

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD INGENIERIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

**REUTILIZACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO  
MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA PLANTA PROCESADORA  
DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS  
EN HUANCAYO 2016**

PRESENTADO POR:

**Bach. JORGE MANUEL CHUMAN AGUIRRE**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERU

2017

# **HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS**

---

DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ

**PRESIDENTE**

---

**PRIMER JURADO**

---

**SEGUNDO JURADO**

---

**TERCER JURADO**

---

Mg. MIGUEL ANGEL CARLOS CANALES

**SECRETARIO DOCENTE**

**ASESOR TEMATICO**

**Ing. ORDOÑEZ CAMPOSANTO VLADIMIR**

**ASESOR METODOLOGICO**

**Dr. BALDEON TOVAR MAGNO TEOFILO**

## **DEDICATORIA**

A mi Madre, Clara María Aguirre Gonzalo a quien gracias a su apoyo pude concluir mis estudios y metas.

A los docentes de la Universidad Peruana Los Andes, Facultad de Ingeniería Civil, quienes gracias a sus enseñanzas formaron al profesional de hoy.

A mis familiares por su apoyo incondicional y tener la confianza en mi persona.

Bach. Jorge Manuel Chuman Aguirre

# INDICE

DEDICATORIA

INTRODUCCION

RESUMEN

SUMMARY

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACION

1.1.	Título de la Tesis	1
1.2.	Planteamiento del Problema	1
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema General	3
1.3.2.	Problemas Específicos	4
1.4.	Objetivo	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos	4
1.5.	Justificación	5
1.5.1.	Práctica	5
1.5.2.	Metodología	5
1.5.3.	Ambiental	5
1.6.	Hipótesis	6
1.6.1.	Hipótesis General	6
1.6.2.	Hipótesis Especifica	6
1.7.	Variables	6
1.7.1.	Variable Independiente	6
1.7.2.	Variable Dependiente	6

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	Antecedentes	07
2.1.1.	Antecedentes nacionales	07
2.1.2.	Antecedentes internacionales	10
2.2.	Base Teórica	12
2.2.1.	Introducción al reciclado de Pavimento Asfáltico	12
2.2.2.	Material Reciclado	14
2.2.3.	Evaluación de las alternativas de Rehabilitación de Pavimentos Con el Empleo de material Reciclable	17
2.2.4.	Plantas para mezcla asfáltica en caliente	22
2.2.5.	Surgimiento de las Plantas para mezcla asfáltica en caliente	23
2.2.6.	Clasificación de las Plantas para Mezcla Asfáltica en caliente	25
2.2.7.	Plantas Continuas	26
2.2.8.	Plantas Intermitentes	27
2.3.	Mezcla Asfáltica	28
2.3.1.	Gradación de la Mezcla Asfáltica en Caliente(MAC)	31
2.4.	El Asfalto	32
2.4.1.	Asfaltos Naturales	34
2.4.2.	Composición del Asfalto	34
2.4.3.	Asfaltos derivados del Petróleo	36
2.5.	Agregados	41
2.5.1.	Agregados Naturales	41
2.6.	Diseño de Mezclas Asfálticas	44
2.6.1.	Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente	44
2.6.2.	Características y Comportamiento de la Mezcla	45
2.6.3.	Densidad	45
2.6.4.	Vacíos de Aire (Simplemente Vacíos)	46
2.6.5.	Vacíos en el Agregado Mineral	47
2.6.6.	Contenido de Asfalto	48
2.6.7.	Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezclas	50

2.6.8. Estabilidad	51
2.6.9. Durabilidad	54
2.6.10. Impermeabilidad	56
2.6.11. Trabajabilidad	57
2.6.12. Flexibilidad	59
2.6.13. Resistencia a la Fatiga	59
2.6.14. Resistencia al Deslizamiento	60
2.7. Método Marshall de Diseño de Mezclas descripción	61
2.7.1. Preparación para Efectuar los Procedimientos Marshall	61
2.7.2. Selección de las Muestras de Material	62
2.7.3. Preparación del Agregado	62
2.7.4. Preparación de las Muestras (Probetas) de Ensayos	65
2.7.5. Procedimiento de Ensayo Marshall	66
2.7.6. Determinación del Peso Específico Total	66
2.7.7. Ensayo de Estabilidad y Fluencia	66
2.7.8. Valor de Estabilidad Marshall	67
2.7.9. Valor de Fluencia Marshall	68
2.7.10. Análisis de Densidad y Vacíos	68
2.7.11. Análisis de Vacíos	69

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Método que Resuelve el Problema	71
3.1.1. Métodos Generales	71
3.1.2. Métodos Específicos	72
3.2. Técnica de Recopilación de Datos	73
3.3. Población y Muestra	74
3.3.1. Población	74
3.3.2. Muestra	75

3.3.3. Tipo y Nivel de Investigación	76
3.3.4. Nivel de Investigación	76
3.3.5. Diseño del Estudio	76
3.3.6. Diseño del Prueba de Hipótesis	77

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACION**

4.1. Descripción del Trabajo Realizado	79
4.1.1. Objetivos	79
4.1.2. Material Reciclado como Aportante	81
4.1.3. Características del Agregado	82
4.1.4. Proceso y Acopio del material Reciclado en Planta	103
4.1.5. Procedimiento para el Reciclado de Pavimentos flexibles	106
4.1.6. Desarrollo del Diseño de Mezcla Asfáltica con Mat. reciclado	109
4.2. Comparación de las Características de Mezcla residuos de Pavimentos Envejecido en Caliente frente a mezclas convencionales	121
4.2.1. Resumen de Análisis Granulométrico y extracción de porcentaje de Cemento Asfáltico de Material Nuevo o Virgen	122
4.2.2. Resumen de Análisis Granulométrico y extracción de Porcentaje De Cemento Asfáltico de Material Reciclado	125
4.2.3. Resumen Comparativo de Características de Diseño de Mezclas Asfáltica en Caliente con el Empleo de material Reciclable y Material Nuevo / Virgen	127

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

5.1. Resultados de la investigación	128
-------------------------------------	-----

5.1.1. Resultados del Diseño de Mezcla asfáltica	128
5.1.2. Dosificación de Materiales	131
5.1.3. Resultados de Producción de la Mezcla asfáltica experimental	133

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

6.1. Discusión de Resultados	135
CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
ANEXOS	146

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de Agregados Gruesos de Adición en Mezclas recicladas en Caliente	16
Cuadro 2. Requerimientos de Agregados Finos de Adición en Mezclas recicladas en Caliente	17
Cuadro 3. Gradación de Agregados para Mezcla Asfáltica en Caliente	31
Cuadro 4. Composición de elementos del Asfalto	35
Cuadro 5. Especificaciones Técnicas del Cemento Asfáltico-AASHTO M-32	40
Cuadro 6. Requerimiento del Agregado Grueso para una Mezcla Asfáltica en Caliente	42
Cuadro 7. Requerimiento del Agregado Fino para una Mezcla Asfáltica en Caliente	43
Cuadro 8. Porcentaje Mínimo de Vacíos en el Agregado Mineral	48
Cuadro 9. Especificaciones del Diseño Marshall	51
Cuadro 10. Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimentos	53
Cuadro 11. Causas y Efectos de un poco Durabilidad	55
Cuadro 12. Causas y Efectos de Permeabilidad	57
Cuadro 13. Granulometría de los Agregados Reciclados	83
Cuadro 14. Peso Específico Bulk	84
Cuadro 15. Peso Específico Aparente Base Seca	85
Cuadro 16. Porcentaje de Absorción	86
Cuadro 17. Porcentaje de Abrasión	87
Cuadro 18. Porcentaje de impurezas Orgánicas	88
Cuadro 19. Equivalente de Arena	90
Cuadro 20. Durabilidad al Sulfato de Sodio	91
Cuadro 21. Partículas chatas y alargadas	92
Cuadro 22. Índice Plasticidad	94

Cuadro 23. Soluciones de Ensayo	96
Cuadro 24. Índice de Riedel Weber	98
Cuadro 25. Resultados de adherencia de los Ligantes Bituminosos	99
Cuadro 26. Sales Solubles	101
Cuadro 27. Método de Ensayo determinación Porcentaje de Partículas Fracturadas	103
Cuadro 28. Peso del Pastón de Mezcla Asfáltica Material reciclado	110
Cuadro 29 Mezcla Granulométrica de los Agregados residuos de pavimento flexible Envejecido y agregado nuevo	111
Cuadro 30. Pesos del Pastón de Mezcla Asfáltica Material Reciclado	115
Cuadro 31. Resultados del Ensayo Marshall con material Reciclado de Pavimento Flexible	117
Cuadro 32. Resultados del Ensayo Marshall	118
Cuadro 33. Características de la Mezcla Asfáltica	119
Cuadro 34 Resumen de Ensayo Marshall Normal con Agregados Nuevos o Virgen	123
Cuadro 35 Resultados del Diseño Marshall con Agregado Nuevo o Virgen	124
Cuadro 36 Resumen de Análisis Granulométrico y Extracción de % De Cemento Asfáltico de Material Reciclado	125
Cuadro 37 Resumen de Análisis Granulométrico y Extracción de porcentaje de Cemento Asfáltico de Material Reciclado	126
Cuadro 38. Características comparativas de resultados de Diseño de Mezclas	127
Cuadro 39 Resultados de diseño de Mezcla Asfáltica	129
Cuadro 40 Extracción Centrifuga de Material Reciclado de Pavimentos Envejecidos	130
Cuadro 41 Dosificación de Agregados Reciclados y Nuevos	131
Cuadro 42 Resultados de Mezcla Asfáltica Experimental con Material Reciclado de Pavimento Flexible Envejecido	134
Cuadro 43 Discusión de las Características Comparativas de Resultados de Diseño de Asfáltica en Caliente por el Método Marshall, con material Reciclable y material nuevo/virgen	136

## INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Proceso de destilación del cemento asfáltico.	37
Grafico 2 Especificaciones Técnicas de máquina perfiladora Wirtgen modelo FB 2000.	104
Grafico 3 Curva Granulométrica de la mezcla o combinación de Agregados o áridos, para el Diseño de Mezcla Asfáltica con el aprovechamiento de material de residuos de pavimento flexible envejecido	111

## **INTRODUCCION**

El desarrollo de la infraestructura vial en la Región Junín, y con mayor acentuación en la Provincia de Huancayo, en los últimos tiempos ha crecido considerablemente tanto en cantidad vehicular como en carga vehicular, que exigen que las vías pavimentadas deben contar con mejores características físicas, con la finalidad de prestar con una servicialidad adecuada acorde al crecimiento del parque automotor.

El diseño estructural de pavimentos exige que la superficie de rodadura presente condiciones adecuadas a fin de prestar confort en los usuarios y sostenible en el tiempo, por tanto la construcción, el mantenimiento programado debe de contar con eficacia acorde a sus necesidades.

La investigación está constituida por seis capítulos:

En el Capítulo I, se manifestará: los aspectos generales de la investigación, problemas, objetivos e hipótesis y variables que se tendrá en la evaluación del área de investigación, durante el proceso de desarrollo del estudio.

En el Capítulo II, se manifestará: el marco teórico para la investigación, los antecedentes, bases teóricas y marco conceptual y descripciones de las Normas vigentes, que conlleven al desarrollo del estudio.

En el capítulo III, se manifestará: el marco metodológico para la investigación, las poblaciones, muestras y métodos que se usaran en la recopilación y evaluación de las muestras.

En el capítulo IV, se presentará: el desarrollo de la investigación, los resultados obtenidos, realizando la caracterización de los materiales a emplearse, los diseños de investigación con el empleo de diferentes tipos de materiales, los resultados del desarrollo de investigación mediante metodología aplicación, procedimiento de obtención de material reciclado, porcentajes de extracción de cemento asfáltico, comparación sobre las Características de Mezcla Recicladas en Caliente frente a Mezclas Convencionales.

En el capítulo V, se presenta los resultados de la investigación, resultados del diseño de mezcla experimental, dosificación de los materiales, y resultados de producción de la mezcla asfáltica experimental

En el capítulo VI, se presenta: la discusión de resultados determinando la factibilidad y calidad de uso de reutilización de pavimentos envejecidos, y su posibilidad de uso en la ejecución, mantenimiento y rehabilitación en las vías.

Bach. Jorge Manuel Chuman Aguirre.

## RESUMEN

En la presente investigación se ha planteado como problema general: ¿Se podrá reutilizar los materiales reciclados de un pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016?, siendo el objetivo general: Evaluar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016 y con la hipótesis general : “Es factible reutilizar el pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016”.

El tipo de investigación es Aplicada, nivel Experimental – Descriptiva, Diseño de Investigación: Causal – Correlacional, el método de investigación es el científico y el método específico es el cuantitativo. El propósito de la investigación se basa en los resultados obtenidos de acuerdo a los indicadores: Porcentaje de pavimento envejecido, cemento asfáltico pen 85/100, estabilidad y flujo, Gradación del agregado. La población es el material reciclable corresponde la Carretera Central Margen Derecha, estableciéndose el periodo de recopilación a mediados del año 2014 y el 2015, periodo en la que se ejecutó trabajos de mantenimiento en dicha vía, ejecutadas por CONALVIAS, entidad encargada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, expresamente por PROVIAS NACIONAL a cargo de las Carreteras Nacionales, tal como es la Vía PE – 3S Oroya - Jauja y PE 3S Jauja – Huancayo Margen Derecha , para el análisis se utilizó la muestra de briquetas de la mezcla asfáltica, con el aporte de residuos de pavimento flexible envejecido en ciertos porcentajes de 15%, 20%, 25% porcentajes de aporte del asfalto a la nueva

mezcla asfáltica, una nueva dosificación y mezcla de agregados nuevos con los agregados del material reciclable, así como un diseño Marshall.

La principal conclusión del presente proyecto de investigación, es la utilización de material reciclable para el uso en mantenimiento de vías, construcción de pavimentos flexibles mediante la producción de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, a fin de reducir costos, contaminación ambiental y depredación de las zonas de extracción de material; correspondan a condiciones adecuadas como si los agregados sean nuevos.

**Palabras claves: Pavimento envejecido, reciclado, planta de asfalto, Marshall, Estabilidad Flujo.**

Bach. Jorge Manuel Chuman Aguirre.

## SUMMARY

In the present investigation he has proposed like general problem: Will he be able to reuse him the factual retrainings of a flexible pavement aged by means of the job of a processing plant of asphaltic mixture instantly for pavements in Huancayo 2016?, Being the realistic general: Evaluating the reuse of the flexible pavement aged by means of the job of a processing plant of asphaltic mixture instantly for pavements in Huancayo 2016 and with the general hypothesis: “It is feasible to reuse the flexible pavement aged by means of the job of a processing plant of asphaltic mixture instantly for pavements in Huancayo 2016 ”.

The type of investigation is Applied, Experimental level – Descriptiva, fact-finding Diseño: Cause – Correlacional, the fact-finding method is the scientist and the specific method is the quantitative. The purpose of investigation is based on the results obtained according to the indicators: Percentage of aged pavement, asphaltic cement pen 85/100, stability and flow, Gradación of the aggregate. The population is the recycable material the Central Road reciprocates Right Bank, establishing oneself the period of midyear compilation 2014 and the 2015, period in which works of maintenance in the aforementioned road, debtor whose property ises attached for CONALVIAS, entity ordered by the Ministry Of Transport and Communications were executed, specifically for PRO-ROADS NATIONAL in charge of the State Highways, just as EP is the Road – Huancayo Right Bank, for the analysis the briquettes sample of the asphaltic mixture was used, with the contribution of residues of flexible pavement aged in certain percentages – Utopia and EP 3S Jauja 3S Oroya -Of 15 %, 20 %, 25 % percentages of contribution from the asphalt to the new

asphaltic mixture, a new dosification and mixture of new aggregates with the aggregates of the recycable material, as well as a design Marshall.

The main conclusion of the present research project, the production of a processing plant of asphaltic mixture is the utilization of recycable material for the use in maintenance of roads, intervening construction of flexible pavements instantly, in order to reduce costs, pollution of the environment and depredation of the zones of extraction of material; Correspond to adequate conditions as if aggregates are new.

**Passwords: Pavement aged, recycled, asphalt plant, Marshall, Flujo's Estabilidad.**

Bach. Jorge Manuel Chuman Aguirre.

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. TITULO DE LA TESIS**

Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El desarrollo vial en la ciudad de Huancayo, en los últimos tiempos ha crecido considerablemente tanto en cantidad vehicular como en el peso de los ejes equivalentes, que exigen que las vías de la ciudad de Huancayo deben contar con

mejores características físicas, a fin de prestar con una servicialidad adecuada acorde al crecimiento del parque automotor.

El diseño estructural de pavimentos exige que la superficie de rodadura presente condiciones adecuadas a fin de prestar confort en los usuarios y sostenible en el tiempo, por tanto la construcción, el mantenimiento programado debe de contar con eficacia acorde a sus necesidades.

Los materiales que se emplean en la construcción y mantenimiento de los pavimentos flexibles, tales como los agregados pétreos, cemento asfáltico y filler, cada vez son más escasos y las leyes de protección ambiental han vetado su extracción, por tanto cada vez será más dificultoso y costoso su obtención. En tal consideración teniendo en cuenta que el desarrollo vial de vías pavimentadas exige a costos más económicos se plantea la reutilización de material reciclado de pavimentos flexibles envejecidos, del espesor de la capa de rodadura que en su mayoría son de pavimento flexible y presentan un desgaste superficial, baches y fallas y a fin de recuperar su servicialidad se plantea que para su mantenimiento y/o rehabilitación, la reutilización del propio material de la capa asfáltica, complementando con material virgen (nuevo) a fin de obtener una nueva mezcla asfáltica, aplicando un proceso mecánico de recuperación como la tecnología constructiva más limpia y protectora de los recursos naturales, ya que se busca sustentar la utilización de los materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, a fin de colaborar a la preservación y uso razonable de los recursos a emplear en nuevas aplicaciones y usos.

Este planteamiento pretende obtener resultados económicos beneficios en los países donde los materiales son escasos y los costos de disposición de los desperdicios son muy altos, y contaminantes del medioambiente. Por tanto, es una técnica que se va difundiendo en la actualidad a fin de minimizar las afectaciones al medio ambiente provocadas por los componentes pétreos, asfáltenos de los residuos de los pavimentos viejos.

Los materiales pétreos y asfaltos eliminados de los pavimentos viejos no son empleados en la construcción convencional, no se aplican en estado reciclado por desconocimiento de sus propiedades activas y aparentar poca competitividad con los materiales virgen extraídos de las canteras y productos asfálticos de las plantas petroquímicas. Es importante mencionar que el proceso técnico de producción de una nueva mezcla asfáltica con el empleo de material reciclado empleados hasta la actualidad, continúen contaminando durante esta etapa de recuperación mediante el uso de productos químicos. Por tanto el propósito de la presente investigación es proponer alternativas de solución, mediante un proceso mecánico de reutilización con el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema General**

¿Se podrá reutilizar los materiales reciclados de un pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Puede utilizarse el material de un pavimento envejecido como aporte en una mezcla asfáltica nueva?
- b) ¿Se puede estimar la Estabilidad y el Flujo adecuado para la mezcla asfáltica con el empleo de material reciclado de un pavimento flexible envejecido?

## **1.4. OBJETIVO**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.
- b) Determinar la Estabilidad y el Flujo adecuado de la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.

## **1.5. JUSTIFICACION**

### **1.5.1. Práctica**

Al emplear material residuos de pavimentos envejecidos y obtener mezcla asfáltica nueva con la combinación adecuada de material nuevo o virgen y determinar la estabilidad y flujo como parámetros de calidad para un pavimento flexible que cumpla con las expectativas de servicio para beneficio de los usuarios.

### **1.5.2. Metodológica:**

La metodología empleada nos permitirá lograr resultados positivos en la investigación, que demostrarán; que los residuos de pavimentos flexibles envejecidos sean utilizados en reemplazo de material nuevo o virgen y obtener una mezcla asfáltica adecuada que cumplan con los aspectos técnicos y parámetros de calidad y su utilización en las diferentes vías en beneficio de los usuarios.

### **1.5.3. Ambiental:**

La presente investigación permitirá tener énfasis en el cuidado ambiental, nos permitirá dar a conocer y tener presente la responsabilidad del uso de la materia prima (agregados) y evitar la degradación de las canteras, ríos que están son usadas de manera informal e irresponsable.

