

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA
LA ESTABILIDAD DE CARRETERAS EN LA CARPETA
ASFÁLTICA DE LA VÍA CHUPACA RONCHA. 2015”**

PRESENTADO POR:

Bach. MONTOYA TOVAR, DANTE DAVID

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**HUANCAYO – PERÚ
2017**

DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ
DECANO

ING. ERNESTO WILLY GARCÍA POMA

ING. JEANELLE SOFÍA HERRERA MONTES

ING. LIDIA ALMONACID ORDOÑEZ

MG. MIGUEL ÁNGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

**ASESORA:
ING. MARÍA LUISA MUERAS GUTIÉRREZ**

DEDICATORIA

A mis padres que en todo momento me han motivado para culminar ésta investigación, asimismo a mis compañeros y colegas que me apoyaron para la culminación de este gran sueño.

DANTE DAVID

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento sincero al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana los Andes, Dr. Casio Aurelio Torres López, por su valioso aporte al desarrollo de las ciencias de Ingeniería y su constante preocupación para motivarme en el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad.

Al Sr. Asesor Ing. María Luisa Mueras Gutiérrez por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Civil, quien con su destreza y habilidades me instruyó por el camino exitoso de la investigación.

Al Tec. Lab. Javier Santa Cruz Veliz responsable del laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos C.I.A.A. Santa Cruz, por mostrarse interesado en mi investigación, y brindarme sus servicios para realizar los diferentes ensayos requeridos para realización de la presente investigación.

Al Ing. Jesús Idén Cárdenas Capcha, por su asesoramiento externo, con respecto a consideraciones técnicas y normativas para la elaboración de la presente tesis de Investigación.

**“IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA LA ESTABILIDAD
DE CARRETERAS EN LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA VÍA CHUPACA
RONCHA. 2015”**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ECUACIONES	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	19
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
1.3. OBJETIVOS.....	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA O SOCIAL	20
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	21
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5.1. ESPACIAL	21
1.5.2. TEMPORAL	22
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN	23
2.2. BASES TEÓRICAS	27
SUB CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO. AGREGADOS PÉTREOS.....	27
1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	27
1.2. PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO CALIENTE	28
1.2.1. MATERIALES	28
a) Agregados Minerales Gruesos	28
b) Agregados Minerales Finos	30
c) Filler y Polvo Mineral.....	31

d)	Mezcla Asfáltica Normal (MAC)	31
1.3.	COMPOSICIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	33
1.3.1.	SUB RASANTE.....	33
1.3.2.	SUB-BASE.....	34
1.3.3.	BASE	35
1.3.4.	SUPERFICIE DE RODAMIENTO	35
1.4.	TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	36
1.5.	DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.	39
1.5.1.	DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CARRETERA	40
1.5.2.	TIPOS DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	42
1.6.	MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.	45
1.6.1.	MÉTODO GUÍA AASHTO 93 DE DISEÑO.....	45
1.7.	ESTUDIO DE TRÁFICO	47
1.7.1.	CÁLCULO DEL IMDA.....	48
1.7.2.	DEMANDA PROYECTADA, FACTOR DIRECCIONAL Y CARRIL....	48
1.7.3.	CÁLCULO DE TASAS DE CRECIMIENTO Y PROYECCIÓN.	49
1.7.4.	NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES.....	50
SUB CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DEL ÀREA DE ESTUDIO. MEZCLA ASFÀLTICA		52
2.1.	DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÀLTICA	52
2.2.	TIPOS DE MEZCLAS ASFÀLTICAS	53
2.2.1.	POR LAS FRACCIONES DE AGREGADO PÉTREO UTILIZADO	53
2.2.2.	POR LA TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA.....	54
2.2.3.	POR LA PROPORCIÓN DE VACÍOS EN LA MEZCLA ASFÀLTICA.....	54
2.2.4.	POR EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO PÉTREO	55
2.3.	CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA.	55
2.3.1.	DENSIDAD.....	55
2.3.2.	VACÍOS DE AIRE.	56
2.3.3.	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL	57
2.3.4.	CONTENIDO DE ASFALTO.	57
2.4.	DISEÑO DE MEZCLAS.	58
2.4.1.	ESTABILIDAD.	59
2.5.	MÉTODOS DE DISEÑO.	59
2.5.1.	MÉTODO MARSHALL.....	60
a.	Procedimiento del ensayo Marshall:.....	61
b.	Determinación de la gravedad específica:.....	61
c.	Ensayos de estabilidad y flujo:	61
d.	Valor de estabilidad Marshall:	63
e.	Valor de flujo Marshall:	64

f. Tráfico de Diseño:	64
2.3. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504 (MARSHALL DE DISEÑO).....	64
2.4. BASES NORMATIVAS.....	66
CAPÍTULO III	68
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	68
3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	69
3.3.1. MÉTODO GENERAL.....	69
3.3.2. MÉTODO ESPECÍFICO	69
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	70
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	70
3.5.1. POBLACIÓN	70
3.5.2. MUESTRA	71
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	73
3.6.1. TÉCNICAS.....	73
3.6.2. INSTRUMENTOS	74
3.6.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	75
3.6.4. CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS	76
3.7. HIPÓTESIS GENERAL	76
3.8. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	76
3.9. VARIABLES	76
3.9.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	77
CAPITULO IV.....	80
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	80
4.1. CARACTERÍSTICAS, IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA VÍA.....	80
4.2. PRESENTACIÓN DE DATOS OBTENIDOS.....	82
4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS:	86
4.4. EVALUACIÓN DE DATOS:.....	87
4.4.1. EVALUACIÓN DE DATOS PARA EL PROBLEMA GENERAL.....	87
4.4.2. EVALUACIÓN DE DATOS PARA PROBLEMA ESPECÍFICO “A”	89
4.4.3. EVALUACIÓN DE DATOS PARA PROBLEMA ESPECÍFICO “B”	92
4.5. CONTRASTACIÓN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS	95
4.5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS - GENERAL.....	95
4.5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	102
4.6. INTERPRETACIÓN DE HIPÓTESIS	108
4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 01 - Requerimientos de los agregados gruesos para pavimento de concreto asfáltico en caliente	29
TABLA N° 02 - Requerimientos para agregados finos	30
TABLA N° 03 - Gradación para Mezclas Asfálticas en Caliente	32
TABLA N° 04 - Categorías de sub rasante.....	34
TABLA N° 05 - Factores de Distribución Direccional y de Carril para Determinar el Tránsito en el Carril de Diseño	49
TABLA N° 06 - Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)	50
TABLA N° 07 - Cálculo del W8.2	51
TABLA N° 08 - Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, obtenidas mediante el método Marshall	63
TABLA N° 9 - Ensayos y frecuencias para Mezclas Asfálticas en caliente	71
TABLA N° 10 - Características y Dimensiones de la vía de estudio	72
TABLA N° 11 - Técnicas e Instrumentos de Investigación	75
TABLA N° 12 - Datos generales de la vía en estudio.....	81
TABLA N° 13 - Datos generales de la sección transversal de la vía en estudio	82
TABLA N° 14 - Puntos de investigación (extracción de núcleos de capa asfáltica).....	83
TABLA N° 15 - Contenido de asfalto en los agregados y análisis granulométrico por tamizado	85
TABLA N° 16 - Control de núcleos asfálticos	85
TABLA N° 17 - Características físico mecánicas de los agregados pétreos	85
TABLA N° 18 - Procesamiento de datos	86
TABLA N°19 - Evaluación de datos del problema general (Parte A)	87
TABLA N° 20 - Evaluación de datos del problema general (Parte B)	88
TABLA N° 21 - Evaluación de datos del problema específico "A"	89
TABLA N° 22 - Evaluación de datos del problema específico "B"	92
TABLA N° 23 – Grados de Correlación Características Físico Mecánicas y Propiedades de la Mezcla Asfáltica	96
TABLA N° 24 – Agregados Pétreos, Mezcla Asfáltica y Evaluación Técnica	102
TABLA N° 25 – Espesor de la Carpeta Asfáltica y Propiedades de la Mezcla Asfáltica ..	103
TABLA N° 26 – Interpretación de Cómo Influye las Características Físico Mecánicas al Contenido de Asfalto y a la Estabilidad y Flujo	109
TABLA N° 27 – Interpretación del Gráfico Progresiva y Valor de Estabilidad.....	110
TABLA N° 28 – Interpretación del Gráfico Progresiva y Valor de Flujo	110
TABLA N° 29 – Interpretación del Gráfico Espesor de Carpeta Asfáltica vs Estabilidad y vs Flujo.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 01 Esquema que muestra el deterioro de las obras viales a través del tiempo	38
FIGURA N° 02 - Esquema que muestra el efecto de las rehabilitaciones en la vida de una obra vial.....	39
FIGURA N° 03 - Deformaciones en forma de ondulación	42
FIGURA N° 04 - Deformaciones por abultamiento.....	43
FIGURA N° 05 - Deformaciones por hundimiento.....	44
FIGURA N° 06 - Deformaciones por Ahuellamiento	45
FIGURA N° 07 - Esquema de localización de la vía en estudio	81
FIGURA N° 08 – Sección transversal de la vía en estudio	82
FIGURA N° 09 – Estabilidad vs Progresiva	90
FIGURA N° 10 – Flujo vs Progresiva	91
FIGURA N° 11 – Espesor vs Estabilidad.....	93
FIGURA N° 12 – Espesor vs Flujo.....	94
FIGURA N° 13 – Correlación del Porcentaje de Contenido de Asfalto vs Estabilidad.....	97
FIGURA N° 14 – Correlación del Porcentaje de Contenido de Asfalto vs Flujo	98
FIGURA N° 15 – Correlación de las Propiedades Físico Mecánicas vs Estabilidad	100
FIGURA N° 16 – Correlación de las Propiedades Físico Mecánicas vs Flujo	101
FIGURA N° 17 – Estabilidad vs Progresiva	105
FIGURA N° 18 – Flujo vs Progresiva	106
FIGURA N° 19 – Correlación Espesores vs Estabilidad y Flujo	108

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN N°01 - Ecuación de diseño AASHTO 1993	46
ECUACIÓN N°02 - Ecuación para el cálculo de espesores basados en el número estructural.....	47

“IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA LA ESTABILIDAD DE CARRETERAS EN LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA VÍA CHUPACA RONCHA. 2015”

RESUMEN

El presente Estudio de Investigación tiene como problema general ¿De qué manera las características físico mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto influyen en los valores de estabilidad y flujo en la carpeta asfáltica de la vía Chupaca a Roncha? El objetivo general es determinar las características de las propiedades físico mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto que influyen respecto a los valores de estabilidad y flujo en la carpeta asfáltica en la vía Chupaca a Roncha y la hipótesis que debe verificarse es: Las características físico mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la mezcla asfáltica de la vía en estudio.

The type of investigation is APPLIED. The level of research is DESCRIPTIVE, EXPLANATORY and CORRELATIONAL because they explain the relationship between variables, quantify relationships between variables. The research design is NON-EXPERIMENTAL because it does not modify the composition of the asphalt folder, it investigates it as it finds it. The population is conformed by the national routes of the Junín region, first the Lunahuana - DV route. Yauyos - Chupaca, Roncha Section - Chupaca, L = 16.30 Km Another route can be via Jauja - La Oroya and a third via Jauja Tarma via Lomo Largo, it was decided that for this case it would be via Lunahuana - DV. Yauyos - Chupaca. The type of sampling is NOT PROBABILÍSTICO so the sample to be used was chosen according to personal and intentional criteria and the criterion chosen was the path with the greatest permanent plastic deformations.

The main study is the research study. The physical-mechanical characteristics of the stone aggregates and the asphalt content directly influence the improvement of the stability and the reduction of the flow for the asphalt binder of the Chupaca to Roncha road.

PALABRAS CLAVES: Agregados pétreos carreteras. Carpeta Asfáltica. Propiedades físico mecánicas agregados. Diseño Marshall Pavimentaciones.

"STONE AGGREGATES IMPORTANCE OF ROAD FOR STABILITY IN THE PATHWAY ASPHALT LAYER CHUPACA RONCHA. 2015"

ABSTRACT

The present research study has as a general problem, how do the physical-mechanical characteristics of the stone aggregates and the asphalt content influence the stability and flow values in the asphalt folder of the Chupaca to Roncha road? The general objective is to determine the characteristics of the physical-mechanical properties of the stone aggregates and the asphalt content that influence the values of stability and flow in the asphalt binder on the Chupaca to Roncha road and the hypothesis that should be verified is: Physical-mechanical characteristics of the stone aggregates and the asphalt content influence directly determining the improvement in the stability and the reduction of the flow for the asphalt mixture of the road under study.

The type of research is QUANTITATIVE because it measures phenomena, uses statistics, tests hypotheses and does cause-effect analysis. The level of research is CORRELATIONAL because they explain the relationship between variables, quantify relationships between variables. The research design is NON-EXPERIMENTAL because it does not modify the composition of the asphalt folder, it investigates it as it finds it. The population is conformed by the national routes of the Junín region, is for example the route Lunahuana - DV. Yauyos - Chupaca, Roncha Section - Chupaca, L = 16.30 Km Another route may be via Jauja - La Oroya and a third via Jauja Tarma via Lomo Largo, the one chosen as the sample was the first one. The type of sampling is not probabilistic that means that as a researcher I chose the personal and intentional criterion to use and the criterion I chose was the path with the greatest permanent plastic deformations.

The main study is the research study. The physical-mechanical characteristics of the stone aggregates and the asphalt content directly influence the improvement of the stability and the reduction of the flow for the asphalt binder of the Chupaca to Roncha road.

KEY WORDS: Aggregate stony roads. Asphalt folder. Physical mechanical properties added. Marshall Design Pavings.

INTRODUCCIÓN

El presente informe de investigación intitulado: “**IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA LA ESTABILIDAD DE CARRETERAS EN LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA VÍA CHUPACA RONCHA. 2015**”, se elaboró con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, según las normas vigentes emanadas por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana los Andes.

Un pavimento flexible debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones excesivas. En el caso de los pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas. Los métodos de diseño de pavimentos vigentes, suponen que las deformaciones permanentes ocurren solamente en la subrasante. Sin embargo, en vías donde se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez (vías de mediano y alto tráfico, como el de la unidad de análisis: **Vía Chupaca - Roncha**), las capas granulares y **la capa asfáltica** soportan el esfuerzo aplicado casi en su totalidad y la magnitud de dichos esfuerzos puede llegar a generar valores altos de deformación.

La presente investigación tiene como objetivo encontrar una respuesta a Por qué se viene deteriorando la **Vía Chupaca a Roncha** a pesar de tener poco tiempo de haberse puesto en servicio; está experimentando **ahuellamientos** (o roderas) en toda su extensión, deformaciones y en menor proporción fisuramiento. Debido a los Límites de la Investigación descritos en Ítem 1.6 La carpeta asfáltica frente a una carga vehicular de volumen de tránsito pesado, sólo **se evaluará la deformación en la capa de rodadura**, es decir el pavimento flexible propiamente dicho. Basados en una amplia revisión bibliográfica, en esta primera fase y por ende en la presente investigación, se contextualiza la forma como los métodos de diseño evalúan el **fenómeno de estabilidad** y la **composición pétreo** de la mezcla asfáltica, con el ánimo de justificar la presente investigación, presentaremos los alcances y las limitaciones de los mismos, así como su evolución y la forma como se está llevando a cabo la investigación en el área del

comportamiento de la estructura vial (carpeta asfáltica y su composición pétreo) bajo la acción de cargas vehiculares. Por otro lado en el diseño de pavimentos de mediano y pesado volumen de tránsito, Para clima frío como es en la zona de la provincia de Chupaca, afectan a los materiales asfálticos de la superficie de rodado, del mismo modo que afecta a los pavimentos regulares, es decir afecta al Módulo de Rigidez y a la Estabilidad de las Mezclas. La normativa vigente considera la variación del Módulo por efecto de la temperatura, para recomendar la utilización de las mismas especificaciones técnicas para la selección del tipo de asfalto y el diseño de mezclas asfálticas, a aquellas utilizadas en pavimentos de asfalto convencionales, no obstante el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

Se ha organizado la tesis en 4 capítulos, siendo:

CAPÍTULO I. Trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general y específicos, objetivo general y específicos, justificación, delimitación y limitaciones de la investigación.

CAPÍTULO II. Se presentan antecedentes del estudio, el marco teórico y bases teóricas, aspectos generales del área de estudio, bases legales (normas.

CAPÍTULO III. Se expone la metodología de la investigación, con el tipo de investigación, nivel de investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos: técnicas, instrumentos y criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos. Para finalmente plantear la hipótesis general y las específicas, las variables e indicadores y su operacionalización de cada una de ellas.

CAPÍTULO IV. Se presenta el análisis e interpretación de resultados, análisis de datos, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

CONCLUSIONES. Aquí se darán las conclusiones,

RECOMENDACIONES. Donde se dará recomendaciones del tema de investigación con el fin de dar aporte y trascendencia a la carrera de Ingeniería Civil.

Finalmente se adjunta las Referencias Bibliográficas o fuentes de información y respectivos anexos con información imprescindible que sustentan la elaboración de la tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el aspecto internacional trata de desarrollar y definir preceptos, enmarcados en forma adecuada, para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos, cumpliendo con las especificaciones dadas por organismos internacionales y nacionales para las diferentes capas conformantes del pavimento, garantizando la durabilidad de cualquier proyecto de carretera.

En un escenario nacional indica que la deformación permanente (ahuellamiento) en sus diferentes formas es una de las fallas más importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; por lo que se ha elaborado un estudio bibliográfico dirigido a identificar las principales causas que generan la falla.

En el Perú debido a su diversidad climática requiere de diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para atender las necesidades de cada región. El objetivo general es efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que influyen en la resistencia

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

Los agregados pétreos en la composición de una pavimentación asfáltica de carreteras tienen importancia esencialmente porque las propiedades de los materiales granulares sólidos e inertes, siendo los que mayormente componen una mezcla asfáltica, van a otorgar a la carpeta de rodadura su comportamiento de estabilidad.

Una completa y buena composición granulométrica es esencial para la durabilidad del pavimento asfáltico, con ello se va a evitar fallas prematuras como lo son el ahuellamiento que es la falla que en mayor medida se presenta en la Vía Chupaca a Rocha. Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se deben considerar algunos aspectos importantes para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del asfaltado; en este caso en la elaboración de las mezclas asfálticas.

El ahuellamiento en las pavimentaciones asfálticas de carreteras en la región Junín, específicamente en nuestra vía en estudio, se viene sucediendo con la consecuencia del deterioro prematuro de la vía. Una vía nacional tiene un promedio de una vida útil de 10 años, lo que se ve es que se está deteriorando a sólo cuatro años de vida; en la vía Chupaca a Roncha. Las deformaciones plásticas permanentes en ésta vía hace que se mire con precaución la calidad de agregados con que se haya realizado la pavimentación de la carpeta asfáltica. El análisis hace poner en tela de juicio

la calidad de los agregados pétreos con que se realizó la composición de la carpeta asfáltica, lo que estaría ocasionando el desgaste.

La vía que se viene deteriorando prematuramente pronto necesitará de mantenimiento con el consecuente costo que ello ocasiona, entonces la atención recae en ellas para evitar su desgaste y el análisis servirá para determinar las causas del deterioro y a través de ello llevar a cabo el control.

Al sacar las muestras de la carpeta asfáltica de rodadura, tanto en progresivas donde se ha conservado claramente bien la vía y luego en donde claramente se ha deteriorado (ondulamiento, ahuellamiento, deformaciones entre las fallas más relevantes) hará posible un verdadero análisis. Se hará un contraste de la gradación de los agregados en la primera que se conservó bien con las progresivas donde el deterioro se ha hecho claro. Entonces, dará claros indicios para un estudio correcto de las causas del deterioro de las vías en estudio.

Para tener un buen control de los pavimentos se hace necesario sacar muestras de campo de la carpeta asfáltica de la vía, con el ensayo de extracción de Núcleos de Asfalto; las que se llevarán a laboratorio para hacer el ensayo de lavado asfáltico. En las que se corroborará o se desechará una buena gradación y la estabilidad y flujo respectivamente de los agregados utilizados en su construcción.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera las características físico-mecánicas de los Agregados Pétreos y el contenido de asfalto influyen en los valores de la Estabilidad y Flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha 2015?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a. ¿Cuáles son los tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca – Roncha 2015?
- b. ¿Qué relación existe entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación 22
- c. Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca – Roncha 2015?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características físico – mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto que influyen en los valores de estabilidad y flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha. 2015.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Identificar si existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha. 2015.
- b. Determinar si existe correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca - Roncha. 2015.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA O SOCIAL

El presente estudio de investigación propone una adecuada vía de tránsito vehicular para todos los usuarios de la carretera, aquellos que utilizan la vía merecen condiciones de buena serviciabilidad para transitar y para transportar mercadería.

Debido al prematuro deterioro de la vía trae a colusión la composición con se ha hecho la vía, de esta forma los agregados pétreos y el contenido de asfalto inciden a ser analizado para que sea posible poder conjeturar la posible solución; al hacerlo se hace necesario llevar a cabo ensayos de extracción de núcleos de asfalto de la carpeta asfáltica, a través de la diamantina que perfora la vía para sacar una muestra que se llevará a ensayo. Son ensayos destructivos del pavimento por lo que se hizo necesario pedir permiso por escrito a PROVÍAS sede en Lima para realizar la extracción.

Cuando elegido que se extraerá seis (6) muestras, de las cuales de la inspección visual tres (3) van a ser de una parte bien conservada y las tres (3) restantes de partes deterioradas. Cuando una vez extraída las seis (6) muestras o briquetas, primero para realizar el ensayo Marshall de comprobación para conocer la estabilidad o resistencia y el flujo o

deformación, luego se lleva a laboratorio para separar el asfalto de los agregados y conocer el contenido de asfalto, cuando separado los agregados del asfalto se realiza los ensayos de abrasión o desgaste, partículas chatas y alargadas, ensayo de caras fracturadas y el ensayo de equivalente de arena.

Todo el trabajo para investigar la composición de los agregados con los que se construyó la carpeta asfáltica se hizo con la finalidad de identificar los errores de construcción y así dar la solución al problema de investigación.

