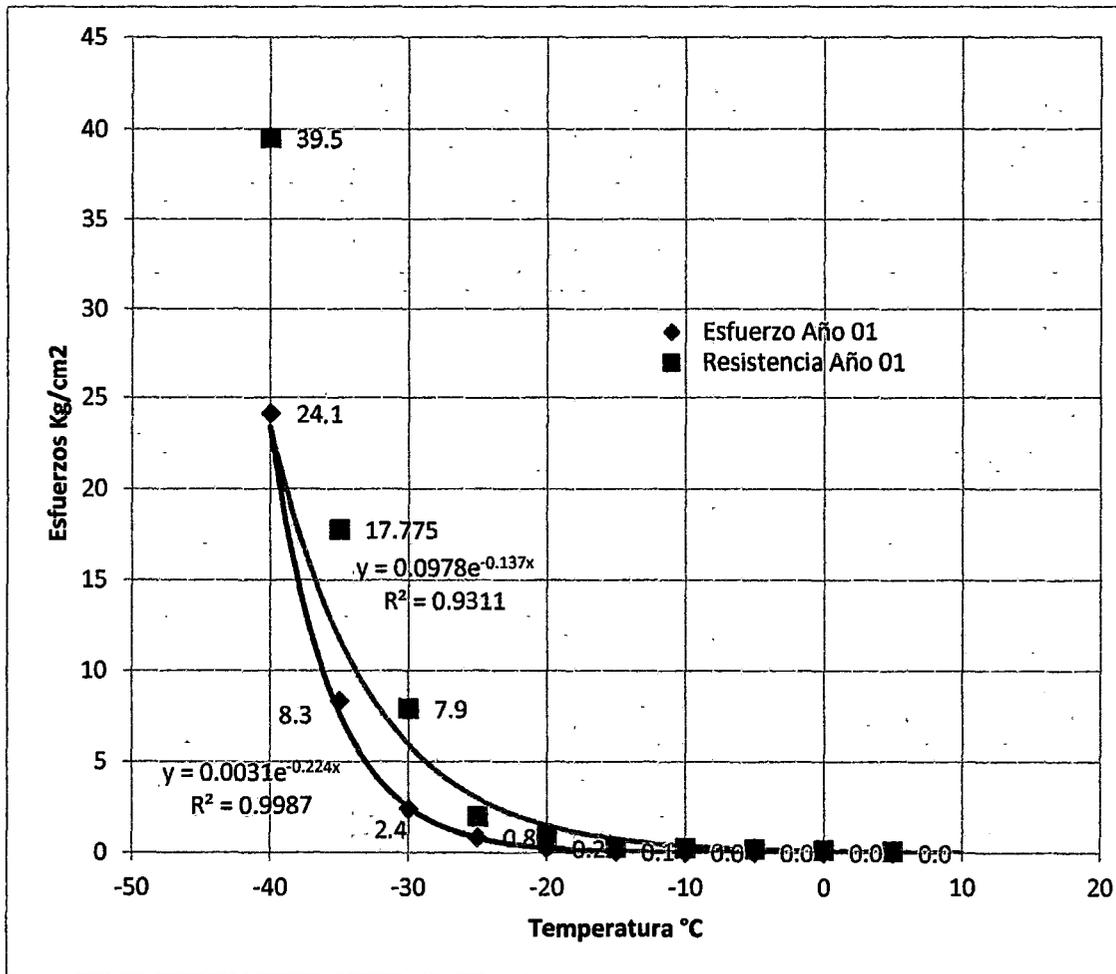


Figura N° 12 Tramo I: San Felipe – Chaupi (Huaytará) (km 176+000 al km 170+000)/ asfalto usado PEN 120-150; relación esfuerzo/ resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9°C, (Anexo G).

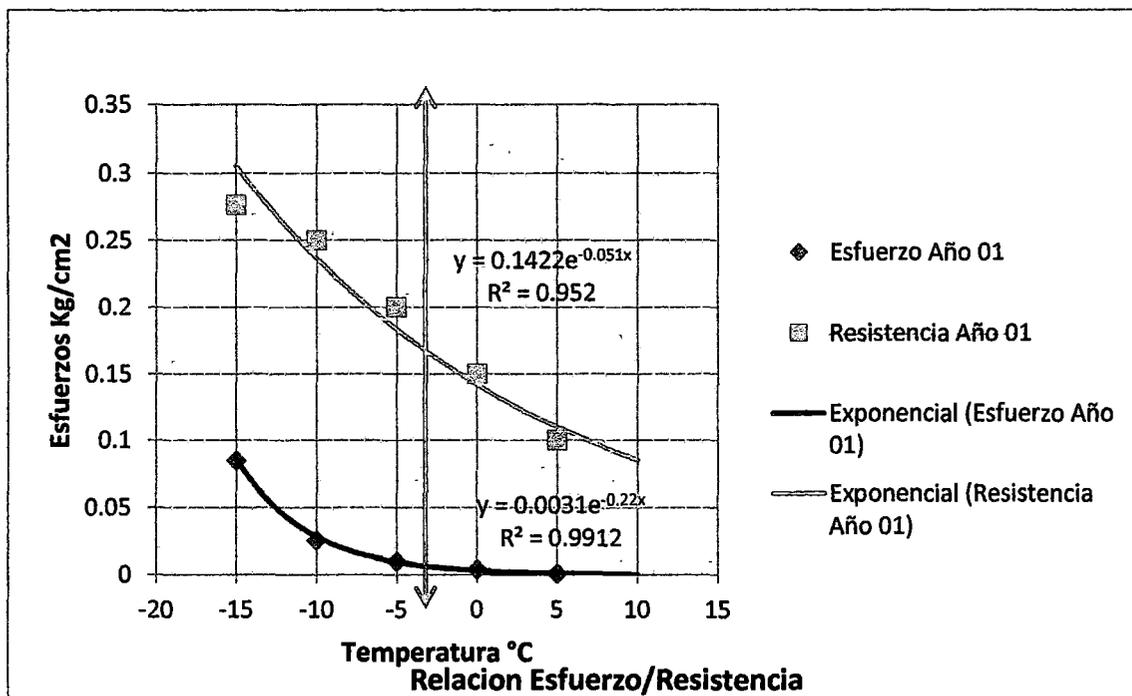


Figura N° 12: Tramo I: San Felipe – Chaupi (km 176+000 al km 170+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo F).

RESULTADOS TRAMO I: CHAUPI – LOS LIBERTADORES (KM. 170+000 AL KM. 148+500).

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m2 (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° 14: 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		
-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° 15: Esfuerzos térmico/Esfuerzo de ruptura, en intervalo de 5°C. (Anexo U).

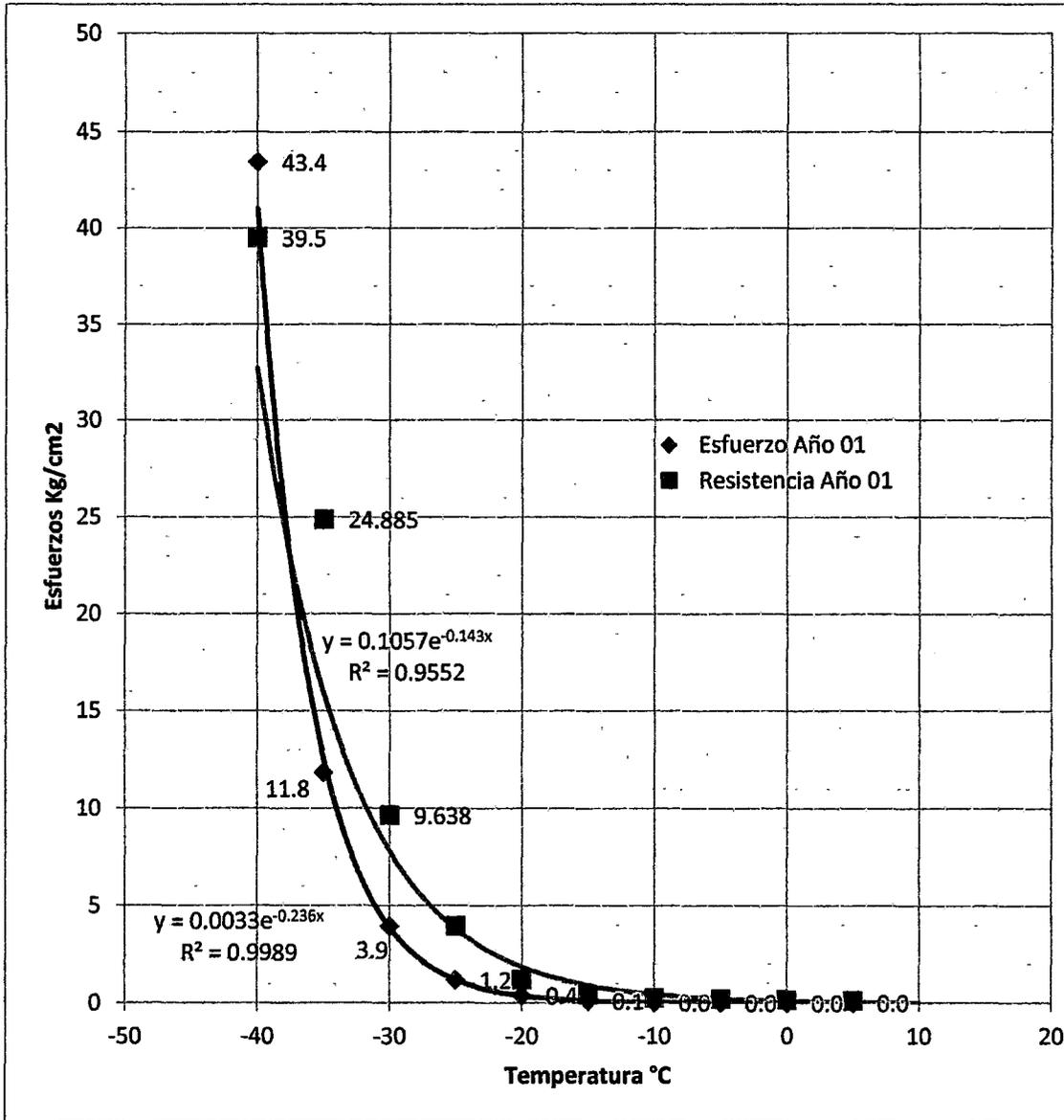


Figura N° 13: Tramo I: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)//Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.8 °C, (Anexo H).

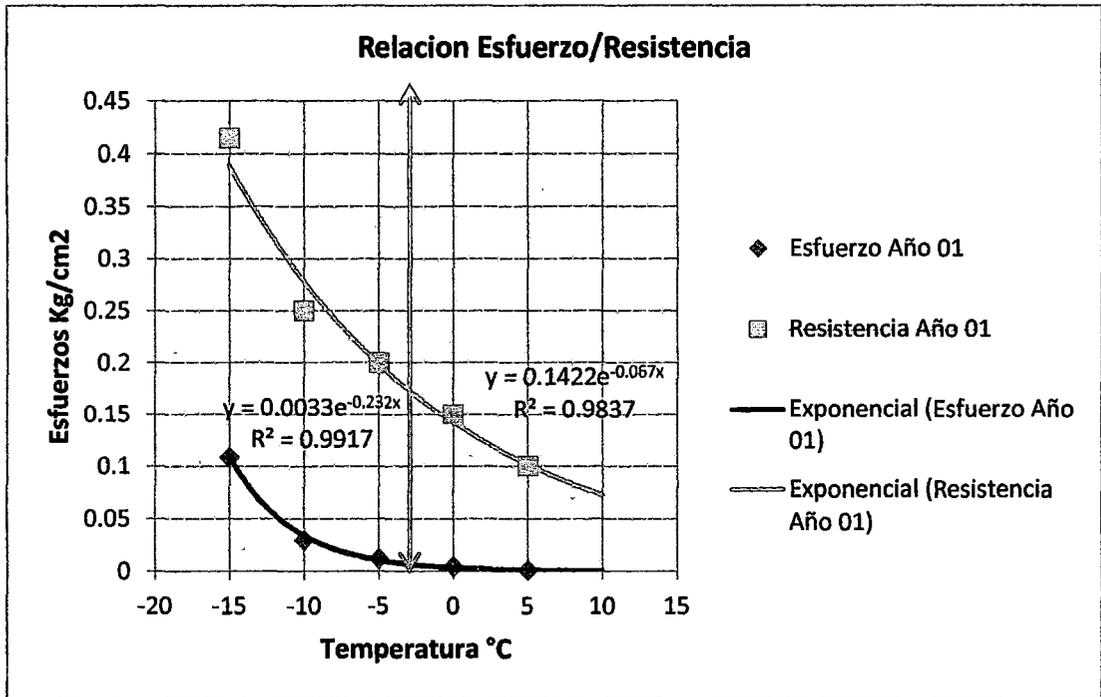


Figura N° 13: Tramo I: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)//Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.8 °C, (Anexo H).

En términos cuantitativos lo que se observa en las figuras N° 11, 12 y 13, 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° 10, 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° 11, 12 y 13) 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).

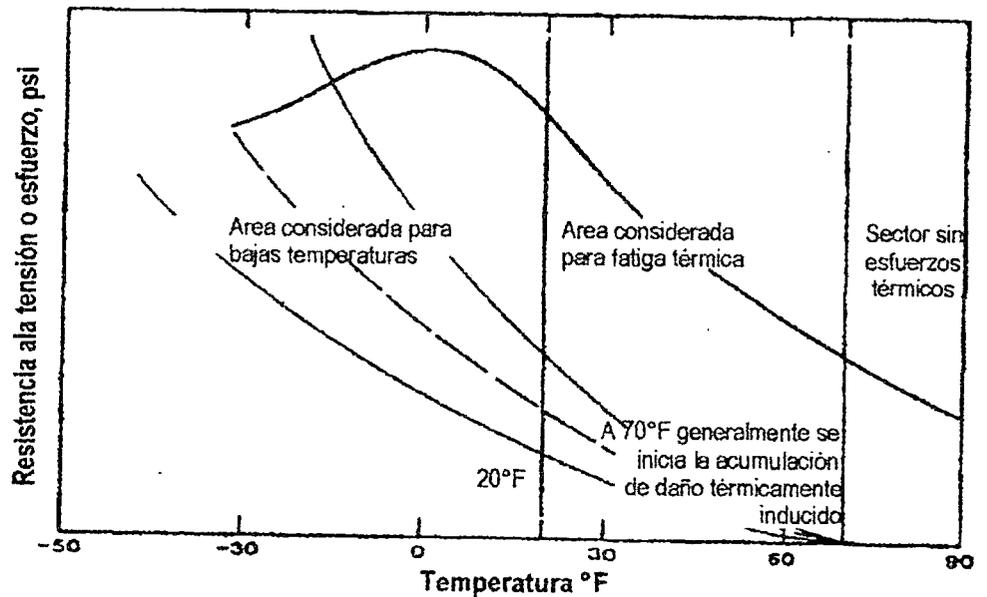


Figura 14: Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico (Carpenter, 1983), (Anexo I).

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 (0.89 °C promedio anual); muestra un grado intermedio de envejecimiento en el asfalto usado; el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; Ver cuadros N° 06 y 07.

Tramo – 02:

Presenta el menor nivel de gradiente térmico (0.89 °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° 06 y 07.

Tramo – 03:

Presenta un gradiente térmico intermedio (1.82 °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 85-

100; y su gradación es aceptable después del tramo – 02. Ver Cuadros N° 06 y 07.

La figura N° 11, 12 y 13, 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) FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICO.

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

Ho: 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

d) TOMA DE DECISIÓN:

DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO (DCA)

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

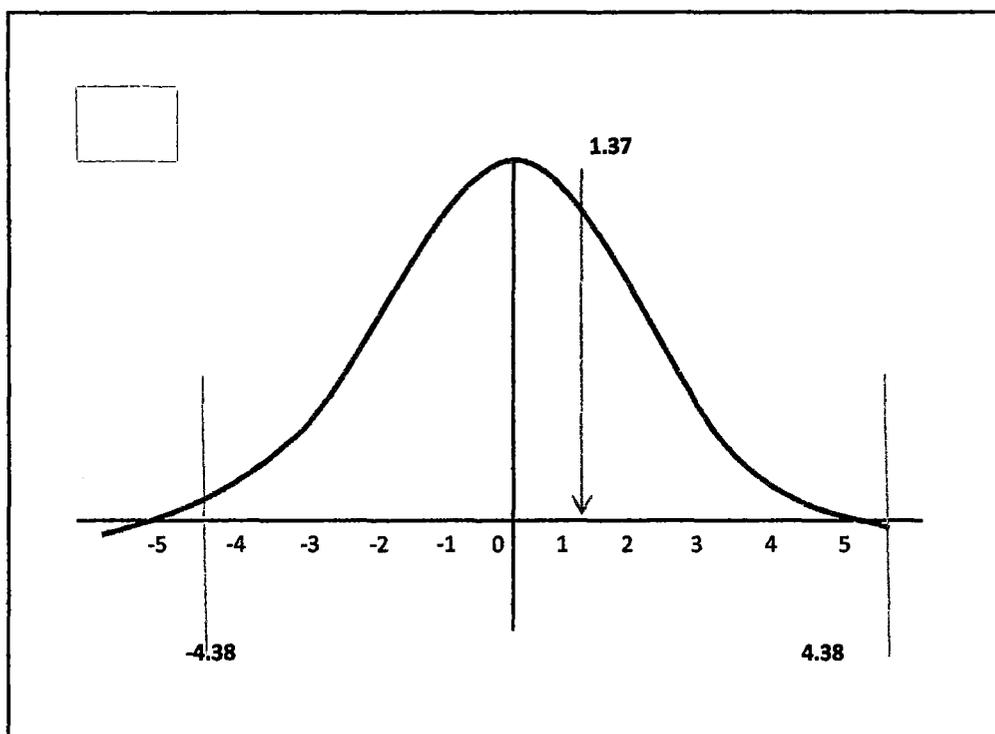
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	2	20.20773895	10.10386947	0.25545662
Fila 2	2	20.68575205	10.34287602	0.016039
Fila 3	2	20.37393561	10.18696781	0.015968
Fila 4	2	20.78790276	10.39395138	0.00929138
Fila 5	2	20.77575269	10.38787634	0.06172201
Fila 6	2	21.41950653	10.70975328	0.14191619

Fuente: elaboración propia (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	1.37295737	0.981931781	4.387374
Dentro de los grupos	0.500393203	6	0.083398867			
Total	1.072908651	11				

Fuente: elaboración propia (Análisis de Varianza, (Anexo W)).



Fuente: elaboración propia (Validación de hipótesis, (Anexo X)).

Validación de hipótesis, (Anexo X).

POR LO TANTO COMO $F_c < F_t$

($\alpha = 0.05$)

SE ACEPTA LA

HIPÓTESIS

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.

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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A).

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; Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará).

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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A). Afirmando la Hipótesis nula la cual ha sido demostrada para cada tramo en estudio mediante el siguiente análisis:

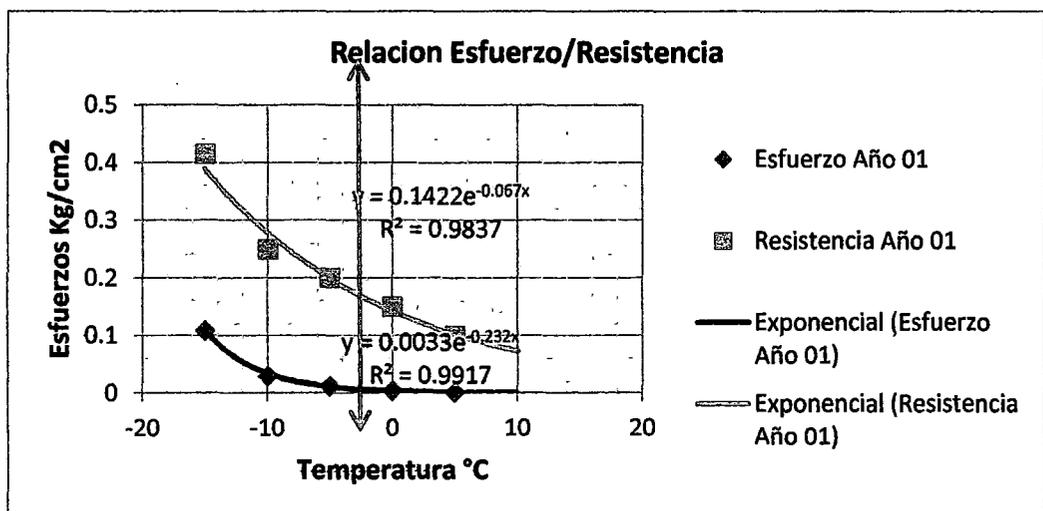


Figura N° 11: Tramo I Rumichaca – San Felipe (Huaytará) (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo F).

- El grafico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -3.9 °C, mínimo registrada por la estación meteorológica CUSICANCHA (Huaytará), con un esfuerzo = 0.008 kg/cm² y resistencia = 0.18 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -38 °C el esfuerzo y resistencia llega a 23.5 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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 194+000 al 176+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.

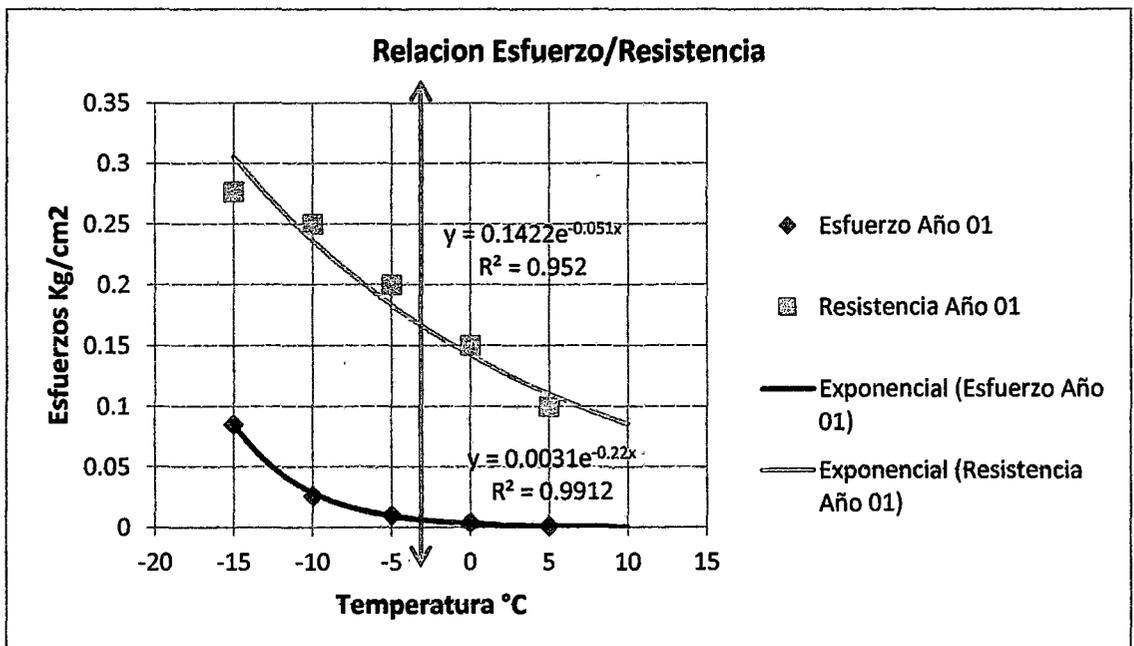


Figura N° 12: Tramo I: San Felipe – Chaupi (Huaytará) (km 176+000 al km 170+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo G).