## **1.6. HIPOTESIS**

### **1.6.1. Hipótesis General**

Es factible reutilizar el pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.

### **1.6.2. Hipótesis Específica**

a) Empleando parte del material de un pavimento flexible envejecido como aporte para una mezcla asfáltica nueva demostraremos que se puede sustituir parcialmente a los materiales vírgenes o nuevos.

b) Determinando la estabilidad y el flujo adecuado para la mezcla asfáltica esta influirá favorablemente al empleo de material reciclado de un pavimento flexible envejecido.

## **1.7. VARIABLES**

### **1.7.1 Variable Independiente (X)**

Reutilización de pavimento flexible envejecido

### **1.7.2. Variable Dependiente (Y)**

Planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

En el segundo capítulo se tocará temas de similitud planteamiento en el ámbito nacional y a nivel local no se tiene referencias de casos acerca del tema de emplear material reciclable, por lo tanto en nuestro medio el empleo de material reciclable para los pavimentos se encuentra en una etapa incipiente; no existe preocupación por parte de las entidades que ejecutan obras viales en recuperar el material reciclable, sin contar con un lugar adecuado para eliminar los residuos de los pavimentos envejecidos o que han cumplido con su tiempo de servicio.

##### **2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES**

“RECICLADO DE PAVIMENTOS, TECNOLOGÍA MODERNA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS” PROYECTO PERU –

GESTION Y CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO  
APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS” CARRETERA LA  
OROYA – HUANUCO –TINGO MARIA – EMP . 5N (DIV TOCACHE)  
EJECUTADO POR CONALVIAS S.A. SUCURSAL PERÚ.

- **Autor** Ing. William Mauricio Galvis Castillo.

El trabajo, elaborado por el Ing. William Mauricio Galvis Castillo, efectúa el estudio de aplicación de material reciclado, con el concepto de reutilizar un pavimento en mal estado mediante un tratamiento, adicionándole un estabilizador como el asfalto, emulsión o el cemento, quedando un material que sirve como refuerzo o como parte de una calzada nueva. El hecho de que el pavimento este en mal estado no significa que no sirva, mediante un tratamiento puede obtenerse uno de semejantes características al pavimento nuevo. La reutilización de materiales tiene como objetivo contribuir con el medio ambiente, para evitar la explotación de canteras, erosionar los ríos y contaminar el medio ambiente con los desechos que se eliminan.

- **Cómo soluciona estos problemas?**

El empleo de material reciclado, obtenido de un pavimento envejecido, mediante el empleo de procedimientos de recuperación “in situ” o sea en el mismo lugar, una selección apropiada del material reciclable, procesamiento y mezcla combinada y adicionando aditivos con materiales nuevos o virgen, han logrado un pavimento que preste servicio adecuado en el tiempo.

- **Resultados.**

Se ha logrado elegir una de las técnicas más adecuadas en la recuperación de un pavimento, que luego de una comparación de uso de material reciclado en planta vs reciclado in situ, se ha determinado que las ventajas obtenidas, son a nivel de una reducción de costos, recuperación de la geología del asfalto.

Concluyendo, que sí existiera una cultura de mantenimiento preventivo se disminuirán los costos y procesos de mantenimiento preventivo escogiéndose la alternativa que produzca la mejor relación costo – efectividad durante la vida útil del pavimento.

El Bach. Víctor Manuel Villa Chaman, en enero del 2007, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sustento su Tesis “ Reciclado in situ en Frío de Pavimentos Empleando Emulsiones Asfálticas”, con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Civil, en la cual centra su investigación, diseño y aplicación de un método de rehabilitación alternativo y poco usado en nuestro medio para rehabilitar un pavimento flexible, la hipótesis de la que partió sostiene que el método alternativo de rehabilitación , reciclado de pavimento en frío con emulsiones asfálticas catiónicas, es un método viable tanto técnica como económicamente en nuestro medio.

Para sustentar es hipótesis explica conceptos de lo que es una emulsión asfáltica, explicando la teoría de los pasos a seguir para la

recuperación de un pavimento reciclado en frío mediante la aplicación de emulsión, como describe el proceso de diseño de mezcla asfáltica, mostrando los pasos y normas que se utilizaron en el laboratorio para la obtención del diseño final.

Asimismo describe las pruebas y ensayos realizados, tanto como: granulometría, lavado asfáltico, estabilidad Marshall, también enumera los diferentes beneficios ambientales, económicos y técnicos de utilizar este método de rehabilitación alternativo, mencionando los diferentes beneficios de esta técnica, finalmente plantea una aplicación en un tramo de prueba llegando a la conclusión de que el método de rehabilitación de reciclado en frío con emulsiones asfálticas si es viable en nuestro medio.

### **2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.**

La Bachiller Angélica Andrea Méndez Revollo , el año 2015 sustento su tesis: Evaluación Técnica y Económica del Uso de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en Vías Colombianas, en la Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería: Especialización en Ingeniería de Pavimentos – Bogotá, con la finalidad de lograr el título en Ingeniería Civil; donde sustenta que el uso de pavimentos asfálticos reciclados para la construcción y rehabilitación de carreteras es un tema que ha venido creciendo desde hace años, debido a la reutilización y potencialización de los materiales existentes que contribuye al medio ambiente por la

disminución de canteras en búsqueda de nuevos agregados, sin embargo no existe una guía clara de esta técnica y por tanto es poco utilizada. Su trabajo busca establecer una perspectiva acerca del uso de pavimentos asfálticos reciclados a partir de estudios realizados, donde se encontraron resultados óptimos en cuanto a propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas recicladas. Los resultados mostraron que el reciclado en los casos donde ha sido utilizado se ha logrado un buen comportamiento y una reducción de costos considerable.

La técnica del reciclaje tiene un conjunto de ventajas, entre las que se encuentran la disponibilidad de material in situ reutilizando los materiales existentes, reduciendo así mismo el impacto ambiental en la reducción de explotación de canteras y la disposición de desechos, reducción de costos en materiales, y la posibilidad de corregir el contenido de asfalto y la gradación del agregado de una mezcla ya existente, generando una estructura de pavimento estable (1) Dividiendo el reciclaje de un pavimento flexible en dos principales métodos : reciclaje en frío y reciclaje en caliente.

Por esta razón el Instituto Nacional de Vías Colombianas (INVIAS) ha considerado importante impulsar la tecnología planteada por la sustentante, dando inicio con la capacitación en las diferentes técnicas, planteando a su vez la necesidad de realizar investigaciones debido a la diferencia de propiedades mecánicas de los materiales, para así optimizar el

proceso a las condiciones propias de su medio, convirtiéndose en una técnica viable y económica para el mejoramiento y mantenimiento de las carreteras Colombianas, Por otra parte mencionar que esta técnica en Colombia ha sido utilizada como estrategia para mejorar las vías terciarias de Medellín, llegando al 2015, en un 60 % de vías reparadas y rehabilitadas por esta metodología con una reducción de costos de 20 a 30 % y un considerable impacto positivo al medio ambiente.

## **2.2 BASE TEÓRICA**

### **2.2.1 INTRODUCCIÓN AL RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO**

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de las inclemencias climatológicas. Estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que el pavimento sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento y deterioro de los pavimentos conllevan una disminución progresiva en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación y/o mantenimiento.

En nuestro medio a nivel nacional y local, las entidades encargadas de las vías, a nivel nacional (MTC – Provias Nacional), a nivel regional (Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones) y a nivel local (Municipios Provincial y Distrital) se han dedicado a trabajos de conservación de los pavimentos (recapeado, resellado reparación de baches,

etc), que viene sufriendo deterioros y han disminuido los niveles de seguridad y confort que deben prestar a los usuarios, toda vez que los bacheos o parches no recuperan sus características iniciales, únicamente salvan los defectos graves y paulatinamente se van deteriorando.

Los desechos o residuos de los materiales de los pavimentos envejecidos que se eliminan al rehabilitar las vías son eliminados y ubicados en diversos lugares que contaminan el medio. Para estas entidades que ejecutan la construcción de nuevos pavimentos, representan un material inservible que les ocasiona problemas relacionados con la adquisición de nuevos materiales, por la carencia de canteras adecuadas, depredación de los ríos, etc., resultando contraproducente desde el punto de vista técnico, toda vez que los materiales reciclados pese a indicarse que son envejecidos, aún conservan sus características físicas, ya que requieren adicionarse de un porcentaje de entre 1% a 3% de cemento asfáltico, comparativamente a una nueva mezcla asfáltica requiere un promedio de 6 % del material.

Con las premisas de conservación del medio ambiente, ahorro de costos de transporte, adquisición de materiales nuevos, la escasa energía necesitada para la producción de mezcla asfáltica reciclada, logran un importante ahorro energético comparativamente a la construcción convencional de pavimentos. El empleo de material reciclado se considera una técnica de rehabilitación de carreteras que comprende en la reutilización de los materiales provenientes de las capas de un pavimento que ha cumplido con el tiempo de servicio y han perdido propiedades parte de sus

propiedades físicas, pero pueden ser reutilizados. En este contexto, el material reciclado, como medio de racionalizar los recursos, se convierte en una necesidad.

### **2.2.2 Material Reciclado.**

El reciclado se entiende por la reutilización de materiales para la construcción de una nueva capa mediante la disgregación de los componentes de un pavimento en una determinada profundidad, y la adición de un conglomerante/ aglomerante (cemento asfáltico, emulsión, betún espumado), agua (para la hidratación, amasamiento y compactación), eventualmente agregados (a fin de corregir las deficiencias granulométricas) más alguna aditivo.

Indefectiblemente el reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que han estado en servicio, estos materiales pueden haber perdido alguna de sus propiedades iniciales por el uso o envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría, etc) pero también existe la premisa que estos materiales tiene el potencial de ser reutilizados y retornen a forman nuevas capas de un pavimento nuevo.

Un objetivo de cumplir con el empleo de material reciclado es reducir el consumo de recursos, estos son recursos naturales y recursos energéticos, que deben lograr la disminución de los desechos provenientes de estos materiales, reduciendo el impacto ambiental que generan, por tanto la carretera rehabilitada o nueva cumpliría la función de cantera por su

abastecimiento de materiales y de botadero al reabsorber los materiales que se tenían que eliminar.

El material reciclable puede provenir de todo tipo de pavimentos flexible, de carreteras de alto, medio o bajo volumen de tránsito, caminos nacionales, departamentales, calles urbanas, pistas de aeropuertos, playas de estacionamiento, etc.

Las técnicas de obtención de este material reciclable puede ser mediante una máquina fresadora o escarificadora, pero la más adecuada se considera la obtenida mediante el proceso de recuperación en una trituradora de agregados.

De acuerdo a normatividad vigente, se tiene los requerimientos para el agregado grueso de adición (1) en mezclas recicladas en caliente:

**TABLA N°1: REQUERIMIENTO DE AGREGADOS  
GRUESOS DE ADICION EN MEZCLAS RECICLADAS EN  
CALIENTE**

		Ensayo	Requerimiento según tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
			≤ 0,3	> 0,3 - 3	> 3
Desgaste de Los Ángeles		MTC E 207	25% máx.	25% máx.	25% máx.
Desgaste Micro-Deval		ASTM D 7428		25% máx.	20% máx.
10 % de finos (KN)	Seco	BS 812			110 min.
	Relación Húmedo/seco	Part 110			75% min.
Durabilidad al Sulfato de Magnesio		MTC E 209	18 % máx.	18 % máx.	18 % máx.
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1cara/2 caras		MTC E 210	75 / --	75 / 60	85 / 70
Coeficiente de resistencia la deslizamiento		ASTM E 303	0,45 min.	0,45 min.	0,45 min.
Partículas chatas y alargadas		ASTM D 4791	10% máx.	10% máx.	10% máx.

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS” Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG – 2013,

De acuerdo a normatividad vigente en el manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales para construcción" EG – 2013, se tiene los requerimientos para el agregado fino de adición (2) en mezclas recicladas en caliente:

**TABLA N°2:REQUERIMIENTO DE AGREGADOS FINOS DE ADICION EN MEZCLAS RECICLADAS EN CALIENTE**

Ensayo	Ensayo	Requerimiento según el tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
		<= 0.3	> 0.3 - 3	> 3
		Durabilidad al sulfato de Magnesio	MTC E 209	18 % máx.
Angularidad	ASTM D 1252	40 % mín.	45 % mín.	45 % mín.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	N.P.	N.P.	N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114	50 % mín.	50 % mín.	50 % mín.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5 % máx.	0.5 % máx.	0.5 % máx.

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS" Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" EG – 2013,

### **2.2.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON EL EMPLEO DE MATERIAL RECICLABLE.**

Las técnicas convencionales o clásicas para la rehabilitación de pavimentos, se trata de técnicas usuales de empleo generalizado; en la actualidad con estos métodos, los deterioros más importantes se corrigen y/o reparan colocando una capa de refuerzo superficial a base de materiales

vírgenes y/o reciclados. Si las fallas o deterioros son de mayor importancia y envergadura; se procede a eliminar el grosor o espesor defectuoso substituyendo por nuevas capas bituminosas o asfálticas.

De las técnicas de reciclado más comunes y utilizadas se tiene:

- Reciclado “in situ” en caliente.
- Reciclado “in situ” en frío con cemento.
- Reciclado “in situ” en frío con emulsiones bituminosas
- Reciclado “in situ” en planta.

Para el presente estudio se ha tomado en consideración el Reciclado de pavimentos en Planta, el mismo que merece explicación detallada.

#### **Reciclado “in situ” en caliente**

Reciclar in situ, como su nombre propio lo menciona, se efectúa en el mismo lugar y es empleado cuando no existen problemas de insuficiencia estructural en los pavimentos, sino cuando hay problemas con la función del ligante asfáltico, excesivo pulimento de la superficie, desgaste de los áridos o pérdida de la textura superficial, este reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del firme envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra. El pavimento envejecido se calienta mediante unos quemadores y se fresa un espesor determinado. Este material es mezclado necesariamente con agentes químicos rejuvenecedores y con una nueva mezcla. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante los procedimientos convencionales. Las desventajas que presenta este

método es que necesariamente requiere de la incorporación de agentes químicos a fin de que el material asfáltico mejore sus características y logre una mezcla asfáltica de calidad.

### **Reciclado "in situ" en frío con cemento.**

Esta técnica se basa en el fresado (cortar la capa de rodadura mediante el empleo de equipo mecánico “escarificador”) en frío de un cierto espesor del pavimento envejecido y mezclado con un conglomerante hidráulico (cemento normalmente). El nuevo material se extiende y se compacta obteniendo una sólida base para posteriores refuerzos.

El reciclado in situ con cemento es una alternativa para el refuerzo estructural de pavimentos envejecidos y de aceptación regular. Ello es debido a varios factores: los avances mínimos logrados en las recicladoras, los distribuidores de conglomerante y los equipos de compactación; un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales reciclados con cemento; el comportamiento de muchos pavimentos reciclados con esta técnica; la posibilidad de contar con Entidades de gran experiencia; y la reducción de los costos que es posible conseguir en comparación con otras opciones de rehabilitación.

Debido al contenido de cemento portland las mezclas recicladas presentan un cierto grado de rigidez, y en zonas frías de altitudes por encima de los 3800 msnm., pueden presentar fisuras en la capa de rodadura por efectos de la contracción y rigidez en la mezcla asfáltica.

### **Reciclado “in situ” en frío con emulsiones bituminosas**

El reciclado en frío "in situ" de pavimentos en las carreteras consiste en la reutilización de materiales procedentes de las capas del pavimento existente, después de su disgregación por fresado, de su mezclado y homogeneización con emulsión bituminosa, agua de envuelta y, eventualmente, árido de corrección y aditivos, y de su extendido y compactación en el propio lugar de extracción.

Esta técnica, permite reutilizar la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido en condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales muy favorables.

Las desventajas que presenta es la parte económica, puesto que el costo de la emulsión supera considerablemente a los diversos métodos de reciclado, más aun considerando que debe tenerse un extremado cuidado en la obtención, acopio o almacenamiento del material reciclado y su aplicación en la mezcla nueva, toda vez que el efecto que debe producir los componentes de la emulsión como son las animas, pueden reaccionar y deteriorarse y no producir el efecto deseado en la mezcla.

### **Reciclado “in situ” en planta procesadora en caliente**

Este método de reciclado se logra mediante el transporte del material frezado o recuperado (puede ser todo el espesor de la capa) de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se clasifica y se mezclan en caliente con áridos nuevos o vírgenes, trabaja con una unidad de procesamiento (Planta procesadora de mezcla asfáltica de tipo continuo)

Este procedimiento permite reciclar el conjunto o sólo una cierta proporción de material envejecido mediante una central asfáltica adaptada (la Planta debe contar con un componente para ingreso del material reciclado). El porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales.

El material recuperado del pavimento se puede tratar previamente en una Planta chancadora con el objeto de mejorar sus características físicas, durante el machaqueo o fragmentación de la mezcla reciclada, se puede distinguir de tres ases: machaqueo (en la trituradora secundaria) , clasificación/cribado ( en la zaranda vibratoria y homogenización (en las pilas de acopio) y así conseguir mayores porcentajes granulométricos y/o clasificación granulométrica del material a fin de conseguir una adecuada dosificación en la nueva mezcla.

El almacenamiento en pilas requiere de la disponibilidad de grandes extensiones de espacio y cercanos a la planta procesadora de mezcla asfáltica, realizándose un adecuado almacenamiento que puede ser: por tamaño máximo de partícula, granulometría, tipo de asfalto (cemento asfáltico, asfalto diluido o asfalto emulsionado), origen del material (cantera cerro o río).

Otra de las grandes ventajas que presenta este método de reciclado en planta es que el asfalto al ingresar nuevamente a una zona caliente pierde viscosidad y se desprende de los agregados viejos y nuevamente se mezcla

con el asfalto nuevo recuperando de esta forma sus características químicas (asfáltenos) y los áridos o agregado de mezcla con los agregados vírgenes o nuevos, otorgándole la opción de ser en su totalidad una mezcla nueva con el aporte de material reciclado.

#### **2.2.4 Plantas para mezcla asfáltica en caliente**

Las “Plantas de asfalto”, como comúnmente suele llamárseles en el mercado, tanto por los fabricantes, comerciantes y operadores de estos equipos, la mayoría de veces refiriéndose a Las plantas para la producción de mezcla asfáltica en caliente, difieren de las plantas para la producción de asfalto en frío, en que los agregados son secados y mezclados a temperaturas de entre 150 °C a 180° C, dependiendo esto de las condiciones de diseño de la planta y de las especificaciones para el tipo de mezcla a producir. Técnicamente, podríamos describir una “Planta de Asfalto” como el conjunto de elementos, dispositivos, mecanismos, equipos y sistema dispuestos de alguna manera para producir mezcla asfáltica en caliente.

El principio básico de las plantas para mezcla asfáltica en caliente, es la dosificación exacta de los agregados, siendo, ésta por peso, al igual que el cemento asfáltico en una forma fluida y controlada en peso, y condiciones adecuadas de temperatura; condiciones de los materiales para obtener una mezcla asfáltica adecuada bajo las condiciones de calidad.

Para poder lograr esto, es necesario cuidar el buen desempeño de todos los elementos que integran la planta, desde el montaje, operación-control y mantenimiento.

### 2.2.5 Surgimiento de las plantas para mezcla asfáltica en caliente

Con el aporte intensivo del asfalto en obras viales que ocurrió a principios del siglo XIX, esto debido a dos acontecimientos casi simultáneos: El primero la aparición del automotor con rodado neumático, que sustituyó a la llanta maciza de caucho y segundo la explotación masiva del petróleo y cuya industrialización convirtió a este en productor principal de asfaltos y tomando en consideración que en el primer caso el automóvil obtuvo pronto el favor del público que reclamó buenos caminos para mayor seguridad y comodidad, además el transporte carretero comercial creó la dependencia “camino-camión” exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos, en el segundo caso el petróleo produjo grandes volúmenes de asfalto aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (*cut-back*).

Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron entonces (1905) como paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1951 y 1957 en Europa y EE.UU. respectivamente; en Argentina las aniónicas comenzaron a producirse a mediados de la década del '30 y las catiónicas a fines del '60. Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la "era del automóvil y la construcción de carreteras". Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los áridos (a mano), apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual.