Siendo una vía de servicio público que trae bienestar general a los pobladores usuarios que viven en el área de influencia y que se financia con el erario público el deterioro perjudica a todos cuanto vivimos y somos usuarios de la vía en estudio.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Es evidente que la aplicación de los instrumentos de investigación va servir para recopilar datos, con lo cual se puede ser extensivo a otras Regiones del país con clima similar al verse con este problema estructural - vial. El desarrollo de la investigación en el área de la Ingeniería Civil tiene importancia académica, debido a que los resultados obtenidos contribuirán de una u otra manera a servir de antecedente para otros investigadores en el campo de la construcción de pavimentaciones de carpetas asfálticas en caliente que traten con las variables de: La importancia de los agregados pétreos y la estabilidad de las pavimentaciones de carreteras que tienen el problema de aparición de deformaciones plásticas permanentes.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. ESPACIAL

La investigación comprendió la ejecución de la obra vial "Pavimentación flexible, vía Chupaca – Roncha", ejecutada por el Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC) a través de

Provias – Nacional, la cual a la fecha favorece en gran porcentaje las actividades comerciales, ganaderas, de agricultura, de turismo, entre otros, de los habitantes en la región Junín.

1.5.2. TEMPORAL

Se han recogido datos para la investigación principalmente entre el período comprendido de diciembre del 2015 a marzo del 2016, aunque se han tomado en consideración algunos antecedentes referenciales de años anteriores.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Los límites de la investigación están enmarcadas en función de la Unidad de Análisis: “La Carpeta Asfáltica de la Vía Chupaca a Roncha”, entonces es posible hallar también relación directa con las capas granulares inferiores de la vía (Base, Sub Base y la Sub Rasante), las mismas que no están enmarcadas en el presente estudio de Investigación debido a que existieron diversos factores para no tomar en cuenta dichas capas, la principal fue que la vía contiene 16 Km y cubrir una vía así requiere de una inversión considerable, la cual no fue posible, por tanto se ha dado énfasis a la investigación de la Carpeta Asfáltica, a través de toma de muestras y ensayos destructivos (núcleos asfálticos) de la Vía Chupaca a Roncha.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

- a) Diego Alejandro Giraldo Ruiz; COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON CAL Y CEMENTO USANDO LA GRANULOMETRÍA SUPERPAVE; Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, año 2007. Páginas 96. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil.**

Las fallas prematuras de las estructuras de pavimento hacen que la Ingeniería de Pavimentos se dedique cada vez más a la investigación para la obtención de nuevos y mejores materiales de construcción, que cumplan con requerimientos de calidad más estrictos, una mayor durabilidad y menores costos asociados a los mismos. En Colombia se utiliza el método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en caliente y no ha sido ajeno al daño prematuro de sus pavimentos, representando esta situación un detrimento del erario público y del patrimonio vial. Es necesario buscar alternativa con materiales nuevos o modificados, que garanticen una buena calidad y la estabilidad de la obra en el tiempo. El

trabajo de grado tiene por objetivo general estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas adicionadas con cal y cemento como filler o llenante.

Añade Objetivos específicos, Recopilar, tabular y comparar los resultados de los ensayos mecánicos realizados a las briquetas de laboratorio de mezclas asfálticas elaboradas con y sin cal y/o cemento. En sus conclusiones expone, la mezcla no presenta un buen comportamiento al ser adicionada con cal debido a que se observaron comportamientos irregulares en cuanto a estabilidad y flujo se refiere, siendo un claro ejemplo lo que se observó durante el intervalo de 0 y 1 hora de envejecimiento que arrojaba valores iniciales altos y luego decrecían lo que nos hace pensar una mala interacción agregado-cal-asfalto.

b) Néstor W. Huamán Guerrero; LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ; Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú, Año 2011. Páginas 146. para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes

En los últimos 17 años el Perú ha impulsado una política favorable para la Construcción de Obras Viales a lo largo y ancho del territorio. Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados. El presente trabajo de investigación bibliográfica se refiere a la deformación permanente que es una de las fallas del deterioro prematuro; es necesario conocer a mayor profundidad a fin de tomar las previsiones del caso desde la elaboración de los proyectos y la posterior ejecución de las obras.

El estudio presenta el concepto de la deformación permanente y las diferentes formas que se presenta en las capas del pavimento e inclusive a nivel de subrasante, originando tanto fallas funcionales como estructurales. Asimismo se considera la necesidad de la elección y buen

manejo de los agregados en cuanto a su gradación, forma, resistencia, etc., ya que influyen en forma determinante para la deformación permanente.

El trabajo de investigación tiene como objetivo general, efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos, discutiendo las causas que las producen, y presentando los equipos de laboratorio y de campo especializados utilizados para evaluar este problema.

Tiene como conclusiones: Se mejora la resistencia al corte en las mezclas asfálticas, seleccionando un agregado que tenga un alto grado de fricción interna, uno que sea de forma cúbica, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. Agregados con un alto grado de fricción interna mejoran la resistencia de la mezcla al corte y cuando actúan en forma conjunta el cemento asfáltico de una manera integral, permiten que cuando se aplica una carga a la mezcla asfáltica, ésta actúe como una banda elástica recuperando su forma original al pasar la carga, evitando de esta forma la acumulación de deformación permanente.

Hay que considerar que la deformación permanente por fallas en la subrasante, o en las capas de base o sub base bajo la capa de asfalto pueden originarse por una incorrecta selección de materiales. Sin embargo, si bien es cierto que materiales “duros” de mejor calidad pueden reducir parcialmente esta causa de deformación permanente, esta situación es considerada un problema estructural del pavimento como conjunto más que de los materiales individuales. Esencialmente, el pavimento no tiene la capacidad estructural para soportar las cargas aplicadas; debido a la presencia de las capas débiles en la estructura del pavimento. Es por eso que debe cuidarse de un correcto diseño de la estructura del pavimento estudiando cuidadosamente las cargas, suelos de fundación y de subrasante, clima, entre otros parámetros.

c) Jesús Idén Cárdenas Capcha y Gross Alberto Enríquez Fuentes; ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS DEFORMACIONES PERMANENTES EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES – PROLONGACIÓN SAN ANTONIO. SAN CARLOS HUANCAYO 2014; Universidad Peruana Los Andes, Perú, Año 2014. Páginas 195. para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

El estudio de investigación se interesa por la evaluación de las deformaciones permanentes en una vía urbana representativa a las vías locales, la vía es de pavimento flexible en caliente. Indica que las deformaciones permanentes para su buen estado de conservación no deben ser excesivas, si son pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas.

Los métodos de diseño vigentes, sin embargo suponen que en vías donde se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez (Vías de bajo tránsito como en su unidad de análisis: Prolongación San Antonio. Huancayo) las capas granulares soportan el esfuerzo aplicado casi en su totalidad y la magnitud de dichos esfuerzos puede llegar a generar valores altos de deformación permanente, resultando que la vía en estudio presenta un ALTO grado de deformación permanente debido, a irregularidades en la granulometría y espesores de las capas granulares (Base y Sub base).

Por lo tanto, las metodologías de diseño deben tener en cuenta dichas deformaciones, que se producen en estas capas, y los modelos para predecir dichas deformaciones, deben ser capaces de reproducir las deformaciones permanentes de los materiales bajo diversas trayectorias de carga cíclica y condiciones del medio ambiente.

2.2. BASES TEÓRICAS

SUB CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO. **AGREGADOS PÉTREOS**

Los agregados pétreos componen alrededor del 94% de las mezclas asfálticas en caliente. Por lo tanto las propiedades de los agregados gruesos y finos usados en las mezclas asfálticas son muy importantes en el comportamiento de la estructura de pavimento en el cual es utilizado.

En el presente Estudio de Investigación tratará el caso de mezclas asfálticas en caliente, los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y 85 por ciento, en volumen, la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

La gradación de la combinación de agregados es uno de los aspectos primordiales en el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica compactada en caliente.

1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

La calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado de una obra de pavimentación.

Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado; aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Gradación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de superficie
- Capacidad de Absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso específico

1.2. PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO CALIENTE

Un pavimento de concretos asfáltico en caliente consistirá en la colocación de una capa asfáltica bituminosa fabricada en caliente, cuya colocación en promedio es a 130°C, y construida sobre una superficie debidamente preparada e imprimada.

Las mezclas bituminosas para empleo en pavimentación en caliente se compondrán de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material bituminoso.

1.2.1. MATERIALES

Los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

a) Agregados Minerales Gruesos

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena

adhesividad.

Para el objeto de estas especificaciones, se denominará agregado grueso la porción del agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 0.075 mm (N° 4 y N° 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 0.075 mm (N° 200). El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación. Los agregados gruesos, deben cumplir además con los siguientes requerimientos:

TABLA N° 01 - Requerimientos de los agregados gruesos para pavimento de concreto asfáltico en caliente

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

b) Agregados Minerales Finos

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

Los agregados minerales finos deberán cumplir con los requerimientos de la siguiente tabla.

TABLA N° 02 - Requerimientos para agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

**Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

c) Filler y Polvo Mineral

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos podrá tener aporte de productos como cal hidratada como mencionado o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, deberá encontrarse entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0,5 y 0,8 g/cm³). La combinación Mac 1 y Mac 2 para mezclas asfálticas en caliente requieren de 4 al 8% mientras el Mac 3 indica un requerimiento de 5 al 10%

Gradación.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en la norma del MTC, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznableles según ensayo. MTC E 212. Tampoco deberá contener materiales deletéreos.

d) Mezcla Asfáltica Normal (MAC)

La estructura del pavimento terminará con la carpeta asfáltica, este pavimento de concreto asfáltico es el pavimento de mejor calidad. Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en

proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente.

Después de que las partículas del agregado son revestidas uniformemente, la mezcla en caliente se lleva al lugar de la construcción, en donde el equipo de asfaltado la coloca sobre la base que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada. A medida que se enfría, el asfalto se endurece y recupera las propiedades ligantes que hacen de él un material vial eficaz capaz de soportar el tránsito. La dosificación o fórmula de la mezcla de concreto asfáltico (o simplemente mezcla asfáltica en caliente) así como los regímenes de temperatura de mezclado y de colocación que se pretenda utilizar, se presentan con cantidades o porcentajes definidos y únicos.

La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder a alguno de los siguientes husos granulométricos.

TABLA N° 03 - Gradación para Mezclas Asfálticas en Caliente

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

1.3.COMPOSICIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

1.3.1. SUB RASANTE

“Puede definirse como terreno de fundación. Es la capa donde se apoya la estructura del pavimento flexible con el fin de resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos en forma adecuada de acuerdo a su calidad, de ahí su importancia” (Política Nacional del Sector Transporte. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Se consideraran como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo.

El nivel superior de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante excelente – muy buena ($CBR \geq 20\%$); a 0,80 m cuando se trate de una sub rasante buena – regular ($6\% \leq CBR < 20\%$); a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre ($3\% \leq CBR < 6\%$); y a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada ($CBR < 3\%$). En caso necesario, se colocaran subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario. Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales pueden penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material separador de 10 cm. De espesor como mínimo o un geosintético, según lo justifique el ingeniero Responsable. En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de los friajes o las heladas en los suelos. En general, la acción de

congelamiento está asociado con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. En el caso de presentarse por acción climática, se reemplazara este suelo en el espesor comprometido, son suelos susceptibles al congelamiento, por acción climática rigurosa, los suelos limosos, igualmente los suelos que contienen más del 3 % de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm. La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (N° 200) se determinará por sedimentación.

TABLA N° 04 - Categorías de sub rasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

1.3.2. SUB-BASE

“Se ubica por debajo de la base y por encima de la subrasante, su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme. Las características de los materiales que la constituyen se encuentran seleccionados entre la calidad intermedia de la base y la subrasante. Esta capa puede no ser necesaria en el caso de subrasante granulares de alta capacidad de soporte” (FESTAG, G. 2002).

Una de las funciones de esta capa es de carácter económico,

debido a que se usa para disminuir el espesor de la base (material más costoso). Su función estructural es la de transmitir los esfuerzos de manera adecuada hacia la subrasante. Otra de sus funciones es de servir de transición entre el material de base más o menos grueso y la propia subrasante, generalmente formada por materiales más finos. La sub-base, más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante. Una función más que mencionaremos de la sub-base es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base.

1.3.3. BASE

Se localiza por debajo de la superficie de rodamiento, es una capa de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o repartir los esfuerzos creados por las cargas rodantes que actúan sobre la superficie de rodamiento para que los esfuerzos transmitidos a la sub-base no sean tan grandes que den por resultado una deformación excesiva de la subrasante. La base debe ser también de tales características que no sea dañada por el agua capilar o por la acción de las heladas, ya sea que actúen en forma separada o conjunta; los materiales con los que cuente la localidad se utilizarán ampliamente en su construcción, debido a que los materiales preferidos para la construcción de esta capa, se localizan en grandes variedades de forma notable en todo el país. Desde el punto de vista económico la base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa.

1.3.4. SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Generalmente constituida por una mezcla asfáltica, puede ser fabricada de diferentes características dependiendo del

tránsito, tipo de carretera, condiciones climáticas, etc., o por un tratamiento superficial; debe proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y segura, con color y textura convenientes además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Su principal función estructural es la de absorber los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante; además de ser la parte más costosa de este.

1.4. TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las características de toda carretera ya sea de construcción nueva o después de una reparación, se van degradando con el transcurso del tiempo. Son diversos factores los que intervienen y determinan este proceso de deterioro. Por una parte se encuentran los factores relacionados directamente con las características del propio pavimento como pueden ser los espesores, los materiales utilizados en su fabricación y el proceso constructivo, este conjunto de factores los podemos considerar como pasivos del proceso de deterioro. Por otra parte tenemos los factores denominados activos, que son el tránsito y los factores ambientales. Los factores activos de deterioro son dos variables complejas y difíciles de definir, que dependen de un conjunto de diversos elementos, tenemos que el tránsito está unido al número de ejes, a la carga por eje, a la velocidad de circulación de los vehículos, a la regularidad superficial del pavimento, etc. Los ejes actúan sobre el pavimento transmitiendo una sollicitación horizontal y otra vertical, lo cual se traduce en el tiempo en deterioros del pavimento, y se describirán con detalle más adelante; por ahora es suficiente mencionar, que se manifiesta principalmente en los siguientes tipos:

- Fisuración por fatiga.
- Desprendimiento o desintegración de los agregados.

- Deformaciones permanentes.
- Baches y peladuras.

Las vías terrestres se proyectan y se construyen para que estén en servicio por un determinado número de años, llamado horizonte de proyecto de la obra. Al concluir este tiempo los caminos, se abandonan o se rescatan y reconstruyen con el objeto de aumentar el servicio por más tiempo, que es generalmente lo que sucede.

“Cuando una obra vial se pone en servicio, debe presentar las condiciones óptimas para su operación, al transcurrir el tiempo, se deteriora por el uso, dificultándose así cada vez más la circulación del tránsito. Los deterioros pueden ser pequeños al principio, pero más adelante probablemente sean más serios y aceleren la falla del pavimento; por esto, una carretera requiere mantenimiento, conservación y rehabilitación oportuna, para que por lo menos cumpla con su vida de proyecto, proporcione un servicio adecuado y no presente una falla prematura”.
(HIGHWAY RESEARCH BOARD. 2001).

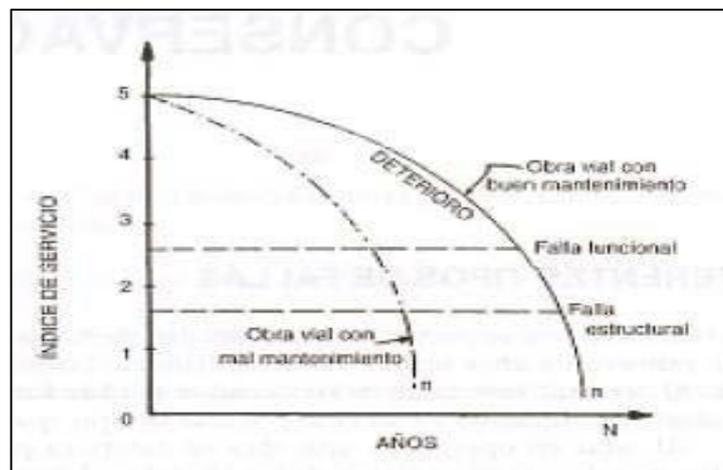
Las fallas del pavimento pueden ser, estructurales y funcionales, según los parámetros existentes para definirlos. La falla estructural implica una destrucción de la estructura del pavimento o de uno o más de sus componentes, lo que los hace incapaces de soportar las cargas impuestas en su superficie por el tránsito y, en general, se debe a que el tránsito que ha soportado la estructura es mayor al que se calculó para su vida útil; si este es el caso, la estructura cumplió su cometido. Aunque en otras ocasiones, la falla estructural se presenta de forma prematura, es decir, mucho antes de terminar su periodo útil, entonces la falla se debe a una mala estructuración del pavimento, materiales deficientes o un mal drenaje entre otras causas.

La falla funcional es aquella que tienen los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores que las tolerables, causando esfuerzos sobre los vehículos y provocando ciertas incomodidades al tránsito, depende del tipo de camino del cual se trate, pues se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones que son aceptables para caminos secundarios; pero inconvenientes para

caminos de altas especificaciones.

El índice de servicio está ligado a este concepto de falla funcional. Este índice se estima en base en función del estado físico de la superficie de rodamiento, que el técnico califica con base a la cantidad de baches, deformaciones y grietas que presenta el camino o bien de acuerdo a la opinión de los usuarios. El índice de servicio se califica en escala de 1 a 5; en caminos de primer orden, se requiere que este valor sea como mínimo de 2.5 a 3 para estar en condiciones aceptables, pero en las que ya conviene reacondicionarlos; para caminos secundarios, estas condiciones se tienen con una calificación de 2. El criterio para obtener el índice de servicio varía de acuerdo con la dependencia encargada de construir los caminos de un país. En Perú el Ministerio de Transportes y comunicaciones cuenta al respecto con el manual denominado Aplicaciones de los Conceptos de Calificación y Comportamiento a la Reconstrucción y Conservación de Carreteras.

FIGURA N° 01 Esquema que muestra el deterioro de las obras viales a través del tiempo

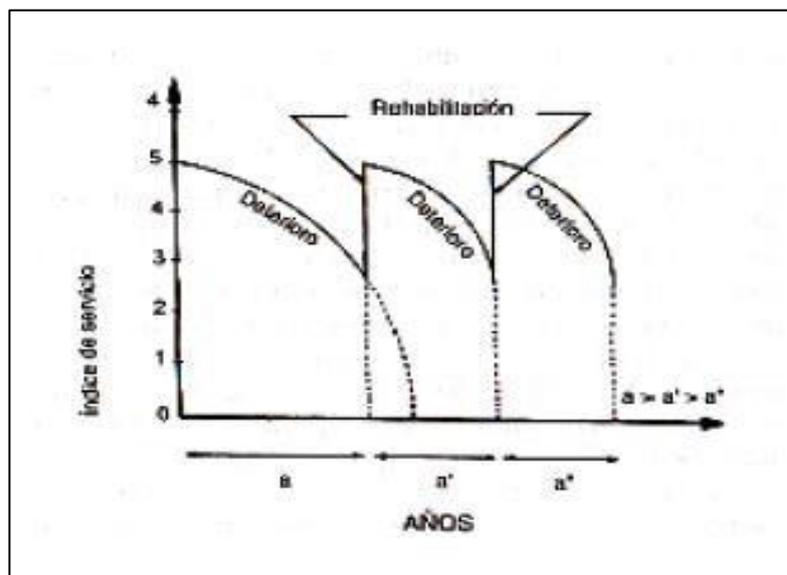


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Cuando se registra la historia de un camino y se obtienen año con año los índices de servicio, se traza una curva como la mostrada en la figura N° 01, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegará a su falla estructural. Se pueden hacer diferentes

rehabilitaciones, para aumentar su vida útil; aunque después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en que la estructura esté tan dañada que necesite de una reconstrucción. Lo anterior se muestra en la figura N° 02, donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en “N” años a su falla estructural; si cuando se tiene una calificación de 2.5 se le rehabilita, aumenta su vida útil en “N” años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de 4 o 5 rehabilitaciones, el daño causado a la obra es tal que lo más conveniente es una reconstrucción, pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se observa en la gráfica.

FIGURA N° 02 - Esquema que muestra el efecto de las rehabilitaciones en la vida de una obra vial



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

1.5. DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Una carretera es una estructura diseñada para soportar las cargas del tránsito, de forma similar a como se diseña una viga para soportar las cargas de un muro, por ejemplo. En realidad las cargas, representadas principalmente por las ruedas de los vehículos pesados, circulan generalmente por unas zonas determinadas de la calzada, denominadas capa de rodadura, y solo eventualmente abandonan estas zonas para

realizar adelantamientos u otras maniobras esporádicas como las propias entradas o salidas de la carretera.

“Este hecho que probablemente no es de gran utilidad para reducir la estructura del pavimento, si lo es para analizar las degradaciones que se producen en la carretera puesto que el efecto del tránsito hará que el deterioro de esa degradación sea mucho más rápido que si dicha degradación no estuviera situada en dicha zona”. (CHAZALLON, C. 2000).

Existen una serie de deterioros en los pavimentos asfálticos que se relacionan con una disminución apreciable de las características iniciales y que pueden afectar la capacidad estructural del pavimento, la mayoría de ellos se presentan en forma de fisuras o de deformaciones permanentes y por lo general suelen afectar a más de una capa del pavimento.

1.5.1. DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CARRETERA

Otro hecho que se debe de tener en cuenta al interpretar las degradaciones de una carretera es el de observar si la superficie de la misma mantiene su regularidad transversal o no. La existencia de hundimientos en la carretera es índice de que las capas granulares no son capaces de soportar las cargas del tránsito sin deformarse, ya que es muy difícil que un hundimiento apreciable pueda deberse a las capas de mezcla asfáltica generalmente de menor espesor. Por ello, al observar una carretera degradada, si mantiene la regularidad superficial, se puede pensar que el problema reside en las capas superiores, mientras que si la carretera esta deformada, las sospechas deben de recaer en las capas inferiores del pavimento.