- El gráfico indica los resultados obtenidos con una temperatura de $-3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ mínimo registrado por la estación meteorológica CUSICANCHA (Huaytará), con un esfuerzo = 0.007 kg/cm^2 y resistencia = 0.17 kg/cm^2 , en la cual se observa que con una temperatura de $-40.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ el esfuerzo y resistencia llega a 24 kg/cm^2 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 $20\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) 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)., pero en el tramo I: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 176+000 al 170+000, la temperatura mínima registrada es de $-3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ lo cual nos indica que en este tramo aun no ocurren fallas por temperatura térmica sino por fatiga térmica.

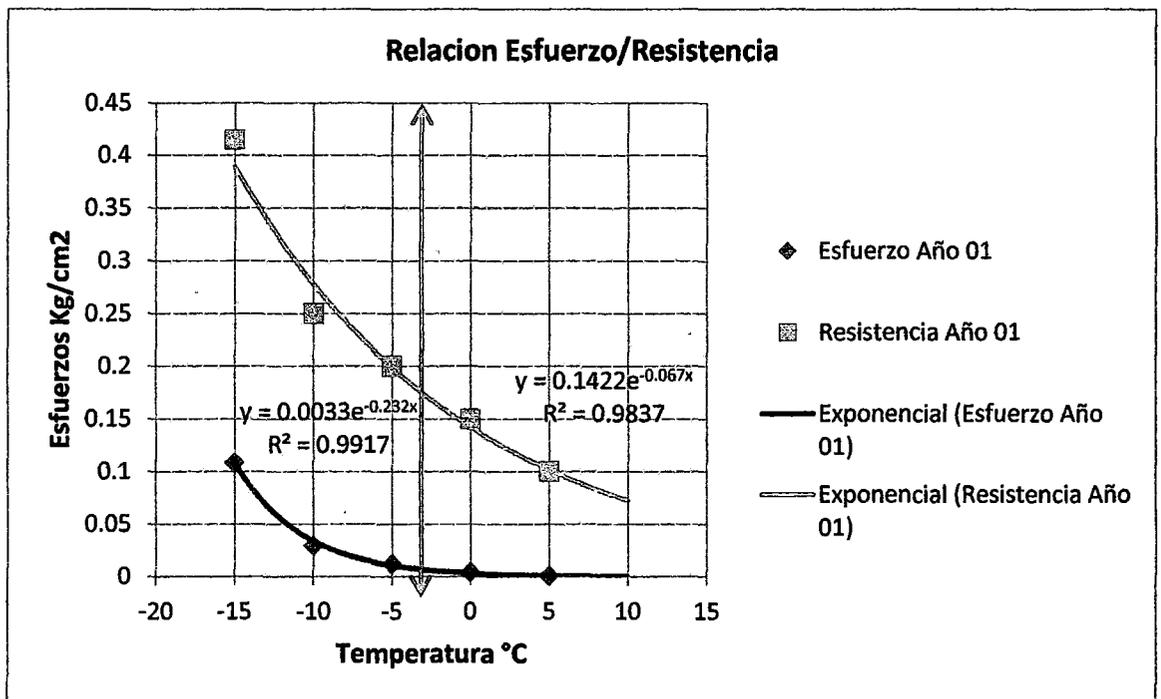


Figura N° 13: Tramo I: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, $-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Anexo H).

- El gráfico indica los resultados obtenidos con una temperatura de $-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, mínimo registrado por la estación meteorológica TAMBO (Huaytará), con

un esfuerzo = 0.01 kg/cm² y resistencia = 0.17 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -37.50 °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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 170+000 al 148+500, la temperatura mínima registrada es de -2.8 °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 °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 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °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.

ANEXO Z

RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tramo: Rurichaca- Los Libertadores (Huayará)	Temperatura °C min.	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Temperatura °C punto de fisuramiento	Esfuerzo (kg/cm ²) punto de fisuramiento	Resistencia (kg/cm ²) punto de fisuramiento	Resultado	Discusión
km 194+000 al km 176+000	-39	0,008	0,18	-38	23,5	23,5	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica
km 176+000 al km 170+000	-39	0,007	0,17	-40	24	24	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica
km 170+000 al km 148+500	-28	0,01	0,17	-37,5	23	23	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica

Cuadro N° 16 Muestra los resultados y discusión en forma resumida FUENTE:

Elaboración Propia (ANEXO Z)

CONCLUSIONES

- a. Se concluye sobre las variables estudiadas, que lo mas importante es el gradiente térmico observado en los tres sub tramos de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE – 28A); 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 modulo 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 gradiente por baja temperatura tiene poca probabilidad de ocurrencia. En ninguno de los tres sub 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 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 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 carpeta asfáltica, hasta que sea capaz de absorber los efectos térmicos y permitir que el pavimento alcance la servicialidad 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 asfalto usados en la fase de construcción y de puesta en servicio luego de un periodo. Este último aspecto ha conllevado suponer cierto tipo 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 el control de la performance en nuestros pavimentos de manera más cercanas 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 Huancavelica, para de esta forma contar con un solo criterio consolidado, que absorbe 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.

- 62
- d. Finalmente, deberá también abordarse el tema de la influencia de la temperatura en el proporcionamiento de las mezclas, considerando la validación 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, tomar en cuenta estas líneas de investigación para las futuras construcciones de pavimento flexible de nuestra región identificada como zona de altura, como es el caso del futuro asfaltado de la vía Lircay – Huancavelica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. TESIS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES – UNI. ING. JOSÉ HERMOGENES MELENDEZ PALMA LIMA – 2000
 2. DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS ICG-SEGUNDA EDICION LIMA 2006
 3. [HTTP: //WWW.E-ASFALTO.COM/PAVIMENTOS/PAVIMENTOS.HTM](http://www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm)
 4. PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. SERIE DE MANUALES NO.22 (MS-22), ASPHALTINSTITUTE
 5. 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 ASFALTICOS 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.

- 60
- 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.

ARTICULO
CIENTIFICO

63

“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA NACIONAL TRAMO: RUMICHACA – LOS LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (PE-28A)”

Bach. /Ing. Goetendia Torres, Francis Santiago y Bach. /Ing. Perez Quispe, Victorino

TESISTAS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – LIRCAY
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL – AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE HUANCVELICA

RESUMEN

La investigación se realizó tomando como referencia el ámbito nacional de la vía Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) entre el año de servicio del 2009 – 2014, comprende una evaluación nacional en la inversión del Estado en la construcción y rehabilitación de caminos, ha permitido interpretar la red nacional en aproximadamente 18 299 km, de las cuales 7,500 km, corresponden a caminos construidos en regiones identificadas como "zonas de altura" y de 45.5 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 Rumichaca – los Libertadores (Huaytará) (PE-28A) "zonas 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: Rumichaca – los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), 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, que permitirá representar el comportamiento del pavimento ante la acción del gradiente térmico "temperatura", en un determinado periodo de tiempo (06 años de servicio).

Los resultados son expresados en términos de "proporción de daño". Entre los años 2009 y 2014 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 150+850-151+850; 173+520-174+520; 191+000-192+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 2009 – 2014, siendo la primera en año puesta en servicio y es según el año del presente estudio obteniendo datos de deterioro en el año 2014 de proporción de daño por la ubicación en la vía 44.1; 45.3; y 52.2 (Anexo N y O) y por el estado de la fisura 28.9; 48.65; y 51.35 (Anexo N y O) con niveles de temperatura que bajan hasta -3.9; -3.9 y -2.8°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 servicialidad 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).

ABSTRAC

The Research was carried out with reference to the national level via Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) between years of service 1998 – 2014, includes a national assessment in the State's investment in the construction and rehabilitation of roads, has allowed the network to implement national about 18 299 km., of which 7,500 km., correspond to roads built in regions identified as "offshore areas" and 45.50 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 Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A) "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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), focused specifically the influence of temperature, are considered one of the most critical variables and influential pavement failure.

The study area 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 (17 years of service).

The results are expressed in terms of "damage ratio". Between 1998 and 2014 commissioning mention VIA, subdividing km 150+850-151+850; 173+520-174+520; 191+000-192+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 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 1998 – 2014, the first in years commissioning and is the second year of this study obtained data deterioration in 2014 proportion of damage via the location 44.1; 45.3; y 52.2 (Annexes N and O) and state of the crack 28.9; 48.65; y 51.35 (Annexes N and O) with temperature levels down to -3.9; -3.9 y -2.8°C (See Annex M 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 server 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).

INTRODUCCIÓN

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 18 299 km de la 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 si a los áridos, mantenerlos unidos y darle al conjunto de material elaborado, esa flexibilidad hace que las estructuras con mezclas asfálticas se denominan

64

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 condiciones adversas como las que 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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), sobre las propiedades de las mezclas para carpeta 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, las cuales son buenos logros, que no necesariamente son aplicables directamente a nuestras condiciones.

MARCO METODOLOGICO

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

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

En este sentido se ha tomado como ámbito de estudio a las carreteras de la región, en el tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A), entre las progresivas km 148+500 al km 194+000; separados en tres sub tramos: km 148+500 al km 170+000; km 170+000 al km 176+000; km 176+000 al km 194+000. En estos tramos el Gobierno ha efectuado permanentemente inversiones; al mismo tiempo cuenta con un nivel de estudio y registro sobre el comportamiento de la superficie de la rodadura.

A investigaciones a 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 Lircay.

- 1.- Investigación bibliográfica e información existente
- 2.- Evaluación de datos de clima
- 3.- Reconocimiento de campo y extracción de muestras
- 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

a. Desarrollo por Etapas

Investigación bibliográfica e información existente

Bibliotecas

Internet

Archivos del MTC y CIP

Datos de Clima

Procesamiento de datos y análisis estadístico

Reconocimiento de campo y extracción de muestras

Reconocimiento de los tramos de estudio

Extracción y transporte

Medición de fisuras de origen térmico en campo y análisis

Caracterización de las mezclas y determinación de propiedades del asfalto

Lavado asfáltico ASTM D2172

Análisis granulométrico por tamizado

Ensayos en el asfalto recuperado

Ensayos en el agregado recuperado

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

Ecuaciones de envejecimiento del asfalto

Simulaciones mediante el uso del modelo de Shahin y McCullough

Calibración de modelo, con información

recogida de campo

Procesamiento e interpretación de resultados

Trabajos de gabinete

RESULTADOS

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Evaluación y obtención de datos de clima de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)” en la zona de estudio.

Evaluación de datos de clima

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

Los estudios y recolección de datos se efectuaron de acuerdo a los antecedentes históricos de temperaturas, de la zona en estudios en todas las estaciones del año que serán a partir del año 2009 hasta su funcionamiento en el 2014. En las cuatro estaciones del año primavera, verano, otoño, e invierno. Se adjunta Anexo Z1.

Evaluación de muestras de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)” en la zona de estudio.

La vía en mención se visitó al campo (sub tramos de la vía), para la evaluación y obtención de muestras

como fisuramientos, grietas pronunciadas transversalmente y longitudinalmente de la carpeta asfáltica, en los sub tramos estudiadas, las mediciones se realizo en (mm), (m2) respectivamente.



Imagen N° 02 Muestra la medición de las fisuras y grietas de la carpeta asfáltica de los tramos en estudio.



Imagen N° 03 Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica. Medición de fisura en metros lineales utilizando la wincha.

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 ($0.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ promedio anual); muestra un grado intermedio de envejecimiento en el asfalto usado; el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; Ver cuadros N° 06 y 07.

Tramo – 02:

Presenta el menor nivel de gradiente térmico ($0.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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° 06 y 07.

Tramo – 03:

Presenta un gradiente térmico intermedio ($1.82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 85-100; y su gradación es aceptable después del tramo – 02. Ver Cuadros N° 06 y 07.

La figura N° 11, 12 y 13, 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.

CONTRASTE DE HIPÓTESIS

a) FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICO.

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

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

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

c) DETERMINACIÓN DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA

Se empleó el método Diseño Completamente Aleatorizado

b) TIPO DE PRUEBA Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA

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

d) TOMA DE DECISIÓN:

DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO (DCA)

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

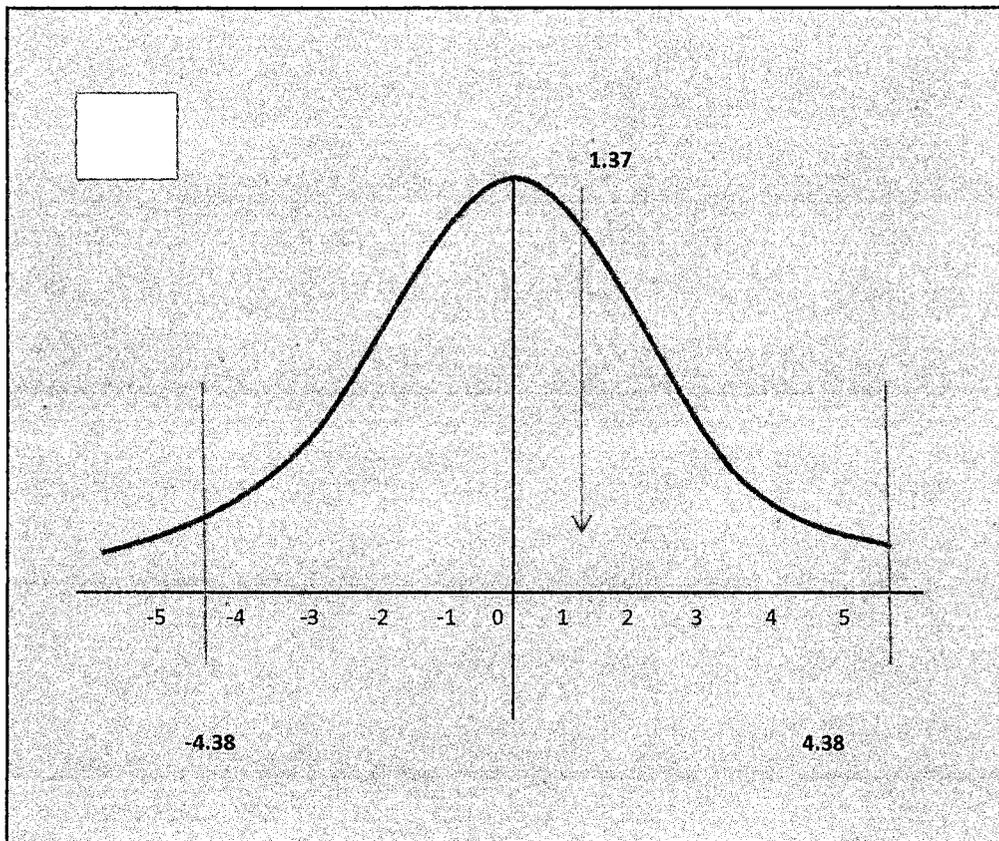
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	20.20773895	10.10386947	0.25545662
Fila 2	2	20.68575205	10.34287602	0.016039
Fila 3	2	20.37393561	10.18696781	0.015968
Fila 4	2	20.78790276	10.39395138	0.00929138
Fila 5	2	20.77575269	10.38787634	0.06172201
Fila 6	2	21.41950653	10.70975328	0.14191619

Fuente: elaboración propia (Método de análisis estadístico, (Ver Anexo V)).

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.572515448	5	0.11450309	1.37295737	0.981931781	4.387374187
Dentro de los grupos	0.500393203	6	0.083398867			
Total	1.072908651	11				

Fuente: elaboración propia (Análisis de Varianza, (Anexo W)).



Fuente: elaboración propia (Validación de hipótesis, (Anexo X)).

Validación de hipótesis, (Anexo X).

POR LO TANTO COMO $F_c < F_t$

($\alpha = 0.05$)

SE ACEPTA LA HIPÓTESIS

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.

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:

Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A).

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 térmicas, 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; Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará).

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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A). Afirmando la Hipótesis nula la cual ha sido demostrada para cada tramo en estudio mediante el siguiente análisis:

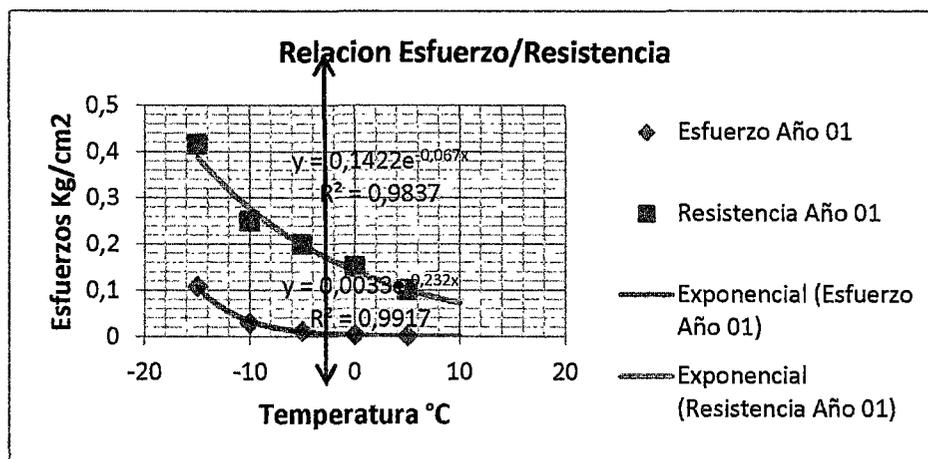


Figura N° 11: Tramo I Rumichaca – San Felipe (Huaytará) (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo F).

➤ El gráfico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -3.9 °C, mínimo registrada por la estación meteorológica CUSICANCHA (Huaytará), con un

esfuerzo = 0.008 kg/cm² y resistencia = 0.18 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -38 °C el esfuerzo y resistencia llega a 23.5

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:

Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 194+000 al 176+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.

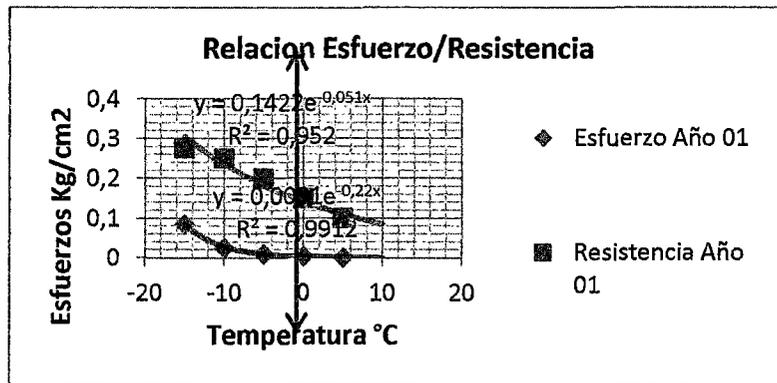


Figura N° 12: Tramo I: San Felipe – Chaupi (Huaytará) (km 176+000 al km 170+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C, (Anexo G).

➤ El gráfico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -3.9 °C mínimo registrado por la estación meteorológica CUSICANCHA (Huaytará), con un esfuerzo = 0.007 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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 176+000 al 170+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.

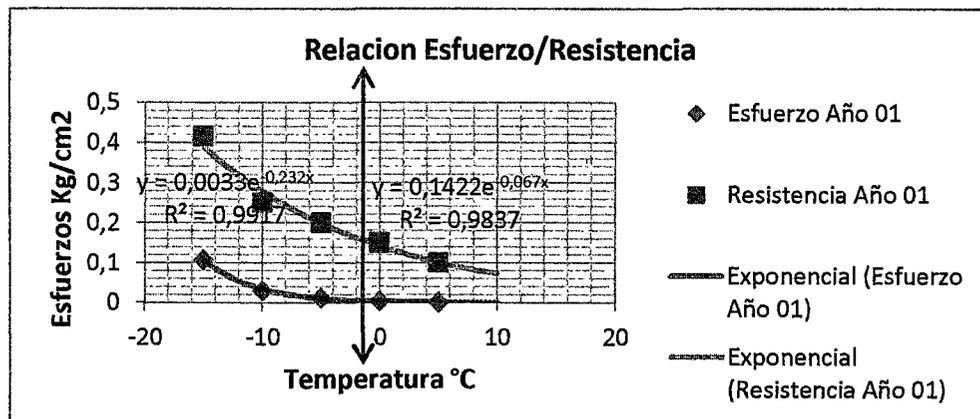


Figura N° 13: Tramo I: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.8 °C, (Anexo H).

- El grafico indica los resultados obtenidos con una temperatura de -2.8 °C, mínimo registrado por la estación meteorológica TAMBO (Huaytará), con un esfuerzo = 0.01 kg/cm² y resistencia = 0.17 kg/cm², en la cual se observa que con una temperatura de -37.50 °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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) km 170+000 al 148+500, la temperatura mínima registrada es de -2.8 °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 °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 °F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20 a 70°F (-7 a 21 °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: Rumichaca- Los Libertadores (Huaytará)	Temperatura °C min.	Esfuerzo (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Temperatura °C punto de fisuramiento	Esfuerzo (kg/cm ²) punto de fisuramiento	Resistencia (kg/cm ²) punto de fisuramiento	Resultado	Discusión
km 194+000 al km 176+000	-39	0,008	0,18	-38	23,5	23,5	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica
km 176+000 al km 170+000	-39	0,007	0,17	-40	24	24	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica
km 170+000 al km 148+500	-28	0,01	0,17	-37,5	23	23	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga térmica

Cuadro N° 16 Muestra los resultados y discusión en forma resumida FUENTE: Elaboración Propia (ANEXO Z)

CONCLUSIONES

a. Se concluye sobre las variables estudiadas, que lo más importante es el gradiente térmico observado en los tres sub tramos de la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE – 28A); 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 gradiente por baja temperatura tiene poca probabilidad de ocurrencia. En ninguno de los tres sub 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 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 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 carpeta asfáltica, hasta que sea capaz de absorber los efectos térmicos y permitir que el pavimento alcance la servicialidad 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 asfalto usados en la fase de construcción y de puesta en servicio luego de un periodo. Este último aspecto ha conllevado suponer cierto tipo 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 el

control de la performance en nuestros pavimentos de manera más cercanas 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 Huancavelica, para de esta forma contar con un solo criterio consolidado, que absorbe 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 validación 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, tomar en cuenta estas líneas de investigación para las futuras construcciones de pavimento flexible de nuestra región identificada como zona de altura, como es el caso

del futuro asfaltado de la vía Lircay – Huancavelica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. TESIS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES – UNI. ING. JOSÉ HERMOGENES MELENDEZ PALMA LIMA – 2000

2. DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS ICG-SEGUNDA EDICION LIMA 2006

3. HTTP: //WWW.E-ASFALTO.COM/PAVIMENTOS/PAVIMENTOS.HTM

4. PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. SERIE DE MANUALES NO.22 (MS-22), ASPHALTINSTITUTE

5. 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.