El ritmo de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir costos hizo progresar la operación vial. Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo: regadores de asfalto a presión, distribuidores de piedra, aplanadoras vibrantes, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc. Las mezclas asfálticas en sitio cambiaron niveladoras y rastras por motoniveladoras y plantas móviles o fijas. Las primeras mezclas calientes irrumpieron en el mercado alrededor de 1870 con plantas intermitentes (pastones) de simple concepción. Hacia 1900 se había mejorado su diseño incluyendo tolvas de árido, elevadores de materiales fríos y calientes, secadores rotativos, tanques para acopiar asfalto, mezcladoras que permitían cargar vagones a camiones.

Entre 1930 y 1940 se incorporan cintas transportadoras, colectores de polvo y otros aditamentos, en las décadas del 50 y 60 se desarrollan plantas de mayor capacidad, hacia 1970 se introducen sistemas computarizados para dosificación y controles de elaboración, polvo y ruido. Todo este proceso mantuvo la operatoria fundamental: secado-cribado-proporcionado-mezclado.

Para 1910 existían en EE.UU. pequeñas plantas en caliente, de mezclado en tambor que hacia 1930 fueron reemplazadas por las de mezclador continuo de mayor producción. En 1960 el procedimiento de secado y mezclado en tambor fue rescatado y actualmente estas plantas (tambor mezclador) producen mezclas de gran calidad y compiten además en el reciclado de pavimentos. Los silos para acopio de mezcla caliente forman parte de las

plantas de tambor mezclador; también suelen encontrarse estos sitios en instalaciones discontinuas para independizar las operaciones de carga de los camiones, o silos de gran capacidad, dotados de revestimiento aislante, permiten al acopio de mezcla caliente durante varios días conservando su trabajabilidad.

En la actualidad como se mencionó anteriormente tienen gran importancia los sistemas de control, que monitorean la mayoría de los parámetros de operación de las plantas, en su mayoría son plantas de tambor mezclador, dado que estas presentan características innovadoras, una de ellas es que estas están dotadas de colectores de polvo húmedos o secos, que las hace más limpias que las convencionales.

#### **2.2.6 Clasificación de las plantas para mezcla asfáltica en caliente**

Las plantas para mezcla asfáltica en caliente pueden clasificarse de la siguiente forma:

- De acuerdo a la forma de producción:

Continuas:

Convencionales Tambor mezclador

Intermitentes: De Bachada o tanda por peso de mazada

- Según su capacidad de producción:

Se clasifican según su capacidad de producción en Ton / hora

- De acuerdo a su movilidad:

Portátiles

Estacionarias

Las plantas continuas tanto convencionales como de tambor mezclador pueden ser portátiles o estacionarias. Las plantas intermitentes o de bachada son regularmente estacionarias. La capacidad es independiente de las otras clasificaciones.

### **2.2.7 Plantas continuas**

Como su nombre lo indica, en este tipo de plantas llegan al mezclador cada uno de los agregados: agregado grueso, agregado fino, relleno mineral y el cemento asfáltico en forma continua. Los mecanismos de alimentación están sincronizados con el objeto de que la cantidad de material suministrada en todo momento guarde las proporciones debidas. La diferencia fundamental entre las plantas continuas del tipo convencional y las de tambor mezclador se centra en el proceso de secado, las plantas convencionales el secado de los agregados ocurre antes del mezclado, de forma independiente, y en las plantas de tambor mezclador el proceso de secado y mezclado ocurre en el mismo secador; en el segundo caso es más eficiente comparativamente con el primero, por tiempo de mezclado, ahorro en costos por combustible, y conservador en contaminación ambiental toda vez que el proceso continuo es atrapado en los lavadores o filtros.



Fuente: Planta de Asfalto ALMIX – Propietario Municipalidad Provincial de Huancayo

### 2.2.8 Plantas Intermitentes

En este tipo de plantas, la dosificación de los agregados se realiza pesando en un recipiente interno (mezclador) cada uno de los agregados calientes, almacenados en los silos del agregado cribado de manera sucesiva y acumulativa, en un orden predeterminado hasta obtener el peso total para ser mezclado. Este peso total es determinado por la capacidad del mezclador y los pesos de cada uno de los agregados, por la proporción establecida de granulometría prevista en el diseño del tipo de mezcla.

La dosificación del cemento asfáltico en este tipo de plantas puede realizarse de las siguientes formas:

a) Por peso:

Se pesa en un recipiente y luego se vierte sobre el mezclador.

- b) Por medida directa del volumen: El cemento asfáltico se vierte en un recipiente de volumen conocido, que generalmente sirve de cuerpo de bomba para su inyección.
- c) Por medida indirecta del volumen: Mediante bombas continuas de caudal constante que suministra la cantidad de cemento asfáltico durante un tiempo establecido.



Fuente: Planta de Asfalto ASTEC – Propietario Consorcio “VARGAS” , Ubicación : Paraje La Huaycha – Concepción.

### 2.3 Mezcla asfáltica

“Es la capa de superficie para pavimentos, constituida de agregados pétreos mezclados con material bituminoso; en planta central, en caliente o en frío, o bien en el camino. La mezcla puede ser de textura abierta o cerrada dependiendo de las características de graduación de los agregados pétreos”. Las mezclas asfálticas en

caliente están constituidas por dos materiales: agregados pétreos y cemento asfáltico. Los agregados pétreos se clasifican por tamaños, generalmente divididos en tres grupos: Agregados gruesos, agregados finos y rellenos minerales. Cada uno de los componentes de la mezcla tiene una función especial y depende del diseño y de la dosificación de los mismos, asegurar que no se descuide ninguna de esas funciones. La función del agregado pétreo es soportar las cargas aplicadas a la estructura del pavimento, donde intervienen las resistencias al desgaste por fricción y la adherencia entre los fragmentos individuales de los agregados. Los agregados con formas angulosas y superficie áspera hacen más estables las mezclas asfálticas.

En las mezclas se utilizan agregados que están natural o artificialmente bien graduados, esto significa que existirán espacios determinados, entre estos; el agregado fino sirve para rellenar estos vacíos. El agregado fino influye en la densidad, y por lo tanto en la resistencia, la granulometría influye en la manejabilidad. Cuando se utiliza un exceso de agregado grueso, la mezcla se hace áspera y dura para manejarse. Cuando se usa un exceso de relleno mineral la mezcla se hace viscosa y también difícil de manejar.

El cemento asfáltico es el encargado de adherir entre sí, los agregados pétreos; todas las partículas y de impermeabilizar el pavimento. Para cualquiera de los métodos de diseño uno de los objetivos principales es la obtención de la mejor proporción del cemento asfáltico, para cada combinación predeterminada de los agregados. Conocer la proporción correcta de cemento asfáltico influye mucho en todos los factores que permiten obtener una buena mezcla, además de reducir los costos, debido a la correcta utilización principalmente del cemento asfáltico.

Considerando la mezcla de agregados sin asfalto, todo el espacio entre sus partículas está vacío, el volumen de estos vacíos de los agregados depende de la granulometría y puede variar; Cuando se añade el cemento asfáltico se llena una porción de estos vacíos llenos de aire, los que son muy importantes para las características de la mezcla. Se usa el término vacíos llenos de aire, ya que estos no pesan y se expresan como porcentaje total de la mezcla compactada.

El cemento asfáltico experimenta cambios de volumen, dependiendo de la temperatura y si la carpeta asfáltica no tiene vacíos llenos de aire cuando se coloca, o los pierde por efecto del tránsito, entonces al dilatarse el asfalto, brotará en la superficie, condición llamada afloramiento.

Las pérdidas de cemento asfáltico por afloramiento debilitan la carpeta asfáltica y reducen el índice de rugosidad de la superficie, haciéndola resbaladiza y por ende peligrosa. Un exceso de cemento asfáltico en la mezcla incide también en la estabilidad de ésta ya que puede generar desplazamiento de partículas por lo cual es incorrecto elaborar mezclas ricas en contenido de cemento asfáltico. Por otra parte el volumen de vacíos llenos de aire debe ser generalmente de 2% o 3% y no debe excederse del 5%. Un exceso de vacíos llenos de aire provocará la desintegración del pavimento, debido que permite la penetración de agua; acelerando el proceso de desintegración, además con la presencia de exceso de aire, el cemento asfáltico endurece y envejece afectando su elasticidad y con esto su durabilidad.

En resumen las proporciones de los agregados y del cemento asfáltico influyen directamente en las características de la mezcla según sea el caso del diseño de la misma.

### 2.3.1 Gradación de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la siguiente tabla, alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la norma ASTM D 3515, también puede emplearse Instituto del Asfalto.

**TABLA N° 3 GRADACION DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA 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.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

FUENTE: EG 2013- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

## 2.4 El Asfalto

Existen varias referencias al asfalto en la Biblia, aunque la terminología usada puede ser bastante confusa. En el libro del Génesis se refiere al impermeabilizante del Arca de Noe, el cual fue preparado con y sin alquitrán y de la aventura juvenil de Moisés en "Un Arca de Espadaña, pintarrajeada con lodo y con alquitrán". Aún más confusas son las descripciones de La Torre de Babel. La versión autorizada de la Biblia dice: "Ellos tenían ladrillos por rocas y lodo para mortero", la nueva versión autorizada dice: "Ellos usaron ladrillos en vez de piedra y alquitrán en vez de mortero". La traducción de Moffat en 1935 dice: "Ellos usaron ladrillos en vez de piedras y asfalto en vez de mortero"; así como en la nueva versión oficial de la Biblia en español. Tampoco es desconocido que los términos bitumen, alquitrán y asfalto son intercambiables.

En las vecindades de depósitos subterráneos de crudo de petróleo, capas superficiales de estos depósitos pueden verse en la superficie. Esto puede ocurrir por fallas geológicas; la cantidad y naturaleza de este material que se observa naturalmente depende de un número de procesos naturales, los cuales pueden modificar las propiedades del material. Este producto puede ser considerado un "asfalto natural", a menudo siendo acompañado por material mineral, y la mezcla y dependiendo de las circunstancias por las cuales hayan sido mezcladas.

Los Sumerios, 3.800 A.C., usaron asfalto y se recuerda este como el primer uso de este producto. En Mohenjo Daro, en el valle Indus, existen tanques de agua particularmente bien preservados los cuales datan del 3.800 A.C., en las paredes de

este tanque, no solamente los bloques de piedra fueron pegados con un asfalto "natural" sino que también el centro de las paredes tenían "nervios" de asfalto natural.

Los antiguos usos "naturales" del asfalto descritos arriba no persisten en dudas en aquellas partes habitadas del mundo donde estos depósitos de asfalto natural estaban fácilmente disponibles. En consecuencia esto parece haber sido poco desarrollo del arte en algún otro sitio. No fue hasta el fin del siglo XIX que alguno de los presentes usos del asfalto fueron introducidos. Sin embargo, esto parecía haber sido algún conocimiento de carpetas alternativas en el periodo intermedio como esta en la grabación que Sir Walter Raleigh, en 1595 proclamó el lago de asfalto que encontró en Trinidad para hacer el mejor impermeabilizante utilizado en el acollado de barcos. En la mitad del siglo XIX se intenta que el asfalto fuera manufacturado para utilizarse en superficies de carreteras. El mismo provenía de depósitos naturales europeos. Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto manufacturado a partir del crudo de petróleo. Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa disponibilidad, no obstante lo cual a mediados del mismo, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1.870, en USA. El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX.

#### **2.4.1 Asfaltos Naturales**

Los asfaltos son materiales aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza

#### **2.4.2 Composición del Asfalto**

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años. El modelo adoptado

para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada máltenos. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera asfáltenos insolubles. Los máltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

**TABLA N°4 COMPOSICION DE ELEMENTOS DEL ASFALTO**

<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>Carbono</b>	<b>50 %</b>
<b>Oxigeno</b>	<b>20 %</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>14 %</b>
<b>Hidrogeno</b>	<b>8 %</b>
<b>Fósforo</b>	<b>3 %</b>
<b>Azufre</b>	<b>1 %</b>
<b>Potasio</b>	<b>1 %</b>
<b>Calcio</b>	<b>0.5 %</b>
<b>Magnesio</b>	<b>0.5 %</b>
<b>Hierro</b>	<b>0.2 %</b>

**Fuente: REPSOL – PETRO PERU.**

### 2.4.3 Asfaltos derivados de petróleo

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. Con base a la proporción de asfalto que poseen los petróleos se clasifican en:

Petróleos crudos de base asfáltica.

Petróleos crudos de base parafínica.

Petróleos crudos de base mixta (contienen parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosén de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El alquitrán obtenido de la destilación

destruccion de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos

### PROCESO DE DESTILACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO

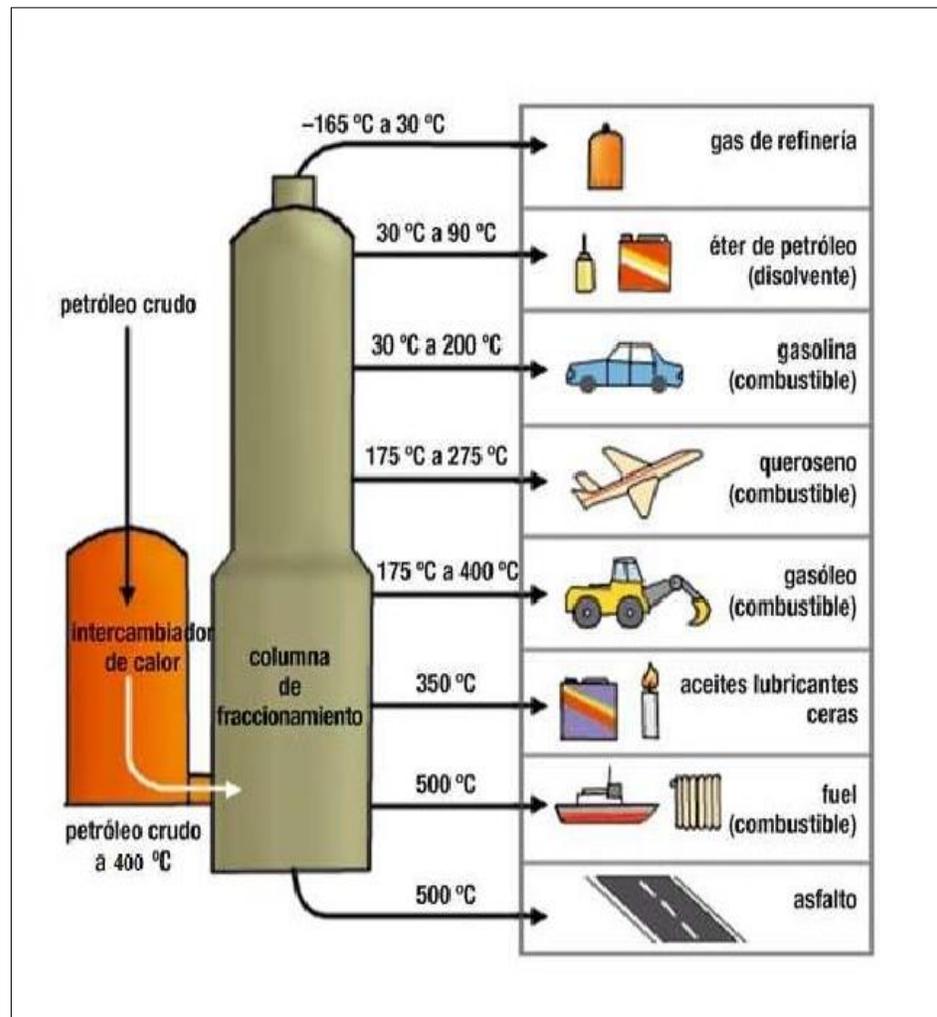


GRAFICO N°1: Proceso de Destilación del Cemento Asfáltico. FUENTE: REPSOL

Existen muchos tipos y grados de asfalto que son utilizados actualmente como asfaltos para pavimentación, estos se dividen principalmente en:

**Asfaltos líquidos de curado lento (Road Oil), SC.** Son aceites residuales asfálticos, que contienen pocos o ningún elemento volátil, o pueden proceder de una mezcla de cemento asfáltico y aceites residuales.

**Asfaltos de curado medio, MC.** Se obtienen fluxando el cemento asfáltico con kerosina, que es un producto altamente volátil. La kerosina hace al asfalto trabajable a temperaturas relativamente más bajas y se evapora al exponerse al aire o al calor, dejando libre el cemento asfáltico.

**Asfaltos de curado rápido, RC.** Al igual que el asfalto de curado medio se obtiene en este caso fluxando cemento asfáltico con nafta o gasolina, productos mucho más volátiles que la kerosina. Estos destilados se evaporan mucho más rápido que la kerosina, por eso se le llama a este tipo de *Cut-back*, de curado rápido. Para los RC se emplean cementos asfálticos de menor penetración que para los MC

**Cementos asfálticos, CA.** Es un ligante denso que se emplea en la preparación de mezclas asfálticas. Se designa seleccionando una graduación de penetraciones de dureza adecuada, para cada tipo de construcción, condiciones climatológicas, clase y naturaleza del tráfico que ha de soportar el pavimento. Los cementos asfálticos se refinan por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento, continuándose la destilación hasta que se obtiene la penetración deseada. Los cementos asfálticos necesitan calentarse para adquirir la fluidez que les haga

trabajables, al contrario de la mayor parte de otros materiales asfálticos, cuya docilidad depende de las materias volátiles.

**TABLA N° 5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CEMENTO**

	PG 46			PG 52						PG 58					PG 64						
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C*	<46			<52						<58					<64						
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C*	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>Asfalto original</b>																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: <sup>1</sup> máximo 3 Pa's, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>1</sup> G*senδ, <sup>2</sup> mínimo 1.00 kPa tempo de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																					
Cambio de masa, <sup>3</sup> máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G* senδ, <sup>4</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																					
Temperatura de curado PAV, °C	90			90						100					100						
Esfuerzo cortante dinámico G* senδ, <sup>4</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313 : <sup>5</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 tempo de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión Directa, T 314: <sup>6</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% tempo de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

**ASFALTICO – AASHTO M 32**

FUENTE: EG – 2013 MTC ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

Continuación: **TABLA N° 5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CEMENTO ASFALTICO – AASHTO M 320**

	PG 70						PG 76						PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34		
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<70						<76						<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34		
<b>Asfalto original</b>																		
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																	
Viscosidad, T 316: <sup>b</sup> máximo 3 Pa·s, temp de prueba, °C	135																	
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																		
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00																	
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																		
Temperatura de curado PAV, °C <sup>f</sup>	100 (110)						100(110)						100 (110)					
Esfuerzo cortante dinámico G*/senS, <sup>d</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Resistencia al deslizamiento, T 313: <sup>g</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tensión Directa, T 314: <sup>h</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

<sup>a</sup> La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

<sup>b</sup> Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

<sup>c</sup> Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G\*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

<sup>d</sup> G\*/senS = Resistencia a alta temperatura y G\* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

<sup>e</sup> El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

<sup>f</sup> La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

<sup>g</sup> Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

(2) Fuente: MANUAL DE CARRETERAS” Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG – 2013,

**Emulsiones asfálticas.** Para mezclar dos sustancias que no son solubles una en la otra, es necesario añadir un tercer ingrediente, para retardar la separación de estos. Las emulsiones asfálticas no son más que la mezcla de agua y cemento asfáltico, para dicha mezcla se utilizan agentes emulsionantes que retardan la separación. Se emplean numerosos agentes emulsionantes, orgánicos e inorgánicos,

tales como: silicatos solubles o insolubles, arcilla coloidal, jabón, y aceites vegetales entre otros.

## **2.5 AGREGADOS**

Los agregados pétreos o agregados simplemente, lo constituyen los áridos de partículas duras de forma y tamaños establecidos. Los agregados se dividen principalmente en tres grupos: agregados gruesos, agregados finos y rellenos minerales. La mayoría de los agregados duros son: arenas, piedra triturada, grava natural y escoria, en Guatemala es de mucho uso las arenas, material de grano fino, procedente de la desintegración natural de las rocas o de la desintegración de areniscas fáciles de desmenuzarse; también es de uso común las arenas artificiales procedentes de la trituración de materiales.