Un caso aparte es el de las roderas de las carreteras. El primer análisis que se debe de realizar es determinar si la degradación realmente corresponde al problema denominado roderas o si,

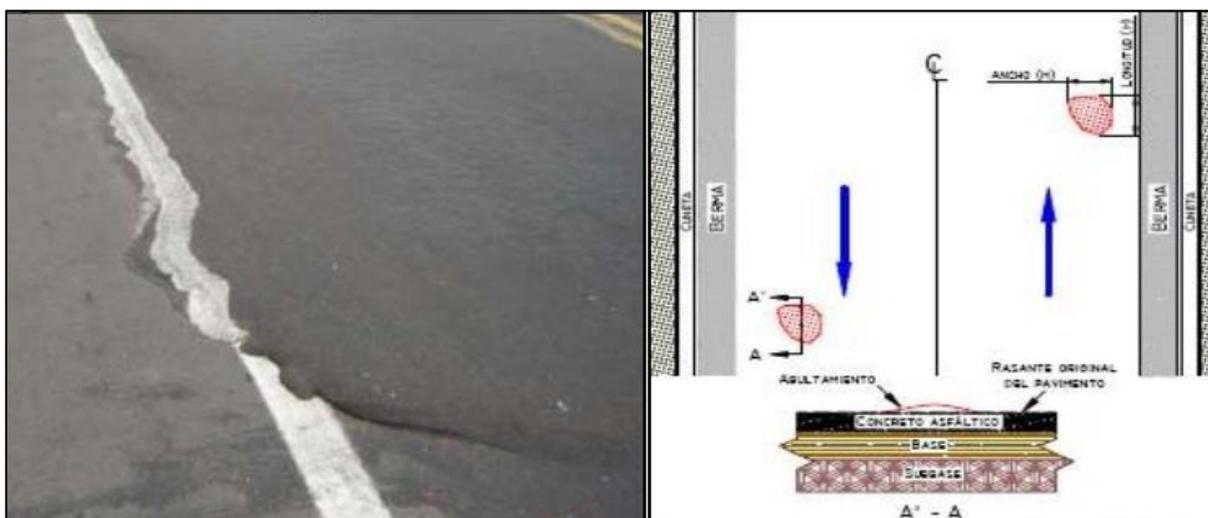
por el contrario, corresponde al hundimiento de la estructura del pavimento flexible. En el primer caso, el problema está relacionado a la capa de mezcla asfáltica que forma la capa de rodadura del pavimento. Esta capa, con un diseño o una compactación inadecuada, sufre deformaciones fuertes con el tránsito canalizado, lo que, unido al comportamiento más plástico de la mezcla con temperaturas más altas, hace que se produzca un desplazamiento del material de la zona de rodada a las zonas laterales, formándose un cordón de material desplazado característico, a los lados de dicha zona de rodada.

Tal y como se ha descrito es una degradación originada por un mal comportamiento de la mezcla asfáltica fabricada de manera inadecuada y por lo tanto poco roderable con temperaturas altas y tránsito canalizado. Otro problema distinto es el que se presenta cuando las capas granulares del pavimento o la subrasante, no poseen la capacidad de carga necesaria para soportar las cargas del tránsito. Esto provoca un hundimiento en las zonas de la capa asfáltica, que es donde se producen las deformaciones verticales mayores en las capas granulares. Como puede verse es necesario observar detalladamente una degradación de este tipo para conocer cuál de los dos casos se está produciendo e identificar por lo tanto la capa origen de los problemas.

1.5.2. TIPOS DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

- **Ondulaciones:** También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas generalmente menores que 1.0 metro.

FIGURA N° 03 - Deformaciones en forma de ondulación



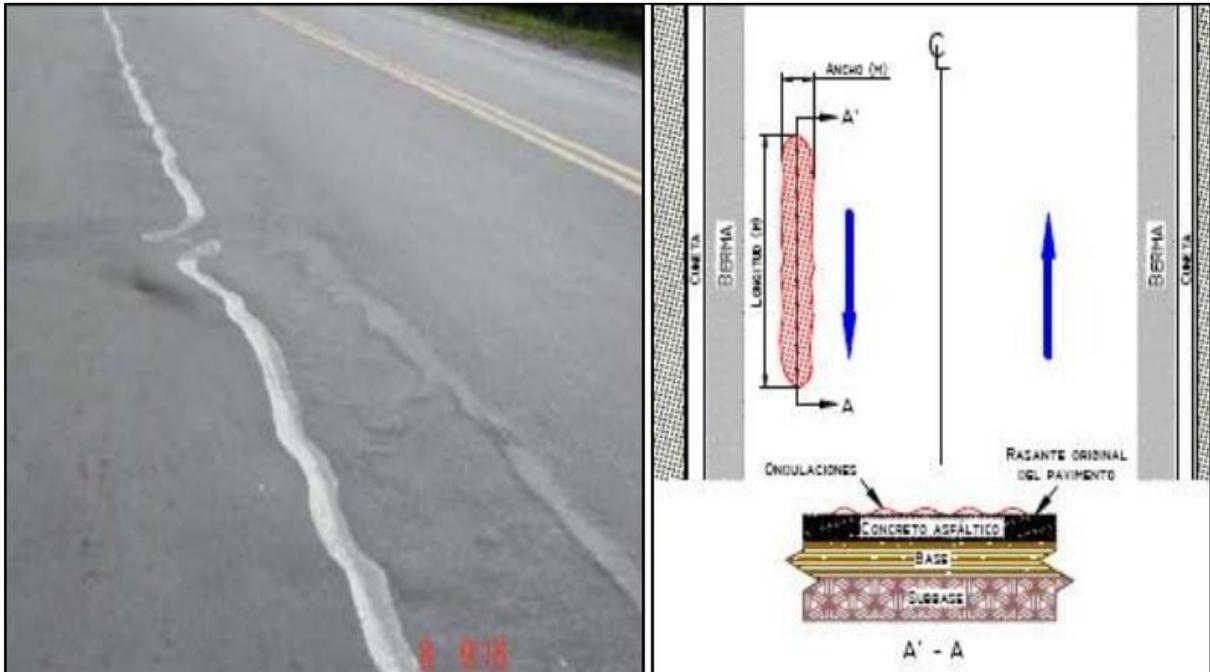
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Las ondulaciones son una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por una mala dosificación de asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en los lugares de las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

- **Abultamiento:** Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras. Se genera principalmente por la expansión de la subrasante o

en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se forma al existir presiones bajo la capa asfáltica.

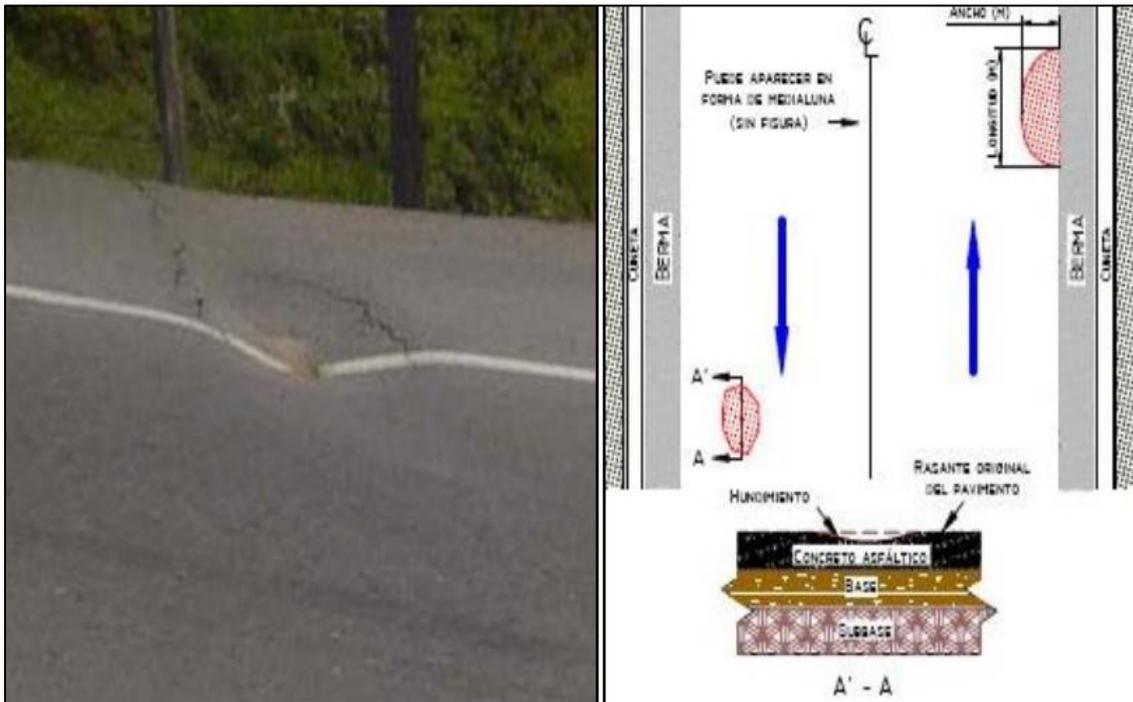
FIGURA N° 04 - Deformaciones por abultamiento



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

- **Hundimiento:** Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante. Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidroplaneo. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de media luna

FIGURA N° 05 - Deformaciones por hundimiento

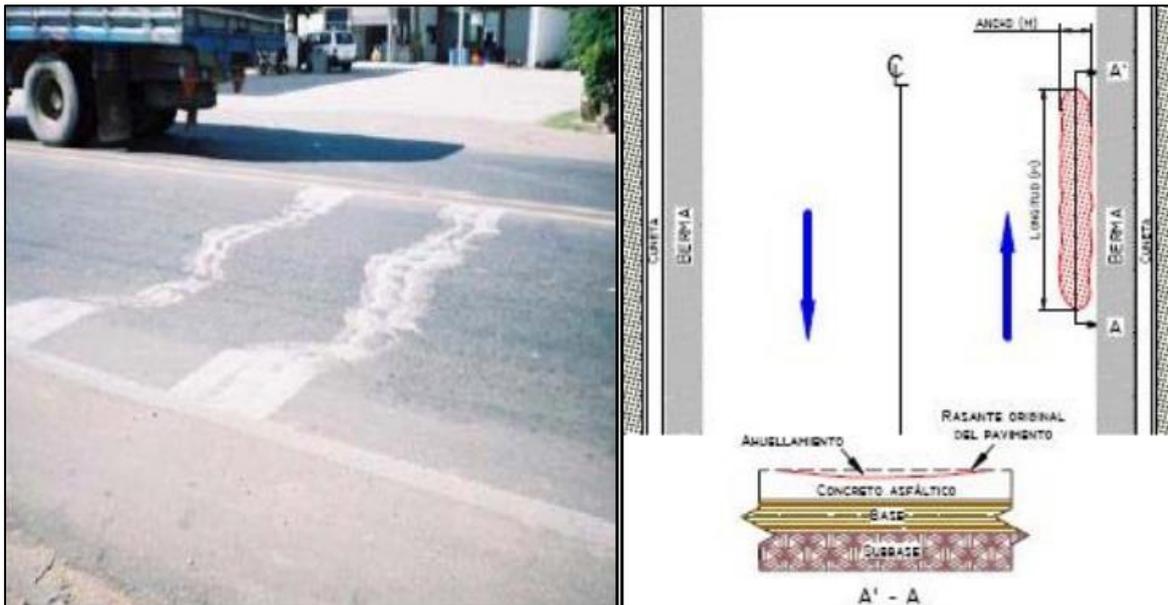


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan a toda la estructura del pavimento, algunas de estas son: Asentamiento de la subrasante; deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en zonas de acceso a obras de arte o puentes; deficiencias de drenaje que afectan los materiales granulares; deficiencias de compactación de rellenos de zanjas que atraviesan la calzada; entre otros.

- **Ahuellamiento o roderas:** El Ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañada de una elevación de las zonas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración. Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el fenómeno de hidropilano por almacenamiento de agua.

FIGURA N° 06 - Deformaciones por Ahuellamiento



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

1.6. MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

No cabe duda que en la actualidad la ingeniería de caminos se debate ante la urgente necesidad de mejorar los procedimientos de diseño de pavimentos, con el objeto último de lograr mejores desempeños de esas estructuras que permitan una optimización de los costos de mantenimiento y rehabilitación asociados y sobre todo, de los costos de operación de los usuarios. Para el dimensionamiento de las secciones del pavimento, por los procedimientos más generalizados de uso actual en el país. Los procedimientos adoptados son:

- Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.
- Análisis de la performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño.

1.6.1. MÉTODO GUÍA AASHTO 93 DE DISEÑO

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la sub rasantes para el

cálculo de espesores. El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el período de diseño establecido en el proyecto. El período de Diseño a ser empleado para pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años. El ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el período de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la entidad. La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente

ECUACIÓN N°01 - Ecuación de diseño AASHTO 1993

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Donde:

- **SN:** número estructural requerido por la sección de carretera.
- **W18:** número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el Período de diseño.
- **Zr :** desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño).
- **So:** error estándar por efecto de tráfico y comportamiento.
- **ΔPSI:** Variación del índice de serviciabilidad.
- **Mr:** Módulo residente de la subrasante medido en PSI.

El número estructural requerido por el proyecto, SN, se

convierte en espesores de carpeta asfáltica, mediante coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño es la siguiente.

ECUACIÓN N°02 - Ecuación para el cálculo de espesores basados en el número estructural

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Donde:

- **SN:** número estructural requerido por la sección de carretera.
- **a_i:** Coeficiente de capa (1/pulg)
- **D_i:** Espesor de la capa (pulg)
- **M_i:** Coeficiente de drenaje de la capa (adimensional)

1.7. ESTUDIO DE TRÁFICO

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el Ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

El estudio de Tráfico vehicular permite cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan por la carretera en estudio en forma actual, así como estimar algunos otros aspectos a través de encuestas, los que servirán para realizar una evaluación económica de una construcción, rehabilitación, mejoramiento, etc. de la vía estudiada.

El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que el tránsito viene a ser el flujo de vehículos que circulan por la vía, pero usualmente se denomina tráfico vehicular.

1.7.1. CÁLCULO DEL IMDA.

Para realizar un correcto Estudio de Tráfico es necesario realizar un cálculo del Índice Medio Diario Anual, (IMDA), el cual resulta del conteo y de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales.

La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios y los costos que actualmente se tienen cuando se realizan estos estudios.

Adicionalmente el uso de esta información oficial garantizará una mejor consistencia entre la información obtenida y utilizada para los diversos estudios.

1.7.2. DEMANDA PROYECTADA, FACTOR DIRECCIONAL Y CARRIL.

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis; y en este contexto, para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento.

El factor distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canalizará por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD.

TABLA N° 05 - Factores de Distribución Direccional y de Carril para Determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

1.7.3. CÁLCULO DE TASAS DE CRECIMIENTO Y PROYECCIÓN.

Se puede utilizar el siguiente cuadro para hallar la Tasa de Crecimiento Acumulado (Fca).

TABLA N° 06 - Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)

Periodo de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

1.7.4. NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES.

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2TN, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados.

TABLA N° 07 - Cálculo del W8.2


Nrep de EE 8.2 tn = Σ [EE_{día-carril} x Fca x 365]

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE_{día-carril}	<p>EE_{día-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> <p>EE_{día-carril} = IMD_i x Fd x Fc x Fvp_i x Fp_i</p> <p>donde:</p> <p>IMD_i: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>Fd: Factor Direccional, según Cuadro N° 6.1.</p> <p>Fc: Factor Carril de diseño, según Cuadro N° 6.1.</p> <p>Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>Fp: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

SUB CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DEL ÀREA DE ESTUDIO.

MEZCLA ASFÀLTICA

ARCHILLA, A. R. & MADANAT, S. (2002), como se mencionó en el subcapítulo anterior los pavimentos flexibles son los de mayor importancia en la red de vías urbanas y carreteras Peruanas, debido a que constituyen el 90% de esta; de las diferentes capas que integran un pavimento flexible se considera que la carpeta asfáltica es la de principal interés ya que es la que está en contacto con los usuarios de las carreteras, además de ser la de mayor costo en un pavimento. Los materiales que constituyen las mezclas asfálticas, son el asfalto y los agregados pétreos. Las características y comportamiento de las mezclas asfálticas son un factor importante para su desempeño en un pavimento, existe dos métodos de diseño, el Marshall que es el más usado en Perú y el SUPERPAVE usado mundialmente.

2.1.DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÀLTICA

Las mezclas asfálticas se utilizan desde hace mucho tiempo en las capas superiores de los pavimentos flexibles. Una de las ventajas de las mezclas asfálticas es que se pueden extender en espesores muy diversos, por igual también podemos obtener diferentes grados de resistencia; lo que les permite adaptarse a una gran cantidad de condiciones estructurales. Las mezclas asfálticas están formadas por una combinación y distribución uniforme de un ligante asfáltico y agregado mineral. El ligante asfáltico actúa como aglutinante formando una masa cohesiva, envolviendo cada una de las partículas del agregado mineral, debido a que este es impermeable al agua, la mezcla también se vuelve impermeable. El agregado mineral, es un conjunto de partículas de distintos tamaños que provienen de la fragmentación natural o artificial; ligado por el asfalto, actúa como un esqueleto pétreo que aporta rigidez y resistencia a la mezcla asfáltica. Las mezclas asfálticas pueden considerarse como un material constituido por tres fases:

- Líquida. Constituida por el asfalto que contribuye a la cohesión del material pétreo y aporta las propiedades viscosas y elásticas a la mezcla.
- Sólida. Constituida por el agregado mineral, proporciona un esqueleto para resistir las repetidas aplicaciones de carga. Dando así origen a la principal característica de la mezcla la resistencia mecánica.
- Gaseosa. Compuesta por los vacíos de aire que se encuentran en la mezcla, su presencia contribuye a que se presente una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito, para evitar el desplazamiento de la mezcla.

Los componentes que presentan mayor influencia en una mezcla asfáltica, son el asfalto y el filler, lo que se ve reflejado en su calidad y en su costo total. Debido a las características visco- elásticas del asfalto, las mezclas asfálticas, tienen un comportamiento que depende en servicio, de la temperatura y de las velocidades de aplicación de las cargas.

2.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen diversos parámetros para establecer una clasificación que determine las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones que podemos adoptar pueden ser múltiples, en el presente trabajo se adoptó la siguiente:

2.2.1. POR LAS FRACCIONES DE AGREGADO PÉTREO UTILIZADO

- Mortero asfáltico: consiste de un agregado fino más una masilla, se utiliza como superficie de rodamiento colocándose sobre una base impregnada o sobre una carpeta asfáltica.
- Concreto asfáltico: es una mezcla asfáltica en caliente, muy bien controlada, de cemento asfáltico (de alta calidad) y

agregado grueso bien graduado (también de alta calidad), compactada muy bien para formar una masa densa y uniforme.

2.2.2. POR LA TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA

- Mezcla asfáltica en caliente: mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas. Para secar el agregado y obtener suficiente fluidez del asfalto (usualmente cemento asfáltico), ambos deben calentarse antes de ser mezclados, dando origen a la expresión “mezcla en caliente”.
- Mezcla asfáltica en frío: una mezcla de asfalto emulsionado y agregado; producida en una planta central (mezcla en planta) o mezclada en el lugar de la obra (mezcla in situ), se colocan y compactan generalmente a temperatura ambiente.

2.2.3. POR LA PROPORCIÓN DE VACÍOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.

- Mezclas densas: son mezclas donde el porcentaje de vacíos es menor o igual al 6 %.
- Mezclas semi-densas: cuentan con una proporción de vacíos de 6 % a 10 %.
- Mezclas abiertas: tienen una proporción de vacíos superior al 12 %.
- Mezclas drenantes: presentan un porcentaje de vacíos mayor al 20 %.

2.2.4. POR EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO PÉTREO

- Mezclas gruesas: en este tipo de mezclas se utilizan materiales pétreos con tamaño máximo de 1 ½ “.
- Mezclas finas: conocidas también como micro aglomerados, están formadas por agregados finos, polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado es factor para determinar el espesor mínimo con el que ha de extenderse la mezcla, que debe de ser del orden del doble o triple este.

2.3. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.3.1. DENSIDAD

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas de análisis y diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa generalmente, en kg/m³. La densidad

es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua. La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación in-situ logra las densidades que se obtienen utilizando los métodos normalizados de compactación en laboratorio.

2.3.2. VACÍOS DE AIRE.

Son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada.

“Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para poder permitir alguna compactación adicional bajo el tránsito y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional”. LUCERO, R. WAHR, C. y ARANCIBIA, C. 2003. “Estudio de Fricción en pavimentos”. (avance). Recuperado de http://www.udec.cl/~provia/trabajos_pdf/45RobinsonLuceroCoeficientedefricci%F3n.pdf

La durabilidad de una mezcla asfáltica es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea el contenido de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación del asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

2.3.3. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado de una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

2.3.4. CONTENIDO DE ASFALTO.

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe de ser determinada con exactitud en el laboratorio y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto; entre más finos contiene la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo es más pronunciada cuando hay presencia de relleno mineral (filler); los altos incrementos en la cantidad de filler, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca; por el contrario los pequeños contenidos de filler resultan en una mezcla más favorable (húmeda).

La capacidad de absorción del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto; esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionado a la mezcla para producir las cualidades necesarias a la mezcla.

“El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es el contenido de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad de asfalto absorbida de asfalto del contenido total de asfalto”. (PONCINO, H. 2001)

Para un tipo de mezcla asfáltica determinado, se tiene que:

- Para valores de porcentajes de asfalto por debajo del óptimo, la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga aumentan con el incremento del contenido de asfalto.
- Para valores de porcentajes de asfalto por encima del óptimo, se presenta una disminución de las características mecánicas de la mezcla, incluso con aumento del riesgo a sufrir deformación.

2.4.DISEÑO DE MEZCLAS.

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de los pavimentos de flexibles; estas incluyen la

estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. El objetivo primordial del procedimiento de diseño de las mezclas es el de garantizar que la mezcla posea cada una de estas propiedades.

2.4.1. ESTABILIDAD.

La estabilidad de una mezcla es su capacidad para resistir al desplazamiento y deformación bajo los efectos del tránsito; una mezcla estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo las cargas repetidas, una mezcla inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en las mezclas. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y de la cohesión interna; la fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre las partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto de otras debido a las fuerzas ejercidas por el tránsito.