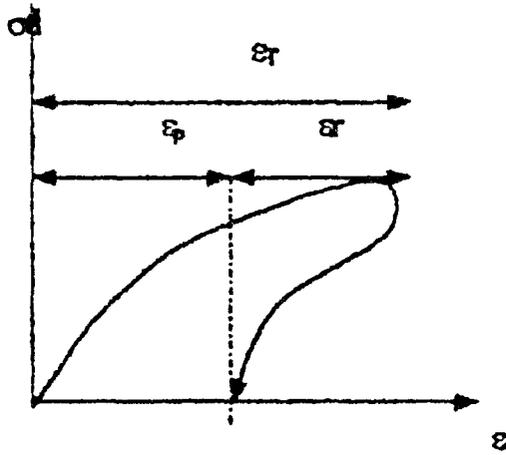
- PAVIMENTOS ASFALTICOS EN ZONAS DE ALTURA, ING. M. SC. J. RAFAEL MENÉNDEZ A. JULIO DEL 2005.

- 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.

ANEXOS

ANEXO A:



Explicación del concepto de rigidez.



Pruebas de esfuerzos constante

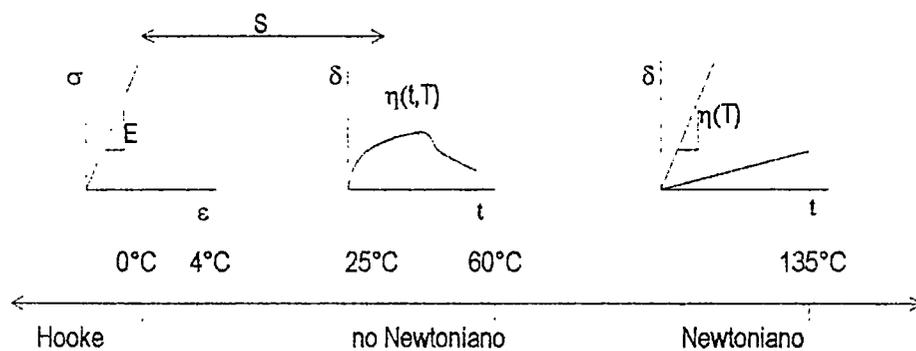


Pruebas de deformación constante

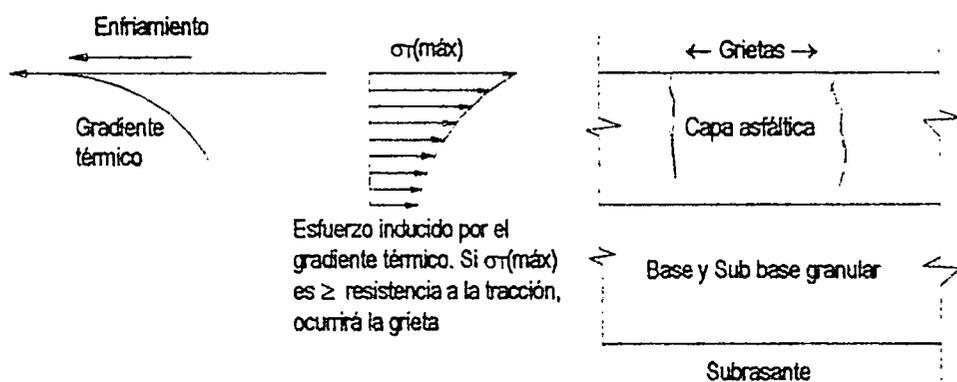
Dos tipos de carga controlada para pruebas de fatiga

FUENTE: Según (Huang, 1993).

ANEXO B:



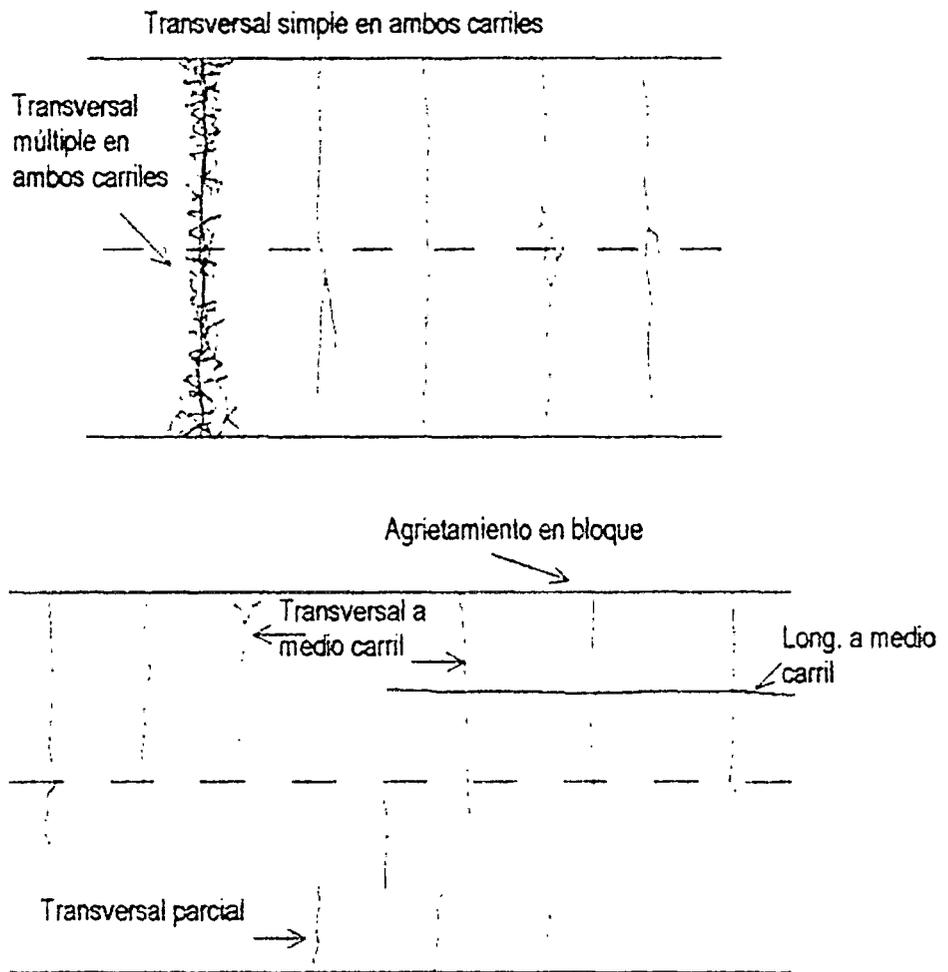
Propiedades del asfalto (G. Thenoux, 1999).



Muestra de un pavimento en proceso de enfriamiento, esfuerzo térmico como respuesta del agrietamiento térmico.

FUENTE: Según (Haas, et al., 1987).

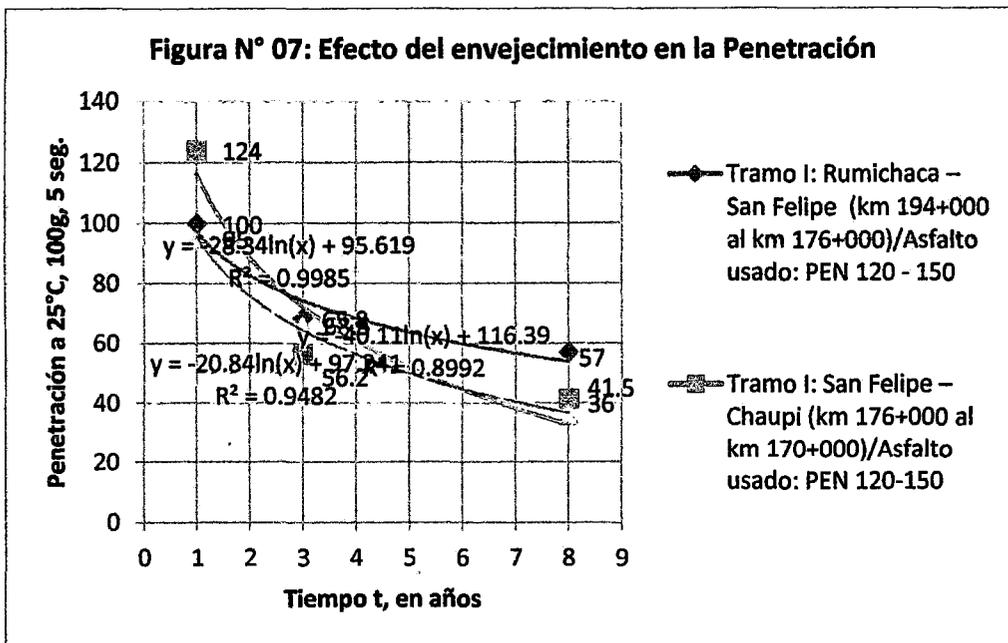
ANEXO C:



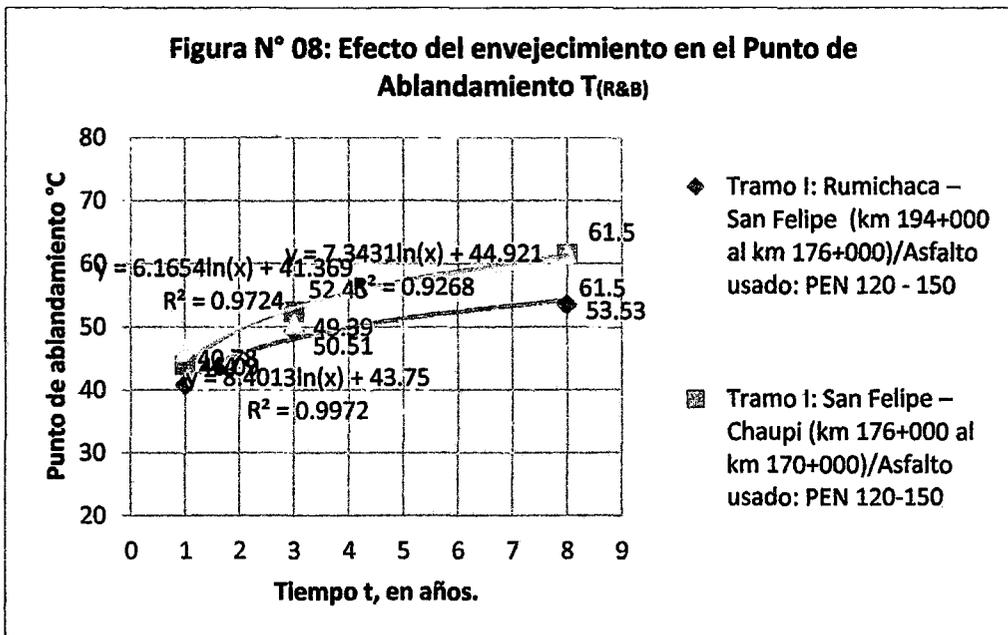
Tipos de agrietamiento por efecto térmico

FUENTE: Según (Fromm y Phang, 1972).

ANEXO D:

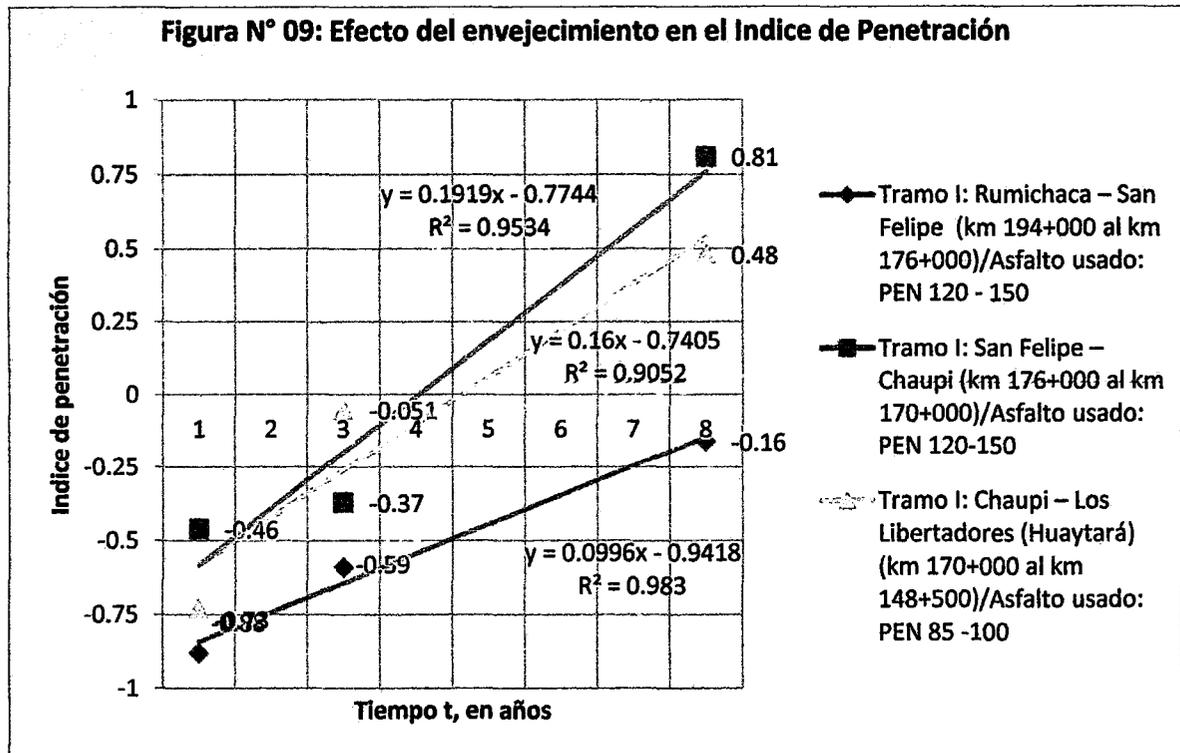


FUENTE: Elaboración Propia

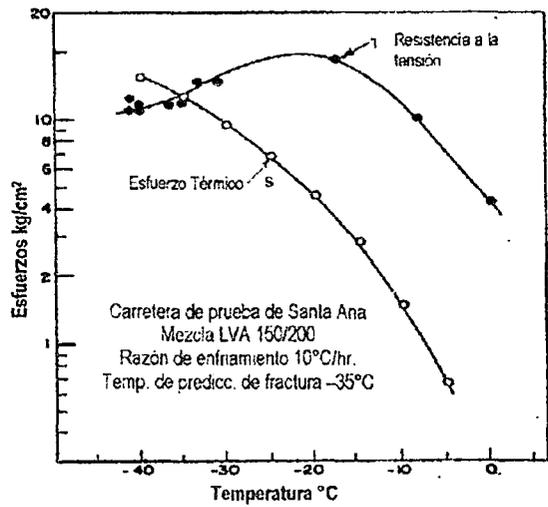


FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO E:



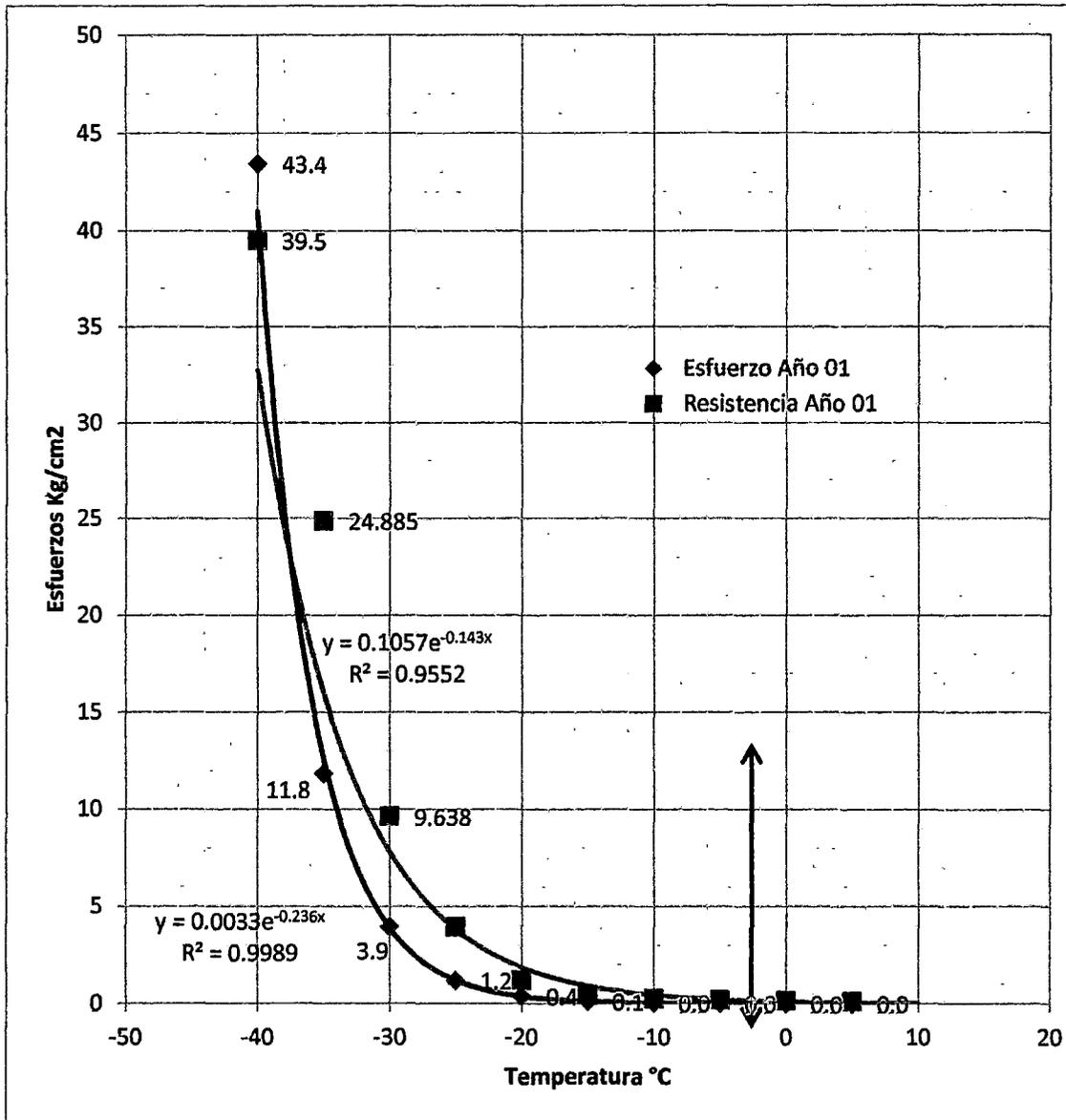
FUENTE: Elaboración Propia



Mecanismo de falla por baja Temperatura

FUENTE: Según (McLeod 1970).

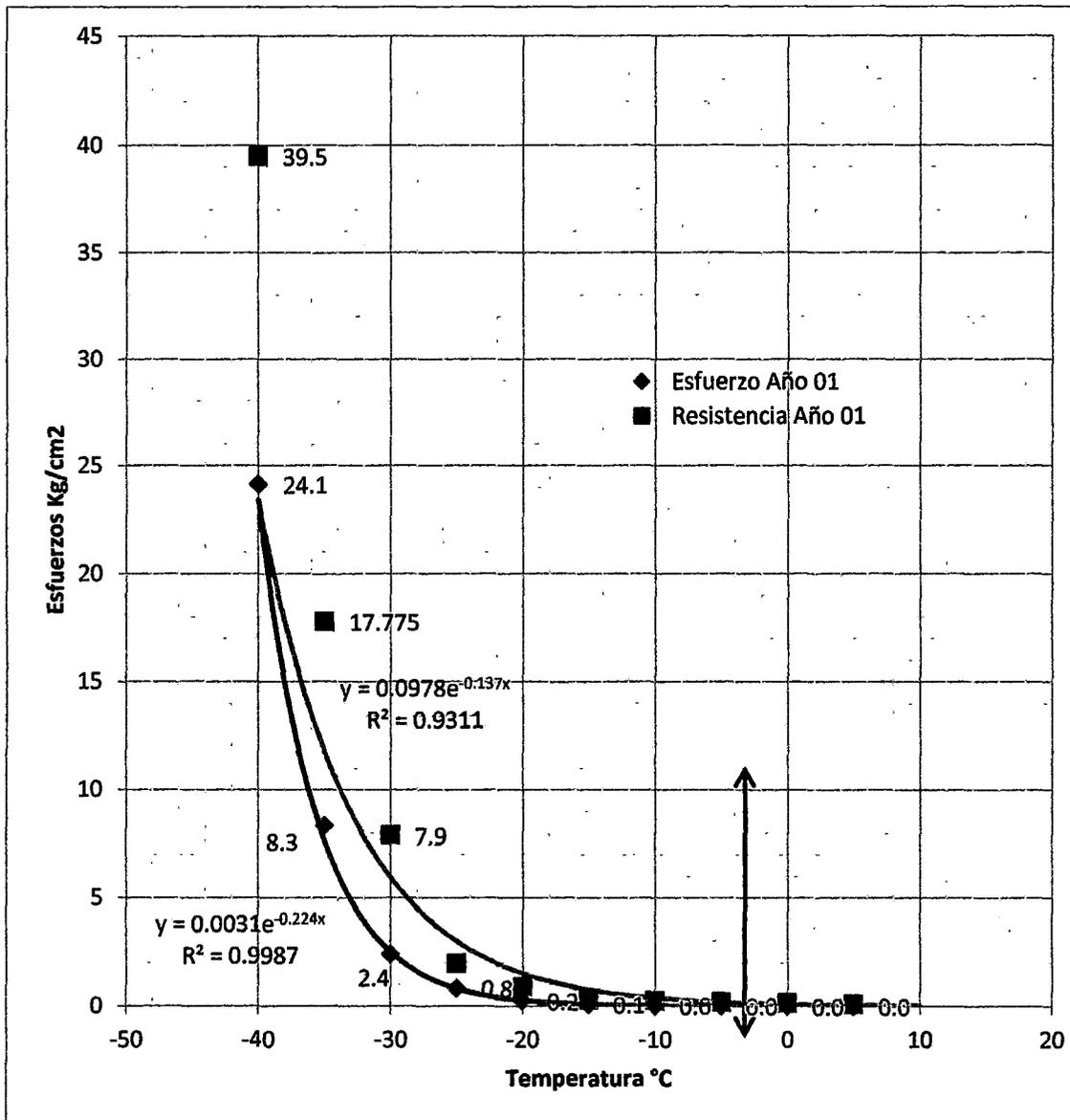
ANEXO F:



Tramo I: Rumichaca – San Felipe (Huaytará) (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120-150; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9 °C