Los agregados para pavimentos asfálticos son generalmente clasificados de acuerdo a sus orígenes o fuente; de la forma siguiente:

### **2.5.1 Agregados naturales**

Para su obtención se han utilizado pocos o ningún proceso, solo para la extracción del banco de materiales. Se encuentran hechos de partículas producidas por procesos puramente naturales como lo son la erosión natural, procesos de degradación tales como la acción del viento, agua, movimiento del hielo.

### Agregados procesados

Son todos aquellos que para su utilización han sido molidos. Existen dos fuentes básicas de agregados procesados: Gravas naturales, que son molidas para hacerlas más apropiadas para su uso en la producción de mezclas asfálticas y fragmentos de roca sólida de tamaño considerable que deben ser reducidas antes de utilizarlas.

### Agregado Grueso

Los agregados gruesos que se requieren para una mezcla asfáltica, de acuerdo a normatividad vigente, es el siguiente

**TABLA N° 6 REQUERIMIENTO DEL AGREGADO GRUESO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD MSNM.	
		> 3,000	> 3,000
Durabilidad al sulfato de Magnesio	MTC E 209	18 % máx.	<b>15 % máx.</b>
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40 % máx.	<b>35 % máx.</b>
Adherencia	MTC E 517	95	<b>95</b>
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 % mín.	<b>35 % mín.</b>
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10 % máx.	<b>10 % máx.</b>
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	<b>90/70</b>
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	<b>0.5% máx.</b>
Absorción	MTC E 206	1.0 % máx.	<b>1.0 % máx.</b>

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS” Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG – 2013,

### Agregado Fino

Los agregados finos que se requieren para una mezcla asfáltica, de acuerdo a normatividad vigente, es el siguiente:

**TABLA N° 7 REQUERIMIENTO DEL AGREGADO FINO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud msnm.	
		> 3,000	> 3,000
Equivalente de Arena	MTC E 209	60	<b>70</b>
Angularidad del agregado fino	MTC E 114	30	<b>40</b>
Azul de metileno	MTC E 222	8 máx.	<b>8 máx.</b>
Índice de Plasticidad (malla N°40)	AASTHO TP 57	NP.	<b>NP.</b>
Durabilidad al sulfato de Magnesio	MTC E 209		<b>18 % máx.</b>
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	<b>35 mín.</b>
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx. %	<b>NP.</b>
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5 máx.	<b>0.5 máx.</b>
Sales Solubles Totales	MTC E 205	0.5 máx.	<b>0.5 máx.</b>

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS” Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG – 2013,

### Agregados sintéticos

Algunos son el producto de procesos químicos o procesamiento físico de materiales, otros de procesos industriales como refinería, y otros son producidos específicamente para ser utilizados como agregados, por medio de procesamiento de materia prima. La escoria, producida en el proceso de fundición de hierro en un alto-horno, es el agregado de mayor

uso, la escoria es reducida a pequeñas partículas, por apagamiento en agua y triturándola después de que se ha enfriado. Los agregados sintéticos manufacturados, son relativamente nuevos en la industria de producción de mezcla asfáltica, dentro de estos tenemos: arcilla incinerada, roca empaquetada de barro, tierra diatomeas procesada, vidrio volcánico, escoria procesada y otros materiales. Estos productos son de peso liviano y usualmente tienen alta resistencia, generalmente se utilizan en cubiertas de puentes de piso pavimentado, y capas de pavimento donde la resistencia al deslizamiento debe ser máxima.

## **2.6 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS**

### **2.6.1 Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente**

En una mezcla asfáltica en caliente (1) de pavimentación, el asfalto y el agregado son dosificados y mezclados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, finalmente su desempeño en un pavimento brindando un servicio en el tiempo. Existen métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Dos métodos más conocidos y empleados en nuestro medio son. Marshall y el método Hveem. En el presente estudio utilizaremos el método Marshall, debido a su mayor difusión, conocimiento y un factor importante es

el equipamiento de los laboratorios especializados para la ejecución de los ensayos respectivos de verificación y comprobación.

### **2.6.2 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 seis características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

#### ***Propiedades de la Mezcla:***

- Estabilidad
- Flujo

### **2.6.3 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 y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte 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 rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

#### **2.6.4 Vacíos De Aire (o simplemente vacíos)**

Los 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 permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad 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 de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

#### **2.6.5 Vacíos En El Agregado Mineral**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores indican, cuando más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. El concepto de VMA y la Tabla N°8 presenta los valores requeridos.

**TABLA N°8 PORCENTAJE MÍNIMO DE VACÍOS EN EL AGREGADO  
MINERAL.**

Tamiz	Tamaño máx. nominal de partículas		Mínimo % de vacíos  VAM
	Pulgadas	mm	
No. 16	0,0469	1,18	23,5
No. 8	0,093	2,36	21,0
No. 4	0,187	4,75	18,0
$\frac{3}{8}$	0,375	9,5	16,0
$\frac{1}{2}$	0,500	12,5	15,0
$\frac{3}{4}$	0,750	19,0	14,0
1	1,0	25,0	13,0
$1\frac{1}{2}$	1,5	37,5	12,0
2	2,0	50,0	11,5
$2\frac{1}{2}$	2,5	63,0	11,0

FUENTE: THE ASPHALT INSTITUTE'S, MANUAL (MS-2).

### 2.6.6 Contenido De Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión

en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) 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 del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida 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 de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N° 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) 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 de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

### **2.6.7 Propiedades consideradas en el Diseño de Mezclas**

Las buenas mezclas asfálticas en caliente 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 pavimentos de mezclas en caliente. 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 mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

**TABLA N°9 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO MARSHALL**

Especificación del Método Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Min.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>No. de golpes</b>	35		50		75	
<b>Estabilidad</b>						
<b>Newton (Nw)</b>	3336		5338		8006	
<b>Libras (Lb)</b>	750		1200		1800	
<b>Fluencia 0,25 mm (0,01")</b>	8	18	8	16	8	14
<b>% de vacíos</b>	3	5	3	5	3	5

FUENTE: THE ASPHALT INSTITUTE'S, MANUAL (MS-2).

### 2.6.8 Estabilidad

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, un

pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. ***Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.***

***La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna*** la fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre 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 a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

***En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.*** Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclar más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

*La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico).* La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. *Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.* Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos.

**TABLA N° 10 CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO**

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la comparación
Agregado redondeado sin, o pocas, superficies trituradas.	Ahuellamientos y canalización

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.9 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

*Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtenerla máxima impermeabilidad.*

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres formas, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado

firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

**TABLA N° 11 CAUSAS Y EFECTOS DE UNA POCA DURABILIDAD**

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrófilos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.10 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él *ésta característica se relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada*, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

**TABLA N° 12 CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD**

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Fuente: Elaboración propia

### **2.6.11 Trabajabilidad**

*La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada.* Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y

también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una

temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

#### **2.6.12 Flexibilidad**

*Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante.* La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

#### **2.6.13 Resistencia a la fatiga**

*La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito.* Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. *A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento*

*aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye.*

Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub rasantes débiles.

#### **2.6.14 Resistencia al deslizamiento**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mil/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento

## **2.7 METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS- DESCRIPCION**

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas. El procedimiento completo y detallado que se debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559)

### **2.7.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall**

Como ya se discutió en el capítulo de materiales, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma le pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan

combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

### **2.7.2 Selección de las muestras de material**

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que va a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las el asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinar la fórmula o “receta” para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

### **2.7.3 Preparación del agregado**

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio.

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características.

Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

### **Secando el agregado**

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos.

Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110° C (230°F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y, se registra su valor.

La muestra se calienta completamente una segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

### **Análisis granulométrico por vía húmeda**

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- Luego de cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075 mm (N° 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- Las muestras lavadas son secadas siguiente el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
- Para obtener pasos detallados del procedimiento referirse a la norma AASHTO T11.

### **Determinación del peso específico**

El peso específico de una sustancia es la proporción peso - volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso - volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca del agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios

en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

#### **2.7.4 Preparación de las muestras (probetas) de ensayo**

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico. Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación.
- El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual se está diseñando. Ambas caras de cada briketa

reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente un total de 70 golpes.

- Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

### **2.7.5 Procedimiento de ensayo marshall**

Existen tres procedimientos de ensayo en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

### **2.7.6 Determinación del peso específico-total**

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

### **2.7.7 Ensayo de estabilidad y fluencia**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Las probetas son calentadas en el 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 removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica a una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle o sufra ruptura. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

### **2.7.8 Valor de estabilidad Marshall**

El valor de estabilidad Marshall es una 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.

Debido a que la estabilidad Marshall 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 más alto será mucho mejor.

*Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.*

#### **2.7.9 Valor de fluencia Marshall**

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

*Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.*

#### **2.7.10 Análisis de densidad y vacíos**

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de Probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

### **2.7.11 Análisis de vacíos**

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado, o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 2091) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

#### **Análisis de peso unitario**

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/ft<sup>3</sup>).

#### **Análisis de VMA**

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio inter granular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso

específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

### **Análisis de VFA**

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire de VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 METODO QUE RESUELVEN EL PROBLEMA**

##### **3.1.1 Métodos generales**

En su libro “Metodología de la Investigación”, el autor Hernández Sampieri, p 4, 2014; indica que la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema, para ejecución del presente estudio de investigación, se empleará el método Científico como método general. En la actualidad según Cataldo, (1992, p.26): “El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología, como un conjunto de técnicas y procedimientos que permiten al investigador realizar sus objetivos”.

La Tesis que se presenta, realizará ensayos de Laboratorio que determinarán las características físicas y mecánicas del material reciclado, de igual forma de los agregados como del cemento asfáltico como material nuevo, que servirán para realizar una mezcla que contenga al material reciclado y el material nuevo.

### **3.1.2 Método específico**

Según Mayer, 2005, p32, “El método experimental es un proceso lógico, sistemático que responde a la incógnita: Si esto es dado bajo condiciones cuidadosamente controladas; que sucederá? La finalidad que persigue la presente Tesis, será la de comprobar la utilización de un material reciclable, conjuntamente con un material nuevo que pueda cumplir con los parámetros y normatividad vigente, ( N.T.P.) Normas Técnicas Peruanas, y un diseño Marshall que cumpla con los requerimientos para la construcción de carreteras, que serán elaborados, ensayados y comprobados en un laboratorio especializado, como el laboratorio de mecánica de Suelos, Concreto Asfalto de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín DRTC JUNIN,

Laboratorio especializado con material, equipos de última generación y personal debidamente capacitado, tal como establece las diversas normas técnicas: N.T.P., ASTM, AASHTO, MTC ENSAYOS DE MATERIALES 2013. Se cumplirá las funciones de control de calidad antes,

durante y después de la ejecución del nuevo diseño Marshall, con la finalidad de controlar y de acuerdo a los resultados corregir y enrumbar con el objetivo de cumplir con los procedimientos técnicos.

### **3.2 TÉCNICA DE RECOPIACIÓN DE DATOS**

En la investigación la técnica empleada para la recopilación de información han sido las siguientes:

#### **1. Datos técnicos:**

- a) Recopilación de datos históricos: de ejecución de las Obras de Pavimentación, de donde se obtendrá el material reciclable, datos técnicos de caracterización de los materiales nuevos o virgen y los ensayos respectivos de diseño y control de calidad.

#### **2. Bibliografía especializada**

- b) Trabajos técnicos,
- c) Tesis realizadas con anterioridad.
- d) Normas Técnicas Peruanas.
- e) Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 MTC
- f) Manual de Ensayos de Materiales EM-2016 - MTC

#### **3. Observación Directa.**

Realizada por el autor de la investigación, apoyado de los siguientes aspectos técnicos:

- a) Archivos documentales.

- b) Archivos digitales.
- c) Vistas fotográficas
- d) Visita In situ.
- e) Toma de muestra: Para poder realizar los ensayos de lavado asfáltico se deberá de tomar muestras en campo.
- f) Ejecución de los ensayos de laboratorio.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 POBLACIÓN**

Según Oseda, y otros (2008, p.120) “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”.

En el presente trabajo de investigación la Población seleccionada para el material reciclable corresponde la Carretera Central Margen Derecha, estableciéndose el periodo de recopilación a mediados del año 2014 y el 2015, periodo en la que se ejecutó trabajos de mantenimiento en dicha vía, ejecutadas por CONALVIAS, entidad encargada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, expresamente por PROVIAS NACIONAL a cargo de las Carreteras Nacionales, tal como es la Vía PE – 3S Oroya - Jauja y PE 3S Jauja – Huancayo Margen Derecha , Tramo

comprendido desde la provincia de la Oroya, hasta la provincia de Huancayo, culminando en el Ovalo del distrito de Pilcomayo.

### **3.3.2 MUESTRA**

Por su parte Según Hugo Garcés Paz, (2000, pág. 89). **“La muestra es una parte del universo en la que se hallan representados los elementos de cada uno de los estratos, grupo necesario para la investigación que se propone realizarla.”** La muestra es una parte de esa población donde realmente se aplicara el estudio.

De igual forma la muestra son las briquetas de la mezcla experimental, con el aporte de residuos de pavimento flexible envejecido.

### **3.3.2. PROCESO EXPERIMENTAL**

Con la realización de este trabajo se pretende conocer el comportamiento que presentan la utilización de material reciclable mezclado con un material nuevo o virgen. El material reciclable, según los ensayos de laboratorio, cuenta con un 4.0 % al 4.5% de cemento asfáltico PEN 85/100 con un aporte máximo de 30 % de material reciclable luego del proceso adecuado de selección y acopio y 70 % del material nuevo o virgen, luego de ensayos previos de caracterización de ambos materiales.

### **3.3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **Tipo de investigación**

Por el propósito de estudio, el tipo de investigación determinado es de Tipo: APLICADA Según Hugo Garcés Paz, (2000, pág. 70) Se llama “investigación aplicada la que tiene por objeto, modificar algo de la realidad; es decir utilizar el conocimiento científico en algo material, modificándolo o cambiándolo”, en estos estudios se deben determinar y definir previamente las variables, luego se formulan hipótesis, los mismos que deben probarse por métodos estadísticos, trabajándose con muestras representativas y llegando al final a conclusiones.

### **3.3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel utilizado es el Experimental – descriptivo. Según Oseda (2008) las investigaciones explicativas se encargan de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

### **3.3.5. DISEÑO DEL ESTUDIO**

El diseño general viene a ser Causal – Correlaciona, este diseño tiene como bibliografía especializada el esquema que presenta Hernández y otros,

### 3.3.6. DISEÑO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

El proceso que permite realizar el contraste de hipótesis requiere ciertos procedimientos. Se ha podido verificar los planteamientos de diversos autores y cada uno de ellos con sus respectivas características y peculiaridades, motivo por el cual era necesario decidir por uno de ellos para ser aplicado en la investigación.

Como señala Oseda (2008), se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

“Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.

Escoger un nivel de significancia o riesgo  $\alpha$ .

Para la presente tesis mediante una inspección visual a las vías se han ubicado los puntos de extracción de muestras, así mismo con el apoyo del personal especializado de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín – Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto. Para dicha extracción de muestras de material reciclado de pavimento flexible envejecido se ha tenido consideración, las siguientes características:

- a) Limpieza del material reciclable.
- b) Granulometría del material reciclable
- c) Contenido de asfalto en %.

Una vez tomadas las muestras se procesaron en el Laboratorio en mención, considerando la normatividad correspondiente Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas ASTM D 2172 del año 1995, AASHTO T-164 del año 2005 y Manual de Ensayo de Materiales MTC - versión marzo 2014

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO**

##### **4.1.1 Objetivos**

El estudio se ha desarrollado en la Provincia de Huancayo, Región Junín, en el ámbito de las carreteras Departamental y Nacional, las mismas que reciben un mantenimiento programado a diferencia de las carreteras locales o denominadas urbanas a cargo de los gobiernos locales, las que difieren mucho en su programación de mantenimiento.

La conservación vial comprende las actividades de obras civiles, instalaciones y equipamientos destinados a preservar las carreteras y

caminos rurales en general conformantes de las redes viales de carreteras, que el estado requiere mantener en buenas condiciones operativas, ellas son:

a) La Red Vial Nacional a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, b) la Red Vial Regional o Departamental, a cargo de los Gobiernos Regionales en su respectiva jurisdicción y c) la Red Vial Vecinal o Rural, a cargo de los Gobiernos Locales, provinciales y distritales.

### **Conservación Vial**

Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo Al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

### **Conservación Periódica**

Es el conjunto de actividades, programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, iv) reposición o instalación de elementos de seguridad vial y señalización, v) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y vi) reparación o reconstrucción puntual

### **Conservación Rutinaria**

Es el conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de ser servicio. Estas actividades pueden ser manuales mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como limpieza o reparación de señales y/o elementos de seguridad, limpieza o reparación de juntas de dilatación,

#### **4.1.2 Material reciclado como aportante.**

La incorporación del material reciclado en la mezcla asfáltica fue considerada al abordar el problema desde la óptica amplia de los procesos y al compararla además con las ventajas identificadas en el modo de incorporación en la mezcla, más la adición de agregados nuevos o vírgenes.

Para esta incorporación se han obtenido de diversas fuentes de almacenamiento u acopio, escogiendo principalmente de la Carretera Central, margen Derecha, en los tramos antes mencionados resultando contenidos de cemento asfáltico considerables fin de realizar dosificaciones con agregados nuevos o vírgenes.

#### **4.1.3 Caracterización de los Agregados.**

Los ensayos para la identificación clasificación y/o caracterización de los agregados y material reciclado han sido realizados e identificados en el Laboratorio de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín – DRTCJ.

Según la Normatividad vigente: Resolución Directoral N° 18 -2016-MTC/14, de fecha 03 de julio del 2016 y el Ensayo MTC E 201, “Muestreo para Materiales de Construcción “; el muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto se deberá tener siempre la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.

#### **Análisis Granulométricos de Agregados Gruesos (reciclado) y Finos.**

Objetivo.- Determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como: material reciclado y agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica para el Diseño de mezcla asfáltica y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

Referencia Normativa.- NTP 400.012, MTC E 204: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Los resultados de los ensayos de dosificación y granulometría, se adjuntan en la siguiente Tabla N° 11. Granulometría de los agregados reciclado/nuevo, arena chancada, arena zarandeada y filler (hidróxido de calcio o cal hidratada)

**TABLA N°13 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS  
RECICLADO/NUEVO, ARENA CHANCADA, ARENA ZARANDEADA Y  
FILLER (HIDRÓXIDO DE CALCIO O CAL HIDRATADA)**

MATERIAL	MATERIAL RECICLADO/NUEVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
1.- GRANULOMETRIA				
ASTM D - 346				
TAMIZ				
3/4"	94.56			
1/2"	43.31			
3/8"	22.46	100.00	100.00	
N° 4	1.41	93.50	90.87	
N° 8		62.99	60.10	
N° 50		21.14	10.57	100.0
N° 200		12.09	3.95	98.0



EL AUTOR EN VERIFICACION DE LOS AGREGADOS RECICLADOS PROCESADOS  
EN LA PLANTA CHANCADORA DE LA DRTC JUNIN

**a) Peso específico bulk base seca (ASTM C 127 Y MTC E 203).**

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente es usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen.

**TABLA N° 14 PESO ESPECIFICO BULK**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
P. e. BULK ( Base Seca )  ASTM C - 127	2.656	2.615	2.628	2.400

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

El peso específico bulk base seca, incluye el volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros o vacíos llenos de con agua luego de 24 horas de saturación. El desarrollo de la fórmula es:

Peso específico bulk base seca = peso del agregado seco, volumen del agregado más los vacíos impermeables y vacíos permeables, tabla N°14.

**b) Peso específico aparente base seca**

El peso específico aparente base seca incluye solamente el volumen de las partículas del agregado más los poros o vacíos interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de saturación.

El desarrollo de la fórmula es:

Peso Específico Bulk Base Seca aparente =  $\frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado más los vacíos impermeables}}$

- Volumen del agregado más los vacíos impermeables

**TABLA N° 15 PESO ESPECÍFICO APARENTE BASE SECA**

MATERIAL	MATERIAL RECICLADO/NUEVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
P. e. APARENTE (Base Seca) ASTM C - 127	2.735	2.705	2.718	----

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

**c) Absorción %**

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial. Este ensayo es realizado después de una

saturación del agregado por espacio de 24 horas. Los resultados se adjuntan en la Tabla N° 16, % de Absorción

**TABLA N° 16, % DE ABSORCIÓN**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
ABSORCION DE AGUA ( % )	0.972	1.36	1.28	
ASTM C - 127				

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**d) Abrasión (AASHTO T – 96 , MTC E – 207 , NTP 400.019)**

Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles.