2.5. MÉTODOS DE DISEÑO.

El diseño de mezclas asfálticas consiste en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas de la mezcla terminada. El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados (dentro de los límites de especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una mezcla con:

- Suficiente asfalto para garantizar una mezcla durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.

- Un contenido de vacíos suficientemente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito sin que produzca exudación o pérdida de estabilidad.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.

El proceso de diseño de una mezcla asfáltica consiste en la selección del agregado, selección del asfalto, compactación de los especímenes de prueba, el cálculo de los parámetros volumétricos y la determinación del contenido óptimo de asfalto. El diseño de mezcla seleccionado es, usualmente, el más económico y el que cumple satisfactoriamente con todos los requisitos establecidos. El diseño de mezclas es una herramienta usada en el control. Es utilizada en la aceptación de materiales, en el control de la mezcla de obra y en la compactación final de la mezcla. A continuación se presenta el método de diseño de mezclas Marshall; que es el más utilizado en Perú.

2.5.1. MÉTODO MARSHALL

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. El método original únicamente es aplicable para mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contenga agregado con tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos de 38 mm (1 ½"). Este puede ser usado para diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. El método Marshall usa especímenes de prueba normalizados de 64 mm (2 ½") de espesor por 101.6 mm (4") de diámetro. Se utiliza un procedimiento específico para

calentar, mezclar y compactar una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto. Los datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

a. Procedimiento del ensayo Marshall:

El método de ensayo Marshall consta de tres procedimientos. Estos son: determinación de la gravedad específica, medición de la estabilidad y flujo, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

b. Determinación de la gravedad específica:

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado a la temperatura ambiente. La medición de gravedad específica es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. Esta prueba se hace de acuerdo con la Norma ASTM - D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina; o la ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas mediante superficies saturadas de especímenes secos. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizan pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se recurre a la norma ASTM D1188; en caso contrario, se emplea la norma ASTM D2726.

c. Ensayos de estabilidad y flujo:

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. El flujo la deformación, bajo

carga, que ocurre en la mezcla. El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es extraída del baño, secada y colocada en el aparato Marshall, este aparato consiste de un dispositivo que aplica carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación.
- La carga aplicada a las probetas tiene una velocidad constante de 50.8 mm (2") por minuto hasta que la muestra falle. La falla es definida como la carga máxima que la probeta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de deformación se registra como el flujo.

TABLA N° 08 - Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, obtenidas mediante el método Marshall

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

d. Valor de estabilidad Marshall:

El valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual cede o falla totalmente. Durante el ensayo, la carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall. Debido a que esta indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor mucho más alto será mejor. Para muchos materiales utilizados en ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de la durabilidad.

e. Valor de flujo Marshall:

El flujo representa la deformación de la probeta; la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la muestra. Las mezclas que tienen valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad son consideradas como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de flujo son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

f. Tráfico de Diseño:

Número de aplicaciones de carga para el período de diseño del Proyecto. Si el número de aplicaciones es menor de 10^4 se considera Tráfico Ligero. Si el número de aplicaciones es mayor o igual a 10^4 y menor de 10^6 se considera como tráfico Medio. Si el número de aplicaciones es mayor o igual a 10^6 , se considera tráfico pesado

2.3. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504 (MARSHALL DE DISEÑO).

Objetivo: Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación.

Resumen del Método: El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½") de altura, preparadas como se describe en la norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación.

Aparatos y Materiales Necesarios:

- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Martillo de compactación.

- Pedestal de compactación.
- Soporte para molde.
- Mordaza y medidor de deformación.
- Prensa.
- Medidor de Estabilidad.
- Elementos de Calefacción.
- Mezcladora.
- Tanque para agua.
- Cámara de aire.
- Termómetros blindados.
- Balanzas.
- Guantes de soldador.
- Bandejas metálicas.

Preparación de Probetas.

Número de Probetas: Para una gradación particular del agregado original o mezclada, se preparará una cantidad en promedio de 3 probetas para cada cantidad de contenido de asfalto (Con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos)

Cantidad de Materiales: Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitará entonces por lo menos dieciocho (18) probetas.

Preparación de los Agregados: Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105 °C y 110°C.

Determinación de las Temperaturas de Mezcla y Compactación: La temperatura a la cual se calentara el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistokes.

Preparación de las Mezclas: en Bandejas taradas separadas para cada muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que esta resulte con una altura de 63.5 ± 1.27 mm.

Compactación de las Probetas: Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en una baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93°C y 149°C. Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

Colóquese toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpéese vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Quítese el collar y alísese la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos.

Vuélvase a poner el collar y colóquese el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de compactación. Aplíquese 35, 50 o 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsese 50 golpes; para asfalto líquido aplíquese 75 golpes), **de acuerdo con el tránsito de diseño**, (Mezcla A, Tráfico Pesado, 75 golpes por lado. Mezcla B, Tráfico Medio, 50 golpes por lado. Mezcla C, Tráfico Ligero, 35 golpes por lado) empleando para ello el martillo de compactación una caída libre de 457 mm (18")

2.4. BASES NORMATIVAS

La investigación presente se regula a normas técnicas, Leyes, Artículos y Reglamentación correspondiente a la importancia de los agregados pétreos para la estabilidad en la carpeta asfáltica de los pavimentos flexibles basado en la metodología de la extracción de núcleos asfálticos y el ensayo Marshall de Comprobación (Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica) y otros ensayos de vital importancia, a continuación se detallan las normas utilizadas:

- Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos.
- Norma Técnica Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

- Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013
- Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.
- Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por su finalidad de estudio, el tipo de investigación de acuerdo a las variables propuestas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación es de tipo: APLICADA.

3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es DESCRIPTIVO – EXPLICATIVO y CORRELACIONAL porque ofrecen predicciones, explican la relación entre variables y cuantifican relaciones entre Variables

3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. MÉTODO GENERAL

En el presente trabajo de investigación se utilizó el MÉTODO CIENTÍFICO como método general. En la actualidad:

“El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Asimismo, el significado de la palabra ‘método’ ha variado. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos”.
(ANDER, E. 2000)

3.3.2. MÉTODO ESPECÍFICO

Se utilizó el: MÉTODO CUANTITATIVO, en razón que los datos obtenidos, se tratan de datos numéricos y susceptibles de medición e interpretación, por ser datos categoriales y que se someterán a un análisis estadístico, es decir evaluar y verificar la importancia de las propiedades físico – mecánica de los agregados pétreos y el contenido de asfalto con respecto a los valores de estabilidad y flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha. 2015.

Asimismo mediante la exploración de ensayos se captó aquellos aspectos que son más relevantes al fenómeno o hecho a investigar; recopilando los datos que se estimen pertinentes, asimismo el análisis y evaluación de los métodos de diseño, requerimiento de las propiedades mecánicas del material empleado y el control de espesores de la capa asfáltica de los pavimentos flexibles justifican el presente trabajo de investigación.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que se utilizó en el presente estudio de investigación es NO EXPERIMENTAL y es OBSERVACIONAL; de acuerdo a los indicadores:

Propiedades mecánicas de los materiales que constituyen la estructura de la carpeta asfáltica para la variable: AGREGADOS PÉTREOS, así mismo diseño de mezcla asfáltica, propiedades mecánicas de los componentes que constituyen la mezcla asfáltica para la variable: ESTABILIDAD EN CARPETA ASFÁLTICA.

Es No Experimental porque es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. POBLACIÓN

La Población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matrícula en una misma universidad, o similares. Para el presente estudio de investigación se tomó como Población las vías de carpeta asfáltica de rodadura catalogadas como nacionales, sea por ejemplo la vía Lunahuana – DV. Yauyos – Chupaca, Tramo Roncha – Chupaca, L=16.30 Km otra vía puede ser la vía Jauja – La Oroya y una tercera la vía Jauja Tarma vía Lomo Largo,

Entonces, para nuestro estudio de investigación las vías nacionales son muchas y se elegirá una única para representar como muestra.

De acuerdo a al reglamento vigente el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013 que indica en la siguiente tabla los ensayos y las frecuencias en la construcción de pavimentos asfálticos.

TABLA N° 9 - Ensayos y frecuencias para Mezclas Asfálticas en caliente

Material o Producto	Propiedades o Características	Método de Ensayo	Frecuencia	Lugar de muestreo
Agregado	Granulometría	MTC E 204	200 m ³	Tolva en frío
	Plasticidad	MTC E 110	200 m ³	Tolva en frío
	Partículas Fracturadas	MTC E 210	500 m ³	Tolva en frío
	Equivalente arena	MTC E 114	1.000 m ³	Tolva en frío
	Partículas planas y alargadas	MTC E 221	500 m ³	Tolva en frío
	Desgaste Los Ángeles	MTC E 207	1.000 m ³	Tolva en frío
	Angularidad del agregado fino	MTC E 222	1.000 m ³	Tolva en frío
	Perdida en sulfato de magnesio	MTC E 209	1.000 m ³	Tolva en frío
	Azul de metileno	AASHTO TP 57	1.000 m ³	Tolva en frío
Mezcla Asfáltica	Contenido de Asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista/planta
	Granulometría			
	Ensayo Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista/planta
	Temperatura	-	Cada volquete	Pista/planta
	Densidad	MTC E 506, MTC E 508 y MTC E 510	1 cada 250 m ²	Pista compactada
	Espesor	MTC E 507	Cada 250 m ²	Pista compactada
	Resistencia al deslizamiento	MTC E 1004	1 por día	Pista compactada
	Adherencia	MTC E 519	1.000 m ²	Pista/planta
Cemento Asfáltico	Según 423.02.2(e)		\sqrt{n} (*)	Tanques Térmicos al llegar a obra

(*) n representa el número de tancadas de 30.000 l de cemento asfáltico requeridos en la obra.

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

3.5.2. MUESTRA

La muestra es una pequeña parte de la población o un subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquella. Ésta es la propiedad de la muestra (posee las principales

características de la población) la que hace posible que el investigador que trabaje con la muestra, generalice sus resultados a la población.

De todas las vías nacionales de la región Junín se eligió la primera vía, como es la vía Lunahuana – DV. Yauyos – Chupaca, Tramo Roncha – Chupaca, L=16.30 Km, como indica en el nombre tiene una longitud de 16.30 Km; aparte cabe indicar que tiene un ancho de 9,00 m y el espesor es de 7.5 cm (3 pulgadas) y la unidad de medida es el metro cúbico, se debe de hacer un metrado de volumen para lo que se presenta la tabla siguiente.

TABLA N° 10 - Características y Dimensiones de la vía de estudio

Ítem	Longitud	Ancho	Espesor	Unidad	Metrado
1	16 300 m (16 Km)	9.00 m	0,075 m (7,5 cm)	m ³	11 003 m ³
2	16 300 m (16 Km)	9.00 m	-----	m ²	167 700 m ²

Fuente: Realización Propia.

3.5.2.1 Tipo de Muestreo

En el presente Estudio de Investigación el muestreo que se empleó fue el NO PROBABILÍSTICO, es una técnica de muestreo donde las muestras se recogen en un proceso que no brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados. El tipo de muestro No Probabilístico fue el MUESTREO POR CONVENIENCIA, las muestras son seleccionadas porque son accesibles para el investigador. Los sujetos son elegidos simplemente porque son fáciles de reclutar.

Entonces en la vía de muestra; Lunahuana – DV. Yauyos – Chupaca, Tramo Roncha – Chupaca, L=16.30 Km. Tuvo un muestreo de seis individuos o puntos de investigación; tres de ellas en partes donde la vía se vio claramente bien conservada y las tres restantes en partes en donde se vio claramente estar deteriorada.

Para llevar a cabo el objetivo se ha decidió realizar el muestreo y en ellas se hizo el análisis, en cada una de los puntos, de los ensayos en laboratorio, los que se detallan enseguida:

- 01 Ensayo de contenido de Asfalto (MTC E 502)
- 01 Ensayo Granulométrico (MTC E 502) Ensayo de Gradación de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)
- 01 Ensayo Marshall de Comprobación (MTC E 504)
- 01 ensayo de espesor (MTC E 507)

Además de los ensayos que son destinados para mezclas asfálticas es necesario mencionar que se realizarán los siguientes ensayos.

- Ensayo de Partículas Fracturadas (MTC E 210)
- Ensayo de Partículas Planas y Alargadas (MTC E 221)
- Ensayo de Abrasión Los Ángeles (MTC E 207)
- Ensayo de Equivalente de Arena (MTC E 114)

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. TÉCNICAS

Se tendrá en cuenta el análisis documental, donde se considerará las fichas bibliográficas de resumen, de párrafo; que nos servirán para estructurar el marco teórico referencial y conceptual de la presente investigación.

Según SUÁREZ, P. (1998) sostiene que el fichaje “Consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopila en una investigación”.

Asimismo se tuvo presente las no documentadas como son los Certificados de los ensayos destructivos, y la ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los

ensayos. En relación a la naturaleza del trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

- Análisis documental (Fichas Bibliográficas).
- Análisis no documental:
 - ✓ Ensayos
 - ✓ Evaluación

3.6.2. INSTRUMENTOS

El instrumento que se aplicó en la unidad de análisis fueron principalmente las fichas de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos y las tablas que indican cumplir con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras – EG 2013 y que figuran en la siguiente tabla.

TABLA N° 11 - Técnicas e Instrumentos de Investigación

TÉCNICA	INSTRUMENTO	DATOS QUE SE OBSERVARON
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos destructivos 	Con la aplicación de estos instrumentos nos permitieron: analizar y evaluar mediante la exploración de ensayos destructivos aquellos aspectos de los métodos de diseño, requerimiento de las propiedades mecánicas del material empleado y control de espesores de la estructura de los pavimentos flexibles, los cuales evidencian cuán importante es la relación de importancia de los agregados pétreos y contenido de asfalto con la estabilidad de carreteras de la Carpeta Asfáltica de la vía Chupaca a Roncha. Es necesario entonces notar que en algunos tramos la vía no ha sufrido deterioro mientras que en otros sí.
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. 	Al analizar los certificados de los ensayos destructivos es necesario organizar y tabular los datos obtenidos con el fin de realizar su evaluación técnica y su procesamiento estadístico e interpretación.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

- **Microsoft Excel:** Para exportar cuadros y datos estadísticos de los resultados y datos obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos.
- **Microsoft Word:** Para la elaboración de la parte descriptiva de las fichas Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos.
- **AutoCAD:** Para establecer la localización, delimitación, puntos de investigación y área de influencia del proyecto.

3.6.4. CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

El documento se adjunta en el Anexo N° 05. Como validación y confiabilidad del instrumento siendo visados y aprobados por cada identidad y opiniones de expertos en el tema.

3.7. HIPÓTESIS GENERAL

Las características físico mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la mezcla asfáltica de la vía en estudio

3.8. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

▪ HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”:

Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración en determinadas progresivas.

▪ HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”:

Existe relación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor en los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo.

3.9. VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Los agregados pétreos.

Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada y polvo de roca.

Agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; el agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos podrá tener aporte de productos como cal hidratada como mencionado o cemento portland.

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): La estabilidad de carreteras.

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Depende de la fricción y de la cohesión interna. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas de tránsito.

3.9.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

(Favor pasar a los cuadros)

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): LOS AGREGADOS PÉTREOS

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Conceptualmente los agregados pétreos componen alrededor del 94% de las mezclas asfálticas en caliente. Por lo tanto las propiedades de los agregados gruesos y finos usados en las mezclas asfálticas son muy importantes en el comportamiento de la estructura de pavimento en el cual es utilizado.</p>	<p>componen un porcentaje de composición granulométrica de agregados grueso y fino de acuerdo a los husos granulométricos (MAC) tienen composición de partículas planas y alargadas que mientras menor sea mejor se comportará la mezcla asfáltica, partículas con caras fracturadas, que mientras más se parezcan a cubos o con cuatro caras fracturas sean; entonces mayor fricción en la mezcla asfáltica que otorgarán mejor estabilidad al pavimento terminado, se puede medir también la abrasión de los agregados pétreos mientras mayor resistencia a la abrasión tenga mejor es su comportamiento y durabilidad del pavimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradación de la Mezcla Asfáltica Normal (MAC) ▪ Agregado Grueso ▪ Agregado Fino ▪ Filler o polvo mineral 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder a husos granulométricos. ▪ Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. ▪ El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. ▪ El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. ▪ El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESC. DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos ▪ Evaluación <p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. ▪ Tablas que indican cumplir con la normatividad vigente. 	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a la importancia de los agregados pétreos en la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía de Chupaca a Roncha</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable: Cualitativa 	<p>Discreta – De intervalo</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): ESTABILIDAD DE LAS PAVIMENTACIONES. (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas de tránsito.</p>	<p>Operacionalmente se define como la medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estabilidad (Resistencia) ▪ Flujo (Deformación) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual cede o falla totalmente. Durante el ensayo, la carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall. Debido a que esta indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor mucho más alto será mejor. Para muchos materiales utilizados en ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de la durabilidad. ▪ El flujo representa la deformación de la probeta; la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la muestra. Las mezclas que tienen valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad son consideradas como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de flujo son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESC. DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos ▪ Evaluación <p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. ▪ Tablas que indican cumplir con la normatividad vigente. 	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a la importancia de los agregados pétreos en la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía de Chupaca a Roncha</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable: Cualitativa 	<p>Discreta – De intervalo</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS, IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA VÍA

La temática sobre la “Importancia de los agregados pétreos para la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía Chupaca Roncha”, está basada en el análisis de las propiedades físico mecánicas de los agregados que componen la mezcla asfáltica de la referida vía en estudio, asimismo la evaluación de estabilidad y flujo de las mezcla asfáltica identificada en tal proyecto.

Al respecto el estudio y análisis para la presente investigación se reguló a normas técnicas, Leyes, Artículos y Reglamentación correspondiente a la importancia de los agregados pétreos para la estabilidad en la carpeta asfáltica de los pavimentos flexibles basado en la metodología de la extracción de núcleos asfálticos y el ensayo Marshall de Comprobación (Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica) y otros, dichos parámetros obtenidos se precisan a mayor detalle en la FICHA TÉCNICA N° 001-2016/DDMT-UPLA de 15 de marzo de 2016 (Anexo a la investigación),

realizada como instrumento para la referida investigación, asimismo los resultados se muestran en el presente capítulo.

TABLA N° 12 - Datos generales de la vía en estudio

Tramo	Chupaca Roncha (desde el km 257+000 hasta el Km 266+500)
Nombre de la vía	Vía Nacional Chupaca - Roncha
Distrito	Chupaca y anexo Roncha
Provincia	Chupaca
Departamento	Junín
Número de Carriles	2
Clasificación de la vía	Nacional
Ancho de vía	9.00 m
Tipo de terreno	Plano y semi ondulado
Tipo de superficie	Pavimento flexible (Carpeta asfáltica)
Km inicial	257+000
Km final	266+500
Nro. de puntos de investigación	Extracción de seis (6) núcleos asfálticos

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 07 - Esquema de localización de la vía en estudio

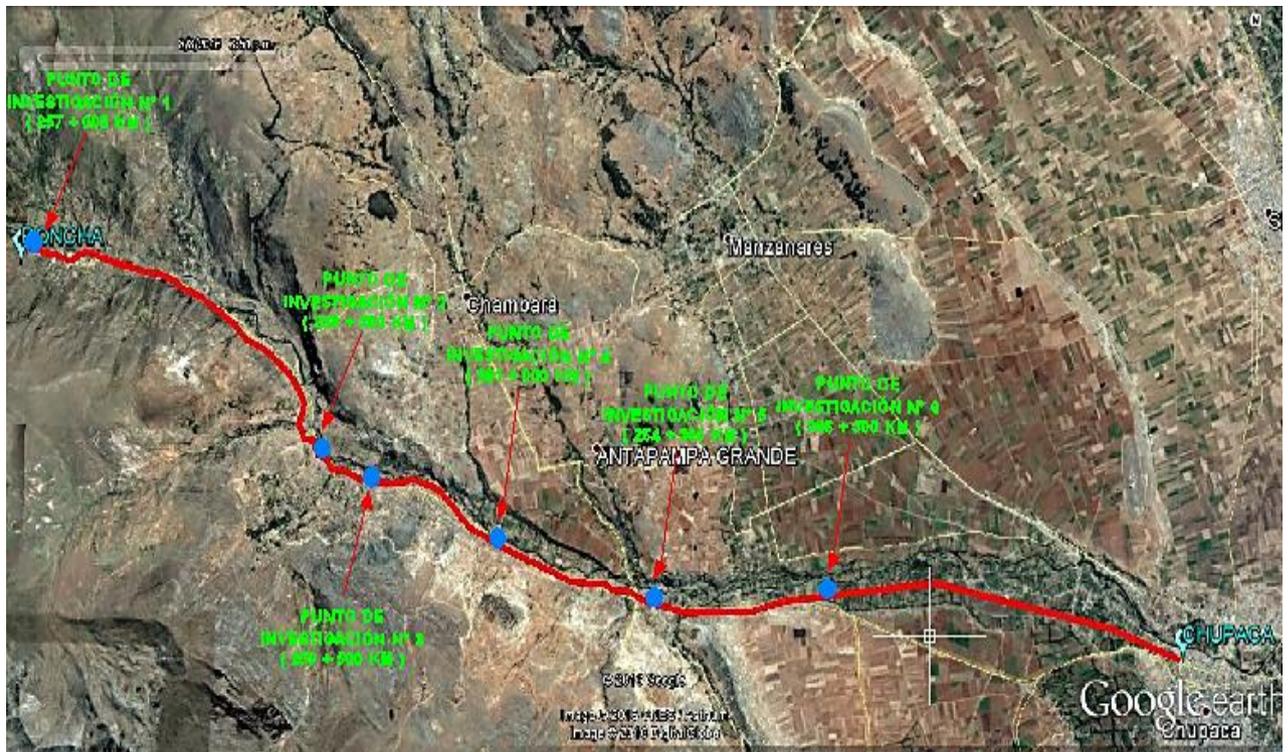
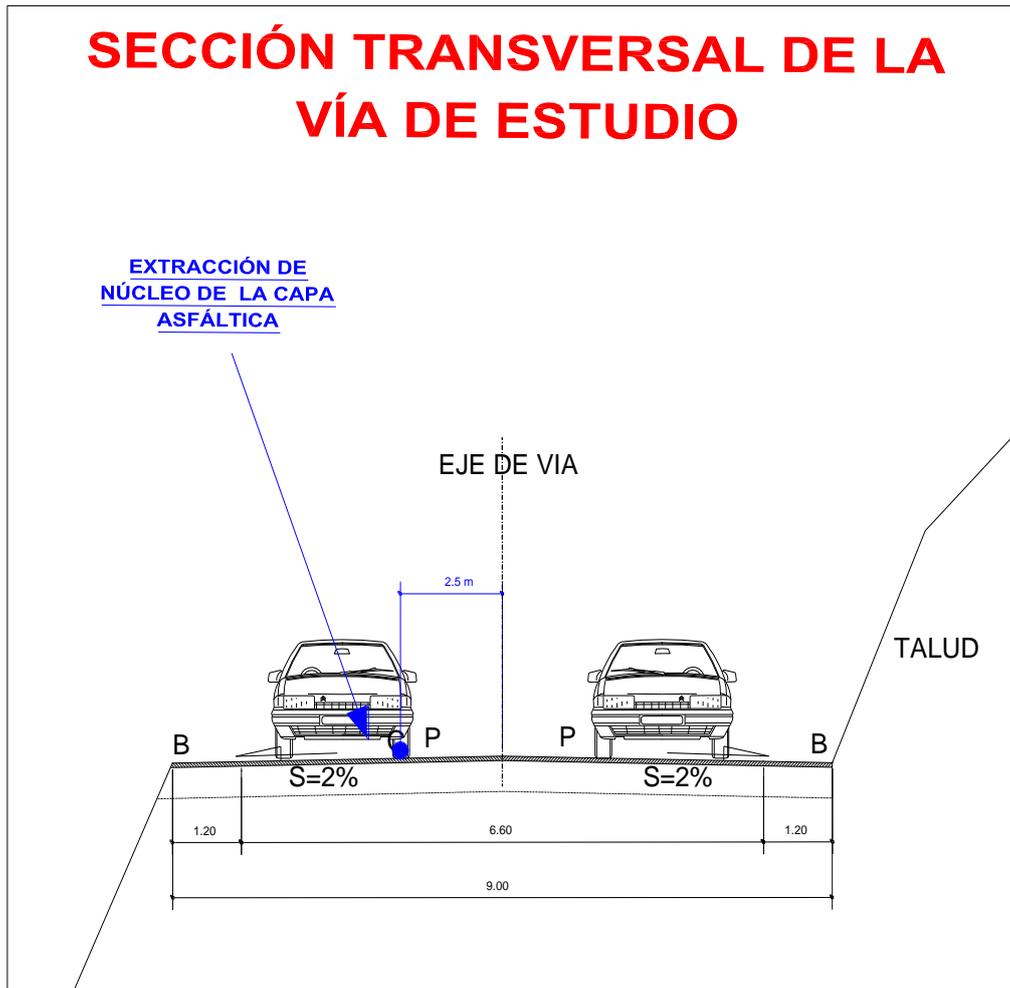