FUENTE: Elaboración Propia

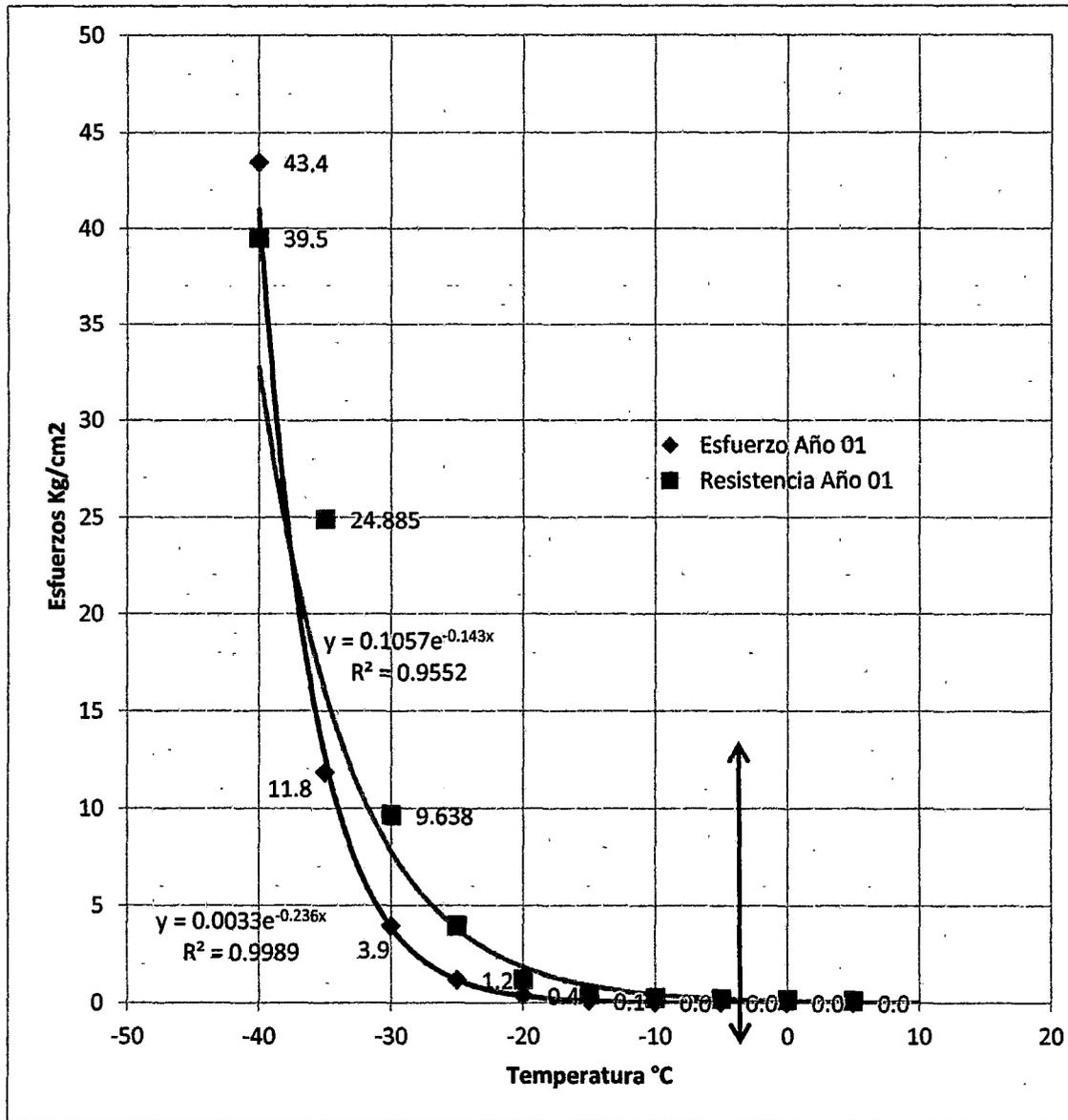
ANEXO G:



Tramo I: San Felipe- Chaupi (Huaytará) (km 176+000 al km 170+000)/ asfalto usado PEN 120-150; relación esfuerzo/ resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -3.9°C

FUENTE: Elaboración Propia

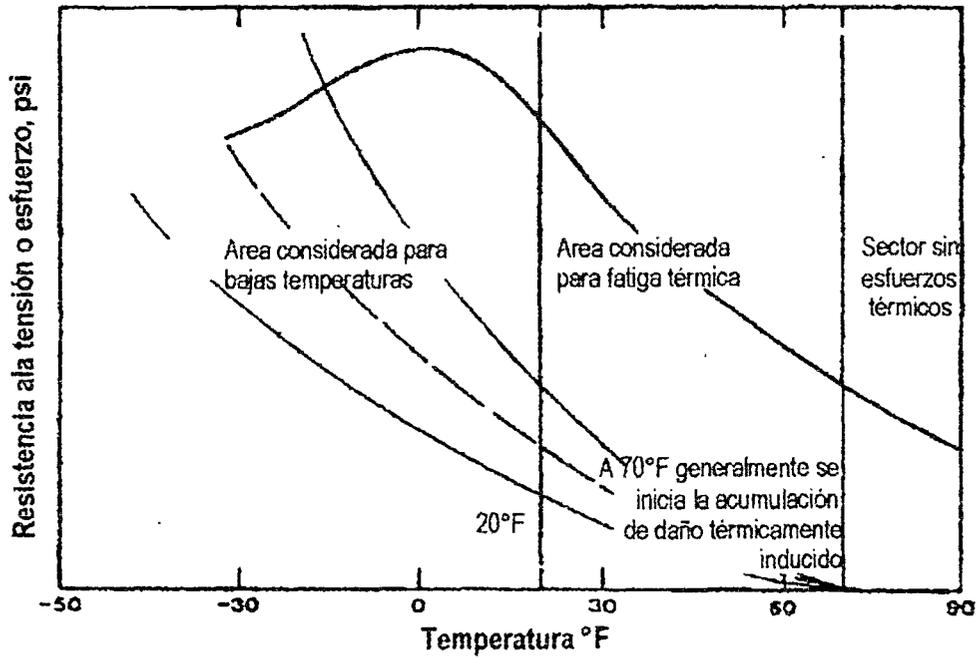
ANEXO H:



Tramo I: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)/Asfalto usado: PEN 85-100; relación Esfuerzo/Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, -2.8 °C

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO I:



Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico

FUENTE: Según (Carpenter, 1983)

ANEXO J:

Cuadro N° 03 Información revisada sobre el ámbito de estudio

Rumichaca - San Felipe		1994	Tramo km. 194+000 al km. 176+000	1996-1998	MTC.	1996-1998
San Felipe - Chaupi		1994	Tramo km. 176+000 al km. 170+000	1996-1998	MTC.	1996-1998
Chaupi - Los libertadores (Huaytará)		1994	Tramo km. 170+000 al km. 148.5+000	1996-1998	MTC.	1996-1998

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO K:

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

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° 05: Relación de estaciones climatológicas proximas al tramo en estudio.

CARRETERA TRAMO RUMICHACA - LOS LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (PE-28A)	PROGRESIVA (Km)	ALTITUD (msnm)	ESTACION CLIMATOLOGICA	ALTITUD (msnm)
RUMICHACA – SAN FELIPE	191+000 AL	3960 - 4483	Cusicancha (Huaytará)	3550
SAN FELIPE - CHAUPI	173+500 AL	4483 - 4353	Cusicancha (Huaytará)	3550
CHAUPI – LOS LIBERTADORES	150+850 AL	4353 - 4407	Tambo (Huaytará)	3080

Fuente: Elaboracion propia.

ANEXO M:

Cuadro N° 06: 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
Cusicancha (Huaytará)	19.12	0.89	19.15	0.56	19.90	-3.90
Cusicancha (Huaytará)	19.12	0.89	19.15	0.56	19.90	-3.90
Tambo (Huaytará)	19.82	1.82	20.55	1.55	22.40	-2.80

Fuente: Elaboracion propia.

ANEXO N:

Cuadro N° 07: Propiedades de los asfaltos usados en los tramos estudiados

Tramo I: Rumichaca – San Felipe (km 194+000 al km 176+000)/Asfalto usado: PEN 120 - 150			
Reportes/Ensayos	1996/Original	1998/Residual	2014/Recuperado
Peso específico (gr/cm ³)	1039	-	1040
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	100	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
Tramo I: San Felipe – Chaupi (km 176+000 al km 170+000)/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	1996/Original	1998/Residual	2014/Recuperado
Peso específico (gr/cm ³)	1040	-	1050
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	124	56.2	41.5
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: Chaupi – Los Libertadores (Huaytará) (km 170+000 al km 148+500)/Asfalto usado: PEN 85 -10			
Reportes/Ensayos	1996/Original	1998/Residual	2014/Recuperado
Peso específico (gr/cm ³)	-	-	1050
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	95	65.8	36
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	-	-	894.5
Punto de ablandamiento °C	46.09	50.51	61.5
Índice de penetración	-0.73	-0.051	0.48

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 vía los libertadores Tramos : Pampano - Huaytará; Huaytará - Rumichaca; Rumichaca - Licapa; y Licapa - Ayacucho.

Figura N° 07: Efecto del envejecimiento en la Penetración

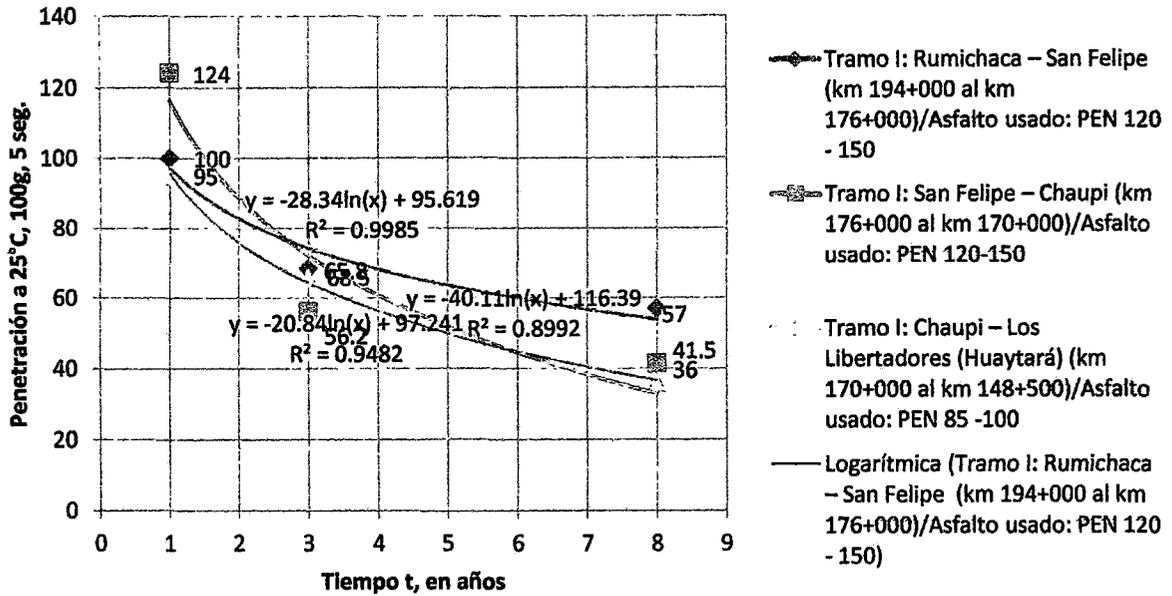


Figura N° 08: Efecto del envejecimiento en el Punto de Ablandamiento T(R&B)

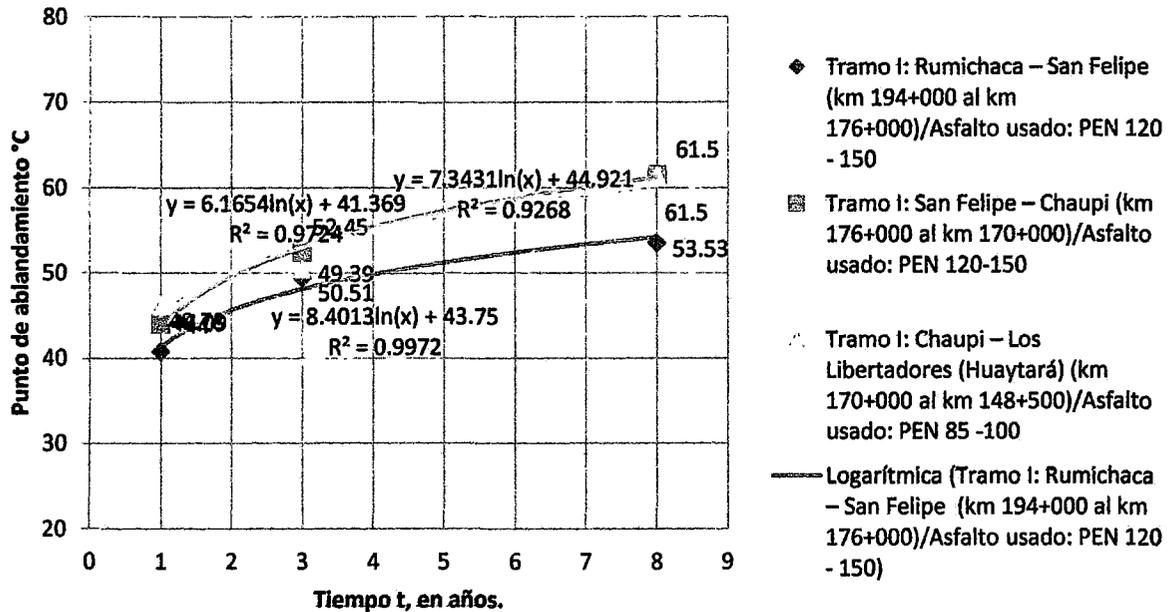
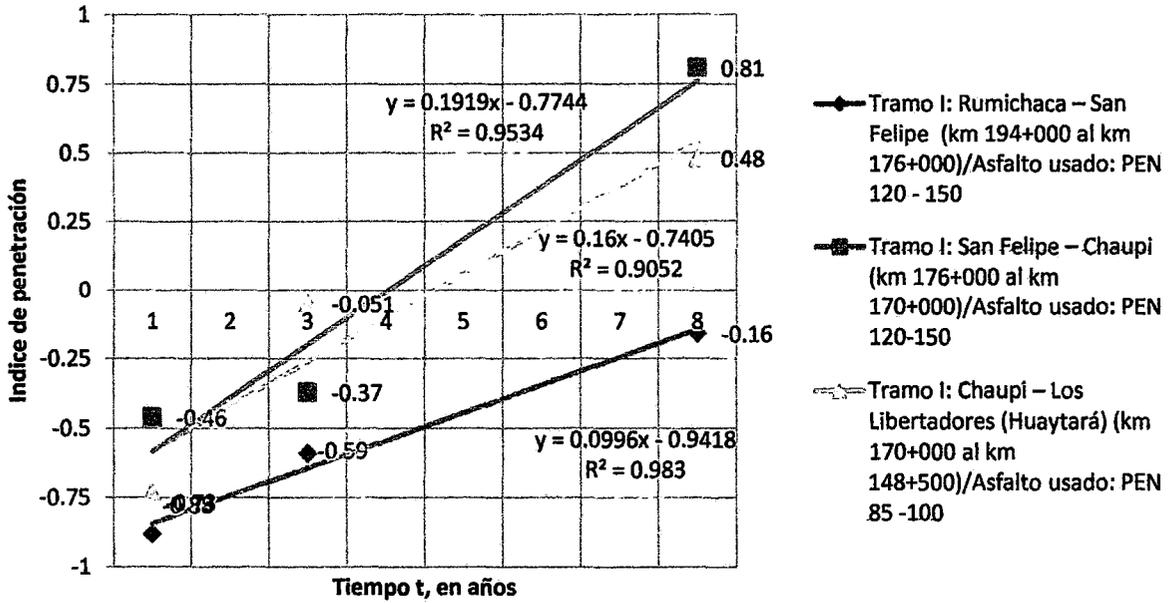


Figura N° 09: Efecto del envejecimiento en el Índice de Penetración



ANEXO Ñ:

Cuadro N° 08 Proporción de daño por la ubicación en la vía.

Carretera Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)	% fisura long. a media calzada	% fisura transersal Parcial	% fisura transversal a media calzada	% fisura transversal Ambos carriles
Rumichaca - San Felipe (Km. 194+000 al Km. 176+000) "Km. 191+000 al Km. 192+000"	33.4	22.5	44.1	0
San Felipe - Chaupi (Huaytará) (Km. 176+000 al Km. 170+000) "Km. 173+500 al Km. 174+500"	40.1	45.3	14.6	0
Chaupi - Los Libertadores (Huaytará) (Km. 170+000 al Km. 148+500) "Km. 150+850 al Km. 151+850"	10.6	52.2	37.2	0

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

ANEXO O:

Cuadro N° 09 Proporción de daño por el estado de la fisura.

Carretera Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)	% fisura e < 2 mm.	% fisura 2 < e < 4 mm.	% fisura 4 < e < 6 mm.	% fisura 6 < e < 8 mm.	% fisura < e < 10 mm.	% fisura selladas.
Rumichaca - San Felipe (Km. 194+000 al Km. 176+000) "Km. 191+000 al Km. 192+000"	12.2	28.9	22.5	11.62	24.78	0
San Felipe - Chaupi (Huaytará) (Km. 176+000 al Km. 170+000) "Km. 173+500 al Km. 174+500"	48.65	41.2	10.15	0	0	0
Chaupi - Los Libertadores (Huaytará) (Km. 170+000 al Km. 148+500) "Km. 150+850 al Km. 151+850"	51.35	12.64	0	0	0	0

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

ANEXO P:**RESULTADOS TRAMO I: RUMICHACA - SAN FELIPE (HUAYTARA) (Km 194+000 Al Km 176+000).**

Intervalo de Temp. °C	Rigidez del asfalto Si N/m ² (1/2 hora)	Incremento de rigidez (Si*α*ΔT)	Esfuerzo térmico $\delta T = \Sigma(Si \cdot \alpha \cdot \Delta T)$
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.

FUENTE: Elaboración Propia

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.

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO R:

RESULTADOS TRAMO I SAN FELIPE - CHAUPI (HUAYTARÁ) (KM. 176+000 AL KM. 170+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.

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO S:

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	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.

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO T:**RESULTADOS TRAMO I: CHAUPI – LOS LIBERTADORES (HUAYTARÁ) (KM. 170+000 AL KM. 148+500).**

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

Esfuerzos en intervalo de 10°C.

FUENTE: Elaboración Propia

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.

FUENTE: Elaboración Propia

DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO (DCA)

REALIZADO POR: B/Ing. FRANCIS SANTIAGO GOETENDIA TORRES
 B/Ing. VICTORINO PEREZ QUISPE

ANEXO V:

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	20.26562425	10.13281213	0.29850735
Fila 2	2	20.69019649	10.34509825	0.034072963
Fila 3	2	20.09367127	10.04683564	0.108538514
Fila 4	2	20.78333287	10.39166643	0.00918177
Fila 5	2	20.79241935	10.39620968	0.064984694
Fila 6	2	21.41950653	10.70975326	0.141916191

12

ANEXO W:

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.572515448	5	0.11450309	1.04536973	0.981931781	4.387374187
Dentro de los grupos	0.657201483	6	0.109533581			
Total	1.229716931	11				

REFERENCIA

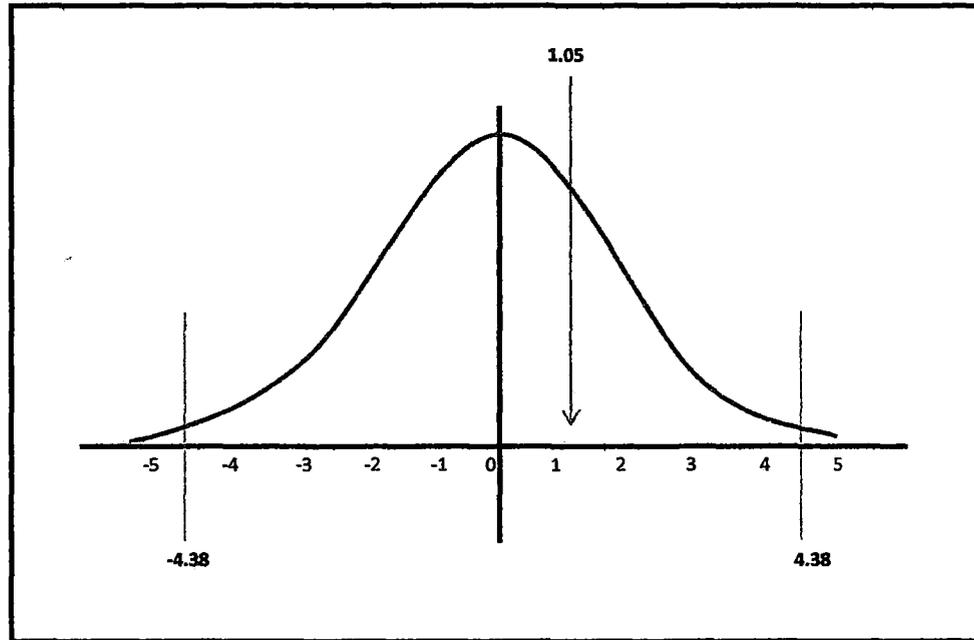
LIBRO: ESTADISTICA EXPERIMENTAL

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 hipotesis nula, es decir se acepta la hipotesis alterna
Cuando $F_c < F_t$ se acepta la hipotesis nula

Es decir: H_0 : La temperatura no influye en el deterioro de la carpeta asfáltica.

ok

ANEXO Z**RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Tramo: Rumichaca - Los Libertadores (Huaytará)	Temperatura °C min.	Esfuerzo (Kg/cm2)	Resistencia (Kg/cm2)	Temperatura °C punto de fisuramiento	Esfuerzo (kg/cm2) punto de fisuramiento	Resistencia (kg/cm2) punto de fisuramiento	Resultado	Discusión
km 194+000 al km176+000	-3.90	0.008	0.18	-38	23.5	23.5	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga termica.
km 176+000 al km 170+000	-3.90	0.007	0.17	-40	24	24	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga termica.
km 170+000 al km 148+500	-2.80	0.01	0.17	-37.5	23	23	no ocurre fallas por temperatura	falla por fatiga termica.