Este modo operativo de ensayo es una medida de la degradación del agregado de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es

repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de 500 revoluciones establecidas, el agregado es retirado del tambor y tamizado por la malla N° 12, para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

**TABLA N° 17, % DE ABRACIÓN**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
ABRACION ( % ) AASHTO T - 96	22.7	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**e) % Impurezas Orgánicas (AASHTO T – 96 , MTC E – 118 )**

Determinación del contenido orgánico en suelos con Pérdida por Ignición de aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, carbonáceos como lignito, carbón, etc.

Este modo operativo sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta o materiales como madera, raíces,

pasto o materiales carbonáceos y proporciona una estimación válida del contenido orgánico.

El ensayo es un proceso de ignición en un horno a 450 °C, con una muestra de 100 gramos, determinando el % de materia orgánica por diferencia de pesos, raíces, grama o materiales orgánicos.

**TABLA N° 18: % DE IMPUREZAS ORGÁNICAS**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
IMPUREZAS ORGANICAS ( % )	NO CONTIENE	ACEPTABLES	ACEPTABLES	----

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**f) Equivalente de Arena % (AASHTO T – 176 , MTC E – 114)**

Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de agregados

arcillosos o finos plásticos y polvo en agregados granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los agregados granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables. Algunos realizan la prueba sobre material con un tamaño máximo más pequeño que el tamiz N°4 (4,75mm). Esto se hace para evitar que se atrapen los finos arcillosos o plásticos y el polvo en las partículas comprendidas entre los tamices N°4 a 8 (4,75mm a 2,36 mm). El ensayo de materiales con tamaño máximo más pequeño, puede disminuir los resultados numéricos de la prueba.

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo .Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en los agregados.

Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

**TABLA N° 19 EQUIVALENTE DE ARENA %**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
EQUIVALENTE DE ARENA ( % ) AASHTO T - 176	-----	64.5	70.9	---

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**g) Durabilidad al sulfato de sodio (AASHTO T – 104 , MTC E – 209 , NTP 400.016)**

Establecer un método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Este modo operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

Suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente

cuando no se dispone de información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales. Se advierte el hecho de que los resultados obtenidos por el uso de las dos sales, difieren considerablemente y se debe tener el cuidado en establecer los límites

**TABLA N°20 DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO**

MATERIAL	MATERIAL REICLADO/NUEVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
DURABILIDAD $SO_4 Na_2$ ( % )	0	6.9	1.05	
AASHTO T - 104				

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**h) Partículas chatas y alargadas % (ASTM C 693 , MTC E – 223)**

Método de determinación de los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar el proceso de compactación y disminuir la capacidad de resistencia.

Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

**TABLA N° 21 PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS %**

MATERIAL	MATERIAL RECICLADO/NUOVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS ( % )	2.24			
ASTM C - 693				

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**i) Índice de plasticidad % (ASTM D 1664 Y ASTM D 4318 , MTC E – 111, NTP 339.129)**

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un agregado o su contenido de plasticidad se efectúa el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo agregado, caso contrario no tiene L.L., resultando un material no plástico o N.P.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de los agregados finos. El límite líquido, el

límite plástico, y el índice de plasticidad de los agregados con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades del agregado para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Para este ensayo se efectúa un tamizado del material hasta la malla N° 40, y el material pasante total (P.T.) servirá para realizar el ensayo o modo operativo.

Para nuestro caso la ejecución de una mezcla asfáltica su contenido debe ser mínimo o No plástico, caso contrario no sería de mayor utilidad, más por el contrario sería un material que impida la adherencia del cemento asfáltico con los otros áridos. De similar forma la determinación del Índice de plasticidad, con material Pasante Total (P.T.) del tamiz N° 200, que corresponde al ensayo ASTM D 4318, que para el presente caso se han realizado en forma consecutiva, presentando los siguientes resultados:

**TABLA N° 22 INDICE DE PLASTICIDAD %**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
INDICE DE PLASTICIDAD ( P.T. N° 40 ) ( % )	NP	NP	NP	NP
ASTM D - 1664				
INDICE DE PLASTICIDAD ( P.T. N° 200 ) ( % )		1.6	1.8	
ASTM D - 4318				

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**j) Adherencia de los ligantes bituminosos a los áridos fino  
(Procedimiento Riedel-Weber)**

Describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, arenas naturales o chancadas, de empleo en construcción de carreteras.

El método de ensayo es empleado para determinar el grado de afinidad del par agregado fino - ligante bituminoso. Este método puede aplicarse a todo tipo de ligante bituminoso, como betunes de

penetración modificados o sin modificar, fluidificados, emulsiones bituminosas y alquitranes

El procedimiento es de la siguiente forma: se prepara una solución de reactivos, que consisten en Disoluciones de carbonato sódico, de concentraciones molares crecientes, M/256 a M/1, preparadas como se refiere en el procedimiento, siguiente.

Las disoluciones de carbonato sódico se preparan a partir de carbonato sódico,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  puro, anhidro y agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , destilada.

La disolución de concentración molar, M/1, se obtiene disolviendo 106 g (masa molecular) de carbonato sódico anhidro en agua destilada hasta totalizar un litro de disolución (carbonato más agua).

Las disoluciones de concentración molar M/2, M/4, M/8... M/256 se elaboran diluyendo, sucesivamente, la disolución molar M/1, disolviendo las cantidades adecuadas de carbonato sódico anhidro en agua destilada hasta completar un litro de disolución. Las cantidades de carbonato sódico precisas se muestran en la siguiente Tabla N° 23.

**TABLA N° 23 SOLUCIONES DE ENSAYO**

<b>MOLARIDAD</b>	<b>CARBONATO SODICO</b>
	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b> <b>Disolución</b>
M /256	0,414
M / 128	0,828
M /64	1,656
M / 32	3,312
M /16	6,625
M /8	13,25
M / 4	26,50
M / 2	53,0
M /1	106,0

Fuente: Manuel de Ensayos de Materiales MTC E 2016

Preparación de la muestra del agregado fino es de 200 gramos, obtenidos mediante cuarteo por los tamices N° 30 y N°70, desechando el material pasante por la malla N°70 y el retenido en la malla N°30, el material retenido entre los dos tamices constituye la muestra para el ensayo La fracción de material así obtenido se lava sobre el tamiz N° 70, con agua para eliminar totalmente el polvo que pueda estar adherido a las partículas del agregado. Una vez lavada la muestra para ensayo, se seca ésta en la estufa a temperaturas de  $145 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 1 hora, aproximadamente, o hasta masa constante.

Finalmente se mezcla la solución con la mezcla asfáltica con un peso de 0.5 gramos y llenados en probetas con la solución más un volumen de agua destilada, se ensayan 10 muestras se agita hasta mezclarse la solución con la muestra de mezcla asfáltica, luego se decanta ( sedimenta), y El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera total cuando prácticamente todas las partículas del agregado aparecen limpias; en esta situación las partículas están sueltas y si se hace rodar entre los dedos del tubo de ensayo, deslizan libre e individualmente por la superficie interior del mismo.

El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera parcial cuando en las partículas del agregado aparecen zonas limpias, aunque se mantiene una cierta cohesión entre ellas; en este caso las partículas del agregado, todavía parcialmente envueltas por el ligante, permanecen aglomeradas en el fondo del tubo de ensayo.

Para la apreciación de la adhesividad de una mezcla agregado-ligante, después de actuar sobre ella cada solución de ensayo, no se tendrá en cuenta el ligante que aparezca sobrenadando en la superficie del líquido durante la ebullición; solo se tendrá en cuenta el aspecto que ofrezca la masa de mezcla que queda en el fondo del tubo.

Se define como índice de adhesividad Riedel-Weber, al número correspondiente a la disolución de concentración menor de las

utilizadas que haya producido el desplazamiento total del ligante que recubre la superficie de las partículas del agregado muestra ensayado.

La Tabla N°24 relaciona las disoluciones de carbonato sódico de concentración molar creciente con los números asignados a cada una, y que determinarán, en cada caso, el mencionado índice de adhesividad.

**TABLA N° 24 ÍNDICE DE RIEDEL WEBER**

SOLUCION DE ENSAYO	INDICE DE ADHESIVIDAD RIEDEL - WEBER
Desplazamiento total con Agua destilada	0
Carbonato sódico	
M /256	1
M / 128	2
M /64	3
M / 32	4
M /16	5
M /8	6
M / 4	7
M / 2	8
M /1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M / 1	10

Fuente: Manuel de Ensayos de Materiales MTC E 2016

Los resultados del presente ensayo se muestran en el cuadro adjunto:

TABLA N° 25 RESULTADOS DE ADHERENCIA DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ÁRIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL-WEBER)

MATERIAL	MATERIAL RECICLADO/NUEVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
ADHERENCIA ( % ) ASTM D - 4318	+95.00			
ADHERENCIA ( RIEDEL WEBER ) ( % ) ( con 0.5 % de aditivo )		5 - 10	2 - 9	

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**k) Sales Solubles % (MTC E 219)**

Establecer el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases de mezclas asfálticas.

Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman

precipitado fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

El método es aplicable en controles de obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación del contenido de sales. Secar la muestra en horno a  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registre esta masa como A.

Colocar la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.

Agitar durante 1 min. Repetir la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.

Decantar mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensaye, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de nitrato de plata, formándose un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de Bario. Los resultados se muestran en la siguiente tabla N°26

**TABLA N°26 - SALES SOLUBLES %**

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL RECICLADO/NUEVO</b>	<b>ARENA CHANCADA</b>	<b>ARENA ZARANDEADA</b>	<b>FILLER ( CAL )</b>
SALES SOLUBLES TOTALES ( % )	0.045	0.0052	0.0112	-----

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**I) MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS DE UNA Y DOS CARAS (ASTM D 5821, MTC E 210)**

Este método de ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados.

Algunas especificaciones contienen requerimientos relacionados al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Un propósito de tales requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción inter-partícula tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados. Otro propósito es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura

para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares. Este método de ensayo proporciona un procedimiento estándar para la determinación de la aceptabilidad del agregado grueso con respecto a tales requerimientos.

Las especificaciones difieren tanto en el número de caras de fractura requeridas sobre una partícula fracturada, y ellas también difieren del porcentaje por masa o porcentaje por cantidad de partícula a ser considerada. Si la especificación no lo especifica, usar los criterios de al menos una cara fracturada y calcular el porcentaje por masa.

Cara fracturada, n.- una superficie angular, áspera y rugosa, o rota de un agregado ocasionada por chancado u otro medio artificial, o por medio natural.

Discusión- para esta norma, una cara se considerara “una cara fracturada” solo si tiene un área proyectada al menos tan larga como un cuarto del área máxima proyectada (área transversal-sección máxima) de la partícula y la cara tiene borde bien definido, esta excluye picaduras o quiebres pequeños.

Partícula fracturada, n.- una partícula de agregado que tiene al menos un número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente una o dos).

Los resultados del presente ensayo se han considerado en la tabla N°27.

**TABLA N°27 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS  
FRACTURADAS DE UNA Y DOS CARAS.**

MATERIAL	MATERIAL RECICLADO/NUEVO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER ( CAL )
UNA CARA FRACTURADA ( % )	89.6	-----	-----	---
DOS CARAS FRACTURADAS ( % )	85.7	-----	-----	---

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

#### **4.1.4 Proceso y acopio del material reciclado en planta**

El material que se encuentra envejecido en las diferentes vías de la provincia de Huancayo, han cumplido su tiempo de servicio, por encima de los 15 y 20 años de construidos, tales como: Carretera Central Tramo Parque Industrial – distrito de Hualhuas construida en 1992, Pavimentación del Jr. Francisco Lozano ejecutada en junio de 1995, Av. Leoncio Prado 1995, Av. Ferrocarril 1996, y muchas otras obras de mayor envergadura tal como los recientes trabajos de rehabilitación en la carretera central – margen derecha en el tramo la Oroya – Huancayo, donde se obtuvo material reciclado para el presente estudio, de los tramos, distritos de Orcotuna, Sincos, y Llocllapampa a lo largo del tramo mencionado, la obra estuvo a cargo de PROVIAS NACIONAL – MTC, y los trabajos de rehabilitación fueron

ejecutados por CONALVIAS, para la obtención del material se ha contado con un equipo fresadora, marca WIRTGEN, modelo E 200 / W 200 i.

Las fresadoras en frío sirven para fresar superficies de asfalto de forma rápida y eficiente, a la vez que van creando una base llana y de acuerdo con el perfil para el extendido u colocación de nuevas capas de mezcla asfáltica. Y es que la superficie fresada influye en la calidad del pavimento nuevo o rehabilitado y en las características de uso de los mismos, así como en la ejecución económica de la obra.

Para los trabajos de rehabilitación en el tramo mencionado, su ejecución ha sido en una sola capa con un espesor de fresado de 1 “.

W 200	
<b>Máquina base</b>	
Máquina base con motor	■
Chasis de máquina con cintura de avispa a ambos lados	■
Tapa de motor con apertura hidráulica, insonorizada	■
Sistema de compresor de aire	■
Unidad hidráulica accionada mediante batería para funciones de emergencia	■
Sistema de refrigeración con número de revoluciones del ventilador dependiente de la temperatura	■
Compartimentos de gran tamaño para cubos de picas	■
<b>Unidad de fresado</b>	
Tres números de revoluciones del tambor de fresado 127 rpm - 109 rpm - 97 rpm conmutables eléctricamente	■
Dispositivo sujetador de la cinta hidráulico con función de elevación de la cinta	■
Escudo rascador con desplazamiento y posicionamiento hidráulico y cierre automático	■
Protección de bordes regulable en altura hidráulicamente, espacio libre en el lado derecho 450 mm y espacio libre en el lado izquierdo 330 mm	■
Caja del tambor de fresado FB2000	□

GRAFICO N° 2 Especificaciones Técnicas de máquina perfiladora Wirtgen modelo FB 2000.

Fuente: Manual Wirtgen Group Company, pág. 50.



Máquinas Fresadoras o perfiladoras en proceso de reciclado de material de pavimentos envejecidos, en la carreta Nacional PE 3SC Jauja – Huancayo, año 2014.

El acopio es un lugar adecuado, protegido y con las condiciones necesarias para que el material no se deteriore, contamine, o sufra degradación que disminuya la calidad o disminuya los componentes activos de cemento asfáltico.

Si el material a reciclar es procedente de las demoliciones de pavimentos envejecidos o tiene tamaños máximos de partículas superiores a las especificaciones para la fabricación de mezclas, será necesario realizar un machaqueo o trituración en una planta chancadora que cuente con una chancadora primaria o del tipo quijada, o de impacto y una secundaria de tipo cónico y una criba o zaranda vibratoria de esta forma se reducirá el material reciclable a un todo con tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada antes de ser acopiado para su almacenamiento. Para nuestro estudio se ha considerado la planta chancadora de marca Allis Faco de tres niveles de tamaño perteneciente a la Dirección Regional de Transportes Junín.

El Asphalt Institute recomienda que la altura de acopio de los agregados reciclados se limite a un máximo de 3 metros; para evitar la segregación y el tiempo de almacenamiento debe ser mínimo para evitar contenido de humedad.

#### **4.1.5 Procedimiento para el reciclado de pavimentos flexibles envejecido en la planta en caliente y equipo necesario para su ejecución.**

La Dirección Regional de Transportes trabaja con una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente de flujo continuo y paralelo de capacidad 80 – 100 toneladas/hora de producción máxima, siendo de fabricación brasileña y con unos silo de 45 toneladas cada uno, en lo que respecta a las tolvas, la planta consta de 4 tolvas, pero se recomienda que tengan tres tolvas para optimizar su uso, cada uno de los agregados se pre calibran de acuerdo al diseño con los datos que el laboratorio les proporciona, para poder calibrar los motores dosificadores .

Cuando están pre calibrado los agregados se hacen las pruebas respectivas para comprobar los parámetros y así poder agregar el asfalto de acuerdo al porcentaje que se calcula, por lo que el asfalto dependerá del tipo de agregados y la temperatura a que será usado.

El tipo de cemento asfáltico que se usa comúnmente en esta planta es el PEN 85/100 por las condiciones del clima para su respectivo diseño de la mezcla.

La temperatura que mantiene la mezcla debe ser de 145 °C y 150 °C, su funcionamiento se basa en una tubería que inyecta la cantidad de asfalto al agregado mediante una computadora que se programa anticipadamente,

La planta tiene un ciclo continuo con un tiempo de mezclado que depende de la velocidad con que se trabaja, tiene un aproximado de 2 a 3 minutos por tonelada, la velocidad es continua, el óptimo de humedad es de 5%, entre más humedad tenga el agregado se baja la producción de cada ciclo y saca una muestra distorsionada.



EN LA PLANTA DE ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Para el presente estudio de investigación se ha planteado la utilización de una planta continua de tipo tambor secador mezclador, de los cinco tipos de planta de este tipo, se ha elegido el más adecuado, siendo el tipo de Planta Secador Mezclador con un anillo de entrada o carga central que puede utilizar hasta el 35 % de material reciclable sin producir humos, o sea que no produzca oxidación (quemarse) del material reciclable.

Por su diseño constructivo de este tipo de planta, el anillo de entrada se encuentra ubicado en el tercio medio de la planta, donde la llama de fuego que produce el quemador no alcanza al material reciclado, más por el contrario es la parte de súper calentamiento, donde el material reciclable soporta la mayor temperatura y el cemento asfáltico se desprende del agregado al perder viscosidad y se une al cemento asfáltico nuevo que ingresa por la parte posterior combinándose con el cemento asfáltico nuevo y recupere sus características físicas y se mezcle con los agregados nuevos para finalmente se combinen y resulte una nueva mezcla asfáltica en caliente con una temperatura promedio de 145 °C.; para ser transportada por medio de una transportadora de paletas y almacenada en el silo de capacidad de 45 Toneladas, con el control de extracción de asfalto por el método de extracción centrifuga y ensayos Marshall como control de calidad.



COMPONENTE MECANICO DE RECEPCION DE MATERIAL PARA EL PROCESAMIENTO DEL MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO ENVEJECIDO EN LA PLANTA DE ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES JUNIN.

#### **4.1.6 DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO.**

El desarrollo del diseño de la mezcla asfáltica con el aporte de material reciclado de pavimento flexible envejecido, luego del acopio adecuado del material reciclado bajo condiciones adecuadas y controladas a fin de evitar contaminación, o condiciones que deterioren o afecten la calidad del material, se ha procedido a realizar mediante tanteos, y pesadas del material reciclado y dosificado con material nuevo o virgen, de acuerdo a los siguientes pasos:

**Granulometría de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.**

Para la realización de la mezcla se ha utilizado como referencia Normativa.- NTP 400.012, MTC E 204: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, que se adjunta en la Tabla N°26.

En el que se puede apreciar los diferentes agregados utilizados, tal como: Material Reciclado en 25 % como agregado grueso, que luego de múltiples combinaciones se ha determinado el % más adecuado a fin de cumplir con la Graduación de la Especificación del MAC – 2, que se ha escogido por ser una de las graduaciones más utilizados en la ejecución de obras de pavimento flexible; se ha logrado una combinación adecuada con material nuevo o virgen de 15 % en lo que respecta al agregado grueso; adicionalmente se ha logrado combinar un 20 % de Arena zarandeada de río por su contenido de finos o llenantes, finalmente un 2.0 % de Filler o llenante, y la combinación de agregados se encuentre dentro de los parámetros de la granulometría MAC – 2.