FIGURA N° 08 – Sección transversal de la vía en estudio



Fuente: Expediente Técnico de la Vía en Estudio

TABLA N° 13 - Datos generales de la sección transversal de la vía en estudio

BERMA	:1.20 M	(Ambos lados)
CALZADA	:6.60 M	
PENDIENTE	:2%	
PUNTO DE INVESTIGACIÓN	: 2.50 M	(Del eje central)

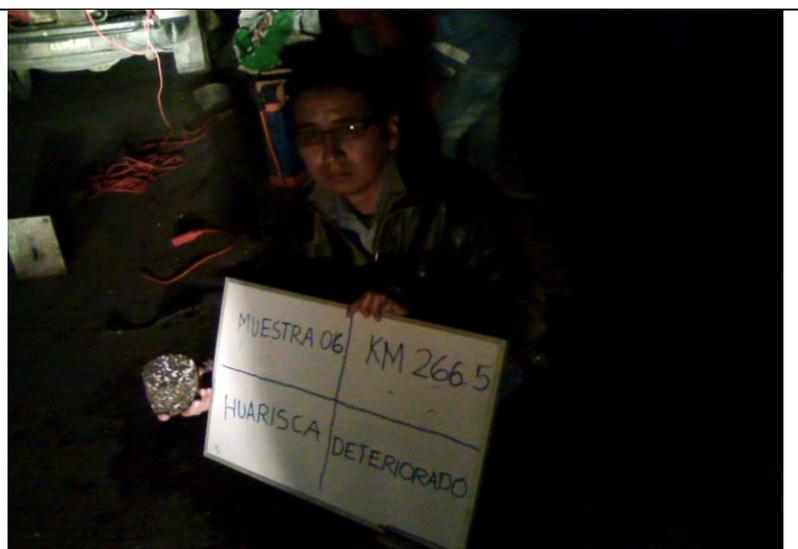
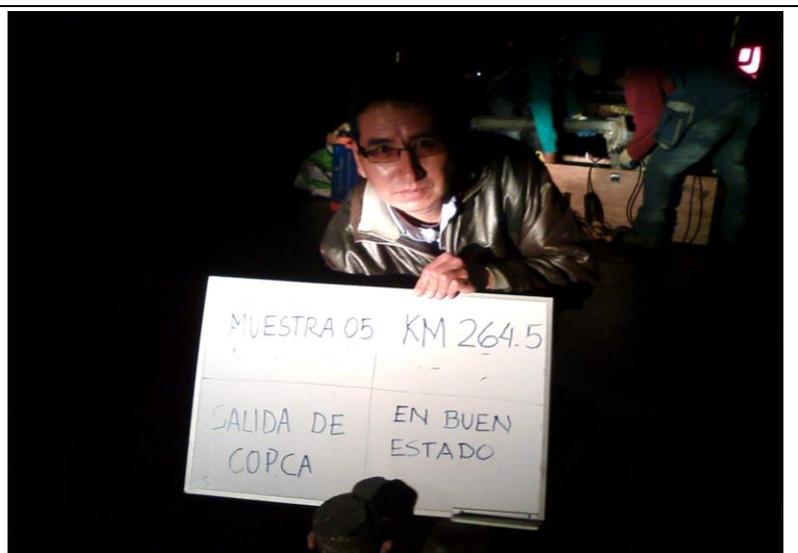
Fuente: Expediente Técnico de la Vía en Estudio

4.2 PRESENTACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Durante la presente investigación se han extraído seis (6) muestras que consisten en núcleos asfálticos las cuales fueron tomadas en la vía de estudio (vía de pavimento flexible Chupaca – Roncha), de los cuales se han desarrollado los ensayos técnicos de estabilidad y flujo (Marshall) para capa asfáltica, las cuales se detallan en las imágenes y cuadros siguientes.

TABLA N° 14 - Puntos de investigación (extracción de núcleos de capa asfáltica)

Ubicación	Imágenes
<p>PUNTO DE INVESTIGACIÓN N° 1 (257 + 000 KM)</p>  <p>EXTRACCIÓN DE NÚCLEO DE LA CAPA ASFÁLTICA</p>	 
<p>PUNTO DE INVESTIGACIÓN N° 2 (258 + 500 KM)</p>  <p>EXTRACCIÓN DE NÚCLEO DE LA CAPA ASFÁLTICA</p>	 
<p>PUNTO DE INVESTIGACIÓN N° 3 (259 + 500 KM)</p>  <p>EXTRACCIÓN DE NÚCLEO DE LA CAPA ASFÁLTICA</p>	



A Continuación se ordena y sistematiza los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio haciendo fichas de organización.

TABLA N° 15 - Contenido de asfalto en los agregados y análisis granulométrico por tamizado

CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO																
NORMA: ASTM D 2172 AASHTO T 164																
N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	% PASANTE ACUMULADO										GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	CONTENIDO ASFÁLTICO (%)
				AGREGADO GRUESO				AGREGADO FINO								
				3/4"	1/2"	3/8"	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 80	Nro. 200	< Nro. 200				
1	257+000	DER.	CARP. ASFALT.	100,00	91,40	79,40	56,80	39,00	20,10	8,10	3,70	0,00	MAC-2	FINO	6,28	
2	258+500	IZQ.	CARP. ASFALT.	100,00	90,20	78,50	56,00	38,80	20,40	9,30	4,10	0,00	MAC-2	FINO	6,45	
3	259+500	DER.	CARP. ASFALT.	100,00	91,50	79,70	57,20	39,40	20,40	8,10	3,80	0,00	MAC-2	FINO	6,96	
4	261+000	IZQ.	CARP. ASFALT.	100,00	90,30	69,70	57,30	40,30	19,90	10,10	3,70	0,00	MAC-2	FINO	6,93	
5	264+500	DER.	CARP. ASFALT.	100,00	88,20	75,60	54,60	37,60	17,80	8,80	3,70	0,00	MAC-2	FINO	6,39	
6	266+500	IZQ.	CARP. ASFALT.	100,00	88,30	77,10	57,50	39,90	21,40	8,30	3,50	0,00	MAC-2	FINO	6,82	

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

TABLA N° 16 - Control de núcleos asfálticos

CONTROL DE NÚCLEOS ASFÁLTICOS							
NORMA: ASTM D 6927							
N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	ESTABILIDAD CORREGIDA		FLUJO (mm)	RELACION ENTRE ESTABILIDAD Y FLUJO(Kg/cm)
				(Kg)	(N)		
1	257+000	DERECHO	CARP. ASFALT.	857,00	8 570,00	3,30	2,596.97
2	258+500	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	632,00	6 320,00	3,81	1,658.79
3	259+500	DERECHO	CARP. ASFALT.	506,00	5 060,00	5,59	905.19
4	261+000	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	523,00	5 230,00	5,08	1,029.53
5	264+500	DERECHO	CARP. ASFALT.	683,00	6 830,00	3,30	2,069.70
6	266+500	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	528,00	5 280,00	5,84	904.11

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

TABLA N° 17 - Características físico mecánicas de los agregados pétreos

CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS									
N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	ESPESOR (cm)	RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN CON MÁQUINA DE LOS ÁNGELES - NORMA: MTC E - 207	DETERMINACIÓN DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS - NORMA: MTC E 221	DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS - NORMA: MTC E 210		EQUIVALENTE DE ARENA - NORMA: T-176
					Desgaste (%)	Partículas chatas y alargadas (%)	Con una cara fracturada (%)	Con dos caras fracturadas (%)	Equivalente de arena promedio (%)
1	257+000	DER.	CARP. ASFALT.	4,32	23,92	3,40	95,70	86,30	81,70
2	258+500	IZQ.	CARP. ASFALT.	5,62	22,04	2,80	92,70	85,20	81,70
3	259+500	DER.	CARP. ASFALT.	4,83	23,43	3,30	93,40	85,40	80,00
4	261+000	IZQ.	CARP. ASFALT.	5,14	24,28	3,60	94,40	83,70	80,00
5	264+500	DER.	CARP. ASFALT.	6,17	25,19	2,90	95,40	84,10	79,50
6	266+500	IZQ.	CARP. ASFALT.	5,83	24,60	3,70	95,70	87,00	78,80
REQ. NORMA					35.00 MÁX	10.00 MÁX	90.00 MÍN	70.00 MÍN	70.00 MÍN

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS:

De la presentación de datos obtenidos, se ha relacionado los resultados con las progresivas y/o puntos de investigación, a fin de obtener un cuadro resumen que sirva para identificar aquellos valores que no están acorde con la normativa establecida, asimismo evidenciar la correspondencia y relación que existe entre los resultados propios de las características físico - mecánicas de los agregados pétreos y las propiedades de la mezcla asfáltica, a fin de explicar sus causas de falla y realizar más adelante una evaluación técnica, teniendo las siguientes consideraciones: El estudio de tráfico vehicular: 4.0 E+06 y 2,50E+06 Según Expediente Técnico y Elaboración Propia Respectivamente (Anexo N° 07), el contenido de asfalto de diseño: 6.1% (Anexo N° 08) y las normas que regulan las propiedades granulométricas de los agregados pétreos y los valores de estabilidad – flujo de la mezcla asfáltica (Anexo N° 09)

TABLA N° 18 - Procesamiento de datos

PROGR. KM	LADO	CAPAS	CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS														PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA					
			GRANULOMETRÍA										ABRASIÓN LOS ÁNGELES	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS		EQUIVALENTE DE ARENA	CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN			
			% PASANTE ACUMULADO					GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)	PREDOMINANCA DEL AGREGADO	Con una cara fracturada (%)	Con dos a más caras fracturadas (%)	ESTABILIDAD			FLUJO (mm)							
			AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO							(Kg)				(N)						
3/4"	1/2"	3/8"	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 80	Nro. 200	< Nro. 200			Desgaste (%)	(%)	(%)	(%)								
257+000	DER.	CARP.	100,00	91,40	79,40	56,80	39,00	20,10	8,10	3,70	0,00	MAC-2	FINO	23,92	3,40	95,70	86,30	81,70	6,28	857,00	8 570,00	3,30
258+500	IZQ.	CARP.	100,00	90,20	78,50	56,00	38,80	20,40	9,30	4,10	0,00	MAC-2	FINO	22,04	2,80	92,70	85,20	81,70	6,45	632,00	6 320,00	3,81
259+500	DER.	CARP.	100,00	91,50	79,70	57,20	39,40	20,40	8,10	3,80	0,00	MAC-2	FINO	23,43	3,30	93,40	85,40	80,00	6,96	506,00	5 060,00	5,59
261+000	IZQ.	CARP.	100,00	90,30	69,70	57,30	40,30	19,90	10,10	3,70	0,00	MAC-2	FINO	24,28	3,60	94,40	83,70	80,00	6,93	523,00	5 230,00	5,08
264+500	DER.	CARP.	100,00	88,20	75,60	54,60	37,60	17,80	8,80	3,70	0,00	MAC-2	FINO	25,19	2,90	95,40	84,10	79,50	6,39	683,00	6 830,00	3,30
266+500	IZQ.	CARP.	100,00	88,30	77,10	57,50	39,90	21,40	8,30	3,50	0,00	MAC-2	FINO	24,60	3,70	95,70	87,00	78,80	6,82	528,00	5 280,00	5,84

Fuente: Tablas N° 15, 16 y 17.

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

4.4. EVALUACIÓN DE DATOS:

4.4.1. EVALUACIÓN DE DATOS PARA EL PROBLEMA GENERAL

Con respecto la problemática siguiente: ¿De qué manera las características físico - mecánicas de los Agregados Pétreos y el contenido de asfalto influyen en los valores de la Estabilidad y Flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha 2015?, se realiza los siguientes cuadros donde se evalúa la importancia de los agregados pétreos en relación al contenido de asfalto, los cuales influyen en los valores de estabilidad y flujo de la carpeta asfáltica de la vía en estudio.

TABLA N°19 - Evaluación de datos del problema general (Parte A)

PROGR. KM	AGREGADOS PÉTREOS			MEZCLA ASFÁLTICA			EVALUACIÓN TÉCNICA	
	GRANULOMETRÍA			CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN			
	% PASANTE (TAMIZ Nro. 4)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)		ESTABILIDAD (N)	FLUJO (mm)	IDENTIFICACIÓN DE TRAMO	JUSTIFICACIÓN
257+000	56,80 (>50 %)	FINO	MAC-2	✓ 6,28	✓ 8 570,00	✓ 3,30	BUEN ESTADO (REGULAR)	El valor de estabilidad y flujo cumplen con la normativa, asimismo de la inspección física se evidencia que el tramo no presenta fallas y/o deterioro.
258+500	56,00 (>50 %)	FINO	MAC-2	X 6,45	X 6 320,00	X 3,81	MAL ESTADO	El valor de estabilidad y flujo no cumplen con la normativa, por otro lado de la inspección física se evidencia que el tramo presenta fallas y/o deterioros (ahuellamiento y deformaciones).
259+500	57,20 (>50 %)	FINO	MAC-2	X 6,96	X 5 060,00	X 5,59	MAL ESTADO	El valor de estabilidad y flujo no cumplen con la normativa, por otro lado de la inspección física se evidencia que el tramo presenta fallas y/o deterioros (ahuellamiento y deformaciones).
261+000	57,30 (>50 %)	FINO	MAC-2	X 6,93	X 5 230,00	X 5,08	MAL ESTADO	El valor de estabilidad y flujo no cumplen con la normativa, por otro lado de la inspección física se evidencia que el tramo presenta fallas y/o deterioros (ahuellamiento y deformaciones).
264+500	54,60 (>50 %)	FINO	MAC-2	X 6,39	X 6 830,00	✓ 3,30	BUEN ESTADO (DÉBIL)	El valor de estabilidad no cumple en cambio el valor de flujo si cumplen con la normativa, sin embargo de la inspección física se evidencia que el tramo aún no presenta fallas, pero estaría susceptible a deterioro considerándose en estado débil.
266+500	57,50 (>50 %)	FINO	MAC-2	X 6,82	X 5 280,00	X 5,84	MAL ESTADO	El valor de estabilidad y flujo no cumplen con la normativa, por otro lado de la inspección física se evidencia que el tramo presenta fallas y/o deterioros (ahuellamiento y deformaciones).

✓ Datos que cumplen con los rangos exigidos de la norma Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013.

X Datos que no cumplen con los rangos exigidos de la norma Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

Fuente: Tabla N° 18

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

TABLA N° 20 - Evaluación de datos del problema general (Parte B)

N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	AGREGADOS PÉTREOS				MEZCLA ASFÁLTICA			EVALUACIÓN TÉCNICA		
				ABRASIÓN LOS ÁNGELES	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS		EQUIVALENTE DE ARENA	CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN			
						Desgaste (%)	(%)			Con una cara fracturada (%)	Con dos a más caras fracturadas (%)	(%)	ESTABILIDAD (N)
1	257+000	DERECHO	CARP. ASFALT.	✓ 23,92	✓ 3,40	✓ 95,70	✓ 86,30	✓ 81,70	✓ 6,28	✓ 8 570,00	✓ 3,30	BUEN ESTADO (REGULAR)	Pese a que los valores correspondientes de las propiedades físico mecánicas tales como: desgaste, partículas chatas - alargadas, caras fracturadas y equivalente de arena de los agregados pétreos (grueso y fino) se encuentran dentro de los rangos estipulados de la normativa, no garantizan el óptimo resultado de los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica, debido al excedente contenido de asfalto.
2	258+500	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	✓ 22,04	✓ 2,80	✓ 92,70	✓ 85,20	✓ 81,70	X 6,45	X 6 320,00	X 3,81	MAL ESTADO	
3	259+500	DERECHO	CARP. ASFALT.	✓ 23,43	✓ 3,30	✓ 93,40	✓ 85,40	✓ 80,00	X 6,96	X 5 060,00	X 5,59	MAL ESTADO	
4	261+000	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	✓ 24,28	✓ 3,60	✓ 94,40	✓ 83,70	✓ 80,00	X 6,93	X 5 230,00	X 5,08	MAL ESTADO	
5	264+500	DERECHO	CARP. ASFALT.	✓ 25,19	✓ 2,90	✓ 95,40	✓ 84,10	✓ 79,50	X 6,39	X 6 830,00	✓ 3,30	BUEN ESTADO (DÉBIL)	
6	266+500	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	✓ 24,60	✓ 3,70	✓ 95,70	✓ 87,00	✓ 78,80	X 6,82	X 5 280,00	X 5,84	MAL ESTADO	

✓ Datos que cumplen con los rangos exigidos de la norma Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013.

X Datos que no cumplen con los rangos exigidos de la norma Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013

Fuente: Tabla N° 19 Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Del análisis y evaluación correspondiente a los cuadros mostrados se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis General: Las características físico-mecánicas de los agregados pétreos (importancia de la granulometría) y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio.

4.4.2. EVALUACIÓN DE DATOS PARA PROBLEMA ESPECÍFICO “A”

Con respecto la problemática siguiente: ¿Cuáles son los tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca – Roncha 2015? Se realiza los siguientes gráficos (histogramas) donde se identifica la existencia de tramos débiles y/o regulares a nivel de capa asfáltica, lo que hace que la vía en estudio sea susceptible a fallas (Ahuellamiento y deformaciones) basados en los valores de estabilidad y flujo.