FUENTE: Elaboracion propia por los testistas

Estación Tambo 2009 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno						Primavera				Verano							
Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
15.9	6.5	13.2	5.3	17.7	6.8	16.8	6.4	16.3	4.8	17.3	3.6	18.1	3.6	18.1	1.1	16.3	4	18.2	5.2	16.9	4.3	20.1	4.9
16.9	5.1	14.1	6.3	16.1	6.3	15.4	5.8	16.1	5	19.4	3.4	16.1	-2.1	18.4	2.1	18.8	4.5	17.5	4.8	16.9	4.1	19.2	6.5
16.2	5	15.1	4.2	17	7.4	16.2	6.8	18.3	5.1	19.9	2.7	14.2	2.3	14.9	1	19.1	3.5	18.4	3.9	16.6	3.7	19.4	5.4
16.9	5.3	15.3	6.1	18.1	6	18.2	6.4	17.4	4.2	18.9	3	15.2	3	15.2	1.1	17.9	3.9	17.8	4.2	21.3	3.4	18.1	5.1
14.1	5	16.1	5.7	16.9	3.9	17.8	5.4	16.1	4.2	17.8	2.8	16.3	-1.1	16.9	0.2	18.1	3.5	18.3	3.8	18.1	3.5	19.3	6.4
16.1	6.5	16.2	5.2	17.3	4.9	17.4	5.1	18.3	5	19.2	2.2	15.9	1.4	19.7	1	16.1	2.7	17.6	5.4	20.1	4.6	18.9	5.1
14	4.2	13.9	5.5	16.1	5.1	16.4	4.8	17	4.2	19.1	4	14.9	1.3	19.1	1.4	20.1	2.6	17.1	5.2	20.9	5	18	4
15.1	5	14.6	4.9	17.1	4.9	17.1	5.3	17.3	3.5	18.4	2.8	16.6	2.2	18.3	2	19.9	4.1	18.4	6.3	20.2	4.7	20.3	5.9
16.9	6	14.3	5.7	17	5	16.9	5.5	17.7	4.1	19.3	2.5	15.9	-0.2	17.9	3.3	18.9	6	18.1	6.1	19.4	6	22.4	4.8
17.1	6.2	14.1	5.1	16.1	5.2	16.2	5.9	14.2	5.9	17.8	4.1	15.1	1.2	19	2.4	20.1	6	19.5	5.8	18.3	5.1	20.1	4.7
16.3	6.4	15.9	4.7	14.2	5.1	15.5	6.2	18.2	5	17.1	2.3	17.1	-1.2	17	3.1	17.1	4.8	17.9	5.6	17.4	4.1	19.9	4.2
17.1	6.3	16.4	6	13.2	4.5	14.6	4.8	16.9	5.1	17.7	3.5	18.5	1.2	17.9	2.4	16.8	4.8	17.2	5.1	17	5.2	18.3	5
15.7	5.2	15.6	5.9	16.3	5.4	16.1	5.8	19.6	5.6	16.4	2.4	19.7	2.4	18	2.4	16.5	4.7	18.9	4.9	18.2	5	20.4	6
16.3	4.7	16	4.1	15.1	6	15.9	6.1	19.9	4.6	17.1	2.5	19.1	1.4	17.1	1.8	15.9	3.1	15.8	4.3	17.6	3.2	20.5	5.5
17.9	3.9	14.9	4.6	17.4	3	17.2	3.9	18.1	3.8	19.4	2.8	18.7	1.6	17	1	18	4.2	17.6	5.9	17.9	5.2	18.9	3.9
16.1	4.5	15.1	4.3	17.4	4	17.3	4.2	17.3	3.3	14.6	2.3	19.2	1.7	18.9	1.4	18	4.7	18.2	5.6	18.6	5.3	18.2	5.8
13.4	4.7	16.3	6.1	13.6	5.1	16.8	3.8	19.6	2.4	16.3	3.2	18.9	3.1	19	2.4	17.1	3.1	16.4	6.1	17.1	3.9	20.1	6.3
13.9	4	15.9	6	16.3	4.1	15.8	4.2	19.3	3.6	15.3	3	19.4	3.3	17.8	2.1	16.9	4.9	17	5.7	17.3	4.6	18.3	5.8
13.5	5	15.9	5.5	17.4	5.2	16.5	4.8	20.7	3.2	15.9	3.3	18.1	1.2	19.7	2	17	4.7	16.8	4.9	17.8	3.6	17	4.9
16.1	5.5	16.3	6.2	17.2	5.6	17.1	3.9	20.3	3.8	17.9	3.8	17.1	1.2	18.1	1	16	4.5	16.5	3.9	14.9	3.4	18.6	5.9
16.6	3.3	16.4	4.1	17.5	5.2	16.9	5.2	18.2	2.1	18.9	3.2	16.9	1.7	18.3	1.4	17.1	6	16.2	5.1	17.3	3	18.3	4.7
17	5.1	15.7	4.6	14.9	5.1	15.8	4.9	16.9	3.7	17.4	4.5	16.2	1.5	18.1	1.6	16.3	5	17.9	4.8	18.9	3.8	17.7	4.3
14.9	5.3	14.3	4.8	14	4.7	15.2	4.6	18.6	3.2	17.7	3	16.9	3	19.9	2.2	15.9	3.9	18.2	4.6	19.9	4.3	16.9	4
16.7	5.7	16.3	5.3	16.4	6.3	14.8	5.1	15.4	4	19.3	4.2	18.9	2.3	19.2	1.3	15.7	4.7	18	4.2	16.4	4.4	21.4	5.3
17.9	5.1	15.1	4	18.1	6	17.2	5.5	17.2	4.9	19	2.8	17.4	1.6	19	1.4	16.3	3.7	17.5	5.2	17.7	5.2	19.7	6.3
17.1	5.3	17.2	5	18	5.4	17.8	6.2	16.3	5	19.5	3	18.4	2.1	18.9	1	16.3	4.9	16.9	5.1	18.1	3.9	19.2	5
17	5.9	17	5.3	18.2	4	18.1	4.6	17.1	4.4	19.4	4.2	18.8	3	18.7	3.2	15.7	3.1	18.3	3.9	18.4	6	17.9	5.4
16.9	5.3	16.7	5.4	19.4	3.4	18.6	3.9	17.9	4.3	18.3	3.5	18.1	1.1	19.6	3.3	15.6	4.7	18.9	4.7	17.8	5.2	18.6	5.1
14.7	2.8	18.2	4.5	17.6	4.3	18	4.2	18.1	2.3	19.9	1.3	17.9	2.4	18.1	5.1	19.2	2.3	21.4	5.5	17	6.3		
14.9	5.3	17.6	5	17.4	6.2	19.9	3.6	18.9	2.6	19.1	1.5	17.1	1.4	17.2	3.2	18.8	3.9	18.7	5.2	18.7	6.1		
16.7	5.7	18.2	4.5			18.9	3.4			20.2	1.1	18.3	1.2			17.9	4.3			17.7	4.3		

FUENTE: SENAMHI ESTACION TAMBO

Estación Tambo 2010 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno						Primavera				Verano							
Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
18	5.3	16	4.7	15.9	6.5	13.2	5.3	17.7	6.8	15.2	6.2	16.3	1.1	17.3	1.2	18.1	2.2	18.1	3	18.3	4	16.9	4.3
19.3	5	19.9	4.6	16.9	5.1	14.1	6.3	16.1	6.3	16.7	6.1	16.1	2.1	19.4	-0.6	16.1	2.4	18.4	4.2	18.8	4.5	16.9	4.1
16.7	5.4	17.9	5.3	16.2	5	15.1	4.2	17	7.4	16.1	6.9	18.3	1	19.9	2.3	14.2	2.3	14.9	3.9	19.1	3.5	16.6	3.7
19.2	5.2	19.6	5	16.9	5.3	15.3	6.1	18.1	6	15.8	6.5	17.4	1.1	18.9	3	15.2	2.5	15.2	3.3	17.9	3.9	21.3	3.4
19.7	4.3	16.3	4.7	14.1	5	16.1	5.7	16.9	3.9	15.6	5.8	16.1	0.2	17.8	2.8	16.3	2.8	16.9	3	18.1	3.5	18.1	3.5
17.2	5	17	4.5	16.1	6.5	16.2	5.2	17.3	4.9	17.6	5.6	18.3	1	19.2	1.4	15.9	3	19.7	3.2	16.1	2.7	20.1	4.6
18.3	6.3	16.3	4.2	14	4.2	13.9	5.5	16.1	5.1	18.2	5.1	17	1.4	19.1	1.3	14.9	3.2	19.1	3.8	20.1	2.6	20.9	5
17.9	5.2	17.1	4	15.1	5	14.6	4.9	17.1	4.9	18.6	4.9	17.3	2	18.4	2.2	16.6	3.4	18.3	3.1	19.9	4.1	20.2	4.7
17.2	4.7	18.1	5.2	16.9	6	14.3	5.7	17	5	19.2	5.9	17.7	3.3	19.3	-0.2	15.9	3.8	17.9	3	18.9	6	19.4	6
15.9	4	19.4	3.3	17.1	6.2	14.1	5.1	18.1	5.2	18.5	6.2	14.2	2.4	17.8	1.2	15.1	4.2	19	2.1	20.1	6	18.3	5.1
13.9	4.5	18.3	3.4	16.3	6.4	15.9	4.7	14.2	5.1	17.9	6.3	18.2	3.1	17.1	-1.2	17.1	4	17	2.6	17.1	4.6	17.4	4.1
17.9	4	17.9	6.1	17.1	6.3	16.4	6	13.2	4.5	17.2	5.8	16.9	2.4	17.7	1.2	18.5	3.8	17.9	2.3	16.8	4.8	17	5.2
19.1	3	18.6	6.3	15.7	5.2	15.6	5.9	16.3	5.4	16.9	5.2	19.6	2.4	16.4	2.4	19.7	3.6	18	2.5	16.5	4.7	18.2	5
18.1	5.6	18	5.3	16.3	4.7	16	4.1	15.1	6	16.2	4.8	19.9	1.8	17.1	1.4	19.1	3.2	17.1	2	15.9	3.1	17.6	3.2
16.1	4.8	17.1	6	17.9	3.9	14.9	4.6	17.4	3	15.7	4.1	18.1	1	19.4	1.6	18.7	2.8	17	2.6	18	4.2	17.9	5.2
18.3	5.4	16.4	5.4	16.1	4.5	15.1	4.3	17.4	4	17.3	4.9	17.3	1.4	14.6	1.7	19.2	2.6	19.9	3	18	4.7	18.6	5.3
16.3	5.2	16.1	5	13.4	4.7	16.3	6.1	13.6	5.1	17.6	5.3	19.6	2.4	16.3	3.1	18.9	2.4	19	3.2	17.1	3.1	17.1	3.9
17	6	17	5.5	13.9	4	15.9	6	16.3	4.1	17.8	5.7	19.3	2.1	15.3	3.3	19.4	2.2	17.8	3.1	16.9	4.9	17.3	4.6
17.1	5.9	17.3	5.9	13.5	5	15.9	5.5	17.4	5.2	18.3	6.2	20.7	2	15.9	1.2	18.1	2.4	19.7	2.9	17	4.7	17.8	3.6
18	5.7	14.6	5.7	16.1	5.5	16.3	6.2	17.2	5.6	18.5	6.1	20.3	1	17.9	1.2	17.1	2.6	18.1	3.3	16	4.5	14.9	3.4
14.1	6	18.1	4.5	16.6	4.8	16.4	4.1	17.5	5.2	17.9	5.9	18.2	1.4	18.9	1.7	16.9	2.8	18.3	3.5	17.1	6	17.3	3
15.5	5	17.1	5	17	5.1	15.7	4.6	14.9	5.1	15.9	5.1	16.9	1.6	17.4	1.5	16.2	3	18.1	3	16.3	5	16.9	3.8
17.1	4.3	18.8	3.9	14.9	5.3	14.3	4.8	14	4.7	16.6	4.9	18.6	2.2	17.7	3	16.9	2.8	19.9	4.6	15.9	3.9	19.9	4.3
14.3	3.8	17.1	3.4	16.7	5.7	16.3	5.3	16.4	6.3	15.3	4.8	15.4	1.3	19.3	2.3	18.9	2.2	19.2	4	15.7	4.7	16.4	4.4
16.9	2.8	17.3	4.7	17.9	5.1	15.1	4	18.1	6	17.6	5.8	17.2	1.4	19	1.6	17.4	1.8	19	3.7	16.3	3.7	17.7	5.2
17.1	5.7	18	6.1	17.1	5.3																		

Estación Tambo 2011 Temperatura (Máximo y Mínima) °C

Verano		Otoño								Invierno								Primavera								Verano	
Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre					
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin				
20.1	4.9	18	5.3	16	4.7	15.9	6.5	13.2	5.3	18.6	6.8	17.7	1.1	16.3	1.2	17.3	1.4	18.1	1	18.1	3	16.3	4				
19.2	6.5	19.3	5	19.9	4.6	16.9	5.1	14.1	6.3	18.1	6.3	16.1	2.1	16.1	-2.1	19.4	3.4	16.1	1.2	18.4	4.2	18.8	4.5				
19.4	5.4	16.7	5.4	17.9	5.3	16.2	5	15.1	4.2	17.6	7.4	17	1	18.3	2.3	19.9	2.7	14.2	1.4	14.9	3.9	19.1	3.5				
18.1	5.1	19.2	5.2	19.6	5	16.9	5.3	15.3	6.1	17.1	6	18.1	1.1	17.4	3	18.9	3	15.2	2.5	15.2	3.3	17.9	3.9				
19.3	6.4	19.7	4.3	16.3	4.7	14.1	5	16.1	5.7	16.9	3.9	16.9	0.2	16.1	-2.8	17.8	1.4	16.3	2.1	16.9	3	18.1	3.5				
18.9	5.1	17.2	5	17	4.5	16.1	6.5	16.2	5.2	15.8	4.9	17.3	1	18.3	1.4	19.2	0.5	15.9	2	19.7	3.2	16.1	2.7				
18	4	18.3	6.3	16.3	4.2	14	4.2	13.9	5.5	15.3	5.1	16.1	1.4	17	1.3	19.1	4	14.9	1.6	19.1	3.8	20.1	2.6				
20.3	5.9	17.9	5.2	17.1	4	15.1	5	14.6	4.9	14.7	4.9	17.1	2	17.3	2.2	18.4	2.8	16.6	3	18.3	3.1	19.9	4.1				
22.4	4.8	17.2	4.7	18.1	5.2	16.9	6	14.3	5.7	15.6	5	17	3.3	17.7	-0.2	19.3	2.5	15.9	3.3	17.9	3	18.9	6				
20.1	4.7	15.9	4	19.4	3.3	17.1	6.2	14.1	6.2	14.1	5.1	15.9	5.2	16.1	2.4	14.2	1.2	17.8	4.1	15.1	2.8	19	2.1				
19.9	4.2	13.9	4.5	18.3	3.4	16.3	6.4	15.9	4.7	16.4	5.1	14.2	3.1	18.2	-1.2	17.1	2.3	17.1	2.4	17	1.3	17.1	4.6				
18.3	5	17.9	4	17.9	6.1	17.1	6.3	16.4	6	16.3	4.5	13.2	2.4	16.9	1.2	17.7	3.5	18.5	2.9	17.9	2.3	16.8	4.8				
20.4	6	19.1	3	18.6	6.3	15.7	5.2	15.6	5.9	17.5	5.4	16.3	2.4	19.6	2.4	16.4	2.4	19.7	2	18	2.5	16.5	4.7				
20.5	5.5	18.1	5.6	18	5.3	16.3	4.7	16	4.1	17.2	6	15.1	1.8	19.9	1.4	17.1	2.5	19.1	1.8	17.1	2	15.9	3.1				
18.9	3.9	16.1	4.8	17.1	6	17.9	3.9	14.9	4.6	18.5	3	17.4	1	18.1	1.6	19.4	2.8	18.7	1.6	17	2.6	18	4.2				
18.2	5.8	18.3	5.4	16.4	5.4	16.1	4.5	15.1	4.3	19.2	4	17.4	1.4	17.3	1.7	14.6	2.3	19.2	1.9	19.9	3	18	4.7				
20.1	6.3	16.3	5.2	16.1	5	13.4	4.7	16.3	6.1	18.9	5.1	13.6	2.4	19.6	3.1	16.3	3.2	18.9	2.2	19	3.2	17.1	3.1				
18.3	5.8	17	6	17	5.5	13.9	4	15.9	6	17.9	4.1	16.3	2.1	19.3	3.3	15.3	3	19.4	1.3	17.8	3.1	16.9	4.9				
17	4.9	17.1	5.9	17.3	5.9	13.5	5	15.9	5.5	17.2	5.2	17.4	2	20.7	1.2	15.9	3.3	18.1	2.3	19.7	2.9	17	4.7				
18.6	5.9	16	5.7	14.6	5.7	16.1	5.5	16.3	6.2	16.7	5.6	17.2	1	20.3	1.2	17.9	3.8	17.1	2	18.1	3.3	16	4.5				
18.3	4.7	14.1	6	18.1	4.5	16.6	3.3	16.4	4.1	15.4	5.2	17.5	1.4	18.2	1.7	18.9	3.2	16.9	2.5	18.3	3.5	17.1	6				
17.7	4.3	15.5	5	17.1	5	17	5.1	15.7	4.6	16.3	5.1	14.9	1.6	16.9	1.5	17.4	4.5	16.2	2.6	18.1	3	16.3	5				
16.9	4	17.1	4.3	18.8	3.9	14.9	5.3	14.3	4.8	15.9	4.7	14	2.2	18.6	3	17.7	3	16.9	2	19.9	4.6	15.9	3.9				
21.4	5.3	14.3	3.8	17.1	3.4	16.7	5.7	16.3	5.3	16.2	6.3	16.4	1.3	15.4	2.3	19.3	4.2	18.9	2.1	19.2	4	15.7	4.7				
19.7	6.3	16.9	2.8	17.3	4.7	17.9	5.1	15.1	4	15.2	6	18.1	1.4	17.2	1.6	19	2.8	17.4	2.5	19	3.7	16.3	3.7				
19.2	5	17.1	5.7	18	6.1	17.1	5.3	17.2	5	14.9	5.4	18	1	16.3	2.1	19.5	3	18.4	3.1	18.9	3	16.3	4.9				
17.9	5.4	17.8	4.9	16.7	6	17	5.9	17	5.3	14.5	4	18.2	3.2	17.1	3	19.4	1.3	18.8	2	18.7	3.9	15.7	3.1				
18.6	5.1	13	5.1	16.4	4.1	16.9	5.3	16.7	5.4	17.2	3.4	19.4	3.3	17.9	1.1	18.3	3.5	18.1	3	19.6	2.4	15.6	4.7				
17	6.3	16.2	5	14.7	2.8	17.9	5.1	17.9	4.5	18.2	2.4	18	1.3	18.1	2.3	19.9	2.7	17.9	3.9	18.1	5.1	18.7	3.2				
18.7	6.1	17.2	5.1	17.9	5.1	16.9	4	18.3	5	17.6	1.4	19.9	1.5	18.9	2	19.1	3.7	17.1	3.9	17.2	3.2	18.7	3.2				
19.2	5	18.9	6.1	18.9	6.1	17	5.4	17	5.4	18.9	1.2	18.9	1.1	18.9	1.1	18.9	1.1	20.2	3.1	18.9	1.1	15.6	4.7				

FUENTE: SENAMHI ESTACION TAMBO

Estación Tambo 2012 Temperatura (Máximo y Mínima) °C

Verano		Otoño								Invierno								Primavera								Verano	
Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre					
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin				
16.9	4.3	20.1	4.9	18	5.3	16	4.7	15.9	6.5	13.2	5.3	17.7	1.1	16.3	1.2	17.3	1.4	18.1	1	18.1	3	16.3	4				
16.9	4.1	19.2	6.5	19.3	5	19.9	4.6	16.9	5.1	14.1	6.3	16.1	2.1	16.3	-2.1	16.1	5	19.4	3.4	16.1	1.2	18.4	4.2				
16.6	3.7	19.4	5.4	16.7	5.4	17.9	5.3	16.2	5	15.1	4.2	17	1	16.8	2.3	18.3	5.1	19.9	2.7	14.2	1.4	14.9	3.9				
21.3	3.4	18.1	5.1	19.2	5.2	19.6	5	16.9	5.3	15.3	6.1	18.1	1.1	16.9	3	17.4	3.4	18.9	3	15.2	2.5	15.2	3.3				
18.1	3.5	19.3	6.4	19.7	4.3	16.3	4.7	14.1	5	16.1	5.7	16.9	0.2	17.3	-2.8	16.1	4.2	17.8	1.4	16.3	2.1	16.9	3				
20.1	4.6	18.9	5.1	17.2	5	17	4.5	16.1	6.5	16.2	5.2	17.3	1	17.5	1.4	18.3	5	19.2	0.5	15.9	2	19.7	3.2				
20.9	5	18	4	18.3	6.3	16.3	4.2	14	4.2	13.9	5.5	16.1	1.4	17.9	1.3	17	4.2	19.1	4	14.9	1.6	19.1	3.8				
20.2	4.7	20.3	5.9	17.9	5.2	17.1	4	15.1	5	14.6	4.9	17.1	2	18.3	2.2	17.3	3.5	18.4	2.8	16.6	3	18.3	3.1				
19.4	6	22.4	4.8	17.2	4.7	18.1	5.2	16.9	6	14.3	5.7	17	3.3	18.2	-0.2	17.7	4.1	19.3	2.5	15.9	3.3	17.9	3				
18.3	5.1	20.1	4.7	15.9	4	19.4	3.3	17.1	6.2	14.1	5.1	16.1	2.4	17.7	1.2	14.2	5.9	17.8	4.1	15.1	2.8	19	2.1				
17.4	4.1	19.9	4.2	13.9	4.5	18.3	3.4	16.3	6.4	15.9	4.7	14.2	3.1	18.2	-1.2	18.2	5	17.1	2.3	17.1	2.4	17	1.3				
17	5.2	18.3	5	17.9	4	17.9	6.1	17.1	6.3	16.4	6	13.2	2.4	15.8	1.2	16.9	5.1	17.7	3.5	18.5	2.9	17.9	2.3				
18.2	5	20.4	6	19.1	3	18.6	6.3	15.7	5.2	15.6	5.9	16.3	2.4	14.6	2.4	19.6	5.6	16.4	2.4	19.7	2	18	2.5				
17.6	3.2	20.5	5.5	18.1	5.6	18	5.3	16.3	4.7	16	4.1	15.1	1.8	15.1	1.4	19.9	2	17.1	2.5	19.1	1.8	17.1	2				
17.9	5.2	18.9	3.9	16.1	4.8	17.1	6	17.9	3.9	14.9	4.6	17.4	1	15.9	1.6	18.1	3.8	19.4	2.8	18.7	1.6	17	2.6				
18.6	5.3	18.2	5.8	18.3	5.4	16.4	5.4	16.1	4.5	15.1	4.3	17.4	1.4	16.7	1.7	17.3	3.3	14.6	2.3	19.2	1.9	19.9	3				
17.1	3.9	20.1	6.3	16.3	5.2	16.1	5	13.4	4.7	16.3	6.1	13.6	2.4	18.6	3.1	19.6	2.4	16.3	3.2	18.9	2.2	19	3.2				
17.3	4.6	18.3	5.8	17	6	17	5.5	13.9	4	15.9	6	16.3	2.1	18.1	3.3	19.3	1.2	15.3	3	19.4	1.3	17.8	3.1				
17.8	3.6	17	4.9	17.1	5.9	17.3	5.9	13.5	5	15.9	5.5	17.4	2	17.3	1.2	20.7	2	15.9	3.3	18.1	2.3	19.7	2.9				
14.9	3.4	18.6	5.9	16	5.7	14.6	5.7	16.1	5.5	16.3	6.2	17.2	1	17.1	1.2	20.3	3.8	17.9	3.8	17.1	2	18.1	3.3				
17.3	3	18.3	4.7	14.1	6	18.1	4.5	16.6	3.3	16.4	4.1	17.5	1.4	16.3	1.7	18.2	2.1	18.9	3.2	16.9	2.5	18.3	3.5				
16.9	3.8	17.7	4.3	15.5	5	17.1	5	17	5.1	15.7	4.6	14.9	1.6	15.8	1.5	16.9	3.7	17.4	4.5	16.2	2.6	18.1	3				
19.9	4.3	16.9	4	17.1	4.3	18.8	3.9	14.9	5.3	14.3	4.8	14	2.2	16.2	3	18.6	3.2	17.7	3	16.9	2	19.9	4.6				
16.4	4.4	21.4	5.3	14.3	3.8	17.1	3.4	16.7	5.7	16.3	5.3	16.4	1.3	15.8	2.3	15.4	4	19.3	4.2	18.9	2.1	19.2	4				
17.7	5.2	19.7	6.3	16.9	2.8	17.3	4.7	17.9	5.1	15.1	4	18.1	1.4	14.9	1.6	17.2	4.9	19	2.8	17.4	2.5	19	3.7				
18.1	3.9	19.2	5	17.1	5.7	18	6.1																				