TABLA N° 29 MEZCLA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS:  
RESIDUOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO Y AGREGADO  
NUEVO

TAMIZ	GRANULOMETRIA						
	MATERIAL RECICLADO 25%	ARENA CHANCADA 20%	ARENA ZARANDEADA 38%	FILLER 2.00%	TOTAL	ESPECIFIC MTC 2013 MAC - 2	
	NUEVO 15 %						
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.0	100.00	100	100
1/2"	65.58	100.00	100.00	100.0	86.23	80	100
3/8"	32.00	100.00	100.00	100.0	72.80	70	88
N° 4	6.50	93.50	90.87	100.0	57.83	51	68
N° 10	5.20	62.99	66.09	100.0	41.79	38	52
N° 16	0.00	41.22	42.93	100.0	26.56		
N° 30	0.00	38.56	39.50	100.0	24.72		
N° 40	0.00	36.23	35.49	100.0	22.73	17	28
N° 80	0.00	15.75	25.31	100.0	14.77	8	17
N° 200	0.00	8.52	5.93	96.0	5.88	4	8

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la  
Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

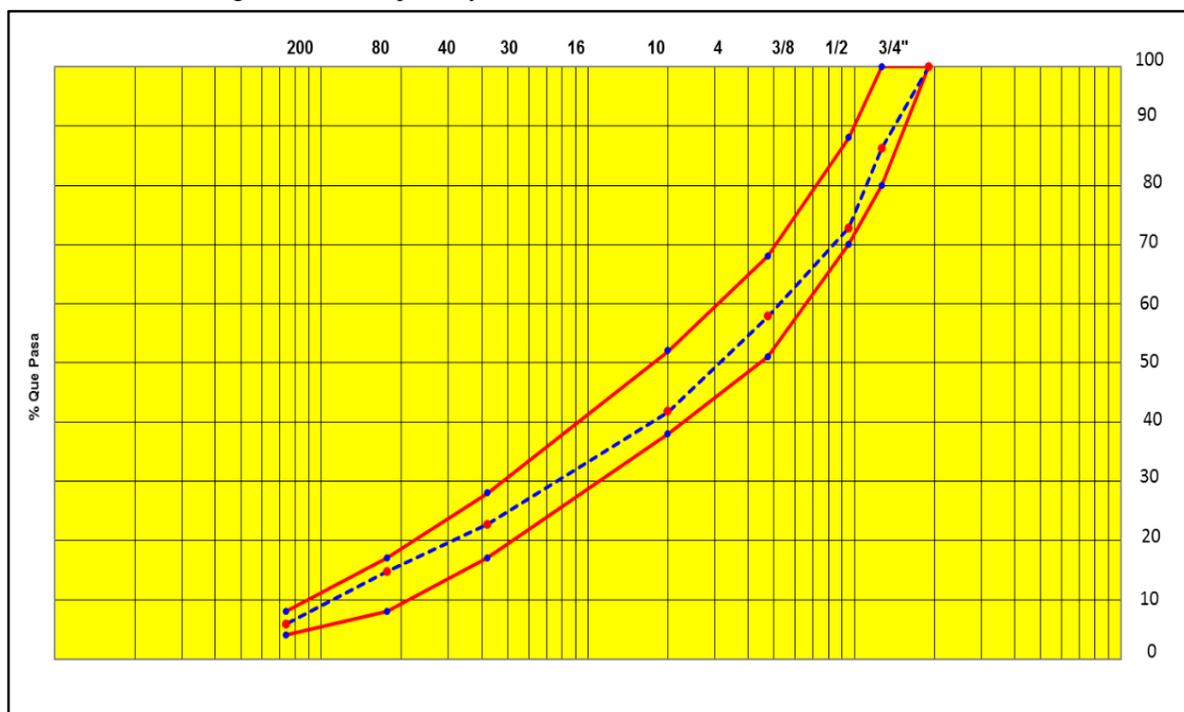


GRAFICO N°3: Curva Granulométrica de la mezcla o combinación de Agregados o áridos, para el Diseño de Mezcla Asfáltica con el aprovechamiento de material de residuos de pavimento flexible envejecido.  
FUENTE: ELABORACION PROPIA – LABOTSTORIO DRTC JUNIN



VERIFICANDO EL PROCESAMIENTO DE MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO EN LA PLANTA DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – EL SUSTENTANTE CONJUNATAMENTE CON EL ESPECIALISTA.

### **Pesos de los Pastones**

Los pastones son una parte representativa de la mezcla asfáltica, que tiene un peso de 1200 gramos, como peso total de agregados y cemento asfáltico, iniciando con un 4.5 % hasta el 7.0 % con respecto al peso total de la muestra con incrementos de 0.5 % de cemento asfáltico Pen 85/100, esto con el fin de encontrar el % óptimo de asfalto, para dicho fin se han (45) juegos de muestras cada uno de tres briquetas para cada uno de los porcentajes del asfalto mencionado, el procedimiento de ensayo fue el siguiente:

Los agregados fueron llevados al horno a una temperatura de 150 °C 24 horas antes de la mezcla con el fin de eliminar la humedad del material, en el momento de la mezcla los agregados deben mantenerla temperatura.

La temperatura de mezcla y compactación se determinó teniendo en cuenta la viscosidad de cemento asfáltico y fueron entre los 145 °C y 135 °C respectivamente. La compactación se ha realizado con 75 golpes por cada cara

de la briqueta de acuerdo al tráfico alto seleccionado para el diseño de la estructura del pavimento.

Luego de haber realizado las briquetas se tomaron un promedio de sus alturas, con seis mediciones diferentes, para determinar la altura promedio, luego de esto se prosigue a tomar para cada briqueta el peso seco al aire, el peso de la muestra parafinada y el peso de la muestra parafinada sumergida, para obtener el análisis volumétrico del ensayo; luego de tomar estos pesos se prosigue a quitarle la parafina a las briquetas para sumergirlas en el baño maría a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 30 a 40 minutos, depositándolos en el recipiente con una diferencia de 2 minutos por cada juego, con la finalidad de realizar el ensayo de resistencia. Luego de haber llegado a la temperatura y el tiempo mencionado de sumergidos las briquetas, se somete a la resistencia en la prensa o equipo Marshall, siendo falladas o sometidas a penetración en el equipo, teniendo en cuenta, que cada ensayo no debe tener una duración de 30 segundos, la lectura del Flujo se hace en una centésima de pulgada (0.01”) y la de la estabilidad en Libras o (Kgr- fza, KNw), y hay que evaluarla en una fórmula de calibración suministrada específicamente para el equipo o prensa Marshall.



VISTAS FOTOGRAFICAS DE LAS BRIQUETAS ENSAYADAS DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO MARSHALL. EN EL LABORATORIO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES



EQUIPO MARSHALL EJECUTANDO EL ENSAYO CON LAS BRIQUETAS DE LA MEZCLA REALIZADA CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE ENVEJECIDO.

TABLA N°30 PESOS DEL PASTÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MATERIAL RECICLADO.

DISEÑO MARSHALL													
									MATERIAL RECICLADO	25%	40%		
									PASTON ( GR ) 1200				
									PIEDRA CHANCADA	15%			
									ARENA CHANCADA	20%			
									ARENA ZARANDEADA	38%			
									CAL HIDRATADA	2%			
TAMIZ	PASTON = 1200 gr CA = 4.5 % AG = 95.5 % PESO CA = 54 gr PESO AG = 1,146.00 gr				PASTON = 1200 gr CA = 5.0 % AG = 95 % PESO CA = 60 gr PESO AG = 1,140.00 gr				PASTON = 1200 gr CA = 5.5 % AG = 94.5 % PESO CA = 66.00 gr PESO AG = 1,134.00 gr				
	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	
	1/2"	157.78	0.00	0.00	0.00	156.96	0.00	0.00	0.00	156.13	0.00	0.00	0.00
	3/8"	153.93	0.00	0.00	0.00	153.12	0.00	0.00	0.00	152.32	0.00	0.00	0.00
	N° 4	116.89	14.90	39.76	0.00	116.28	14.82	39.55	0.00	115.67	14.74	39.34	0.00
N° 10	5.96	69.93	107.91	0.00	5.93	69.56	107.35	0.00	5.90	69.20	106.78	0.00	
Pasa N° 40	23.84	144.37	287.81	22.92	23.71	143.62	286.30	22.80	23.59	142.86	284.80	22.68	
hasta N° 200													
<b>TOTAL</b>	<b>458.40</b>	<b>229.20</b>	<b>435.48</b>	<b>22.92</b>	<b>456.00</b>	<b>228.00</b>	<b>433.20</b>	<b>22.80</b>	<b>453.60</b>	<b>226.80</b>	<b>430.92</b>	<b>22.68</b>	
				1146.00				1140.00				1134.00	
TAMIZ	PASTON = 1200 gr CA = 6.0 % AG = 94 % PESO CA = 72 gr PESO AG = 1,128.00 gr				PASTON = 1200 gr CA = 6.5 % AG = 93.5 % PESO CA = 78 gr PESO AG = 1,122.00 gr				PASTON = 1200 gr CA = 7.0 % AG = 93 % PESO CA = 84 gr PESO AG = 1,116.00 gr				
	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	PIEDRA CHANCADA RECICLADO	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	FILLER	
	3/4" - 1/2"	155.30	0.00	0.00	0.00	154.48	0.00	0.00	0.00	153.65	0.00	0.00	0.00
	1/2" - 3/8"	151.51	0.00	0.00	0.00	150.71	0.00	0.00	0.00	149.90	0.00	0.00	0.00
	3/8" - N° 4	115.06	14.66	39.13	0.00	114.44	14.59	38.93	0.00	113.83	14.51	38.72	0.00
N° 4 - N° 8	5.87	68.83	106.22	0.00	5.83	68.46	105.65	0.00	5.80	68.10	105.09	0.00	
Pasa N° 8	23.46	142.11	283.29	22.56	23.34	141.35	281.78	22.44	23.21	140.59	280.27	22.32	
<b>TOTAL</b>	<b>451.20</b>	<b>225.60</b>	<b>428.64</b>	<b>22.56</b>	<b>448.80</b>	<b>224.40</b>	<b>426.36</b>	<b>22.44</b>	<b>446.40</b>	<b>223.20</b>	<b>424.08</b>	<b>22.32</b>	
				1128.00				1122.00				1116.00	

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.



VISTAS FOTOGRAFICAS, EL BACH. JORGE MANUEL CHUMAN AGUIRRE, EJECUTANDO LA RUPTURA DE LAS BRIQUETAS EN LA PRENSA MARSHALL, PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO. EN EL LABORATORIO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES – EN PLANTA SAN JERONIMO DE TUNAN.



**Resultados del Ensayo Marshall con material Reciclado de pavimento flexible envejecido.**

De los pastones realizados, se han formado testigos o briquetas, que tienen una dimensión de un diámetro de 4 “ y una altura promedio de 2.0 a 2.5 pulgadas que son ensayadas en la Máquina de Estabilidad Marshall.

**TABLA N°31: RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE**

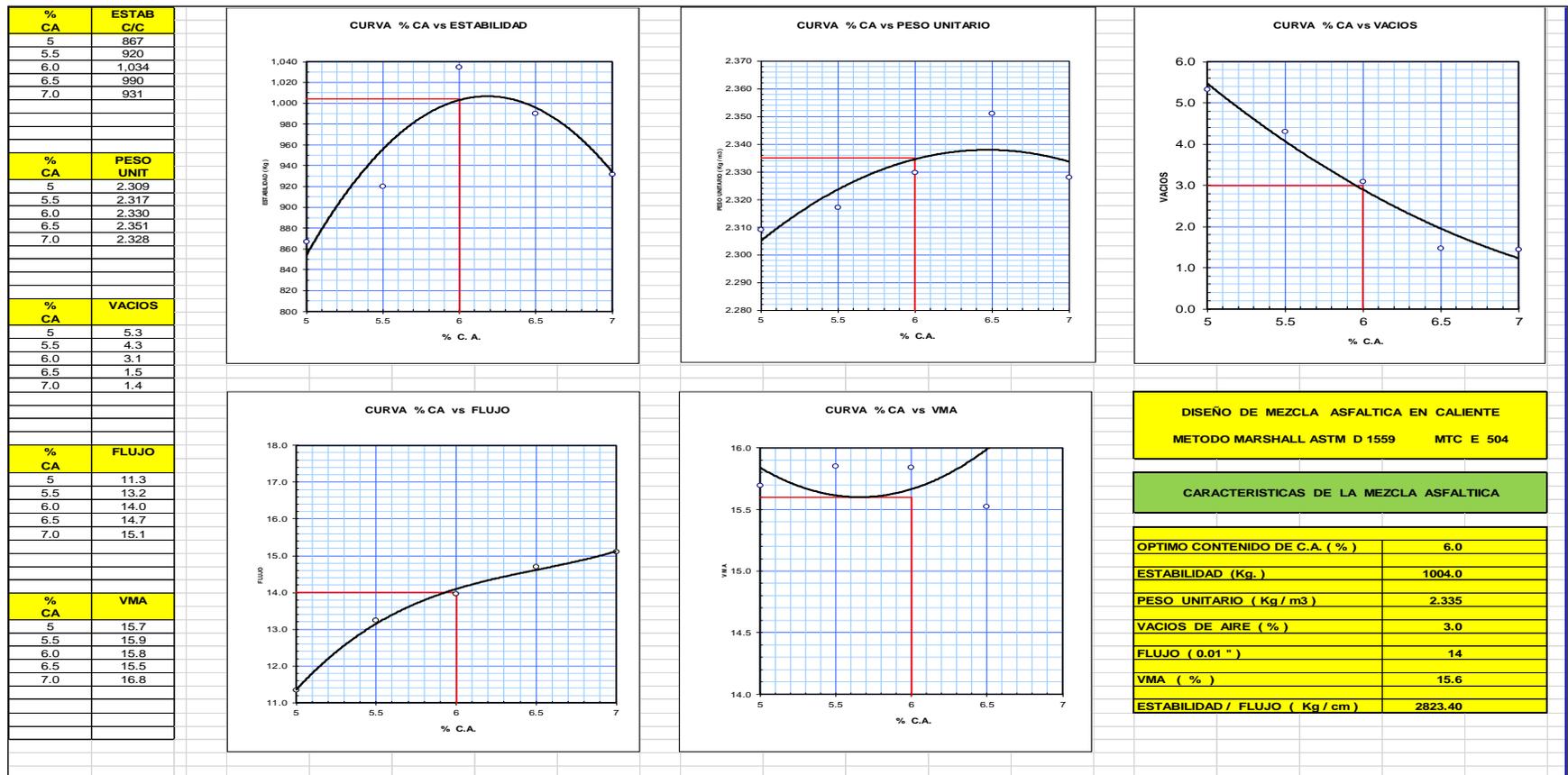
AG	CA	ENSAYO	ALTURA CM	PESO SECO AL AIRE	PESO AL AGUA	VOLUMEN	P.E. BULK	ASTM D-2041	DEL AGREGADO	DE VACIOS	V.M.A	FLUJO	POR VOLUMEN	LECTURA DIAL	S/C Kg.	C/C Kg.
							$\rho$	G MT	G AB	v						
		1	6.50	1,186.9	672.9	514.0	2.309					12.0	1.00	259.00	869	869
		2	6.47	1,194.8	678.4	516.4	2.314					11.0	1.00	269.00	861	861
		3	6.51	1,192.8	675.2	517.6	2.304					11.0	1.00	275.00	871	871
<b>95</b>	<b>5.00</b>						<b>2.309</b>	<b>2.439</b>	<b>2.602</b>	<b>5.3</b>	<b>15.7</b>	<b>11.3</b>				<b>867</b>
		1	6.42	1,194.2	681.8	512.4	2.331					13.0	1.00	269	925	925
		2	6.38	1,186.7	675.2	511.5	2.320					13.5	1.00	275	923	923
		3	6.49	1,192.3	674.0	518.3	2.300					13.2	1.00	288	912	912
<b>94.5</b>	<b>5.50</b>						<b>2.317</b>	<b>2.421</b>	<b>2.602</b>	<b>4.3</b>	<b>15.9</b>	<b>13.2</b>				<b>920</b>
		1	6.16	1,184.1	671.6	512.5	2.310					14.1	1.04	279	989	1,029
		2	6.36	1,191.2	684.3	506.9	2.350					14.0	1.04	297	997	1,037
		3	6.30	1,193.6	681.0	512.6	2.329					13.8	1.04	322	998	1,038
<b>94</b>	<b>6.00</b>						<b>2.330</b>	<b>2.404</b>	<b>2.602</b>	<b>3.1</b>	<b>15.8</b>	<b>14.0</b>				<b>1,034</b>
		1	6.28	1,180.0	680.0	500.0	2.360					14.7	1.04	279	990	1,030
		2	6.26	1,187.8	679.1	508.7	2.335					14.8	1.04	297	933	970
		3	6.28	1,184.6	682.2	502.4	2.358					14.6	1.04	322	932	969
<b>93.5</b>	<b>6.50</b>						<b>2.351</b>	<b>2.386</b>	<b>2.602</b>	<b>1.5</b>	<b>15.5</b>	<b>14.7</b>				<b>990</b>
		1	6.28	1,167.4	665.7	501.7	2.327					15.2	1.04	268	899	935
		2	6.25	1,160.9	661.8	499.1	2.326					15.1	1.04	276	897	933
		3	6.26	1,160.6	662.7	497.9	2.331					15.0	1.04	279	891	927
<b>93</b>	<b>7.0</b>						<b>2.328</b>	<b>2.362</b>	<b>2.602</b>	<b>1.4</b>	<b>16.8</b>	<b>15.1</b>				<b>931</b>

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

## Gráficos del Ensayo Marshall material Reciclado

De los ensayos Marshall, resultan los promedios que serán plasmados mediante gráficos establecidos por el propio diseño Marshall de estos gráficos se determinarán los resultados promedios, que se adjuntan en la

TABLA N°32. GRAFICOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL



Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**Características de la mezcla asfáltica en caliente con material reciclado de pavimentos flexible envejecido mediante el método ensayo Marshall.**

De los ensayos Marshall los resultados plasmados mediante gráficos, se determina las características físicas mecánicas, hallados de los promedios de los resultados en forma gráfica, que son lo óptimo de cada ensayo, y se detallan en la tabla N°33

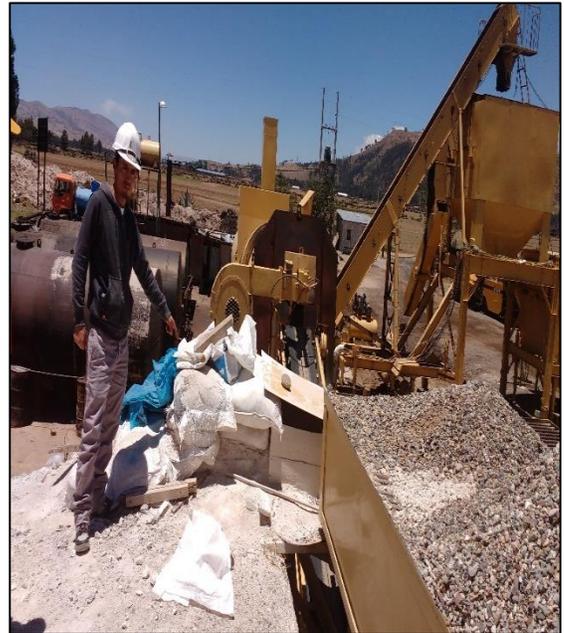
TABLA N°33 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE</b>	
<b>METODO MARSHALL ASTM D 1559      MTC E 504</b>	
<b>CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTIICA</b>	
<b>OPTIMO CONTENIDO DE C.A. ( % )</b>	<b>6.0</b>
<b>ESTABILIDAD (Kg. )</b>	<b>1004.0</b>
<b>PESO UNITARIO ( Kg / m3 )</b>	<b>2.335</b>
<b>VACIOS DE AIRE ( % )</b>	<b>3.0</b>
<b>FLUJO ( 0.01 " )</b>	<b>14</b>
<b>VMA ( % )</b>	<b>15.6</b>
<b>ESTABILIDAD / FLUJO ( Kg / cm )</b>	<b>2823.40</b>

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.



VISTAS FOTOGRÁFICAS DEL PROCESAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON EL EMPLEO DE MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ENVEJECIDOS EN LA PLANTA DE ASFALTO DE LA DIRECCIÓN REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.