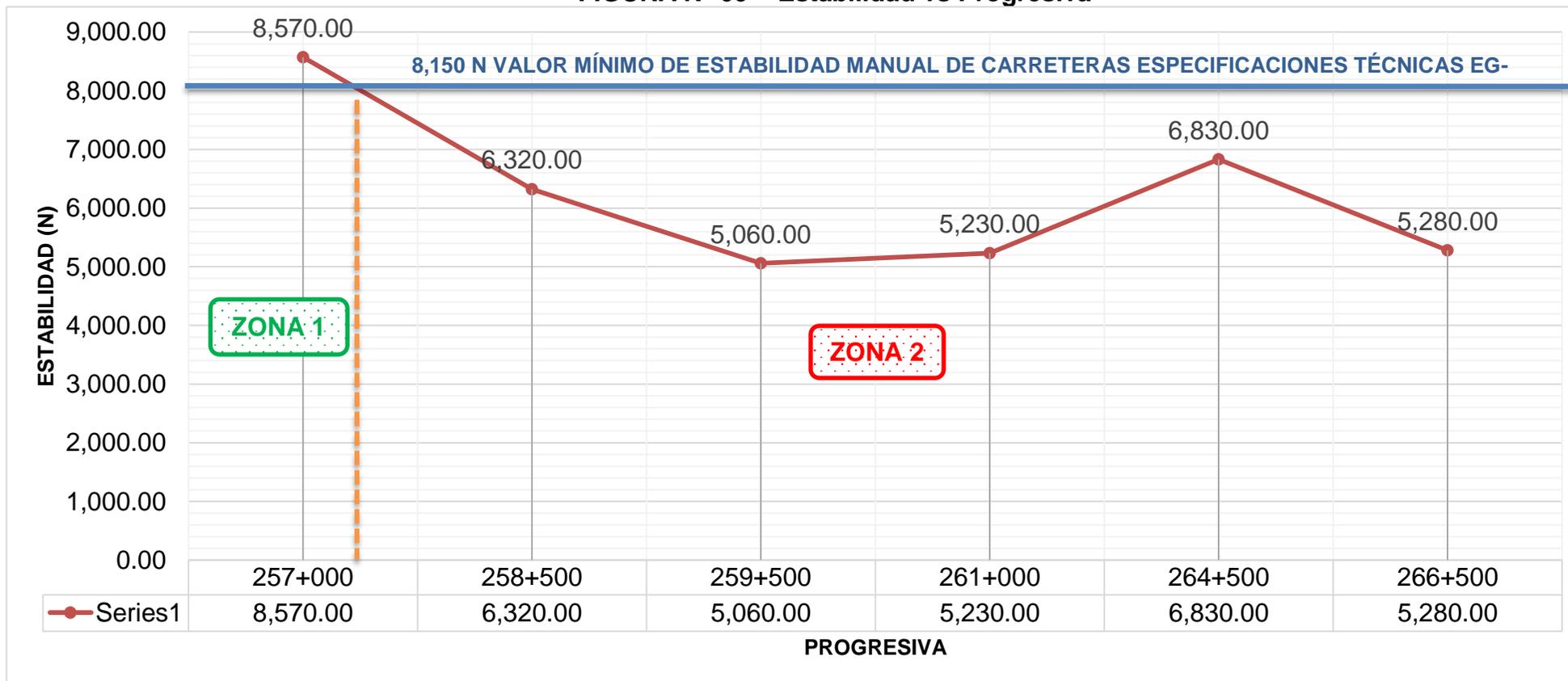
TABLA N° 21 - Evaluación de datos del problema específico “A”

N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	AGREGADOS PÉTREOS			MEZCLA ASFÁLTICA			EVALUACIÓN TÉCNICA (IDENTIFICACIÓN DE TRAMO)
				GRANULOMETRÍA			CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN		
				% PASANTE (TAMIZ Nro. 4)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)		ESTABILIDAD (N)	FLUJO (mm)	
1	257+000	DERE	CARP. AGENT.	56,80	FINO	MAC-2	6,28	8 570,00	3,30	BUEN ESTADO (REGULAR)
2	258+500	IZQ	CARP. AGENT.	56,00	FINO	MAC-2	6,45	6 320,00	3,81	MAL ESTADO
3	259+500	DERE	CARP. AGENT.	57,20	FINO	MAC-2	6,96	5 060,00	5,59	MAL ESTADO
4	261+000	IZQ	CARP. AGENT.	57,30	FINO	MAC-2	6,93	5 230,00	5,08	MAL ESTADO
5	264+500	DER	CARP. AGENT.	54,60	FINO	MAC-2	6,39	6 830,00	3,30	BUEN ESTADO (DÉBIL)
6	266+500	IZQ	CARP. AGENT.	57,50	FINO	MAC-2	6,82	5 280,00	5,84	MAL ESTADO

Fuente: Tabla N° 18

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

FIGURA N° 09 – Estabilidad vs Progresiva



8,150 N VALOR MÍNIMO DE ESTABILIDAD MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ZONA 1

Zona Regular de buen estado y buen desempeño de la carpeta asfáltica.

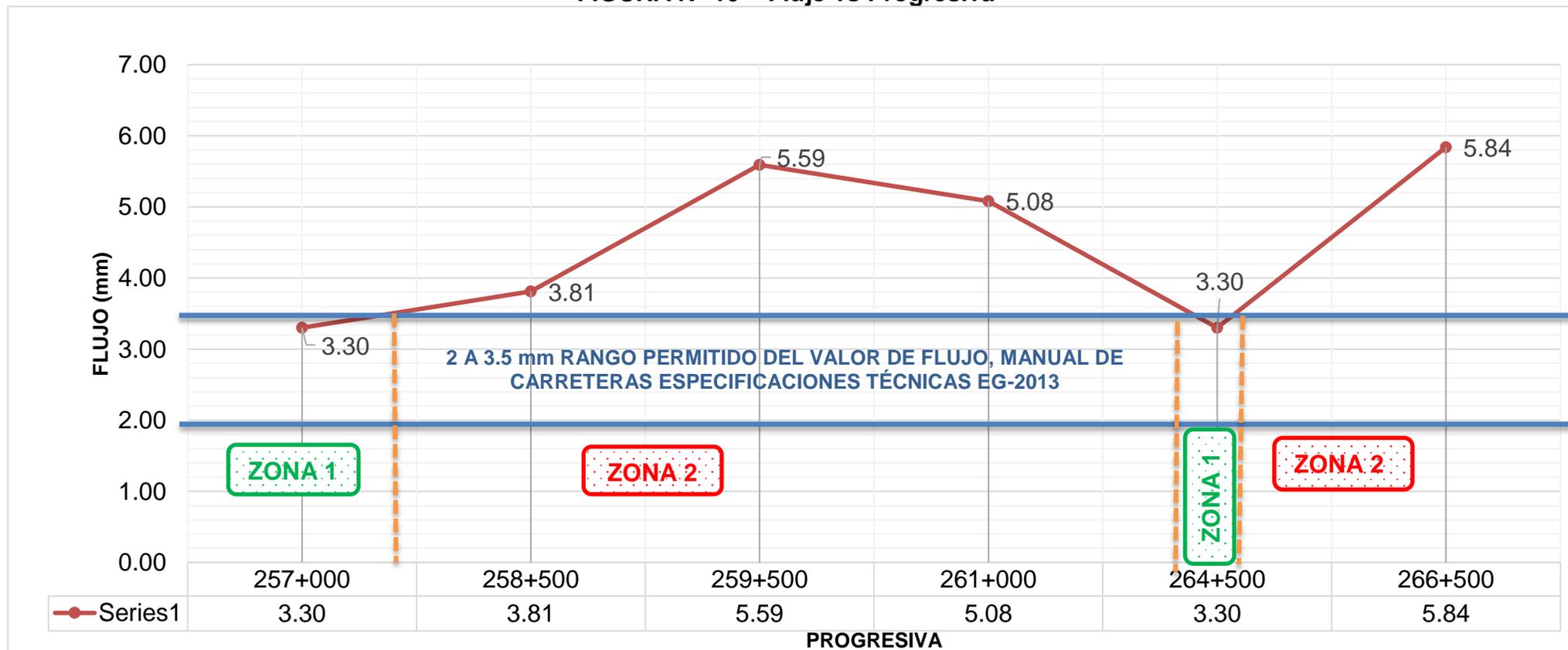
ZONA 2

Zona Débil con susceptibilidad a fallas y deformaciones en carpeta asfáltica

Fuente: Tabla N° 21

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

FIGURA N° 10 – Flujo vs Progresiva



8,150 N VALOR MÍNIMO DE ESTABILIDAD MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ZONA 1

Zona Regular de buen estado y buen desempeño de la carpeta asfáltica.

ZONA 2

Zona Débil con susceptibilidad a fallas y deformaciones en carpeta asfáltica

Fuente: Tabla N° 21

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Del análisis y evaluación correspondiente al cuadro y gráficos mostrados se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis Específica “A”: Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y de la progresiva 265+000 hasta 266+500.

4.4.3. EVALUACIÓN DE DATOS PARA PROBLEMA ESPECÍFICO “B”

Con respecto la problemática siguiente: ¿Qué relación existe entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca - Roncha 2015? Se realiza los siguientes gráficos (diagrama de dispersión de puntos) donde se determina la correlación entre los espesores medidos en campo (Anexo N° 10), con los valores de estabilidad y flujo, asimismo el grado de correlación.

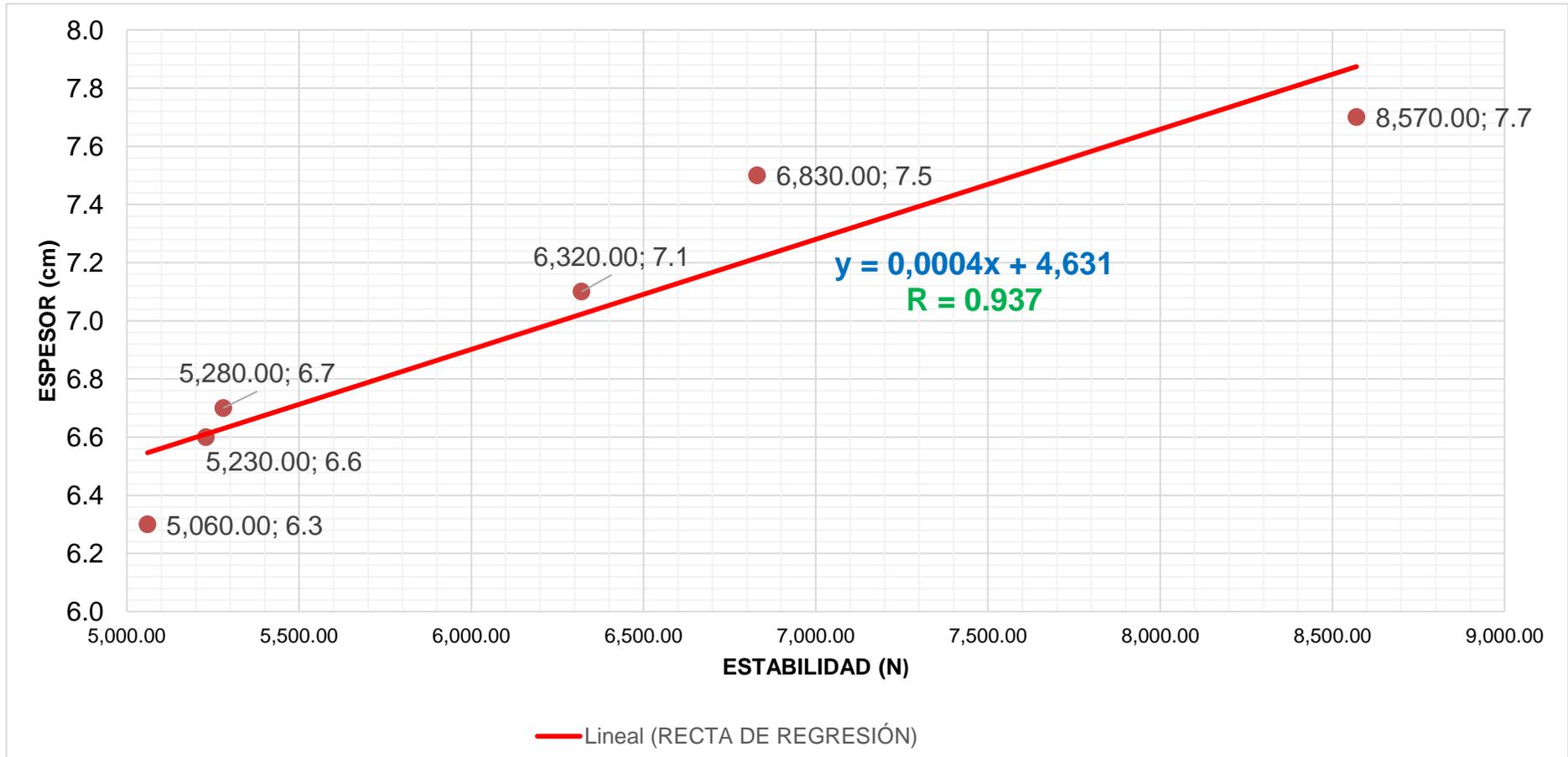
TABLA N° 22 - Evaluación de datos del problema específico “B”

N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	ESPESOR (cm)	MEZCLA ASFÁLTICA			
					CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN		
						ESTABILIDAD (N)	FLUJO (mm)	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm)
1	257+000	DERE	CARP. ASFALT.	7.7	6.28	8,570.00	3.30	2,596.97
2	258+50	IZQ	CARP. ASFALT.	7.1	6.45	6,320.00	3.81	1,658.79
3	259+50	DER	CARP. ASFALT.	6.3	6.96	5,060.00	5.59	905.19
4	261+00	IZQ	CARP. ASFALT.	6.6	6.93	5,230.00	5.08	1,029.53
5	264+500	DER	CARP. ASFALT.	7.5	6.39	6,830.00	3.30	2,069.70
6	266+50	IZQ	CARP. ASFALT.	6.7	6.82	5,280.00	5.84	904.11

Fuente: Tabla N° 15

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

FIGURA N° 11 – Espesor vs Estabilidad



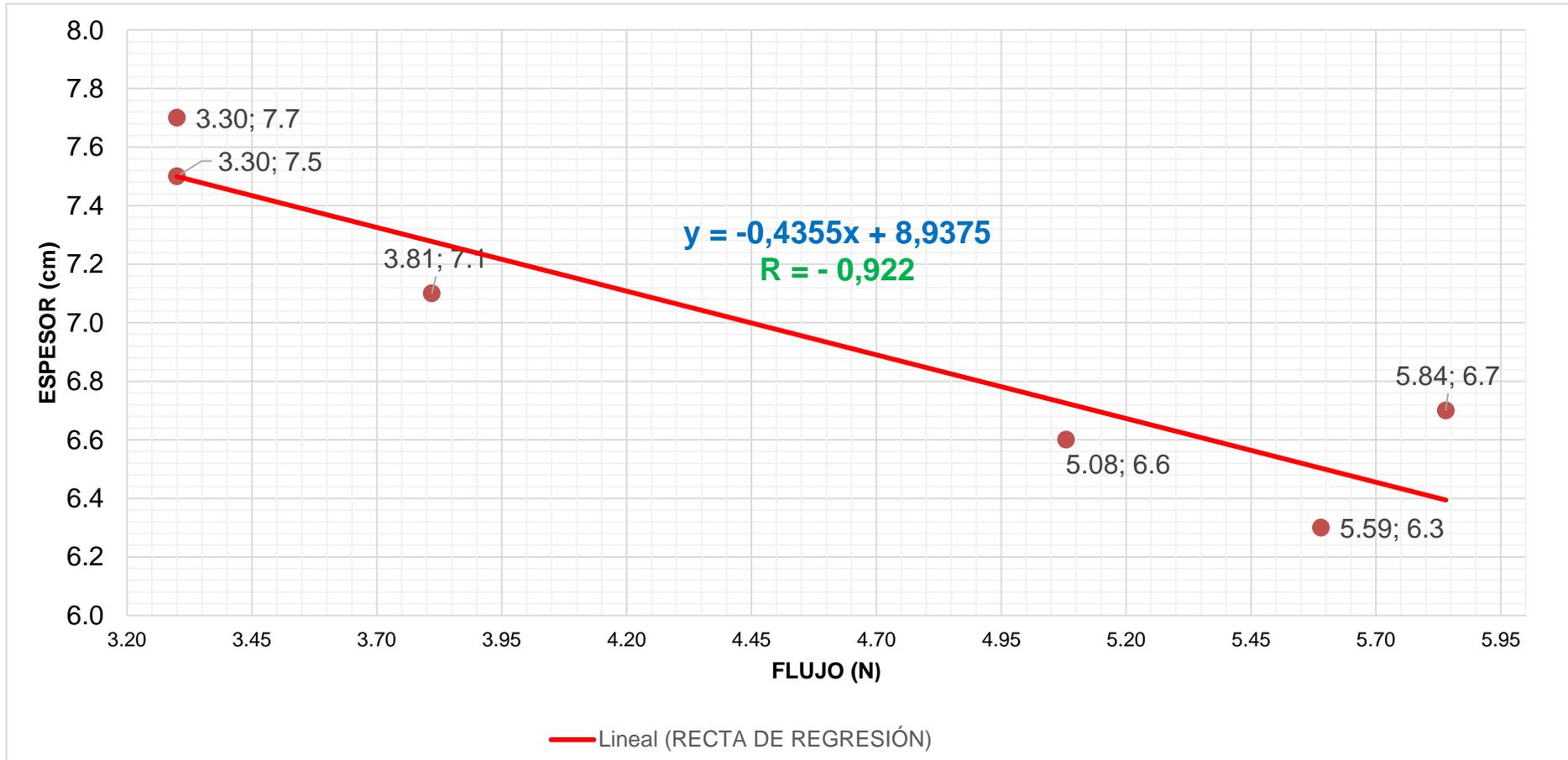
y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia

Fuente: Tabla N° 22.

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

FIGURA N° 12 – Espesor vs Flujo



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

Fuente: Tabla N° 22

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Del análisis y evaluación correspondiente al cuadro y gráficos mostrados se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis Específica “B”: Existe un alto grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo.

4.5. CONTRASTACIÓN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS - GENERAL.

En la tabla N°23 se muestra el resumen de las características físico mecánicas de los agregados pétreos y el contenido asfáltico frente a los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.

TABLA N° 23 – Grados de Correlación Características Físico Mecánicas y Propiedades de la Mezcla Asfáltica

GRADOS DE CORRELACIÓN												
PROGR. KM	LADO	CAPAS	CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS						PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA			
			GRANULOMETRÍA		ABRASIÓN LOS ÁNGELES	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS		EQUIVALENTE DE ARENA	CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN	
			GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO			Desgaste (%)	Con una cara fracturada (%)			Con dos a más caras fracturadas (%)	ESTABILIDAD
					(%)	(%)			(N)			
257+000	DER.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	23,92	3,4	95,7	86,3	81,7	6,28	8 570,00	3,3
258+500	IZQ.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	22,04	2,8	92,7	85,2	81,7	6,45	6 320,00	3,81
259+500	DER.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	23,43	3,3	93,4	85,4	80	6,96	5 060,00	5,59
261+000	IZQ.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	24,28	3,6	94,4	83,7	80	6,93	5 230,00	5,08
264+500	DER.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	25,19	2,9	95,4	84,1	79,5	6,39	6 830,00	3,3
266+500	IZQ.	CARP. ASEALT.	MAC-2	FINO	24,6	3,7	95,7	87	78,8	6,82	5 280,00	5,84

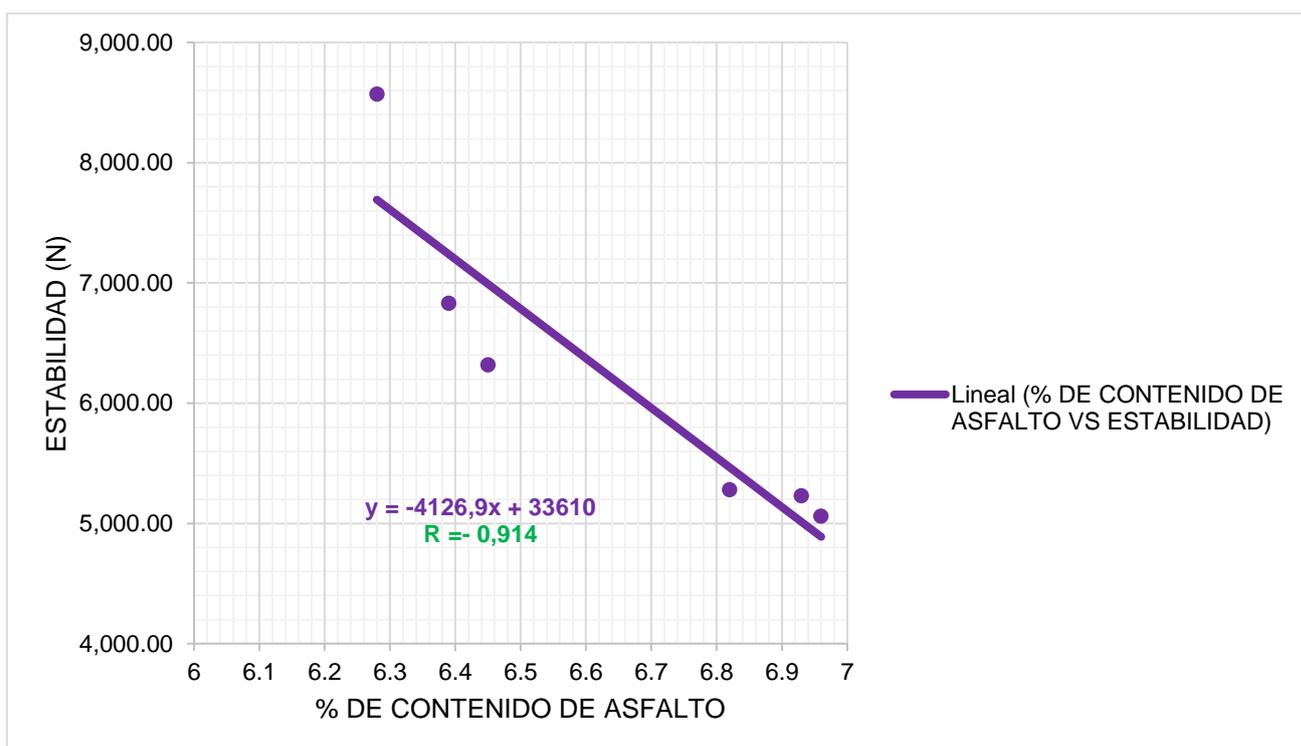
Para probar la hipótesis general planteada como “Las características físico mecánicas de los agregados pétreos (importancia de la granulometría) y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio”.

Al aplicar el análisis de correlación entre el porcentaje de contenido asfáltico y los valores de estabilidad y flujo, encontrándose lo siguiente:

- El porcentaje de contenido de asfalto reporta un grado de correlación $R=0.914$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con alta predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.

El grado de correlación del porcentaje de asfalto frente a los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica se muestra en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 13 – Correlación del Porcentaje de Contenido de Asfalto vs Estabilidad



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

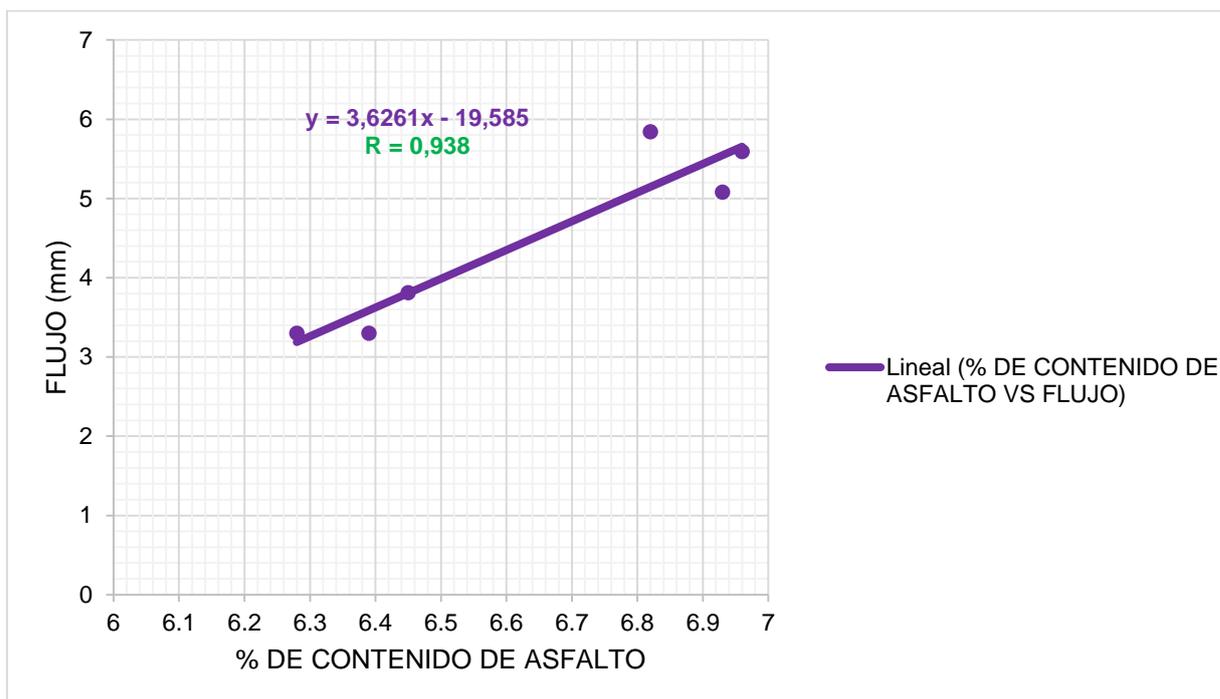
Fuente: Elaboración Propia

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

- El porcentaje de contenido de asfalto reporta un grado de correlación $R=0.938$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con alta predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.