Estación Tambo 2013 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno				Primavera				Verano									
Enero	Febrero	Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre			
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin		
16.3	4	16.9	4.3	20.1	4.9	18	5.3	16	4.7	15.9	6.5	13.2	1.2	17.7	1.1	18.3	6.8	16.3	4.8	17.3	1.4	18.1	1
18.8	4.5	16.9	4.1	19.2	6.5	19.3	5	19.9	4.6	16.9	5.1	14.1	-2.1	16.1	2.1	18.1	6.3	16.1	5	19.4	3.4	16.1	1.2
19.1	3.5	16.6	3.7	19.4	5.4	16.7	5.4	17.9	5.3	16.2	5	15.1	2.3	17	1	17.6	7.4	18.3	5.1	19.9	2.7	14.2	1.4
17.9	3.9	21.3	3.4	18.1	5.1	19.2	5.2	19.6	5	16.9	5.3	15.3	3	18.1	1.1	17.4	6	17.4	3.4	18.9	3	15.2	2.5
18.1	3.5	18.1	3.5	19.3	6.4	19.7	4.3	16.3	4.7	14.1	5	16.1	-2.8	16.9	0.2	17.1	3.9	16.1	4.2	17.8	1.4	16.3	2.1
16.1	2.7	20.1	4.6	18.9	5.1	17.2	5	17	4.5	16.1	6.5	16.2	1.4	17.3	1	15.6	4.9	18.3	5	19.2	0.5	15.9	2
20.1	2.6	20.9	5	18	4	18.3	6.3	16.3	4.2	14	4.2	13.9	1.3	16.1	1.4	15.2	5.1	17	4.2	19.1	4	14.9	1.6
19.9	4.1	20.2	4.7	20.3	6.9	17.9	5.2	17.1	4	15.1	5	14.6	2.2	17.1	2	15.9	4.9	17.3	3.5	18.4	2.8	16.6	3
18.9	6	19.4	6	22.4	4.8	17.2	4.7	18.1	5.2	16.9	6	14.3	-0.2	17	3.3	16.5	5	17.7	4.1	19.3	2.5	15.9	3.3
20.1	6	18.3	5.1	20.1	4.7	15.9	4	19.4	3.3	17.1	6.2	14.1	1.2	16.1	2.4	16.8	5.2	14.2	5.9	17.8	4.1	15.1	2.8
17.1	4.6	17.4	4.1	19.9	4.2	13.9	4.5	18.3	3.4	16.3	6.4	15.9	-1.2	14.2	3.1	17.6	5.1	18.2	5	17.1	2.3	17.1	2.4
16.8	4.8	17	5.2	18.3	5	17.9	4	17.9	6.1	17.1	6.3	16.4	1.2	13.2	2.4	17.9	4.5	16.9	5.1	17.7	3.5	18.5	2.9
16.5	4.7	18.2	5	20.4	6	19.1	3	18.6	6.3	15.7	5.2	15.6	2.4	16.3	2.4	17.1	5.4	19.6	5.6	16.4	2.4	19.7	2
15.9	3.1	17.6	3.2	20.5	5.5	18.1	5.6	18	5.3	16.3	4.7	16	1.4	15.1	1.8	18.6	6	19.9	2	17.1	2.5	19.1	1.8
18	4.2	17.9	5.2	18.9	3.9	16.1	4.8	17.1	6	17.9	3.9	14.9	1.6	17.4	1	18.1	3	18.1	3.8	19.4	2.8	18.7	1.6
18	4.7	18.6	5.3	18.2	5.8	18.3	5.4	16.4	5.4	16.1	4.5	15.1	1.7	17.4	1.4	14.9	4	17.3	3.3	14.6	2.3	19.2	1.9
17.1	3.1	17.1	3.9	20.1	6.3	16.3	5.2	16.1	5	13.4	4.7	16.3	3.1	13.6	2.4	15.2	5.1	19.6	2.4	16.3	3.2	18.9	2.2
16.9	4.9	17.3	4.6	18.3	5.8	17	6	17	5.5	13.9	4	15.9	3.3	16.3	2.1	15.8	4.1	19.3	1.2	15.3	3	19.4	1.3
17	4.7	17.8	3.6	17	4.9	17.1	5.9	17.3	5.9	13.5	5	15.9	1.2	17.4	2	17.6	5.2	20.7	2	15.9	3.3	18.1	2.3
16	4.5	14.9	3.4	18.6	5.9	16	5.7	14.6	5.7	16.1	5.5	16.3	1.2	17.2	1	16.5	5.6	20.3	3.8	17.9	3.8	17.1	2
17.1	6	17.3	3	18.3	4.7	14.1	6	18.1	4.5	16.6	3.3	16.4	1.7	17.5	1.4	18.2	5.2	18.2	2.1	18.9	3.2	16.9	2.5
18.3	5	16.9	3.8	17.7	4.3	15.5	5	17.1	5	17	5.1	15.7	1.5	14.9	1.6	18	5.1	16.9	3.7	17.4	4.5	16.2	2.6
15.9	3.9	19.9	4.3	16.9	4	17.1	4.3	18.8	3.9	14.9	5.3	14.3	3	14	2.2	16.9	4.7	18.6	3.2	17.7	3	16.9	2
15.7	4.7	16.4	4.4	21.4	5.3	14.3	3.8	17.1	3.4	16.7	5.7	16.3	2.3	16.4	1.3	17.6	6.3	15.4	4	19.3	4.2	18.9	2.1
16.3	3.7	17.7	5.2	19.7	6.3	16.9	2.8	17.3	4.7	17.9	5.1	15.1	1.6	18.1	1.4	17.1	6	17.2	4.9	19	2.8	17.4	2.5
16.3	4.9	18.1	3.9	19.2	5	17.1	5.7	18	6.1	17.1	5.3	17.2	2.1	18	1	15.0	5.4	16.3	5	19.5	3	18.4	3.1
15.7	3.1	18.4	6	17.9	5.4	17.8	4.9	16.7	6	17	5.9	17	3	18.2	3.2	16.7	4	17.1	4.4	19.4	1.3	18.8	2
15.6	4.7	17.8	5.2	18.6	5.1	13	5.1	16.4	4.1	16.9	5.3	16.7	1.1	19.4	3.3	17.2	3.4	17.9	4.3	18.3	3.5	18.1	3
18.1	5.1		17	6.3	17.3	4.1	16.2	5	14.7	2.8	17.9	1.3	18.2	2.4	16.8	4.5	18	1.2	18.1	2.3	19.9	2.7	
17.2	3.2		18.7	6.1	17	5.6	17.2	5.1	16.7	5.7	16.9	1.5	17.6	1.4	16.9	5	19.9	0.1	18.9	2	19.1	3.7	
15.6	4.7		19.2	5			18.9	6.1				17	1.1	18.2	1.2			18.9	0.3			20.2	3.1

FUENTE: SENAMHI ESTACION TAMBO

Estación Tambo 2014 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno				Primavera				Verano									
Enero	Febrero	Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre			
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin		
18.1	3	18.3	4	16.9	4.3	20.1	4.9	18	5.3	16	4.7	15.9	1.1	13.2	1.2	17.7	6.8	17.7	5.6	16.3	4.8	17.3	1.4
18.4	4.2	18.8	4.5	16.9	4.1	19.2	6.5	19.3	5	19.9	4.6	16.9	2.1	14.1	-2.1	16.1	6.3	16.1	5.4	16.1	5	19.4	3.4
14.9	3.9	19.1	3.5	16.6	3.7	19.4	5.4	16.7	5.4	17.9	5.3	16.2	1	15.1	2.3	17	7.4	16.5	5.2	18.3	5.1	19.9	2.7
15.2	3.3	17.9	3.9	21.3	3.4	18.1	5.1	19.2	5.2	19.6	5	16.9	1.1	15.3	3	18.1	6	16.1	5	17.4	3.4	18.9	3
16.9	3	18.1	3.5	18.1	3.5	19.3	6.4	19.7	4.3	16.3	4.7	14.1	0.2	16.1	-2.8	16.9	3.9	17.3	4.9	16.1	4.2	17.8	1.4
19.7	3.2	16.1	2.7	20.1	4.6	18.9	5.1	17.2	5	17	4.5	16.1	1	16.2	1.4	17.3	4.9	15.8	4.6	18.3	5	19.2	0.5
19.1	3.8	20.1	2.6	20.9	5	18	4	18.3	6.3	16.3	4.2	14	1.4	13.9	1.3	16.1	5.1	14.6	5.2	17	4.2	19.1	4
18.3	3.1	19.9	4.1	20.2	4.7	20.3	5.9	17.9	5.2	17.1	4	15.1	2	14.6	2.2	17.1	4.9	14.9	5.6	17.3	3.5	18.4	2.8
17.9	3	18.9	6	19.4	6	22.4	4.8	17.2	4.7	18.1	5.2	16.9	3.3	14.3	-0.2	17	5	16.9	4.8	17.7	4.1	19.3	2.5
19	2.1	20.1	6	18.3	5.1	20.1	4.7	16.9	4	19.4	3.3	17.1	2.4	14.1	1.2	16.1	5.2	18.2	3.9	14.2	5.9	17.8	4.1
17	1.3	17.1	4.6	17.4	4.1	19.9	4.2	13.9	4.5	18.3	3.4	16.3	3.1	15.9	-1.2	14.2	5.1	17.8	4.1	18.2	5	17.1	2.3
17.9	2.3	16.8	4.8	17	5.2	18.3	5	17.9	4	17.9	6.1	17.1	2.4	16.4	1.2	13.2	4.5	17.5	6.3	16.9	6.1	17.7	3.5
18	2.5	16.5	4.7	18.2	5	20.4	6	19.1	3	18.6	6.3	15.7	2.4	15.6	2.4	16.3	5.4	17.2	5.9	19.6	5.6	16.4	2.4
17.1	2	15.9	3.1	17.6	3.2	20.5	5.5	18.1	5.6	18	5.3	16.3	1.8	16	1.4	15.1	6	15.9	4.7	19.9	2	17.1	2.5
17	2.6	18	4.2	17.9	5.2	18.9	3.9	16.1	4.8	17.1	6	17.9	1	14.9	1.6	17.4	3	15.7	4.3	18.1	3.8	19.4	2.8
19.9	3	18	4.7	18.6	5.3	18.2	5.8	18.3	5.4	16.4	5.4	16.1	1.4	16.1	1.7	17.4	4	18.9	5.2	17.3	3.3	14.6	2.3
19	3.2	17.1	3.1	17.1	3.9	20.1	6.3	16.3	5.2	16.1	5	13.4	2.4	16.3	3.1	13.6	5.1	16.2	5.6	19.6	2.4	16.3	3.2
17.8	3.1	16.9	4.9	17.3	4.6	18.3	5.8	17	6	17	5.5	13.9	2.1	15.9	3.3	16.3	4.1	17.3	5.8	19.3	1.2	15.3	3
19.7	2.9	17	4.7	17.8	3.6	17	4.9	17.1	5.9	17.3	5.9	13.5	2	15.9	1.2	17.4	5.2	14.8	6.2	20.7	2	15.9	3.3
18.1	3.3	16	4.5	14.9	3.4	18.6	5.9	16	5.7	14.6	5.7	16.1	1	16.3	1.2	17.2	5.6	15.3	6	20.3	3.8	17.9	3.8
18.3	3.5	17.1	6	17.3	3	18.3	4.7	14.1	6	18.1	4.5	16.6	1.4	16.4	1.7	17.5	5.2	15.8	5.6	18.2	2.1	18.9	3.2
18.1	3	16.3	5	16.9	3.8	17.7	4.3	15.5	5	17.1	5	17	1.6	15.7	1.5	14.9	5.1	15.1	4.8	16.9	3.7	17.4	4.5
19.9	4.6	15.9	3.9	18.9	4.3	16.9	4	17.1	4.3	18.8	3.9	14.9	2.2	14.3	3	14	4.7	16.2	4.1	18.6	3.2	17.7	3
19.2	4	15.7	4.7	16.4	4.4	21.4	5.3	14.3	3.8	17.1	3.4	16.7	1.3	16.3	2.3	16.4	6.3	16.8	3.7	15.4	4	19.3	4.2
19	3.7	16.3	3.7	17.7	5.2	19.7	6.3	16.9	2.8	17.3	4.7	17.9	1.4	15.1	1.6	18.1	6	17.3	4.6	17.2	4.9	19	2.8
18.9	3	16.3	4.9	18.1	3.9	19.2	5	17.1	5.7	18	6.1	17.1	1	17.2	2.1	18	5.4	17.1	5.1	16.3	5	19.5	3
18.7	3.9																						

Estación Cusicancha 2009 Temperatura (Máximo y Mínimo) °C																							
Verano		Otoño				Invierno								Primavera				Verano					
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
18	5.2	17.4	5.4	17.4	5.5	17.2	5.1	16.3	4.2	18.3	4.3	17.3	-1.8	18.4	-3.3	18.1	-0.6	18.1	-0.6	16.9	4.2	18.1	4.7
17.6	4.4	17.6	5.6	18.6	4.9	17.6	4.2	16.9	4.4	19.1	3.5	16.2	2.9	18.2	-3	17.8	-0.4	17.8	-0.4	17.2	4.5	17.4	4.3
17.1	4	18.3	6.1	18.2	5.3	16.8	5.8	16.1	5.2	18.2	6.4	15.4	1.7	18.1	-0.6	18.8	0.3	18.8	0.3	16.4	4	19.1	5.3
16.7	4.3	16.2	5	18.8	5.9	17.6	4.4	18.3	5.5	17.2	4.5	15.8	2.1	16	1	16.2	0.6	16.2	0.6	15.8	4.6	18.2	5
17	5.4	17.3	4.8	17.9	4.8	16.9	4.2	18.8	6	17.9	2.5	17.3	-1.9	17.8	1.6	16.8	1.4	16.8	1.4	15.2	4.9	18.8	4.8
16	4	18.4	5.6	17.8	5.4	17.8	5.1	17.4	5.3	17.2	1.9	16.2	-0.3	18.2	-2.2	17.2	1.3	17.2	1.3	17.1	4.6	19.3	5.4
16.4	3.8	18.1	5.8	17	5.1	17.4	5.3	17.8	3.6	18.4	2.3	14.4	-2.8	18.8	-3.1	17.7	1	17.7	1	16	4.3	18.7	5.6
15.1	4.3	16.8	5.2	16.8	5	17.2	4.7	16.3	3.8	19.6	1	16.2	-2.1	17.6	-0.3	16.9	1.8	16.9	1.8	16.4	4	17.9	5.8
14.7	4.1	17.2	4.9	16.4	5.6	17.4	5.8	17.4	3.2	19.4	2.4	14.3	0.8	18.2	-2.6	18.4	2.3	18.4	2.3	14.9	5.1	19.2	2.9
15.4	4.8	17.9	5.5	17.3	4.9	18.1	5.3	16.9	2.6	18.6	2.7	15.1	0.2	18.4	-2.9	18	2.5	18	2.5	14.6	4.8	18.8	4.2
16.2	4.3	18.2	5	17	4.7	17.5	5.1	18.9	2.1	18.1	1.5	16.9	1.3	18.6	-2.6	18.2	2	18.2	2	16.2	5	18	4.4
15.9	4.6	16.8	4.3	18.4	5.3	18.6	4.6	16.7	4.2	17.9	5.2	17.6	2.1	18.8	-3.1	17.5	2.7	17.5	2.7	17.3	5.2	19.1	2.1
17.1	4.8	17.9	4.7	18.6	5.5	18.7	4.1	17.3	5.2	19	4.8	18.3	-2.4	17.3	-3	17.1	3.4	17.1	3.4	18.4	4.1	18.7	2.8
16	4.9	18.4	5.6	17.5	5	17.9	5.2	16.9	4.7	18.3	5	18	-3.1	17.8	-2.9	16.9	4.3	16.9	4.3	17.9	2.9	18.1	3.1
15.6	3.8	18.8	6.1	18.2	5.6	18.3	5.4	17.5	4.3	17.8	4.8	17.2	-3.5	18	-2.8	16	4.6	16	4.6	18.2	2.7	17.2	3.6
15.3	4.2	18.2	6.4	15.6	4.9	17.6	4.8	18.1	4.1	17.6	4.6	17.4	-2.5	17.2	-3.1	17.4	5.2	17.4	5.2	18.4	3.8	19.3	4.7
15.5	4.7	17.8	5.5	13.7	5.2	17.1	5.2	17.3	4.6	18.1	4.8	17.8	-2.7	18	-2.9	16.8	4.8	16.8	4.8	19.8	1.4	19.8	5.2
16.2	5.2	18	5.8	13.2	4.7	15.8	3.8	18.2	3.8	18.5	5	18.1	-2.9	17.8	-1.5	15.4	5.5	15.4	5.5	18	1.9	16.9	4.6
16.8	5	18.3	5.4	14	4.5	14.6	4.2	16.5	3.6	19.3	5.2	18.6	-3.8	16.9	2.1	16.8	5.1	16.8	5.1	17.1	1.8	16.4	5.1
16.9	5.4	18.8	5.6	15.2	3.8	15.2	3.7	16.1	4.2	18.7	5.8	17.3	-3.5	17.3	1.9	15.8	3.2	15.8	3.2	17.2	3.4	17.2	4.2
17.4	4.9	17.3	5.8	14.9	4	14.8	4.2	17.4	2.2	18	6.2	18.2	-3.3	18.2	0.7	16.2	4.3	16.2	4.3	19.5	3.8	17.5	4.4
18.7	5.3	18.2	6.1	15.1	3.8	15.6	4	17.9	2.8	17.8	5	18.8	-3.6	17.8	-2.1	16.8	4.6	16.8	4.6	17.9	3.2	18	4.6
18.3	5	18.8	6.3	13	3.9	14.3	3.6	17	3.6	18.3	6	17.9	-3.8	18.3	-2	17	4.4	17	4.4	16.5	2.8	16.9	5.3
17.9	5.5	18	3.1	14.1	5.8	14.2	5.6	17.3	3.4	19.2	5.5	17.8	-3	18.6	-1.8	17.4	4.8	17.4	4.8	15.9	5.1	15.8	4.6
18.2	5.8	17.8	5.4	14.7	5.6	14.7	4.8	16.3	3	19.8	6.3	18.3	-2.8	17.3	-1.6	16	3.8	16	3.8	17.8	3.3	17.9	3.5
18.6	6	17.8	5.5	14.8	5.4	15.2	5.2	18.7	2.7	18.6	6.2	19.2	-3.1	18	-0.6	16.8	3.9	16.8	3.9	19.9	3.1	18.3	4
18.4	5.4	17.9	5.7	16.2	5.7	15.4	5.4	19.2	1.2	18.4	7.1	18.9	-3.4	18.2	1.2	18.4	4.8	18.4	4.8	14.5	4.3	18.5	4.3
17.4	5.3	18.6	5.6	17.5	6.1	16.5	5.8	19.4	-0.6	17.8	6.9	17.5	-2.9	18.6	1.4	17.4	4.2	17.4	4.2	14.5	5.4	19.5	4.6
18	5.5	17.1	6.2	16.1	6.1	18.1	-0.4	18.3	7.3	17	-3.1	18.9	0.8	18.1	3.9	18.1	3.9	18.1	3.9	16.6	6.6	18.3	5.1
18.3	5	18.8	5.9	16.7	5.8	17.6	0	18.5	7	18.5	-3.3	16.4	1.6	17.9	3.2	17.9	3.2	17.9	3.2	17.9	4.3	18	3.6
17.9	5.5	17.1	6.2	17.4	6.2	17.4	-0.9	18.1	-3.2	17.4	2	17.4	2	17.4	2	17.4	2	17.4	2	17.4	2	17.4	2

Estación Cusicancha 2010 Temperatura (Máximo y Mínimo) °C																							
Verano		Otoño				Invierno								Primavera				Verano					
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
17.8	4.1	16.3	4.9	18	5.2	17.4	5.4	17.4	5.5	15.8	3.5	16.3	0	18.3	-1.1	17.3	-1.8	18.4	4.3	18.1	-0.6	16.9	4.2
18.3	4.4	16.8	4.6	17.6	4.4	17.6	5.6	18.6	4.9	14.6	4.6	16.9	-0.4	19.1	-2.3	16.2	2.9	18.2	3.5	17.8	-0.4	17.2	4.5
17	5.2	17.4	5.3	17.1	4	18.3	6.1	18.2	5.3	15.2	5.2	16.1	0.3	18.2	-0.8	15.4	1.7	18.1	6.4	18.8	0.3	16.4	4
16.9	5.3	18.2	5.6	16.7	4.3	16.2	5	18.8	5.9	15.9	4.8	18.3	0.2	17.2	-2.3	15.8	2.1	16	4.5	16.2	0.6	15.8	4.6
18.8	4.9	17.3	5	17	5.4	17.3	4.8	17.9	4.8	16.2	4.2	18.8	-1.2	17.9	-2.1	17.3	-1.9	17.8	2.6	16.8	1.4	15.2	4.9
17.4	5	17.7	4.8	16	4	18.4	5.6	17.8	5.4	16.5	5.1	17.4	-1	17.2	-1.6	16.2	-0.3	18.2	1.9	17.2	1.3	17.1	4.6
18.3	5.4	18	5.3	16.4	3.8	18.1	5.8	17	5.1	15.7	4.8	17.8	-2	18.4	-2.5	14.4	-2.8	18.8	2.3	17.7	1	16	4.3
16.8	5.2	16.2	5.5	15.1	4.3	16.8	5.2	16.8	5	15.4	4.2	16.3	-0.8	19.6	-3.2	16.2	-2.1	17.6	1	16.9	1.8	16.4	4
17.4	5.5	17.3	5.8	14.7	4.1	17.2	4.9	16.4	5.6	16.1	5.4	17.4	1	19.4	-3.3	14.3	0.8	18.2	2.4	18.4	2.3	14.9	5.1
17.8	5.1	18.4	6	15.4	4.8	17.9	5.5	17.3	4.9	16.6	4.6	18.9	2.6	18.6	-3.7	15.1	0.2	18.4	2.7	18	2.5	14.6	4.8
15.6	4.8	17	6.2	16.2	4.3	18.2	5	17	4.7	17.1	4.3	18.9	2	18.1	-3.9	16.9	1.3	18.6	1.5	18.2	2	16.2	5
15.9	4.4	16.9	4.8	15.9	4.6	16.8	4.3	18.4	5.3	18.4	5.2	16.7	0.7	17.9	-3.3	17.6	2.1	18.8	5.2	17.5	2.7	17.3	5.2
16.4	5	17.6	5.8	17.1	4.8	17.9	4.7	18.6	5.5	18.2	5.6	17.3	-1	19	-3.1	18.3	-2.4	17.3	4.8	17.1	3.4	18.4	4.1
17.2	4.6	16.3	4.9	16	4.9	18.4	5.6	17.5	5	17.8	5.8	16.9	-1.3	18.3	-3.6	18	-3.1	17.8	5	16.9	4.3	17.9	2.9
17	4	17.4	5.4	15.6	3.8	18.8	6.1	18.2	5.6	17.6	4.8	17.5	-0.8	17.8	-2.8	17.2	-3.5	18	4.8	16	4.6	18.2	2.7
17.4	3.9	17	5.2	15.3	4.2	18.2	6.4	15.6	4.9	16.2	4.2	18.1	-0.3	17.6	-2	17.4	-2.5	17.2	4.6	17.4	5.2	18.4	3.8
16.2	4.3	18.3	4.9	15.5	4.7	17.8	5.5	13.7	5.2	14.6	3.9	17.3	-0.5	18.1	-1.6	17.8	-2.7	18	4.8	16.8	4.8	19.8	1.4
15.9	4.8	17.8	4	16.2	5.2	18	5.8	13.2	4.7	14.2	4.6	18.2	-0.4	18.5	-0.8	18.1	-2.9	17.8	5	15.4	5.5	18	1.9
16.8	4	18.2	5.1	16.8	5	18.3	5.4	14	4.5	13.8	4.1	16.5	-1	19.3	-1	18.6	-3.8	16.9	5.2	16.8	5.1	17.1	1.8
17.1	4.6	17.6	4	16.9	5.4	18.8	5.6	15.2	3.8	15.4	3.8	16.1	-1.2	18.7	-1.4	17.3	-3.5	17.3	5.8	15.8	3.2	17.2	3.4
16.3	3.9	17.9	4.6	17.4	4.9	17.3	5.8	14.9	4	13.8	4.8	17.4	-1.3	18	-3.8	18.2	-3.3	18.2	6.2	16.2	4.3	19.5	3.8
16.9	4.5	18.3	3.9	18.7	5.3	18.2	6.1	15.1	3.8	14.9	3.9	17.9	-2.8	17.8	-2.7	18.8	-3.6	17.8	5	16.8	4.6	17.9	3.2
17.2	4.6	18.5	4.3	18.3	5	18.8	6.3	13	3.9	14.6	4.5	17	-2	18.3	-2.6	17.9	-3.8	18.3	6	17	4.4	16.5	2.8
18.3	5	17.3	3.2	17.9	5.5	18	3.1	14.1	5.8	14.3	4.8	17.3	-1.8	19.2	-3.4	17.8	-3	18.6	5.5	17.4	4.8	15.9	5.1
18	5.6	16.9	4.4	18.2	5.8	17.8	5.4	14.7	5.6	13.9	5.2	16.3	-0.8	19.8	-3.2	18.3	-2.8	17.3	6.3	16	3.8	17.8	3.3
16.																							