EN LA VISTA FOTOGRÁFICA VERIFICANDO EL ACCESO PARA EL MATERIAL RECICLADO, UBICADO EN LA ZONA INTERMEDIA DE LA PLANTA DE ASFALTO CON LA FINALIDAD DE NO PASAR POR LA LLAMA DE SECADO Y SE OXIDE LA MEZCLA RECICLADA, ADICIONANDOSE AL AGREGADO NUEVO

#### **4.2 COMPRACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLA RESIDUOS DE PAVIMENTO ENVEJECIDO EN CALIENTE FRENTE A MEZCLAS CONVENCIONALES.**

Luego de haber realizado una serie de ensayos y obtener el diseño adecuado de Mezcla Asfáltica por el método Marshall, basados en la incorporación de diferentes porcentajes de material reciclado y tomando en cuenta la capacidad de la Planta, para incorporar material reciclado se decidió realizar en esta parte del estudio en la que se analizaran diferentes tipos de mezclas asfáltica que incorporen en su composición diferentes porcentajes del material reciclado.

El objetivo de esta parte del estudio es obtener una idea clara sobre el comportamiento de las características físicas de diferentes mezclas con porcentajes desde 5 % hasta el 75 % de material reciclado, empleando siempre el mismo material ligante, como el cemento asfáltico PEN 85/100, adecuado para este tipo de clima y altitud, tal como establece el manual de especificaciones para la construcción de carreteras EG – 2013.

Las mezclas realizadas han sido caracterizadas a partir de los ensayos empleados para las mezclas asfálticas con material reciclado y material nuevo, los mismos que han sido ensayados por el método Marshall.

#### **4.2.1 Resumen de análisis granulométrico y extracción de % de cemento asfáltico de material nuevo o virgen.**

Para identificar como material nuevo o virgen, es el agregado que no ha tenido contacto con el ligante cemento asfáltico PEN 85/100, este material cuenta con la granulometría dentro de los parámetros comprendidos en la mezcla MAC – 2, y los porcentajes de contenido de ligante cemento asfáltico inicia desde 5.0 % hasta 7.0 %, tal como se detalla en el “Resumen de Análisis Granulométrico y Extracción de % de Cemento Asfáltico de Material Nuevo o Virgen”.

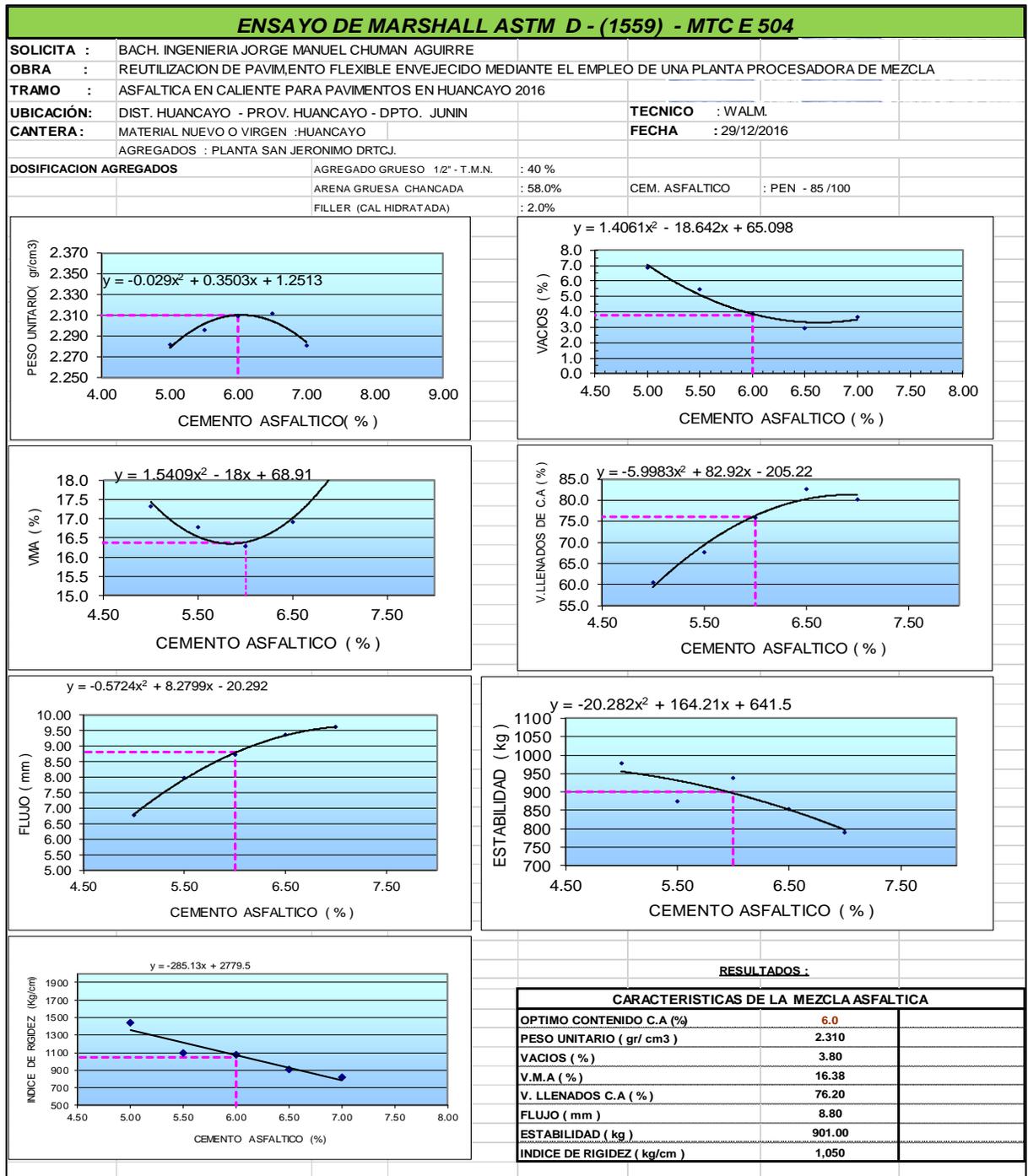
Obteniendo como resultados, el comportamiento adecuado dentro de las características requeridas por la normatividad para la ejecución de la mezcla asfáltica en caliente con material nuevo o virgen

**TABLA N° 34 RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL NORMAL CON  
AREGADOS NUEVOS O VIRGEN**

<b>ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) - MTC E 504</b>						
<b>SOLICITA :</b>	BACH. INGENIERIA JORGE MANUEL CHUMAN AGUIRRE					
<b>OBRA :</b>	REUTILIZACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA PLANTA PROCESADORA					
<b>TRAMO :</b>	DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS EN HUANCAYO 2016					
<b>UBICACIÓN:</b>	DIST. HUANCAYO - PROV. HUANCAYO - DPTO. JUNIN				<b>TECNICO :</b> WALM.	
<b>CANTERA:</b>	MATERIAL NUEVO O VIRGEN :HUANCAYO				<b>FECHA :</b> 29/12/2016	
	AGREGADOS : PLANTA SAN JERONIMO DRTCJ.					
<b>DOSIFICACION AGREGADOS</b>		AGREGADO GRUESO 1/2" - T.M.N.	: 40 %			
		ARENA GRUESA CHANCADA	: 58.0%		CEM. ASFALTICO : PEN - 85 /100	
		FILLER (CAL HIDRATADA)	: 2.0%			
	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>PROMEDIO</b>
% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>	<b>7.00</b>	
Peso específico bulk de la briqueta	<b>2.282</b>	<b>2.296</b>	<b>2.309</b>	<b>2.312</b>	<b>2.281</b>	
% de vacíos	<b>6.9</b>	<b>5.4</b>	<b>3.9</b>	<b>2.9</b>	<b>3.7</b>	
VMA	<b>17.3</b>	<b>16.8</b>	<b>16.3</b>	<b>16.9</b>	<b>18.5</b>	
% de vacíos llenados con C.A.	<b>60.4</b>	<b>67.6</b>	<b>76.0</b>	<b>82.7</b>	<b>80.2</b>	
Flujo (mm)	<b>8.52</b>	<b>9.01</b>	<b>9.17</b>	<b>9.35</b>	<b>9.62</b>	
Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	<b>966</b>	<b>875</b>	<b>901</b>	<b>854</b>	<b>790</b>	
Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	<b>1134</b>	<b>972</b>	<b>983</b>	<b>913</b>	<b>820</b>	

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

**TABLA N° 35 RESULTADOS DEL DISEÑO MARSHALL CON AGREGADO NUEVO O VIRGEN.**



Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín

TABLA N 36° RESUMEN DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y EXTRACCIÓN DE % DE CEMENTO ASFALTICO DE MATERIAL NUEVO O VIRGEN.

RESUMEN DE ANALISIS GRANULOMETRICO Y EXTRACCION DE % DE CEMENTO ASFALTICO					
MATERIAL NUEVO					
FECHA	% C.A. DISEÑO	PESO INICIAL	PESO LAVADO	PESO ASFALTO gr.	% C.A. PEN 85/100
26/12/2016	5.00	1210.02	1148.87	61.15	5.05
	5.50	1202.23	1136.5	65.73	5.47
	6.00	1215.45	1140.8	74.65	6.14
	6.50	1208.39	1129.8	78.59	6.50
	7.00	1211.02	1125.45	85.57	7.07
22/12/2016	5.00	1050.32	997.38	52.94	5.04
	5.50	1080.32	1020.07	60.25	5.58
	6.00	1207.8	1135.01	72.79	6.03
	6.50	1187.45	1110.11	77.34	6.51
20/12/2016	7.00	1237.85	1151.03	86.82	7.01
	5.00	1221.8	1160.2	61.6	5.04
	5.50	1228.44	1160.2	68.24	5.56
	6.00	1208.02	1135.01	73.01	6.04
19/12/2016	6.50	1214.32	1135.09	79.23	6.52
	7.00	1215.89	1130.07	85.82	7.06
	5.00	1209.77	1148.97	60.8	5.03
	5.50	1208.61	1139.8	68.81	5.69
16/12/2016	6.00	1215.1	1140.01	75.09	6.18
	6.50	1203.47	1124.89	78.58	6.53
	7.00	1198.2	1111.37	86.83	7.25
	5.00	1203.88	1143.58	60.3	5.01
	5.50	1224.5	1160.2	64.3	5.25
15/12/2016	6.00	1199.47	1126.98	72.49	6.04
	6.50	1234.87	1154.32	80.55	6.52
	7.00	1248.65	1160.2	88.45	7.08
	5.00	1214.12	1149.25	64.87	5.34
	5.50	1201.39	1135.3	66.09	5.50
14/12/2016	6.00	1220.27	1142.32	77.95	6.39
	6.50	1201.89	1123.71	78.18	6.50
	7.00	1207.32	1122.02	85.3	7.07
	5.00	1205.02	1144.07	60.95	5.06
14/12/2016	5.50	1209.32	1142.28	67.04	5.54
	6.00	1203.21	1130.09	73.12	6.08
	6.50	1205.32	1126.85	78.47	6.51
	7.00	1201.87	1117.04	84.83	7.06

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

#### 4.2.2 Resumen de análisis granulométrico y extracción del % de cemento asfáltico del material reciclado.

Para identificar como material nuevo o virgen, es el agregado que no ha tenido contacto con el ligante cemento asfáltico PEN 85/100, este material cuenta con la granulometría dentro de los parámetros comprendidos en la mezcla MAC – 2, y los porcentajes de contenido de

material reciclable es desde 5% hasta 75 % de peso del volumen total, tal como se muestra en la Tabla N°34, “Resumen de Análisis Granulométrico y Extracción de % de Cemento Asfáltico de Material Reciclado”.

TABLA N° 37: RESUMEN DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y EXTRACCIÓN DE % DE CEMENTO ASFALTICO DE MATERIAL RECICLADO.

RESUMEN DE ANALISIS GRANULOMETRICO Y EXTRACCION DE % DE CEMENTO ASFALTICO					
MATERIAL RECICLADO					
FECHA	% C.A. DISEÑO	PESO INICIAL	PESO LAVADO	PESO ASFALTO gr.	% C.A. PEN 85/100
26/12/2016	4.00	1210.02	1148.87	61.15	5.05
	4.40	1202.23	1136.5	65.73	5.47
	4.80	1215.45	1140.8	74.65	6.14
	5.20	1208.39	1129.8	78.59	6.50
	5.60	1211.02	1125.45	85.57	7.07
22/12/2016	5.00	1050.32	997.38	52.94	5.04
	5.50	1080.32	1020.07	60.25	5.58
	6.00	1207.8	1135.01	72.79	6.03
	6.50	1187.45	1110.11	77.34	6.51
	7.00	1237.85	1151.03	86.82	7.01
20/12/2016	5.00	1221.8	1160.2	61.6	5.04
	5.50	1228.44	1160.2	68.24	5.56
	6.00	1208.02	1135.01	73.01	6.04
	6.50	1214.32	1135.09	79.23	6.52
	7.00	1215.89	1130.07	85.82	7.06
19/12/2016	5.00	1209.77	1148.97	60.8	5.03
	5.50	1208.61	1139.8	68.81	5.69
	6.00	1215.1	1140.01	75.09	6.18
	6.50	1203.47	1124.89	78.58	6.53
	7.00	1198.2	1111.37	86.83	7.25
16/12/2016	5.00	1203.88	1143.58	60.3	5.01
	5.50	1224.5	1160.2	64.3	5.25
	6.00	1199.47	1126.98	72.49	6.04
	6.50	1234.87	1154.32	80.55	6.52
	7.00	1248.65	1160.2	88.45	7.08
15/12/2016	5.00	1214.12	1149.25	64.87	5.34
	5.50	1201.39	1135.3	66.09	5.50
	6.00	1220.27	1142.32	77.95	6.39
	6.50	1201.89	1123.71	78.18	6.50
	7.00	1207.32	1122.02	85.3	7.07
14/12/2016	5.00	1205.02	1144.07	60.95	5.06
	5.50	1209.32	1142.28	67.04	5.54
	6.00	1203.21	1130.09	73.12	6.08
	6.50	1205.32	1126.85	78.47	6.51
	7.00	1201.87	1117.04	84.83	7.06

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

#### 4.2.3. RESUMEN COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE CON EL EMPLEO DE MATERIAL RECICLABLE Y MATERIAL NUEVO / VIRGEN.

El estudio ha comprendido, que para la factibilidad del uso del material reciclado de pavimentos envejecidos se ha comparado los resultados del diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall, con el empleo de materiales nuevo o virgen comparativamente con el material reciclado.

Esta comparación comprende entre las características físicas y mecánicas de mayor importancia comparativa, considerándose como importantes a las demás características.

TABLA N°38 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL, CON MATERIAL RECICLABLE Y MATERIAL NUEVO / VIRGEN.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	CON MATERIAL RECICLADO	CON MATERIAL NUEVO/VIRGEN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A. PEN 85/100 (%)	6.00	6.00
ESTABILIDAD (Kg)	1004.00	901.00
PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	2335.00	2310.00
VACIOS DE AIRE (%)	3.00	3.80
FLUJO (0.01")	14.00	8.80
V.M.A. (%)	15.60	16.38
INDICE RIGIDEZ (ESTABILIDAD/FLUJO Kg/cm)	2823.40	1050.00

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **5.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **5.1.1. Resultados del Diseño de Mezcla asfáltica.**

Los resultados del diseño de mezcla asfáltica con el empleo de material reciclado de pavimentos envejecidos han cumplido con las especificaciones técnicas establecidas en la normatividad vigente para la construcción de carreteras, que se especifican en el manual de especificaciones para la construcción de carreteras MTC - EG 2013, establecidos en las características de la mezcla asfáltica con material reciclado comprobando mediante una comparación de los resultados con las especificaciones

TABLA N° 39 RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

<b>CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA</b>	<b>RESULTADOS DEL DISEÑO MARSHALL CON MATERIAL RECICLADO</b>	<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS MANUAL MTC - EG 2013</b>
OPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO (%)	6.0 %	No indica
ESTABILIDAD (Kg - fza)	1004.0 Kg - fza	831.05 Kg-fza. ( 8.15 Kn)
PESO UNITARIO (Kg/ m <sup>3</sup> )	2.335Kg/cm <sup>3</sup>	No indica
VACIOS DE AIRE (%)	3.0 %	3.0 a 5.0 %
FLUJO (0.01")	14.0 %	8.0 a 14.0 %
VACIOS EN EL AGG, MINERAL VMA. (%)	15.6 %	15.0 %
ESTABILIDAD/ FLUJO (Kg/cm)	2823.4 Kg/cm.	1,700 a 4,000 Kg/cm.

Fuente: (1) ELABORACIÓN PROPIA. LABORATORIO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES JUNIN.

(2) MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS MTC - EG 2013- TABLA N° 423 – 06, Pág. 570

Se ha tomado en consideración que para la comparación de los resultados del diseño de mezcla asfáltica con material reciclado de pavimentos envejecidos, la compactación de las muestras por cada cara, a la más alta, que corresponde a 75 golpes por cada cara en la muestra o briqueta, por razones de exigencia mayor a fin de obtener los resultados para cualquier tipo de pavimentación, y que sirva en las condiciones más severas de tráfico vehicular, como corresponde para el tráfico pesado.

Estos resultados de la mezcla asfáltica se han logrado, luego de haberse efectuado diferentes dosificaciones o mezclas de material reciclado de los residuos de pavimentos flexibles envejecidos, que han sido obtenidos principalmente de material reciclado de la carretera central Tramo Oroya – Jauja – Huancayo, de una mantenimiento realizado en el año 2015, con la adición de material nuevo o virgen, así como la adición de cemento asfáltico PEN 85/100 , nuevo o virgen, tal como se muestra en el siguiente cuadro

TABLA N°40 EXTRACCION CENTRIFUGA DE MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTOS ENVEJECIDOS

RESUMEN DE ANALISIS GRANULOMETRICO Y EXTRACCION DE % DE CEMENTO ASFALTICO					
MATERIAL RECICLADO					
FECHA	% C.A. DISEÑO	PESO INICIAL	PESO LAVADO	PESO ASFALTO gr.	% C.A. PEN 85/100
26/12/2016	4.00	1210.02	1148.87	61.15	5.05
	4.40	1202.23	1136.5	65.73	5.47
	4.80	1215.45	1140.8	74.65	6.14
	5.20	1208.39	1129.8	78.59	6.50
	5.60	1211.02	1125.45	85.57	7.07
22/12/2016	5.00	1050.32	997.38	52.94	5.04
	5.50	1080.32	1020.07	60.25	5.58
	6.00	1207.8	1135.01	72.79	6.03
	6.50	1187.45	1110.11	77.34	6.51
20/12/2016	7.00	1237.85	1151.03	86.82	7.01
	5.00	1221.8	1160.2	61.6	5.04
	5.50	1228.44	1160.2	68.24	5.56
	6.00	1208.02	1135.01	73.01	6.04
	6.50	1214.32	1135.09	79.23	6.52
19/12/2016	7.00	1215.89	1130.07	85.82	7.06
	5.00	1209.77	1148.97	60.8	5.03
	5.50	1208.61	1139.8	68.81	5.69
	6.00	1215.1	1140.01	75.09	6.18
	6.50	1203.47	1124.89	78.58	6.53
16/12/2016	7.00	1198.2	1111.37	86.83	7.25
	5.00	1203.88	1143.58	60.3	5.01
	5.50	1224.5	1160.2	64.3	5.25
	6.00	1199.47	1126.98	72.49	6.04
	6.50	1234.87	1154.32	80.55	6.52
15/12/2016	7.00	1248.65	1160.2	88.45	7.08
	5.00	1214.12	1149.25	64.87	5.34
	5.50	1201.39	1135.3	66.09	5.50
	6.00	1220.27	1142.32	77.95	6.39
	6.50	1201.89	1123.71	78.18	6.50
14/12/2016	7.00	1207.32	1122.02	85.3	7.07
	5.00	1205.02	1144.07	60.95	5.06
	5.50	1209.32	1142.28	67.04	5.54
	6.00	1203.21	1130.09	73.12	6.08
	6.50	1205.32	1126.85	78.47	6.51
	7.00	1201.87	1117.04	84.83	7.06

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA – LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES JUNIN.

Ensayos realizados en el laboratorio de la dirección regional de transportes y comunicaciones Junín. Planta de asfalto ubicado en el distrito de San Jerónimo de Tunán, realizados en fechas desde el 14/12/2016 al 29/12/2016, donde se han establecido que la dosificación de material reciclado de pavimento pavimentos envejecido, más la adición de material nuevo o virgen, tanto en agregados nuevos y cemento asfáltico PEN 85/100, en el que se puede apreciar que según el método de ensayo de extracción centrífuga de cemento asfáltico. Se ha podido determinar que la mayor parte de las dosificaciones han resultado por encima de lo establecido con una

mezcla normal, a causa del contenido del cemento asfáltico del material reciclado de pavimentos flexible envejecidos.