El grado de correlación del porcentaje de asfalto frente a los valores de flujo de la mezcla asfáltica se muestra en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 14 – Correlación del Porcentaje de Contenido de Asfalto vs Flujo



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

Fuente: Elaboración Propia
Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Siguiendo con los pasos de contrastación de prueba de la hipótesis del estudio de investigación se procede a aplicar el análisis de correlación entre las propiedades físico mecánicas de los agregados pétreos y los valores de estabilidad y flujo, encontrándose lo siguiente:

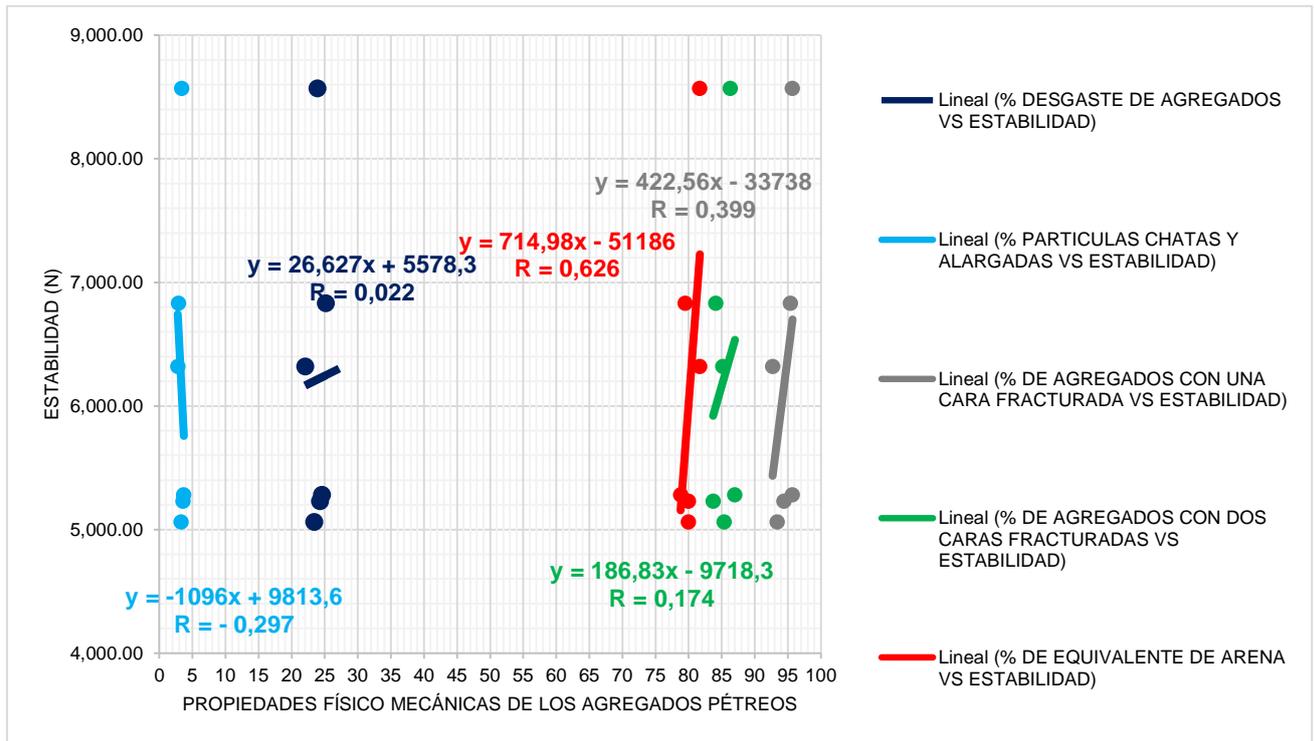
- El porcentaje de desgaste de los agregados reporta un grado de correlación $R=0.022$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de partículas chatas y alargadas reporta un grado de correlación $R=0.297$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación),

es decir influye en un baja predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.

- El porcentaje de agregados con una cara fracturada reporta un grado de correlación $R=0.399$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de agregados con dos caras fracturadas reporta un grado de correlación $R=0.174$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de equivalente de arena reporta un grado de correlación $R=0.626$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con una alta predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.

Los grados de correlación de las características físico mecánicas de los agregados frente a los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica se muestran en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 15 – Correlación de las Propiedades Físico Mecánicas vs Estabilidad



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

Fuente: Elaboración Propia

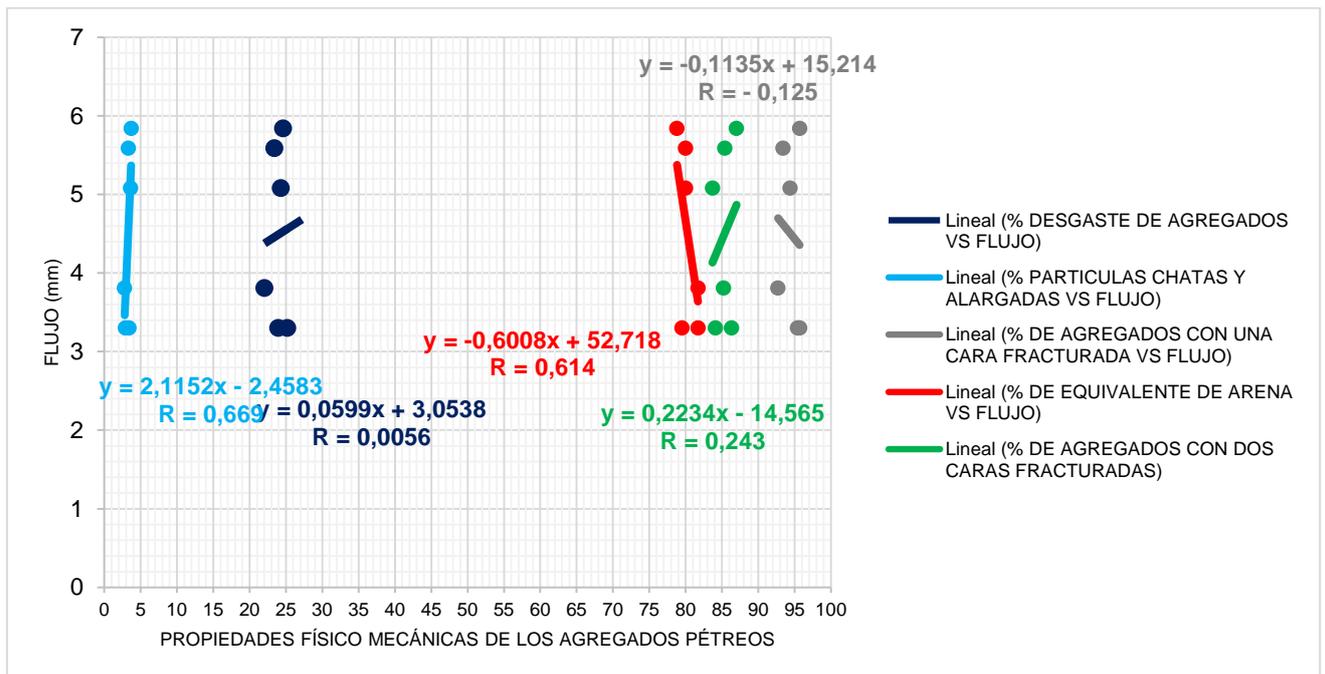
Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

- El porcentaje de desgaste de los agregados reporta un grado de correlación $R=0.0056$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de partículas chatas y alargadas reporta un grado de correlación $R=0.669$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con una alta predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de agregados con una cara fracturada reporta un grado de correlación $R=0.125$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.

- El porcentaje de agregados con dos caras fracturadas reporta un grado de correlación $R=0.243$, es menor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye en un baja predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- El porcentaje de equivalente de arena reporta un grado de correlación $R=0.614$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con una alta predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.

Los grados de correlación de las características físico mecánicas de los agregados frente a los valores de flujo de la mezcla asfáltica se muestran en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 16 – Correlación de las Propiedades Físico Mecánicas vs Flujo



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

Fuente: Elaboración Propia

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Entonces existe evidencia suficiente para afirmar que Las características físico mecánicas de los agregados pétreos (porcentaje de partículas chatas – alargadas y el porcentaje de equivalente de arena) influyen directamente al contenido de asfalto determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio”

4.5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

En la tabla N° 24 se muestra el resumen de la evaluación de tramos (progresivas) de la vía de estudio con respecto a los agregados pétreos y los valores de contenido de asfalto, estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica, la cual ya se encuentran calificadas en función a la severidad de sus daños y fallas presentes.

TABLA N° 24 – Agregados Pétreos, Mezcla Asfáltica y Evaluación Técnica

N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	AGREGADOS PÉTREOS			MEZCLA ASFÁLTICA			EVALUACIÓN TÉCNICA (IDENTIFICACIÓN DE TRAMO)
				GRANULOMETRÍA			CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN		
				% PASANTE (TAMIZ Nro. 4)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)		ESTABILIDAD (N)	FLUJO (mm)	
1	257+000	DERE	CARP.	56,80	FINO	MAC-2	6,28	8 570,00	3,30	BUEN ESTADO (REGULAR)
2	258+500	IZQ	CARP.	56,00	FINO	MAC-2	6,45	6 320,00	3,81	MAL ESTADO
3	259+500	DERE	CARP.	57,20	FINO	MAC-2	6,96	5 060,00	5,59	MAL ESTADO
4	261+000	IZQ	CARP.	57,30	FINO	MAC-2	6,93	5 230,00	5,08	MAL ESTADO
5	264+500	DER	CARP.	54,60	FINO	MAC-2	6,39	6 830,00	3,30	BUEN ESTADO (DÉBIL)
6	266+500	IZQ	CARP.	57,50	FINO	MAC-2	6,82	5 280,00	5,84	MAL ESTADO

Fuente: Elaboración Propia

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

En la tabla N° 25 se muestra el resumen de los valores de espesor de la carpeta asfáltica obtenidos a través de la extracción de núcleos asfálticos, en la cual se contrastan con los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.

TABLA N° 25 – Espesor de la Carpeta Asfáltica y Propiedades de la Mezcla Asfáltica

N° DE MUESTRA	PROGR. KM	LADO	CAPAS	ESPESOR (cm)	MEZCLA ASFÁLTICA				
					CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	MARSHALL DE COMPROBACIÓN			
						ESTABILIDAD (N)	ESTABILIDAD (KN)	FLUJO (mm)	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm)
1	257+000	DERE	CARP. ASFALT.	7,7	6.28	8,570.00	8,57	3,3	2,596.97
2	258+500	IZQ	CARP. ASFALT.	7,1	6.45	6,320.00	6,32	3,81	1,658.79
3	259+500	DERE	CARP. ASFALT.	6,3	6.96	5,060.00	5,06	5,59	905.19
4	261+000	IZQ	CARP. ASFALT.	6,6	6.93	5,230.00	5,23	5,08	1,029.53
5	264+500	DER	CARP. ASFALT.	7,5	6.39	6,830.00	6,83	3,3	2,069.70
6	266+500	IZQ	CARP. ASFALT.	6,7	6.82	5,280.00	5,28	5,84	904.11

Fuente: Elaboración Propia

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”

Para contrastar la hipótesis específica “A”, planteada como: Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y la progresiva 265+000 hasta 266+500.

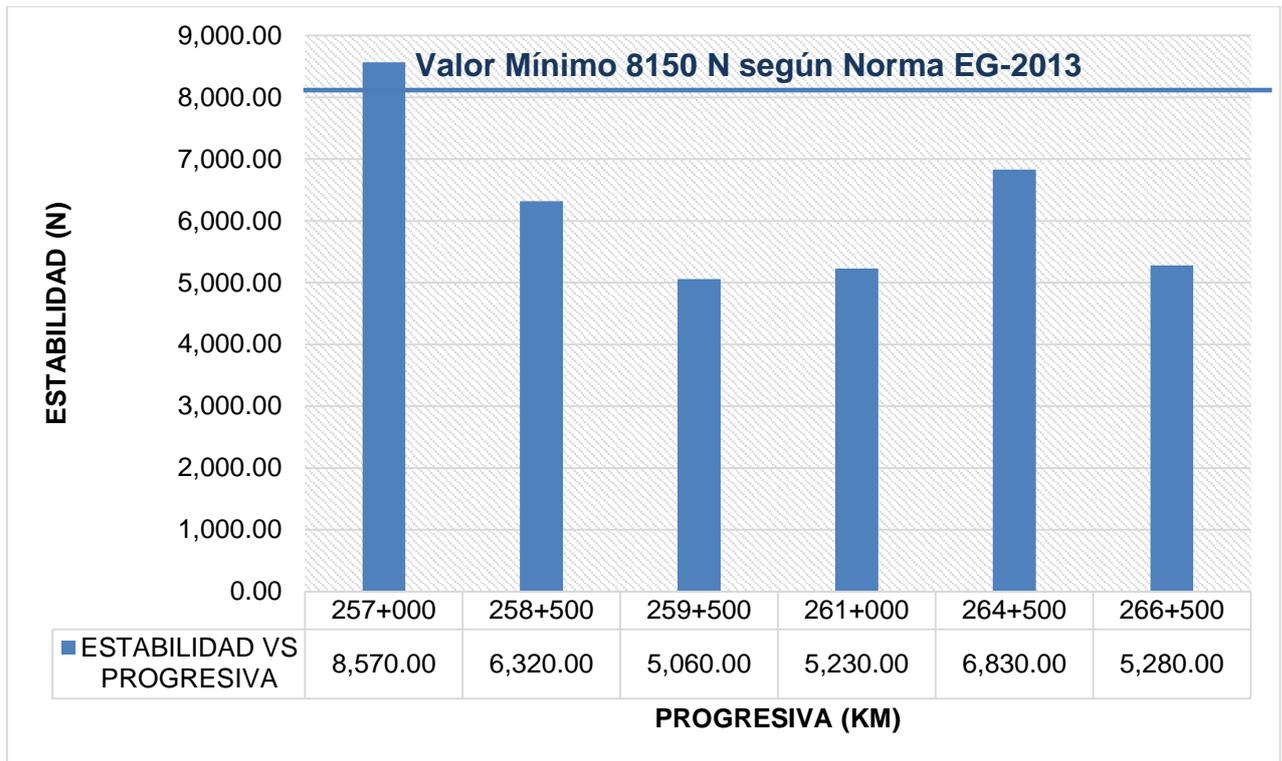
La Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad recae básicamente en que las características y propiedades de los agregados pétreos darán a la mezcla asfáltica en caliente (Agregado más ligante

asfáltico) un contenido óptimo de asfalto en porcentaje en peso. En este caso es de $6.1\% \pm 0.2\%$ según expediente técnico y la norma respectivamente. El cual está estrechamente relacionado con el comportamiento de estabilidad. Esto quiere decir que la citada relación intervendrá en el comportamiento de estabilidad según las características y propiedades del agregado tanto fino como grueso; he aquí que radica la importancia de los agregados pétreos.

Se aplicó la gráfica de histograma a fin de registrar los mayores valores de estabilidad y flujo en los diferentes tramos de la vía de estudio delimitada por los 6 puntos de investigación, encontrándose lo siguiente.

- Que los menores valores de estabilidad (resistencia) de la capa asfáltica se encuentran en las progresivas 258+500, 259+500, 261+000, y 266+500, decir estos puntos son los que están más propensos a la densificación de fallas superficiales (ahuellamientos y agrietamientos de fisura), debido que los valores de estabilidad están por debajo de lo permitido 8150 N.

FIGURA N° 17 – Estabilidad vs Progresiva

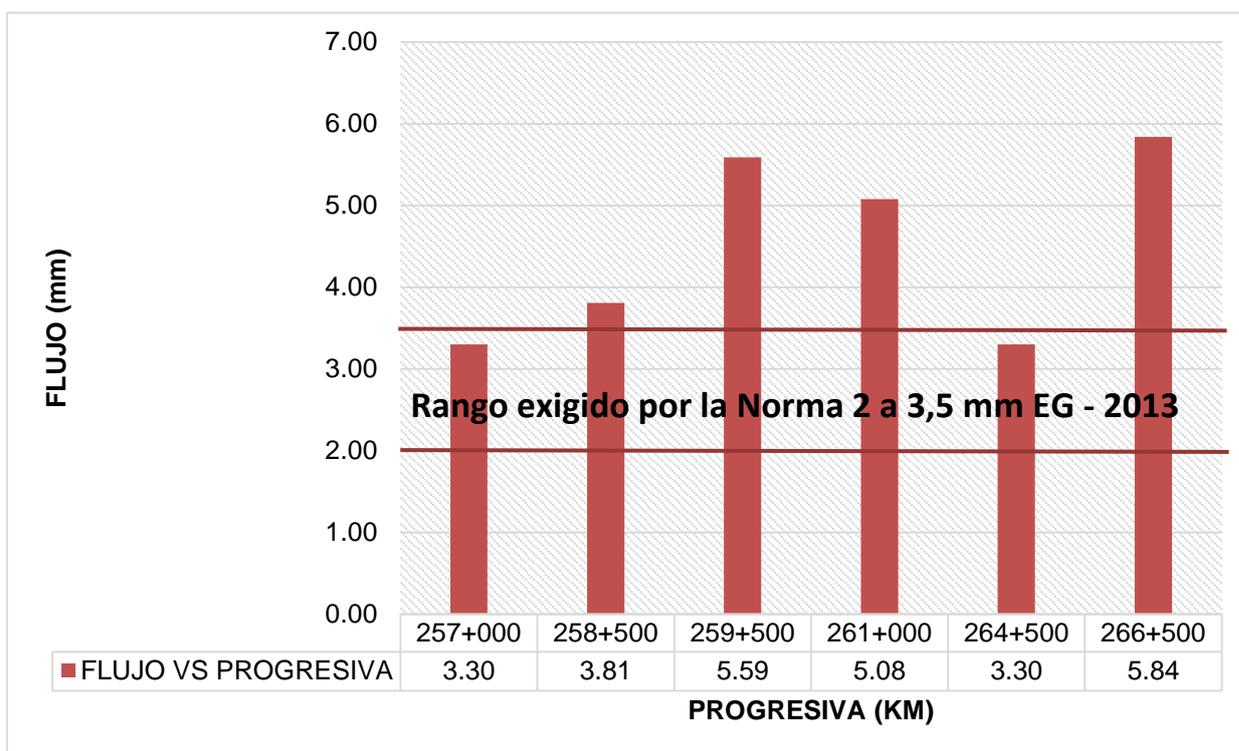


Valor Mínimo 8150 N según Norma EG-2013

Fuente: Elaboración Propia
 Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

- Que los mayores valores de flujo (deformación) de la capa asfáltica se encuentran en las progresivas 258+500, 259+500, 261+000, y 266+500, decir estos puntos son los que están más propensos a la densificación de fallas superficiales (ahuellamientos y agrietamientos de fisura), debido que los valores de flujo están por encima del rango permitido 2 a 3,5 mm.

FIGURA N° 18 – Flujo vs Progresiva



Rango exigido por la Norma 2 a 3,5 mm EG - 2013

Fuente: Elaboración Propia
 Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Entonces existe evidencia suficiente para afirmar que existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y la progresiva 265+000 hasta 266+500.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”

Para probar la hipótesis específica “B” planteada como: Existe gran grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca a Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan

proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo.

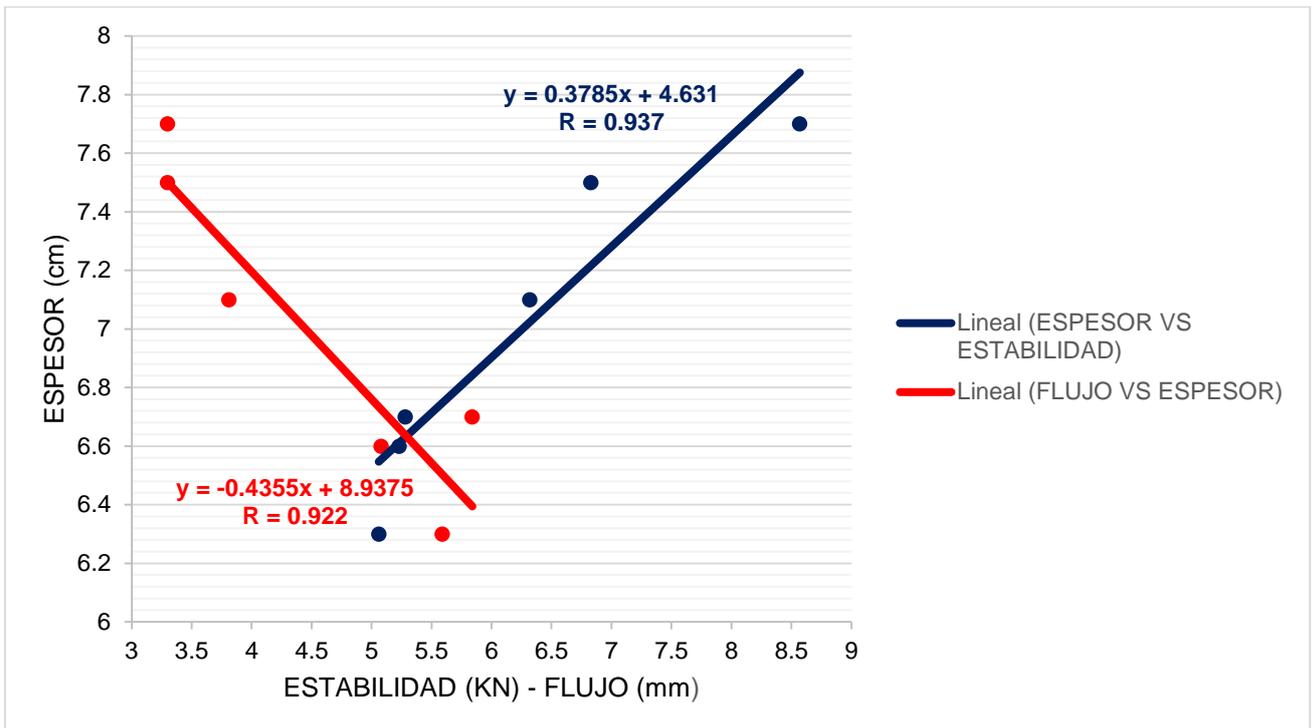
Como en la hipótesis específica en el caso anterior, se plantea, la Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad, los cuales están ligados con el contenido óptimo de asfalto, por las características y propiedades de los agregados pétreos y estos darán el comportamiento de estabilidad de la pavimentación terminada.