Estación Cusicancha 2011 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño						Invierno						Primavera						Verano			
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
18.1	4.7	17.8	4.1	16.3	4.9	18	5.2	17.4	5.4	17.4	5.5	16.7	-1.1	16.3	-1.8	18.3	4.3	17.3	1.6	18.4	3.3	18.1	0.6
17.4	4.3	18.3	4.4	16.8	4.6	17.6	4.4	17.6	5.6	18.6	4.9	18.2	-2.3	16.9	2.9	19.1	3.5	16.2	2.7	18.2	3	17.8	0.4
19.1	5.3	17	5.2	17.4	5.3	17.1	4	18.3	6.1	18.2	5.3	17.8	-0.8	16.1	1.7	18.2	6.4	15.4	2.1	18.1	0.6	18.8	0.3
18.2	5	16.9	5.3	18.2	5.6	16.7	4.3	16.2	5	18.8	5.9	17.6	-2.3	18.3	2.1	17.2	4.5	15.8	2.3	16	1	16.2	0.6
18.8	4.8	18.8	4.9	17.3	5	17	5.4	17.3	4.8	17.9	4.8	17.2	-2.1	18.8	-1.9	17.9	2.5	17.3	1.8	17.8	1.6	16.8	1.4
19.3	5.4	17.4	5	17.7	4.8	16	4	18.4	5.6	17.8	5.4	16.8	-1.6	17.4	-0.3	17.2	1.9	16.2	1.2	18.2	2.2	17.2	1.3
18.7	5.6	18.3	5.4	18	5.3	16.4	3.8	18.1	5.8	17	5.1	16.4	-2.5	17.8	-2.8	18.4	2.3	14.4	0.8	18.8	3.1	17.7	1
17.9	5.8	16.8	5.2	16.2	5.5	15.1	4.3	16.8	5.2	16.8	5	15.9	-3.2	16.3	-2.1	19.6	1	16.2	2.4	17.6	0.3	16.9	1.8
19.2	2.9	17.4	5.5	17.3	5.8	14.7	4.1	17.2	4.9	16.4	5.6	15.7	-3.3	17.4	0.8	19.4	2.4	14.3	1.6	18.2	2.6	18.4	2.3
18.8	4.2	17.8	5.1	16.4	6	15.4	4.8	17.9	5.5	17.3	4.9	16.2	-3.7	16.9	0.2	18.6	2.7	15.1	2.1	18.4	2.9	18	2.5
18	4.4	15.6	4.8	17	6.2	16.2	4.3	18.2	5	17	4.7	16.7	-3.9	18.9	1.3	18.1	1.5	16.9	1.4	18.6	2.6	18.2	2
19.1	2.1	15.9	4.4	16.9	4.8	15.9	4.6	16.8	4.3	18.4	5.3	17.4	-3.3	16.7	2.1	17.9	5.2	17.6	2.3	18.8	3.1	17.5	2.7
18.7	2.8	16.4	5	17.6	5.8	17.1	4.8	17.9	4.7	18.6	5.5	17.9	-3.1	17.3	-2.4	19	4.8	18.3	2.6	17.3	3	17.1	3.4
18.1	3.1	17.2	4.6	16.3	4.9	16	4.9	18.4	5.6	17.5	5	18.1	-3.6	16.9	-3.1	18.3	5	18	2.7	17.8	2.9	16.9	4.3
17.2	3.6	17	4	17.4	5.4	15.6	3.8	18.8	8.1	18.2	5.6	18.4	-2.8	17.5	-3.5	17.8	4.8	17.2	2.3	18	2.8	16	4.6
19.3	4.7	17.4	3.9	17	5.2	15.3	4.2	18.2	6.4	15.6	4.9	17.6	-2	18.1	-2.5	17.6	4.6	17.4	3.6	17.2	3.1	17.4	5.2
19.8	5.2	16.2	4.3	18.3	4.9	15.5	4.7	17.8	5.5	13.7	5.2	16.8	-1.6	17.3	-2.7	18.1	4.8	17.8	3.2	18	2.9	16.8	4.8
16.9	4.6	15.9	4.8	17.8	4	16.2	5.2	18	5.8	13.2	4.7	16.2	-0.8	18.2	-2.9	18.5	5	18.1	2.8	17.8	1.5	15.4	5.5
16.4	5.1	16.8	4	18.2	5.1	16.8	5	18.3	5.4	14	4.5	15.9	-1	16.5	-3.8	19.3	5.2	18.6	3.6	16.9	2.1	16.8	5.1
17.2	4.2	17.1	4.6	17.6	4	16.9	5.4	18.8	5.6	15.2	3.8	16.5	-1.4	16.1	-3.5	18.7	5.8	17.3	3.4	17.3	1.9	15.8	3.2
17.5	4.4	16.3	3.9	17.9	4.6	17.4	4.9	17.3	5.8	14.9	4	17.2	-3.8	17.4	-3.3	18	6.2	18.2	3.8	18.2	0.7	16.2	4.3
18	4.6	16.9	4.5	18.3	3.9	18.7	5.3	18.2	6.1	15.1	3.8	17.4	-2.7	17.9	-3.6	17.8	5	18.8	2.8	17.8	2.1	16.8	4.6
16.9	5.3	17.2	4.6	18.5	4.3	18.3	5	18.8	6.3	13	3.9	16.9	-2.6	17	-3.8	18.3	6	17.9	2.6	18.3	2	17	4.4
15.8	4.6	18.3	5	17.3	3.2	17.9	5.5	18	3.1	14.1	5.8	16.2	-3.4	17.3	-3	19.2	5.5	17.8	2.2	18.6	1.8	17.4	4.8
17.9	3.5	18	5.6	16.9	4.4	18.2	5.8	17.8	5.4	14.7	5.6	15.9	-3.2	16.3	-2.8	19.8	6.3	18.3	2.9	17.3	1.6	16	3.8
18.3	4	16.3	5	17	3.8	18.6	6	17.8	5.5	14.8	5.4	15.7	-3.7	18.7	-3.1	18.6	6.2	19.2	3.2	18	0.6	16.8	3.8
18.5	4.3	17.9	4.8	18.3	4.1	18.4	5.4	17.9	5.7	16.2	5.7	15.2	-3.2	19.2	-3.4	18.4	7.1	18.9	2.8	18.2	1.2	18.4	4.8
19.5	4.6	18.4	5.2	16.6	4.5	17.4	5.3	18.6	5.6	17.5	6.1	14.8	-3.1	19.4	-2.9	17.8	6.9	17.5	2.7	18.6	1.4	17.4	4.2
18.3	5.1	18.2	4.7	18	5.5	18.9	5.9	17.1	6.2	15.8	-2.8	18.1	-3.1	18.3	7.3	17	2.6	18.9	0.8	18.1	0.8	18.1	3.9
18	3.6	17.1	4.9	18.2	5.8	19.2	6.3	16.8	5.9	16.2	-3.2	17.6	-3.3	18.5	7	18.5	3.1	16.4	1.6	17.9	3.2	17.4	4.2
18.3	4	17.9	5.3	17.9	5.3	18.4	5.8	18.4	5.8	16.7	-0.2	17.4	-3.2	17.4	-3.2	18.1	2.8	18.1	2.8	18.1	2.8	17.4	4.2

FUENTE: SENAMHI ESTACION CUSICANCHA

Estación Cusicancha 2012 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño						Invierno						Primavera						Verano			
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
16.9	4.2	18.1	4.7	17.8	4.1	16.3	4.9	18	5.2	17.4	5.4	17.4	-1.8	18.1	0	16.3	4.2	16.3	4.3	17.3	1.8	18.4	3.3
17.2	4.5	17.4	4.3	18.3	4.4	16.8	4.6	17.6	4.4	17.6	5.6	18.6	2.9	17.4	-0.4	16.9	4.4	19.1	3.5	16.2	2.9	18.2	3
16.4	4	19.1	5.3	17	5.2	17.4	5.3	17.1	4	18.3	6.1	18.2	1.7	16.8	0.3	16.1	5.2	18.2	6.4	15.4	1.7	18.1	0.6
15.8	4.6	18.2	5	16.9	5.3	18.2	5.6	16.7	4.3	16.2	5	18.8	2.1	17.6	0.2	18.3	5.5	17.2	4.5	15.8	2.1	16	1
15.2	4.9	18.8	4.8	18.8	4.9	17.3	5	17	5.4	17.3	4.8	17.9	-1.9	17.2	-1.2	18.8	6	17.9	2.5	17.3	1.9	17.8	1.6
17.1	4.6	19.3	5.4	17.4	5	17.7	4.8	16	4	18.4	5.6	17.8	-0.3	16.9	-1	17.4	5.3	17.2	1.9	16.2	0.3	18.2	2.2
16	4.3	18.7	5.6	18.3	5.4	18	5.3	16.4	3.8	18.1	5.8	17	-2.8	17.2	-2	17.8	3.6	18.4	2.3	14.4	2.8	18.8	3.1
16.4	4	17.9	5.8	16.8	5.2	16.2	5.5	15.1	4.3	16.8	5.2	16.8	-2.1	16.7	-0.8	16.3	3.8	19.6	1	16.2	2.1	17.6	0.3
14.9	5.1	19.2	2.9	17.4	5.5	17.3	5.8	14.7	4.1	17.2	4.9	16.4	0.8	15.9	1	17.4	3.2	19.4	2.4	14.3	0.8	18.2	2.6
14.6	4.8	18.8	4.2	17.8	5.1	18.4	6	15.4	4.8	17.9	5.5	17.3	0.2	17.8	2.6	16.9	2.8	18.6	2.7	15.1	0.2	18.4	2.9
16.2	5	18	4.4	15.6	4.8	17	6.2	16.2	4.3	18.2	5	17	1.3	17.4	2	18.9	2.1	18.1	1.5	16.9	1.3	18.6	2.6
17.3	5.2	19.1	2.1	15.9	4.4	16.9	4.8	15.9	4.8	16.8	4.3	18.4	2.1	18.6	0.7	18.7	4.2	17.9	5.2	17.6	2.1	18.8	3.1
18.4	4.1	18.7	2.8	16.4	5	17.6	5.8	17.1	4.8	17.9	4.7	18.6	-2.4	17.5	-1	17.3	5.2	19	4.8	18.3	2.4	17.3	3
17.9	2.9	18.1	3.1	17.2	4.6	16.3	4.9	16	4.9	18.4	5.6	17.5	-3.1	16.4	-1.3	16.9	4.7	18.3	5	18	3.1	17.8	2.9
18.2	2.7	17.2	3.6	17	4	17.4	5.4	15.6	3.8	18.8	6.1	18.2	-3.5	17.6	-0.8	17.5	4.3	17.8	4.8	17.2	3.5	18	2.8
18.4	3.8	19.3	4.7	17.4	3.9	17	5.2	15.3	4.2	18.2	6.4	15.6	-2.5	16.5	-0.3	18.1	4.1	17.6	4.6	17.4	2.5	17.2	3.1
19.8	1.4	19.8	5.2	16.2	4.3	18.3	4.9	15.5	4.7	17.8	5.5	13.7	-2.7	14.6	-0.5	17.3	4.6	18.1	4.8	17.8	2.7	18	2.9
18	1.9	16.9	4.6	15.9	4.8	17.8	4	16.2	5.2	18	5.8	13.2	-2.9	15.2	-0.4	18.2	3.8	18.5	5	18.1	2.9	17.8	1.5
17.1	1.8	16.4	5.1	16.8	4	18.2	5.1	16.8	5	18.3	5.4	14	-3.8	15.8	-1	16.5	3.6	19.3	5.2	18.6	3.8	16.9	2.1
17.2	3.4	17.2	4.2	17.1	4.6	17.6	4	16.9	5.4	18.8	5.6	15.2	-3.5	15.6	-1.2	16.1	4.2	18.7	5.8	17.3	3.5	17.3	1.9
19.5	3.8	17.5	4.4	16.3	3.9	17.9	4.6	17.4	4.9	17.3	5.8	14.9	-3.3	14.8	-1.3	17.4	2.2	18	6.2	18.2	3.3	18.2	0.7
17.9	3.2	18	4.6	16.9	4.5	18.3	3.9	18.7	5.3	18.2	6.1	15.1	-3.6	15.3	-2.8	17.9	2.8	17.8	5	18.8	3.6	17.8	2.1
16.5	2.8	16.9	5.3	17.2	4.6	18.5	4.3	18.3	5	18.8	6.3	13	-3.8	14.6	-2	17	3.6	18.3	6	17.9	3.8	18.3	2
15.9	5.1	15.8	4.6	18.3	5	17.3	3.2	17.9	5.5	18	3.1	14.1	-3	14.2	-1.8	17.3	3.4	19.2	5.5	17.8	3	18.6	1.8
17.8	3.3	17.9	3.5	18	5.6	16.9	4.4	18.2	5.8	17.8	5.4	14.7	-2.8	14.6	-0.8	16.3	3						

Estación Cusicancha 2013 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno				Primavera				Verano									
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
18.1	0.6	16.9	4.2	18.1	4.7	17.8	4.1	16.3	4.9	18	5.2	17.4	0	17.4	-1.8	16.7	5.5	16.3	4.2	18.3	1.1	17.3	1.8
17.8	0.4	17.2	4.5	17.4	4.3	18.3	4.4	16.8	4.6	17.6	4.4	17.6	-0.4	18.6	2.9	18.5	4.9	18.9	4.4	19.1	2.3	16.2	2.9
18.8	0.3	16.4	4	19.1	5.3	17	5.2	17.4	5.3	17.1	4	18.3	0.3	18.2	1.7	17.9	5.3	16.1	5.2	18.2	0.8	15.4	1.7
16.2	0.6	15.8	4.6	18.2	5	16.9	5.3	18.2	5.6	16.7	4.3	16.2	0.2	18.8	2.1	16.9	5.9	18.3	5.5	17.2	2.3	15.8	2.1
16.8	1.4	15.2	4.9	18.8	4.8	18.8	4.9	17.3	5	17	5.4	17.3	-1.2	17.9	-1.9	17.3	4.8	18.8	6	17.9	2.1	17.3	1.9
17.2	1.3	17.1	4.6	19.3	5.4	17.4	5	17.7	4.8	16	4	18.4	-1	17.8	-0.3	17.5	5.4	17.4	5.3	17.2	1.6	16.2	0.3
17.7	1	16	4.3	18.7	5.6	18.3	5.4	18	5.3	16.4	3.8	18.1	-2	17	-2.8	17.1	5.1	17.8	3.6	18.4	2.5	14.4	2.8
16.9	1.8	16.4	4	17.9	5.8	16.8	5.2	16.2	5.5	15.1	4.3	16.8	-0.8	16.8	-2.1	16.9	5	16.3	3.8	19.6	3.2	16.2	2.1
18.4	2.3	14.9	5.1	19.2	2.9	17.4	5.5	17.3	5.8	14.7	4.1	17.2	1	16.4	0.8	17.3	5.6	17.4	3.2	19.4	3.3	14.3	0.8
18	2.5	14.6	4.8	18.8	4.2	17.8	5.1	18.4	6	15.4	4.8	17.9	2.6	17.3	0.2	17.6	4.9	16.9	2.6	18.6	3.7	15.1	0.2
18.2	2	16.2	5	18	4.4	15.6	4.8	17	6.2	16.2	4.3	18.2	2	17	1.3	17.8	4.7	18.9	2.1	18.1	3.9	16.9	1.3
17.5	2.7	17.3	5.2	19.1	2.1	15.9	4.4	16.9	4.8	15.9	4.6	16.8	0.7	18.4	2.1	18.1	5.3	16.7	4.2	17.9	3.3	17.6	2.1
17.1	3.4	18.4	4.1	18.7	2.8	16.4	5	17.6	5.8	17.1	4.8	17.9	-1	18.6	-2.4	18.3	5.5	17.3	5.2	19	3.1	18.3	2.4
16.9	4.3	17.9	2.9	18.1	3.1	17.2	4.6	16.3	4.9	16	4.9	18.4	-1.3	17.5	-3.1	17.6	5	16.9	4.7	18.3	3.6	18	3.1
16	4.6	18.2	2.7	17.2	3.6	17	4	17.4	5.4	15.8	3.8	18.8	-0.8	18.2	-3.5	16.9	5.6	17.5	4.3	17.8	2.8	17.2	3.5
17.4	5.2	18.4	3.8	19.3	4.7	17.4	3.9	17	5.2	15.3	4.2	18.2	-0.3	15.6	-2.5	16.7	4.9	18.1	4.1	17.6	2	17.4	2.5
16.8	4.8	19.8	1.4	19.8	5.2	16.2	4.3	18.3	4.9	15.5	4.7	17.8	-0.5	13.7	-2.7	15.8	5.2	17.3	4.6	18.1	1.6	17.8	2.7
15.4	5.5	18	1.9	16.9	4.6	15.9	4.8	17.8	4	16.2	5.2	18	-0.4	13.2	-2.9	15.7	4.7	18.2	3.8	18.5	0.8	18.1	2.9
16.8	5.1	17.1	1.8	16.4	5.1	16.8	4	18.2	5.1	16.8	5	18.3	-1	14	-3.8	14.8	4.5	16.5	3.6	19.3	1	18.6	3.8
15.8	3.2	17.2	3.4	17.2	4.2	17.1	4.8	17.6	4	16.9	5.4	18.8	-1.2	15.2	-3.5	14.6	3.8	16.1	4.2	18.7	1.4	17.3	3.5
16.2	4.3	19.5	3.8	17.5	4.4	16.3	3.9	17.9	4.6	17.4	4.9	17.3	-1.3	14.9	-3.3	14.9	4	17.4	2.2	18	3.8	18.2	3.3
16.8	4.6	17.9	3.2	18	4.6	16.9	4.5	18.3	3.9	18.7	5.3	18.2	-2.8	15.1	-3.6	15.1	3.8	17.9	2.8	17.8	2.7	18.8	3.6
17	4.4	16.5	2.8	16.9	5.3	17.2	4.6	18.5	4.3	18.3	5	18.8	-2	13	-3.8	13.8	3.9	17	3.6	18.3	2.6	17.9	3.8
17.4	4.8	15.9	5.1	15.8	4.6	18.3	5	17.3	3.2	17.9	5.5	18	-1.8	14.1	-3	14.2	5.8	17.3	3.4	19.2	3.4	17.8	3
16	3.8	17.8	3.3	17.9	3.5	18	5.6	16.9	4.4	18.2	5.8	17.8	-0.8	14.7	-2.8	14.6	5.6	16.3	3	19.8	3.2	18.3	2.8
16.8	3.9	19.9	3.1	18.3	4	16.3	5	17	3.8	18.6	6	17.6	-1.1	14.8	-3.1	15.1	5.4	18.7	2.7	18.6	3.7	19.2	3.1
18.4	4.8	14.5	4.3	18.5	4.3	17.9	4.8	18.3	4.1	18.4	5.4	17.9	-0.6	16.2	-3.4	15.8	5.7	19.2	1.2	18.4	3.2	18.9	3.4
17.4	4.2	14.5	5.4	19.5	4.6	18.4	5.2	16.6	4.5	17.4	5.3	18.6	0	17.5	-2.9	16.9	6.1	19.4	-0.6	17.8	3.1	17.5	2.9
18.1	3.9	0	0	18.3	5.1	17.5	4.4	18.2	4.7	18	5.5	18.9	-0.2	17.1	-3.1	17.2	6.2	18.1	-0.4	18.3	2.8	17	3.1
17.9	3.2	0	2013-0:	18	3.6	18	5.4	17.1	4.9	17.9	5.5	19.2	1	16.8	-3.3	16.9	5.9	17.6	0	18.5	3.2	18.5	3.2
17.4	4.2	18.1	4.7	18.3	4	0	0	17.9	5.3	0	0	18.4	-0.2	17.1	-3.2	0	0	17.4	-0.9	0	0	18.1	3.3