De acuerdo a los gráficos de resultados del ensayo Marshall, dan como el contenido de cemento asfáltico optimo más adecuado el 6.0 %, correspondientes a una mezcla del 25 % de material reciclado de pavimento flexible envejecido y el 75 % de material nuevo o virgen; por tanto la dosificación es la siguiente:

### 5.1.2. Dosificación de los materiales

La granulometría de los agregados provenientes del material de residuos de pavimento flexible envejecidos, más agregados nuevos se han logrado mediante dosificaciones o mezclas, que se muestran en el siguiente gráfico.

TABLA N°41 DOSIFICACION DE AGREGADOS RECICLADO Y NUEVOS

TAMIZ	GRANULOMETRIA						ESPECIFIC MTC 2013 MAC - 2		
	MATERIAL								
	RECICLADO	ARENA	ARENA	FILLER	TOTAL				
	25%	CHANCADA	ZARANDEADA						
	NUEVO 15 %	20%	38%	2.00%					
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.0	100.00	100		100	
1/2"	65.58	100.00	100.00	100.0	86.23	80		100	
3/8"	32.00	100.00	100.00	100.0	72.80	70		88	
N° 4	6.50	93.50	90.87	100.0	57.83	51		68	
N° 10	5.20	62.99	66.09	100.0	41.79	38		52	
N° 16	0.00	41.22	42.93	100.0	26.56				
N° 30	0.00	38.56	39.50	100.0	24.72				
N° 40	0.00	36.23	35.49	100.0	22.73	17		28	
N° 80	0.00	15.75	25.31	100.0	14.77	8		17	
N° 200	0.00	8.52	5.93	96.0	5.88	4		8	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA – LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES JUNIN.

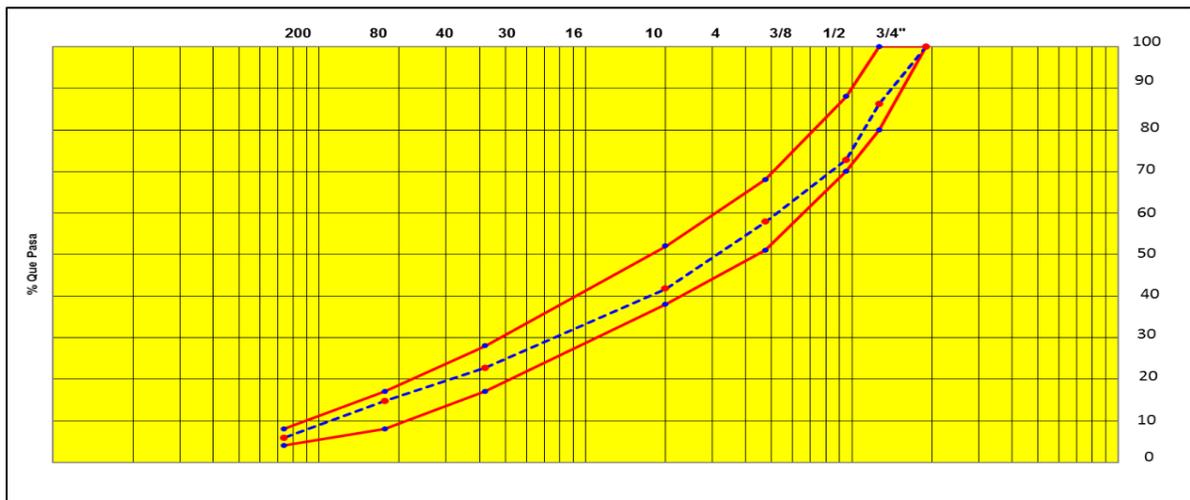
Los resultados nos indican que el agregado proveniente de material de residuos de pavimento envejecido corresponde a un 25 % en el agregado grueso, más la adición de un 15 % de material agregado grueso nuevo, con la finalidad de completar los parámetros granulométricos de una Mezcla asfáltica MAC – 2, que es la más utilizada en pavimentos, resultando la dosificación siguiente:

- Arena Chancada 20 %
- Arena zarandeada 38 %
- Filler (llenante) 2 % cal hidratada.
- **Agregado grueso reciclado 25 %**
- Agregado grueso nuevo 15 %

TOTAL DE AGREGADOS = 100.0 %

La mezcla de agregados en su totalidad, se puede apreciar en el siguiente grafico

GRAFICO N°. RESULTADOS DE LA MEZCLA EXPERIMENTAL DE AGREGADOS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA – LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES JUNIN.

### **5.1.3 Resultados de producción de la mezcla asfáltica experimental**

Los resultados de ejecución la mezcla experimental con el empleo de material de residuos de pavimento flexible envejecido, se han llevado a cabo en la Planta de asfalto de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín, de las siguientes características:

- Planta procesadora de Mezcla Asfáltica en Caliente, tipo continúa.
- Marca : CIFALI
- Modelo : FY - 1040
- Procedencia : Brasil
- Capacidad: 100 a 120 Tn.
- Tolvas de Alimentación: 4 (para 4 tipos de agregados)
- Temperatura de producción: 145 °C a 155°C

De acuerdo a los trabajos de laboratorio, en la dosificación previa de mezcla con el material reciclado han resultado las dosificaciones más adecuadas con el aporte del 25 % de material reciclado a una temperatura de 145 °C, los resultados se hacen mención en las Tablas N° 28: RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE y TABLA N° 29 GRAFICOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL.; que nos indican que el resultado de la mezcla experimental con el aporte de material reciclado de pavimentos flexible envejecido, funciona adecuadamente con la adición de material nuevo o virgen reactivándose el material ligante, que es el cemento asfáltico PEN

85/100. El resumen de los resultados del desarrollo ejecutado en forma experimental, presenta los siguientes resultados:

TABLA N°42 RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA EXPERIMENTAL CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO

<b>CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA</b>	
<b>OPTIMO CONTENIDO DE C.A. ( % )</b>	<b>6.0</b>
<b>ESTABILIDAD (Kg. )</b>	<b>1004.0</b>
<b>PESO UNITARIO ( Kg / m3 )</b>	<b>2.335</b>
<b>VACIOS DE AIRE ( % )</b>	<b>3.0</b>
<b>FLUJO ( 0.01 " )</b>	<b>14</b>
<b>VMA ( % )</b>	<b>15.6</b>
<b>ESTABILIDAD / FLUJO ( Kg / cm )</b>	<b>2823.40</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA – LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO DE LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES JUNIN.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **6.1. Discusión de resultados**

Luego de haber realizado la ejecución de dos tipos de ensayos por el método Marshall para mezclas asfálticas en caliente, con el empleo de material reciclado de pavimentos envejecidos y otro con material nuevo o virgen, estudio en el que se demuestra la factibilidad de uso de este material, que cumple las especificaciones y características técnicas para la ejecución de mezclas asfálticas en caliente procesadas en una planta de asfalto del tipo continuo y flujo paralelo que se encuentre equipada con un anillo de carga o alimentación para material reciclado y en condiciones adecuadas de producir normalmente una nueva mezcla asfáltica con fines de pavimentación, mantenimiento y/o rehabilitación de vías, a fin de contribuir con las Entidades encargadas de ejecutar este tipo de Obras.

Existen diferencias significativas que serán discutidas a fin de tener una apreciación para el uso de este material reciclable, que se detallan a continuación:

- a) Las características físicas del material reciclable cumple con la normatividad vigente en el “Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013” emitida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones Junín, por lo tanto su uso es factible para la ejecución de obras de pavimentación.
- b) Los diseños de mezcla asfáltica en caliente, por el método Marshall empleando material reciclable de pavimentos flexibles envejecidos y de material natural ha brindado resultados comparativos con la normatividad, resultando más ventajoso el material reciclable por su contenido de material ligante aportante y el % más adecuado es del 25 % mezclado con 75 % de material nuevo o virgen, que conforman el 40 % del agregado total; tal como se muestra en el cuadro comparativo de características de mezcla asfáltica.

TABLA N°43 DISCUSION DE LAS CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL, CON MATERIAL RECICLABLE Y MATERIAL NUEVO / VIRGEN.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	CON MATERIAL RECICLADO	CON MATERIAL NUEVO/VIRGEN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A. PEN 85/100 (%)	6.00	6.00
ESTABILIDAD (Kg)	1004.00	901.00
PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	2335.00	2310.00
VACIOS DE AIRE (%)	3.00	3.80
FLUJO (0.01")	14.00	8.80
V.M.A. (%)	15.60	16.38
INDICE RIGIDEZ (ESTABILIDAD/FLUJO Kg/cm)	2823.40	1050.00

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

En ambas mezcla asfálticas el contenido óptimo de cemento asfáltico PEN 85/100 resulta del 6.0 %, condición adecuada para una mezcla asfáltica.

- c) La Estabilidad con el material reciclado es mayor comparado con el material nuevo, esta característica se debe a que el material reciclado ofrece mayor resistencia, debido al indicativo, que el peso unitario es 2,335.00 Kg/m<sup>3</sup> a diferencia del material nuevo que es de 2,310.00 Kg/m<sup>3</sup>., interpretando que un mayor peso de la masa de material en un determinado volumen, significa que la densidad de la mezcla experimental es de mayor densidad que la mezcla con el empleo de material virgen o nuevo.
- d) El flujo, valor que determina la cantidad de ligante absorbido es mayor a fin de soportar una mayor deformación, por tanto nos demuestra que el índice de rigidez de la misma forma es mayor, o sea 2,823.40 Kg/cm contra 1,050 Kg/cm del material nuevo, brindando mayor soporte por unidad de medida lineal la capa asfáltica ya compactada.

## **CONCLUSIONES**

1. La ejecución de una mezcla experimental con el empleo de residuos de un pavimento flexible envejecido ha sido viable su reutilización en una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, con las condiciones adecuadas de un procesamiento del material, cumpliendo con las especificaciones técnicas y de calidad para un pavimento flexible.
2. Los resultados de la ejecución de una mezcla experimental mediante el método Marshall, han comprobado la factibilidad de reutilización de una parte del material residuos de un pavimento flexible, como aporte de la mezcla asfáltica procesada en una planta asfáltica en caliente

3. Con la ejecución de la mezcla asfáltica con el empleo de una parte de residuos de un pavimento flexible envejecido, se ha logrado resultados satisfactorios, que han permitido determinar la Estabilidad y el Flujo como parámetros medibles de calidad de una mezcla asfáltica.
4. Las afirmaciones anteriores, se sustentan en la comparación de resultados de los ensayos Marshall de la mezcla experimental con parte del material de residuos de pavimentos envejecidos, que cuentan con un % de aporte de ligante (cemento asfáltico PEN 85/100) y otro con material nuevo o virgen que no presenta ningún aporte de material ligante; con resultados satisfactorios que indican que la mezcla experimental cumple las especificaciones técnicas, tales como: la Estabilidad con el material reciclado es mayor comparado con el material nuevo, esta característica se debe a que el material reciclado ofrece mayor resistencia debido a que el peso unitario es mayor,  $2,335.00 \text{ Kg/m}^3$  a diferencia del material nuevo de  $2,310.00 \text{ Kg/m}^3$ , el Flujo, es un valor que determina la cantidad de ligante absorbido por la mezcla asfáltica. En el presente estudio es mayor a fin de soportar deformaciones o destrucciones, por tanto nos demuestra que el índice de rigidez es adecuada o sea  $2,823.40 \text{ Kg/cm}$  contra  $1,050 \text{ Kg/cm}$  del material nuevo, brindando mayor soporte por unidad de medida lineal en la capa asfáltica compactada.

## **RECOMENDACIONES**

1. Reutilizar materiales de residuos de obras de similar característica como de los pavimentos flexibles envejecidos, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de degradación de las canteras y ríos, así como eliminar los botaderos donde se acumulan los residuos de los pavimentos envejecidos. En el tiempo las autoridades Gubernamentales a fin de proteger el medio ambiente deberá dictar medidas de protección contra la explotación de agregados en las canteras y ríos y eliminación de botaderos de residuos de pavimentos envejecidos, en ese contexto el presente estudio tendrá vigencia y aplicación total.
2. Procesar con las condiciones de calidad establecidas en las especificaciones técnicas, el material de residuos de pavimento flexible envejecido, tanto en su recopilación, acopio y producción, con la intervención una planta procesadora de

mezcla asfáltica en caliente, debidamente equipado con un componente de abastecimiento de material reciclado; ubicado en el tercio intermedio del secador mezclador, que proporcione en esa zona, de una temperatura mínima de 135° C y máxima de 155°C, que permita recuperar la viscosidad adecuada para ser mezclada con agregado seco y caliente nuevo o virgen.

3. Establecer parámetros de calidad para determinar la Estabilidad y el Flujo de mezclas asfálticas con el empleo de material reciclado de pavimentos envejecidos, los mismos que deben superar a los resultados comparativos con material nuevo o virgen, y brinden un indicativo de seguridad a fin de garantizar su empleo en mezclas asfálticas que sirvan en la ejecución de mantenimiento, rehabilitación y/o ejecución de obras viales en forma regular a efectos que su aplicación se difunda en las entidades Públicas y/o privadas a cargo de este tipo de obras viales..
4. Difundir en los diferentes niveles de los encargados de la ejecución de obras como: Gobierno central (MTC – PROVIAS NACIONAL), gobiernos regionales y gobiernos locales, la reutilización del material de residuos de pavimentos envejecidos, a fin de reducir los costos de ejecución de las obras viales y contribuir en la reducción del impacto ambiental en las canteras y ríos y su entorno, y la eliminación de botaderos de residuos de construcción.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

### **A. BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- MANUAL DE CARRETERAS - ESPECIFICACIONES TECNICAS  
GENERALES PARA LA CONSTRUCCION EG – 2013, D.S. N°  
034-2008-MTC** Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú,  
1282p; 2013.
  
- 2.- MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES EM – 2016, R.D. N° 18-  
2016-MTC/14,** Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú,  
1272p; Mayo 2016.
  
- 3. - ASPHALT INSTITUTE’S THICKNESS DESIGN MANUAL (MS-1),  
Ninth Edition, E.E.U.U., 1981.**
  
- 4.- AYLLÓN ACOSTA, JAIME,** “Guía para el Diseño de Pavimentos de  
Concreto Asfáltico”, Cochabamba Bolivia, Abril del 2004.
  
- 5.- CURSO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MÉTODO AASHTO – 1997,  
Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2000.**

- 6. - DAS, BRAJA M.,** “Principles of Geotechnical Engineering”, Editorial International Thomson Publishing Inc., 4ta Edición, Boston E.E.U.U., 1998.
- 7.- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA,** Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.
- 8. - M.Y. SHAHIN.** “Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots”, Editorial Chapman & Hall, New York E.E.U.U., 1994.
- 9.- NOGUEIRA BAPTISTA, CYRO,** “Pavimentação Tomo I - Ensaio Fundamentais para a Pavimentação - Dimensionamentos dos pavimentos flexíveis”, Editorial Globo, 4<sup>ta</sup> Edición, Porto Alegre Brasil, 1981.
- 10.- NOGUEIRA BAPTISTA, CYRO,** “Pavimentação Tomo III - Revestimentos – Pavimentos Rígidos - Conservação dos pavimentos”, Editorial Globo, 4<sup>ta</sup> Edición, Porto Alegre Brasil, 1981.
- 11.- SALAZAR RODRÍGUEZ, AURELIO,** “Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos”, Primera Edición, México, 1998.

- 12. - STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIALS AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING, AASHTO, 24ª Edición, 2004.**
- 13.- THE ASPHALT INSTITUTE, Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S. A., Madrid, España.**
- 14.- VIVAR ROMERO, GERMAN, “Diseño y Construcción de Pavimentos” 2ª Edición, Perú, 1995.**
- 15.- WRIGHT, PAUL H. & PAQUETTE, RADNOR J., “Ingeniería de Carreteras” Editorial Grupo Noriega, 5ª Edición, México, 1993.**

## B. PAGINAS WEB

<https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=reciclado+de+mezclas+asfalticas+&btnG=&lr=>

<http://www.frlp.utn.edu.ar/lemac/Publicaciones/Del%202003/Utilizacion%20de%20cauchos%20en%20mezclas%20asfalticas-XII%20CILA.pdf>

[http://www.researchgate.net/profile/Ignacio\\_Perez\\_Perez/publication.](http://www.researchgate.net/profile/Ignacio_Perez_Perez/publication)

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>

[http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol4\\_2\\_96/aci06296.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol4_2_96/aci06296.htm)

[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2009.1/3252/9/50777-9.pdf.](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2009.1/3252/9/50777-9.pdf)

[http://www.mitecnologico.com/iem/Main/CostoUnitarioDeProductoOLoteDeArticulos.](http://www.mitecnologico.com/iem/Main/CostoUnitarioDeProductoOLoteDeArticulos)

[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

[www.POLIMEROS.com.](http://www.POLIMEROS.com)

Asociación Española de la Carretera: [www.aecarretera.com](http://www.aecarretera.com)

Asociación Mexicana del Asfalto: [www.amaac.org.mx](http://www.amaac.org.mx)

Comisión Permanente del Asfalto - argentina: [www.cpasfalto.org](http://www.cpasfalto.org)

Instituto Chileno del Asfalto: [www.ichasfalto.com](http://www.ichasfalto.com)

Instituto Brasileño de Petróleo: [www.ibp.org.br](http://www.ibp.org.br)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones: [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)

## **ANEXOS**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PLAN DE TESIS  
(PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA)**

**TÍTULO: “REUTILIZACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENVEJECIDO MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS EN HUANCAYO 2016”**

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL.</p> <p>¿Se podrá reutilizar los materiales reciclados de un pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</p> <p>A. ¿Se puede utilizar parte del material de un pavimento envejecido como aporte en una mezcla asfáltica nueva?</p> <p>B. ¿Se puede estimar la Estabilidad y el Flujo adecuado para la mezcla asfáltica con el empleo de material reciclado de un pavimento flexible envejecido?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL.</p> <p>Evaluar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</p> <p>A. Determinar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.</p> <p>B. Determinar la Estabilidad y el Flujo adecuado de la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.</p>	<p>“REHABILITACION VIAL CON RECICLADO Y EMULSION ASFALTICA CON APLICACION EN LAS VIAS DE LA CIUDAD DE QUITO / Universidad Central de Ecuador, Trabajo de Graduación Preparado para la Facultad de Ingeniería, para optar al grado de Ingeniero Civil, Presentado por: Chicaiza Sambonino Maria Fernanda</p> <p>“ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION EN LABORATORIO PARA MEZCLAS RECICLADAS EN FRIO CON EMULSION BITUMINOSA / Universidad de Granada Departamento de Ingeniería de la Construcción y proyecto de</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL.</p> <p>La evaluación de la reutilización de los materiales reciclados de un pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016 es factible.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.</p> <p>A. Empleando parte del material de un pavimento flexible envejecido como aporte para una mezcla asfáltica nueva demostraremos que se puede sustituir parcialmente al material virgen o nuevo.</p> <p>B. Determinando la Estabilidad y el Flujo adecuado para la mezcla asfáltica esta influirá favorablemente al empleo de material reciclado de un</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>- Reutilización de pavimento flexible envejecido.</p> <p>DEPENDIENTE :</p> <p>Planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016.</p> <p>INDICADORES:</p> <p>- Cemento Asfáltico PEN 85/100 - Agregado Grueso - Agregado fino - Filler. - Material reciclado.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Aplicada: Observacional</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Descriptiva – Experimental</p> <p>POBLACIÓN:</p> <p>Realización de la mezcla Con el aporte de material reciclado de pavimentos flexible para una mezcla asfáltica nueva.</p> <p>MUESTRA:</p> <p>Briquetas de la mezcla experimental, con el aporte de residuos de pavimento flexible envejecido.</p>

		Ingeniería, Trabajo de Graduación Preparado para la Facultad de Ingeniería, para optar al grado de Doctor Internacional por la Universidad de Granada Mag. José Martínez Echavarría Romero.	pavimento envejecido.	flexible		
--	--	---	-----------------------	----------	--	--