Se aplicó el análisis de correlación entre los valores de espesor de la capa asfáltica y los valores de estabilidad y flujo, encontrándose lo siguiente:

- Los espesores de la capa asfáltica reportan un grado de correlación $R=0.937$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con una alta predominancia al valor de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Los espesores de la capa asfáltica reportan un grado de correlación $R=0.922$, es mayor que 0.5 (factor medio de correlación), es decir influye con una alta predominancia al valor de flujo de la mezcla asfáltica.

El grado de correlación de los espesores de la capa asfáltica frente a los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica se muestra en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 19 – Correlación Espesores vs Estabilidad y Flujo



y = Ecuación Lineal de la Recta de Tendencia

R = Coeficiente de Relación de Pearson, mide de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, si es mayor a 0.5 y se acerca a la unidad positiva o negativa influye con gran predominancia.

Fuente: Elaboración Propia

Hecho por: Bach. Dante David Montoya Tovar.

Entonces existe evidencia suficiente para afirmar que existe un alto grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo, en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo.

4.6. INTERPRETACIÓN DE HIPÓTESIS

En la **PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL**, Existe evidencia suficiente para afirmar que las características físico mecánicas de los agregados pétreos (porcentaje de partículas chatas y alargadas, el porcentaje de equivalente de arena) y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio”, debido a que los grados de correlación reportados entre los indicadores tales como Porcentaje de

partículas chatas y alargadas, Porcentaje de equivalente de arena y Porcentaje Contenido de asfalto, frente a los indicadores tales como: Estabilidad y flujo fueron los siguientes:

TABLA N° 26 – Interpretación de Cómo Influye las Características Físico Mecánicas al Contenido de Asfalto y a la Estabilidad y Flujo

Primer Indicador	Segundo Indicador	Grado de Correlación	Interpretación
Porcentaje de partículas chatas – alargadas	Flujo	R=0.669	Al reportar un grado de correlación mayor al nivel medio de significancia (R= 0.5), se evidencia que existe un GRADO ALTO de relación entre los indicadores detallados, corroborando que existe relación e influencia.
Porcentaje de equivalente de arena	Estabilidad	R=0.626	
	Flujo	R=0.614	
Porcentaje Contenido de asfalto	Estabilidad	R=0.914	
	Flujo	R=0.938	

Fuente: Elaboración Propia, Hoja de Cálculo Excel

En la PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”, Existe evidencia suficiente para afirmar que existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y la progresiva 265+000 hasta 266+500, debido a que las progresivas tales como 259+500, 261+000, y 266+500 reportan valores de estabilidad y flujo, frente a los valores permisibles de estabilidad y flujo establecido por el Manual EG- 2013 del MTC, detallados en el siguiente cuadro.

TABLA N° 27 – Interpretación del Gráfico Progresiva y Valor de Estabilidad

Primer Indicador	Segundo Indicador	Valor representativo	Interpretación
259+500	Estabilidad	5,060.00 N	Al reportar valores de estabilidad menores al permisible de 8150 N , estos puntos son críticos con mayor probabilidad, incidencia y susceptibilidad a fallas y deformaciones.
261+000	Estabilidad	5,230.00 N	
266+500	Estabilidad	5,280.00 N	

Fuente: Elaboración Propia, Hoja de Cálculo Excel

TABLA N° 28 – Interpretación del Gráfico Progresiva y Valor de Flujo

Primer Indicador	Segundo Indicador	Valor representativo	Interpretación
259+500	Flujo	3.81 mm	Al reportar valores de flujo mayores al permisible de 3.5 mm , estos puntos son críticos con mayor probabilidad, incidencia y susceptibilidad a fallas y deformaciones.
261+000	Flujo	5.08 mm	
266+500	Flujo	5.84 mm	

Fuente: Elaboración Propia, Hoja de Cálculo Excel

Se da que la Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad están ligados con el contenido óptimo de asfalto, por las características y propiedades de los agregados pétreos y estos darán el comportamiento de estabilidad de la pavimentación terminada.

En la PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”, Existe evidencia suficiente para afirmar que existe un alto grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad el valor de estabilidad y flujo, debido a que los grados de correlación reportados entre los espesores frente a los valores de Estabilidad y flujo fueron los siguientes:

TABLA N° 29 – Interpretación del Gráfico Espesor de Carpeta

Asfáltica vs Estabilidad y vs Flujo

Primer Indicador	Segundo Indicador	Grado Correlación	Interpretación
Espesores	Estabilidad	R=0.937	Al reportar un grado de correlación mayor al nivel medio de significancia (R= 0.5), se evidencia que existe un GRADO ALTO de relación entre los indicadores detallados, corroborando que existe relación e influencia
	Flujo	R=0.922	

Fuente: Elaboración Propia, Hoja de Cálculo Excel

Se da que la Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad están ligados con el contenido óptimo de asfalto, por las características y propiedades de los agregados pétreos y estos darán el comportamiento de estabilidad de la pavimentación terminada.

4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La temática sobre la “Importancia de los agregados pétreos para la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía Chupaca Roncha”, está basada en el análisis de las propiedades físico mecánicas de los agregados que componen la mezcla asfáltica de la referida vía en estudio, asimismo la evaluación de estabilidad y flujo de las mezcla asfáltica identificada en tal proyecto, reporto lo siguiente:

- Las características físico mecánicas de los agregados pétreos (porcentaje de partículas chatas y alargadas, el porcentaje de equivalente de arena) y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio”, **debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.**
- Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y la progresiva 265+000 hasta 266+500, **debido a los**

valores representativos de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.

- Existe un alto grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo, en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo, **debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.**

CONCLUSIONES

1. Las características físico-mecánicas de los agregados pétreos y el contenido de asfalto influyen directamente determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Carpeta de Mezcla Asfáltica de la vía en estudio.
2. Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración a partir de la progresiva 258+000 hasta 264+000 y la progresiva 265+000 hasta 266+500.
3. Existe un alto grado de correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo, en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor según los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad al valor de estabilidad y flujo.
4. Se concluye que a pesar que los valores correspondientes a las propiedades físico-mecánicas tales como desgaste, partículas chatas y alargadas, caras fracturadas y equivalente de arena, se encontraron en valores acorde lo que estipula la norma, esto no garantizó el óptimo resultado de los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica; ello se debe al excedente contenido de asfalto.
5. Para finalidad de la tesis se encontró que la importancia de los Agregados pétreos recae básicamente en que según sean sus propiedades, determinarán el contenido óptimo de asfalto el mismo que en la vía de estudio no estuvo acorde a las normas; fue básicamente el motivo por la que la vía sufre fallas de deformaciones. Teniendo alta probabilidad que en su ejecución no tomaron las muestras de campo, para el control, requeridas por la norma.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los ingenieros civiles, que estén realizando obras viales, valorar y meritarse el presente trabajo de investigación, con el fin de controlar y verificar tanto los controles de calidad y los requerimientos exigidos del material, por la normativa correspondiente, destinado a la capa asfáltica que constituyen la estructura del pavimento flexible, para así evitar deformaciones y ahuellamiento, garantizando así su resistencia frente a los ciclos de carga vehicular durante su vida útil.
2. Se recomienda a los ingenieros civiles, que estén realizando expedientes de rehabilitación y conservación vial, valorar y meritarse el presente trabajo de investigación, con el fin de abordar consideraciones técnicas para las propiedades físico mecánicas de los agregados pétreos en la mezcla asfáltica, y así lograr opciones de solución contra la susceptibilidad de fallas, deformaciones y ahuellamientos.
3. Es claro precisar que los controles del ensayo de Contenido Óptimo de Asfalto y el ensayo de Estabilidad y Flujo no se estuvieron llevando a cabo en el proceso constructivo de la vía en estudio (dos ensayos de Contenido Óptimo de Asfalto y el ensayo Marshall de comprobación al día en pista/planta); es por ello recomendable que se lleven a cabo como indica la norma, para evitar las fallas prematuras de deformaciones, como es que vienen sucediéndose en la vía en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Giraldo, D. A. (2007). Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas Adicionadas con Cal y Cemento Usando la Granulometría Superpave (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de Medellín, Medellín.
2. Huamán, N. W. (2011). La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
3. Cárdenas, J. I. y Enriquez, G. A. (2014). Análisis y Evaluación de las Deformaciones Permanentes en los Pavimentos Flexibles – Prolongación San Antonio, San Carlos Huancayo 2014 (Tesis para optar el Título de Ingenieros Civiles). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.
4. Hernández, R., Fernández C. y Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. México D. F.: Mc Graw Hill.
5. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2013. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima 2013.
6. Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos.
7. Norma Técnica Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.
8. Asociación Mundial de Carreteras (1994) Manual Internacional de Conservación de Carreteras, Volumen I. Conservación de la Zona de Dominio Público y del Drenaje. Madrid. España, AIPCR.
9. Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000)
10. Asociación Mundial de Carreteras (1994) Manual Internacional de Conservación de Carreteras, Volumen III. Conservación de Carreteras Pavimentadas. Madrid, España – AIPCR.
11. Manual Técnico para el Mantenimiento Periódico, de Vías Departamentales No Pavimentadas (2005). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima.
12. ANDER, Ezequiel. (2000) “Introducción a la Investigación Pedagógica”. Editorial Interamericana, México.

13. TORRES TRUJILLO, Raúl y Edgar QUISPE REMON (2003). "Contratación pública de microempresa para el mantenimiento rutinario de los caminos rurales en el Perú". Ponencia que se presentó al Encuentro Técnico Internacional "Generación de empleo decente mediante la contratación de micro y pequeñas empresas" organizado por la OIT Lima – Perú.
14. ARCHILLA, A. R. & MADANAT, S. (2002). "Estimation of Rutting Models by Combining Data from Different Sources". En: *Journal of Transportation Engineering*, 127 (5). pp. 379 – 389.
15. BROWN, S. F. (2005). "Soil Mechanics in Pavement Engineering". En: *The 36th Ranking Lecture of the British Geotechnical Society, Géotechnique* 46, No. 3. pp. 383-426.
16. ACHUTEGUI, F., CRESPO DEL RIO, R., SANCHEZ, B., SANCHEZ, I. (2000). "El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones". Revista Rutas N°53, Madrid.
17. HIGHWAY RESEARCH BOARD. (2001). "Skid Resistance", National Cooperative Highway Research N°14, National Research Council, Washington DC.
18. FESTAG, G. (2002). "Experimental Investigations on Sand under Cyclic Loading". En: *Constitutive and Centrifuge Modelling: Two Extremes*, Ed.: Springer, Swets & Zeitlinger.
19. CHAZALLON, C. 2000. "An Elastoplastic Model with Kinematic Hardening for Unbound Aggregates in Roads", En: *Unbound Aggregates in Road Construction – UNBAR 5*, Dawson editor, Balkema, Rotterdam. pp 265-327.
20. LUCERO, Robinson; WAHR, Carlos y ARANCIBIA, Catalina (2003). "Estudio de Fricción en pavimentos". (avance). Recuperado de http://www.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/45RobinsonLuceroCoeficientedefricci%F3n.pdf
21. PONCINO, H. 2001. "Adherencia Neumático-Pavimento. Conceptos Generales. Estado del Conocimiento". Boletín de la Comisión Permanente del Asfalto N°94, Buenos Aires, Argentina, 2001.

ANEXOS

- Anexo N° 01.** MATRIZ DE CONSISTENCIA
- Anexo N° 02.** OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
- Anexo N° 03.** CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE MUESTRAS
- Anexo N° 04.** INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
- Anexo N° 05.** VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
- Anexo N° 06.** PLANOS
- Anexo N° 07.** ESTUDIO DE TRÁFICO
- Anexo N° 08.** CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO
- Anexo N° 09.** RESUMEN DE NORMAS QUE RIGEN A LOS ENSAYOS
- Anexo N° 10.** ENSAYO DE ESPESORES
- Anexo N° 11.** RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PLAN Y DE TESIS
- Anexo N° 12.** PANEL FOTOGRÁFICO DE LA VÍA DETERIORADA
- Anexo N° 13.** PLANOS CLAVE DE LOS DETERIOROS IDENTIFICADOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA
IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LA ESTABILIDAD DE LAS PAVIMENTACIONES DE CARRETERAS EN TRES VÍAS DE ACCESO A HUANCAYO.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	MARCO TEÓRICO	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLE	METODOLOGÍA	BIBLIOGRAFÍA
<p>Problema General: ¿De qué manera las características físico-mecánicas de los Agregados Pétreos y el contenido de asfalto influyen en los valores de la Estabilidad y Flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha 2015?</p> <p>Problemas Específicos: A. ¿Cuáles son los tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad) de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca – Roncha 2015? B. ¿Qué relación existe entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo (Importancia de la Relación Agregados Pétreos – Estabilidad), en la vía Chupaca – Roncha 2015?</p>	<p>Objetivo General: Comprobar la importancia e influencia de las propiedades físico – mecánica de los agregados pétreos y el contenido de asfalto con respecto a los valores de estabilidad y flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha. 2015.</p> <p>Objetivos Específicos: A. Identificar si existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo de la carpeta asfáltica en la vía Chupaca - Roncha. 2015. B. Determinar si existe correlación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo, en la vía Chupaca - Roncha. 2015.</p>	<p>El presente trabajo de investigación constituirá un aporte para el diseño de la composición de agregados pétreos en las pavimentaciones de carpetas asfálticas de carreteras en la región Junín y hará posible la construcción y validación de instrumentos. La investigación tiene carácter práctico, se describirán las variables de estudio; en función de ellas se tomará decisiones de evaluación y así mismo se plantea alcanzar soluciones adecuadas.</p> <p>La información recopilada y procesada servirá de sustento para esta y otras investigaciones similares, ya que enriquecerá el marco teórico y/o cuerpo de conocimiento que existe sobre el tema de la importancia de la calidad de los agregados pétreos y el ahuellamiento de carreteras.</p> <p>Es evidente que la aplicación de los instrumentos de investigación va servir para recopilar datos, con lo cual se puede ser extensivo a las demás Regiones del país al verse con este problema estructural - vial. El desarrollo de la investigación en el área de la Ingeniería Civil tiene importancia académica, debido a que los resultados obtenidos contribuirán de una u otra manera a servir de antecedente para otros investigadores en el campo de la construcción de pavimentaciones de carpetas asfálticas que traten con las variables de: La Importancia de los agregados pétreos y la estabilidad de pavimentaciones de carreteras debido al envejecimiento que produce el ahuellamiento en las vías.</p>	<p>A NIVEL INTERNACIONAL a) Diego Alejandro Giraldo Ruiz; COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON CAL Y CEMENTO USANDO LA GRANULOMETRÍA SUPERPAVE; Las fallas prematuras de las estructuras de pavimento hacen que la Ingeniería de Pavimentos se dedique cada vez más a la investigación para la obtención de nuevos y mejores materiales de construcción. Es necesario buscar alternativa con materiales nuevos o modificados, que garanticen una buena calidad y la estabilidad de la obra en el tiempo. El trabajo de grado tiene por objetivo general estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas adicionadas con cal y cemento como filler o llenante. En sus conclusiones expone, la mezcla no presenta un buen comportamiento al ser adicionada con cal debido a que se observaron comportamientos irregulares en cuanto a estabilidad y flujo se refiere, siendo un claro ejemplo lo que se observó durante el intervalo de 0 y 1 hora de envejecimiento que arrojaba valores iniciales altos y luego decrecían lo que nos hace pensar una mala interacción agregado-cal-asfalto.</p> <p>A NIVEL NACIONAL b) Néstor W. Huamán Guerrero; LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ; Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú, Año 2011. Páginas 146. para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportar; en los últimos 17 años el Perú ha impulsado una política favorable para la Construcción de Obras Viales a lo largo y ancho del territorio. Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados. El presente trabajo de investigación bibliográfico se refiere a la deformación permanente que es una de las fallas del deterioro prematuro; es necesario conocer a mayor profundidad a fin de tomar las previsiones del caso desde la elaboración de los proyectos y la posterior ejecución de las obras.</p> <p>A NIVEL LOCAL a) Jesús Idén Cárdenas Capcha y Gross Alberto Enríquez Fuentes; ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS DEFORMACIONES PERMANENTES EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES – PROLONGACIÓN SAN ANTONIO. SAN CARLOS HUANCAYO 2014; Universidad Peruana Los Andes, Perú, Año 2014. Páginas 195. para optar el título profesional de Ingeniero Civil; El estudio de investigación se interesa por la evaluación de las deformaciones permanentes en una vía urbana representativa a las vías locales, la vía es de pavimento flexible en caliente. Indica que las deformaciones permanentes para su buen estado de conservación no deben ser excesivas, si son pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas.</p>	<p>Hipótesis General: Las características físico mecánicas de los agregados pétreos (importancia de la granulometría) influye directamente al contenido de asfalto determinando la mejora en la estabilidad y la reducción del flujo para la Mezcla Asfáltica de la vía en estudio.</p> <p>Hipótesis Específicas: A. Existen tramos susceptibles a fallas y deformaciones debido a los valores de estabilidad y flujo en la vía en estudio, las cuales se muestran con mayor consideración en determinadas progresivas. B. Existe relación entre los espesores de la carpeta asfáltica con los valores de estabilidad y flujo, en la vía Chupaca – Roncha, debido a que mayor sea el espesor en los puntos de investigación, estos determinan proporcionalidad en el valor de estabilidad y flujo.</p>	<p>Variable Independiente: La importancia de los agregados pétreos</p> <p>Variable Dependiente: La estabilidad de las pavimentaciones de carreteras.</p> <p>Indicadores: Existen pavimentaciones que debido a sus deformaciones pierden estabilidad o sus buenas condiciones de servicio entonces es necesario analizar la importancia de los agregados pétreos que conforman la mezcla en caliente de la carpeta asfáltica.</p>	<p>Enfoque de Investigación: Cuantitativo</p> <p>Nivel de Investigación: Correlacional</p> <p>Método: Descripción – Relación</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos: Medidas de importancia y que inciden en diferente grado</p>	<p>1. HERNÁNDEZ, R. FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA. Pilar (2003) Metodología de la investigación, Mc Graw – Hill/Interamericana Editores. México.</p> <p>2. COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO (2010) Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor para Carpetas de Rodamiento.</p> <p>3. BUNGE, M (1993) Epistemología: filosofía, ciencia e Investigación, Ariel. Barcelona.</p> <p>4. ASPHALT INSTITUTE (2000) Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>5. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACION ES PERÚ, (2013) Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas General para construcción EG-2013.</p>

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): LOS AGREGADOS PÉTREOS

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Conceptualmente los agregados pétreos componen alrededor del 94% de las mezclas asfálticas en caliente. Por lo tanto las propiedades de los agregados gruesos y finos usados en las mezclas asfálticas son muy importantes en el comportamiento de la estructura de pavimento en el cual es utilizado.</p>	<p>componen un porcentaje de composición granulométrica de agregados grueso y delgado de acuerdo a los husos granulométricos (MAC) tienen composición de partículas planas y alargadas que mientras menor sea mejor se comportará la mezcla asfáltica, partículas con caras fracturadas, que mientras más se parezcan a cubos o con cuatro caras fracturas sean; entonces mayor fricción en la mezcla asfáltica que otorgarán mejor estabilidad al pavimento terminado, se puede medir también la abrasión de los agregados pétreos mientras mayor resistencia a la abrasión tenga mejor es su comportamiento y durabilidad del pavimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradación de la Mezcla Asfáltica Normal (MAC) ▪ Agregado Grueso ▪ Agregado Fino ▪ Filler o polvo mineral 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder a husos granulométricos. ▪ Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. ▪ El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. ▪ El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. ▪ El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESC. DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos ▪ Evaluación <p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. ▪ Tablas que indican cumplir con la normatividad vigente. 	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a la importancia de los agregados pétreos en la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía de Chupaca a Roncha</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable: Cualitativa 	<p>Discreta – De intervalo</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): ESTABILIDAD DE LAS PAVIMENTACIONES. (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas de tránsito.</p>	<p>Operacionalmente se define como la medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estabilidad (Resistencia) ▪ Flujo (Deformación) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual cede o falla totalmente. Durante el ensayo, la carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall. Debido a que esta indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor mucho más alto será mejor. Para muchos materiales utilizados en ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de la durabilidad. ▪ El flujo representa la deformación de la probeta; la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la muestra. Las mezclas que tienen valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad son consideradas como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de flujo son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESC. DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos ▪ Evaluación <p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. ▪ Tablas que indican cumplir con la normatividad vigente. 	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a la importancia de los agregados pétreos en la estabilidad de carreteras en la carpeta asfáltica de la vía de Chupaca a Roncha</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable: Cualitativa 	<p>Discreta – De intervalo</p>	<p>Directa: Polítoma</p>