FUENTE: SENAMHI ESTACION CUSICANCHA

Estación Cusicancha 2014 Temperatura (Máximo y Mínima) °C																							
Verano		Otoño				Invierno				Primavera				Verano									
Enero	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
18.4	3.3	18.1	-0.6	16.9	4.2	18.1	4.7	17.8	4.1	16.3	4.9	18	-1.8	17.4	0	17.4	5.5	16.8	5.5	16.3	4.2	18.3	1.1
18.2	3	17.8	-0.4	17.2	4.5	17.4	4.3	18.3	4.4	16.8	4.6	17.6	2.9	17.6	-0.4	18.6	4.9	17.6	4.9	16.9	4.4	19.1	2.3
18.1	0.6	18.8	0.3	16.4	4	19.1	5.3	17	5.2	17.4	5.3	17.1	1.7	18.3	0.3	18.2	5.3	17.5	5.3	16.1	5.2	18.2	-0.8
16	1	16.2	0.6	15.8	4.6	18.2	5	16.9	5.3	18.2	5.6	16.7	2.1	16.2	0.2	18.8	5.9	18.2	5.9	18.3	5.5	17.2	2.3
17.8	1.6	16.8	1.4	16.2	4.9	18.8	4.8	18.8	4.9	17.3	5	17	-1.9	17.3	-1.2	17.9	4.8	17.2	4.8	18.8	6	17.9	2.1
18.2	2.2	17.2	1.3	17.1	4.6	19.3	5.4	17.4	5	17.7	4.8	16	-0.3	18.4	-1	17.8	5.4	18.1	5.4	17.4	5.3	17.2	1.6
18.8	3.1	17.7	1	16	4.3	18.7	5.6	18.3	5.4	18	5.3	16.4	-2.8	18.1	-2	17	5.1	17.8	5.1	17.8	3.6	18.4	2.5
17.6	0.3	16.9	1.8	16.4	4	17.9	5.8	16.8	5.2	16.2	5.5	15.1	-2.1	16.8	-0.8	16.8	5	17.2	5	16.3	3.8	19.6	3.2
18.2	2.6	18.4	2.3	14.9	5.1	19.2	2.9	17.4	5.5	17.3	5.8	14.7	0.8	17.2	1	16.4	5.6	17.5	5.6	17.4	3.2	19.4	3.3
18.4	2.9	18	2.5	14.6	4.8	18.8	4.2	17.8	5.1	18.4	6	15.4	0.2	17.9	2.6	17.3	4.9	16.9	4.9	16.9	2.6	18.6	3.7
18.6	2.6	18.2	2	16.2	5	18	4.4	15.6	4.8	17	6.2	16.2	1.3	18.2	2	17	4.7	17.5	4.7	18.9	2.1	18.1	3.9
18.8	3.1	17.5	2.7	17.3	5.2	19.1	2.1	15.9	4.4	16.9	4.8	15.9	2.1	16.8	0.7	18.4	5.3	18.1	5.3	16.7	4.2	17.9	3.3
17.3	3	17.1	3.4	18.4	4.1	18.7	2.8	18.4	5	17.6	5.8	17.1	-2.4	17.9	-1	18.6	5.5	18.4	5.5	17.3	5.2	19	3.1
17.8	2.9	16.9	4.3	17.9	2.9	18.1	3.1	17.2	4.6	16.3	4.9	16	-3.1	18.4	-1.3	17.5	5	18.5	5	16.9	4.7	18.3	3.8
18	2.8	16	4.6	18.2	2.7	17.2	3.6	17	4	17.4	5.4	15.6	-3.5	18.8	-0.8	18.2	5.6	17.9	5.6	17.5	4.3	17.8	2.8
17.2	3.1	17.4	5.2	18.4	3.8	19.3	4.7	17.4	3.9	17	5.2	15.3	-2.5	18.2	-0.3	15.6	4.9	17.4	4.9	18.1	4.1	17.6	2
18	2.9	16.8	4.8	19.8	1.4	19.8	5.2	16.2	4.3	18.3	4.9	15.5	-2.7	17.8	-0.5	13.7	5.2	16.8	5.2	17.3	4.6	18.1	1.6
17.8	1.5	15.4	5.5	18	1.9	16.9	4.6	15.9	4.8	17.8	4	16.2	-2.9	18	-0.4	13.2	4.7	16.2	4.7	18.2	3.8	18.5	0.8
16.9	2.1	16.8	5.1	17.1	1.8	16.4	5.1	16.8	4	18.2	5.1	16.8	-3.8	18.3	-1	14	4.5	15.9	4.5	16.5	3.6	19.3	1
17.3	1.9	15.8	3.2	17.2	3.4	17.2	4.2	17.1	4.6	17.6	4	16.9	-3.5	18.8	-1.2	15.2	3.8	16.4	3.8	16.1	4.2	17.8	1.4
18.2	0.7	16.2	4.3	19.5	3.8	17.5	4.4	16.3	3.9	17.9	4.6	17.4	-3.3	17.3	-1.3	14.9	4	16.8	4	17.4	2.2	18	3.8
17.8	2.1	16.8	4.6	17.9	3.2	18	4.6	16.9	4.5	18.3	3.9	18.7	-3.6	18.2	-2.8	15.1	3.8	17.1	3.8	17.9	2.8	17.8	2.7
18.3	2	17	4.4	18.5	2.8	16.9	5.3	17.2	4.6	18.5	4.3	18.3	-3.8	18.8	-2	13	3.9	15.5	3.9	17	3.6	18.3	2.6
18.6	1.8	17.4	4.8	15.9	5.1	15.8	4.6	18.3	5	17.3	3.2	17.9	-3	18	-1.8	14.1	5.8	14.6	5.8	17.3	3.4	19.2	3.4
17.3	1.6	16	3.8	17.8	3.3	17.9	3.5	18	5.6	16.9	4.4	18.2	-2.8	17.8	-0.8	14.7	5.6	14.9	5.6	16.3	3		

REALIZADO POR: B/Ing. FRANCIS SANTIAGO GOETENDIA TORRES
B/Ing. VICTORINO PEREZ QUISPE

ANEXO Z3

ESTACIÓN CUSICANCHA				
AÑO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
2009			9.23	10.27
2010	11.14	11.11	8.90	9.71
2011	10.92	11.26	8.56	8.52
2012	10.67	11.01	8.98	10.64
2013	10.19	11.15	8.96	10.56
2014	9.99	10.90		

ESTACIÓN TAMBO				
AÑO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
2009		10.38	10.04	11.13
2010	11.42	10.26	10.02	10.20
2011	11.08	10.41	9.61	10.02
2012	11.04	10.88	9.56	10.36
2013	10.89	11.44	9.46	10.52
2014	10.22	11.73		

TRATAMIENTOS	ESTACIONES								SUMA YY
	ESTACION TAMBO (01)				ESTACION CUSICANCHA (02)				
	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	
2007		10.38	10.04	11.13			9.23	10.27	51.05
2008	11.42	10.26	10.02	10.20	11.14	11.11	8.90	9.71	82.76
2009	11.08	10.41	9.61	10.02	10.92	11.26	8.56	8.52	80.37
2010	11.04	10.88	9.56	10.36	10.67	11.01	8.98	10.64	83.13
2011	10.89	11.44	9.46	10.52	10.19	11.15	8.96	10.56	83.17
2012	10.22	11.73			9.99	10.90			42.84
SUMA XX	54.65	65.10	48.69	52.24	52.91	55.42	44.62	49.70	423.33

ANALISIS DE VARIANZA				
Fuentes de Variación	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Fc
Tratamientos	t - 1	$\sum y_i^2/r. - y..^2/r$	SCT/GLT	CMT/CME
Bloques	b - 1	$\sum y_{ij}^2/b. - y..^2/r$	SCB/GLB	SCB/CME
Error Experimental	(t-1) (b-1)	SC(total)-Sc(tto) - SC(blo)	SCE/GLE	
Total	r - 1	$\sum y_{ijk}^2 - y..^2/r$		

FUENTE: Elaboracion propia por los tesisas

REALIZADO POR: B/Ing. FRANCIS SANTIAGO GOETENDIA TORRES
 B/Ing. VICTORINO PEREZ QUISPE

ANEXO Z4

ESTACIÓN CUSICANCHA

AÑO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
2009			9.23	10.27	9.75
2010	11.14	11.11	8.90	9.71	10.21
2011	10.92	11.26	8.56	8.52	9.81
2012	10.67	11.01	8.98	10.64	10.32
2013	10.19	11.15	8.96	10.56	10.22
2014	9.99	10.90			10.44

ESTACIÓN TAMBO

AÑO	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO
2009		10.38	10.04	11.13	10.52
2010	11.42	10.26	10.02	10.20	10.48
2011	11.08	10.41	9.61	10.02	10.28
2012	11.04	10.88	9.56	10.36	10.46
2013	10.89	11.44	9.46	10.52	10.58
2014	10.22	11.73			10.98

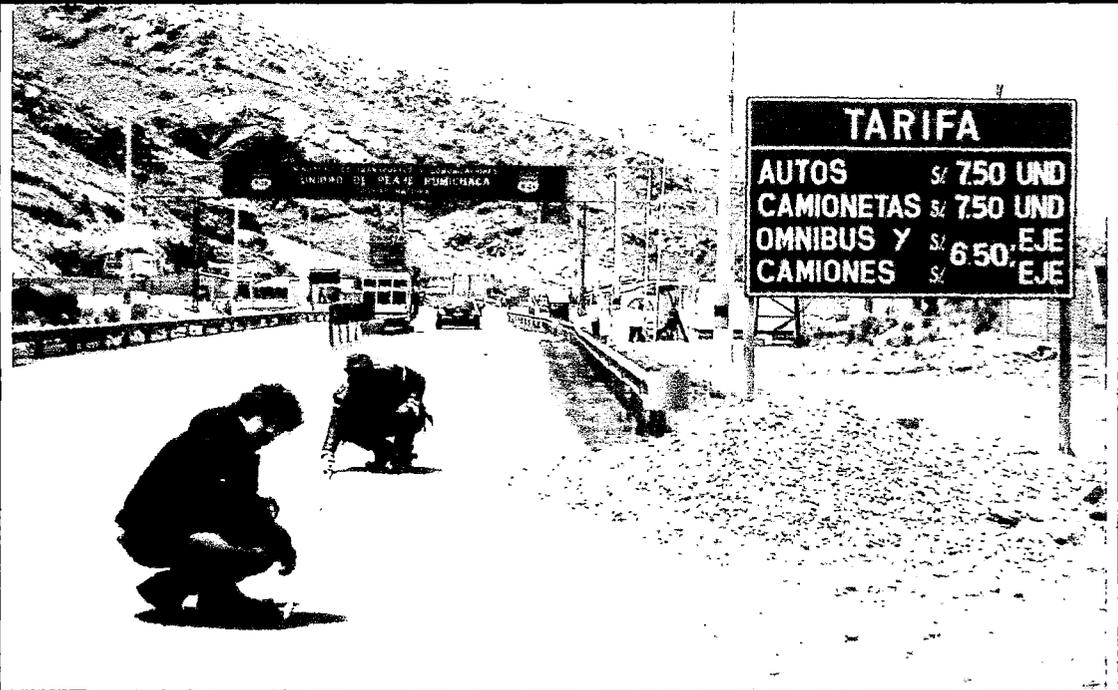
TRATAMIENTOS

AÑO	ESTACIÓN CUSICANCHA	ESTACIÓN TAMBO	TOTALES
2009	10.52	9.75	20.27
2010	10.48	10.21	20.69
2011	10.28	9.81	20.09
2012	10.46	10.32	20.78
2013	10.58	10.22	20.79
2014	10.98	10.44	21.42
			124.04
			124.04

Fuentes de Variación	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Fc
Tratamientos	t - 1	$\sum y_i^2 / r. - y_{..}^2 / r$	SCT/GLT	CMT/CME
Error Experimental	$\sum r. - 1$ ó t (r. - 1)	$\sum y_{ij}^2 - \sum y_i^2 / r.$	SCE/GLE	
Total	r - 1	$\sum y_{ij}^2 - y_{..}^2 / r$		

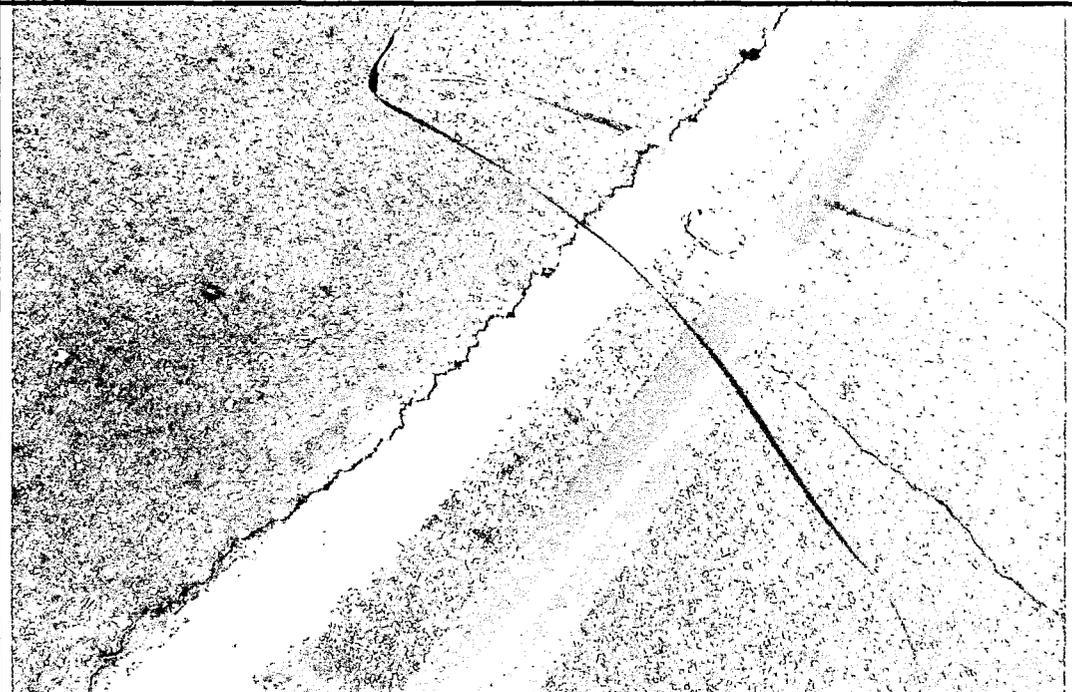
PANEL FOTOGRAFICO

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



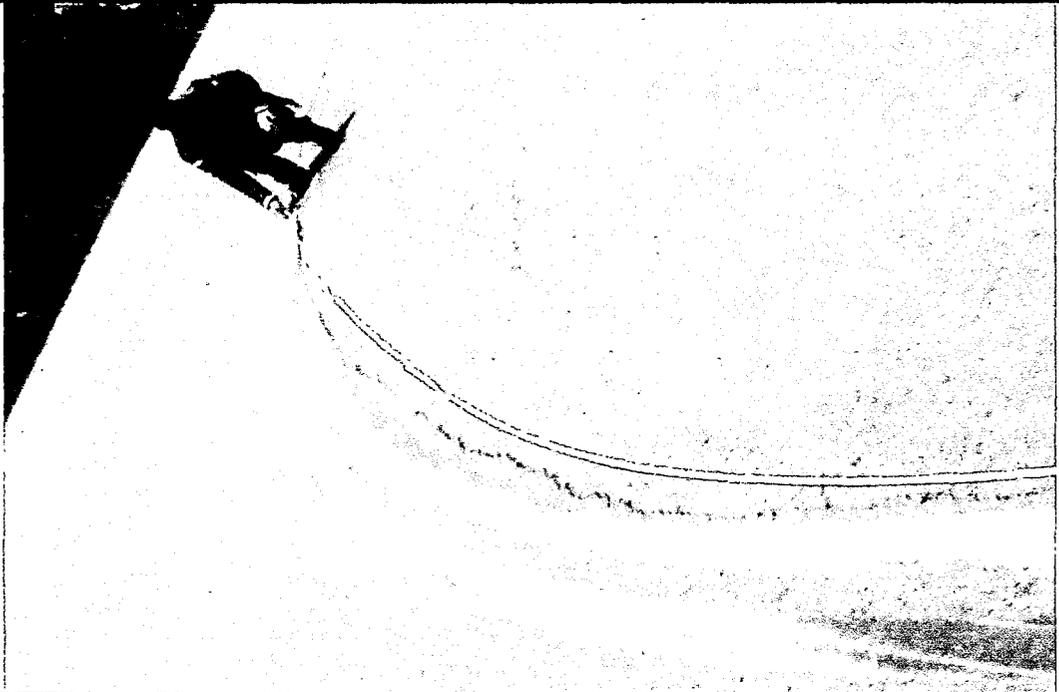
Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Medición de grieta en milímetros.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



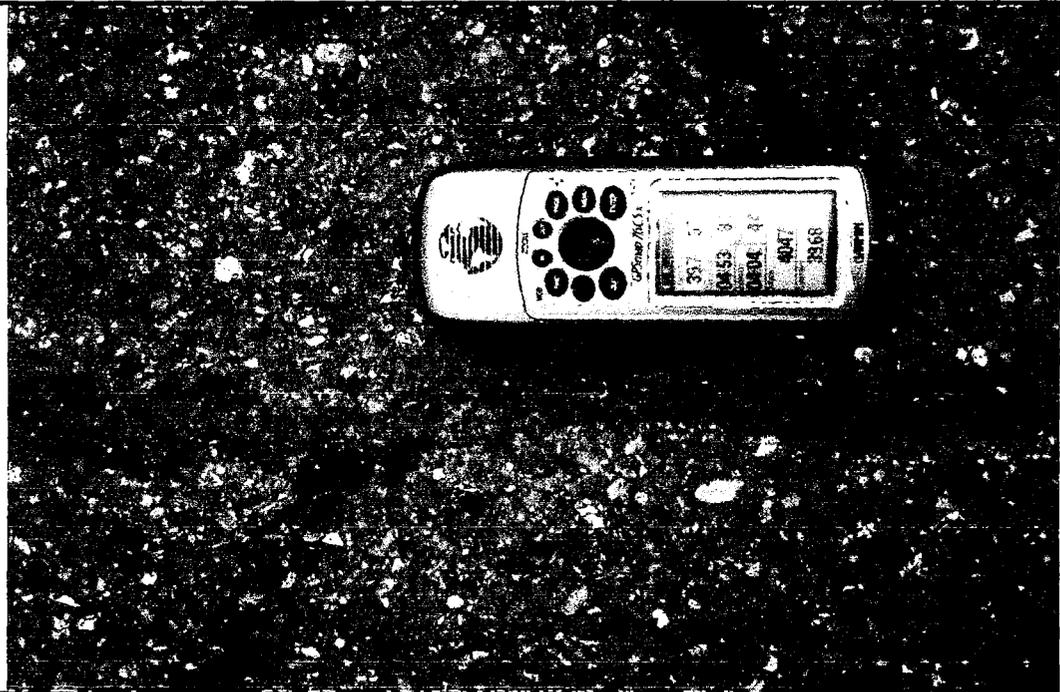
Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Medición de fisura en metros lineales.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



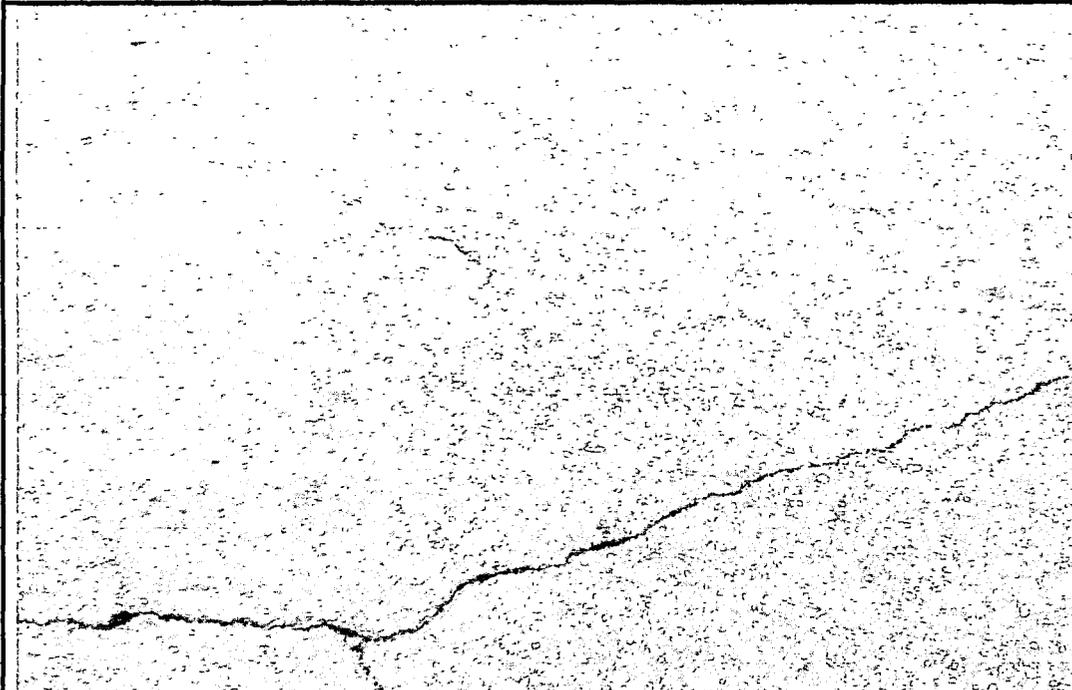
Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Lectura de posición y altura de los lugares fisurados en el tiempo.

**Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional
Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"**



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"



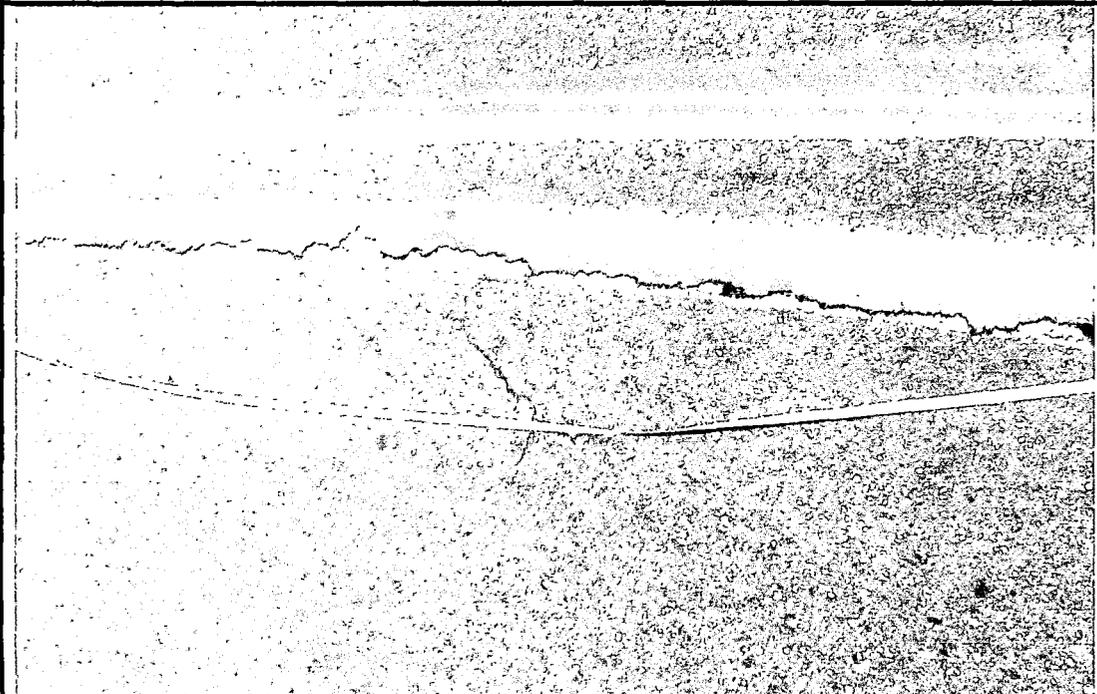
Visita a campo para la verificación de fisuras en la carpeta asfáltica.
Clasificación de tipos de fisuras en campo de estudio.

Tesis: "Influencia de la Temperatura en el Deterioro de la Carpeta Asfáltica en la Carretera Nacional Tramo: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"



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: Rumichaca – Los Libertadores (Huaytará) (PE-28A)"



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

PLANOS