



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE
PAVIMENTOS CON LA REUTILIZACION DE MATERIALES
RECICLADOS EN VIAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN
ROMAN, PUNO - 2017”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER
ALBERTO MARCELINO GONZALES QUISPE**

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

**JULIACA – PERÚ
DICIEMBRE, 2017**

DEDICATORIA

"Esta tesis se la dedico a Dios, quien nos concede el privilegio de la vida y nos ofrece lo necesario para lograr nuestras metas. Eres quien guía el destino de mi vida".

A mi madre Yolanda Quispe Vda. de Gonzales, por su apoyo y comprensión, a mi padre Justo Pastor Gonzales Velarde (QEPD) que con sus sabios consejos orientaron pasos.

A mis hermanos que con su apoyo moral ayudaron a no abandonar la batalla contra la adversidad.

A la Universidad Alas Peruanas, que me dio la oportunidad de ser parte de ella y por la formación profesional brindada, a cada uno de los docentes que me enseñaron lo mejor de la carrera y de la Universidad. Muchas Gracias.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Alas peruanas, por permitirme convertirme en profesional.

Quiero agradecer a todos los maestros que hicieron parte de este proceso integral de formación y me enseñaron valorar los estudios y a superarme cada día.

También agradezco a mis padres por su permanente apoyo y comprensión.

Le agradezco a Dios por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino.

Y a todas aquellas personas que siempre estuvieron apoyándome en las malas y en las buenas.

Muchas Gracias

RESUMEN

El reciclaje y su reutilización que se pretende abordar en el presente trabajo, se fundamenta en el uso de los materiales de base y sub base antiguos y que puedan ser mejorados con adición de suelos de cantera, con las granulometrías requeridas; los residuos de las carpetas asfálticas de pavimentos antiguos no deben eliminarse, puesto que estos triturados y adicionados a suelos de cantera pueden mejorar sus propiedades mecánicas; finalmente las losas retiradas de pavimentos rígidos son ideales para obtener agregados reciclados, los que adicionados a agregados naturales, también permite producir concreto de resistencias según normatividad. El objetivo principal del presente estudio es Analizar el comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno -2017. Metodológicamente la presente investigación asumió el diseño no experimental transversal, que implica de acuerdo a las características y profundidad del estudio, un nivel de investigación explicativo. Los resultados evidencian que los residuos de pavimentos rígidos, pueden ser reciclados para la obtención de agregados reciclados, y ser utilizados nuevamente en concretos para vías; sin embargo se ha verificado que con reemplazos mayores del 10 % de agregados reciclados disminuyen la resistencia del concreto; la resistencia a la compresión del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con 70% de agregado grueso natural y 30% de agregado grueso reciclado ha alcanzado a un concreto $f'c= 205 \text{ kg/cm}^2$, que significa una disminución de resistencia del 5 %; siendo este resultado manejable, pero posible el reciclaje de agregados.

Palabras clave: Comportamiento mecánico, reutilización de materiales reciclados, pavimentos.

ABSTRACT

The recycling and reuse that is intended to be addressed in the present work, is based on: the old base and sub base materials can be improved with the addition of quarry soils, in the required granulometries; then the residues of the asphalt paving of old pavements should not be abandoned, since these crushed and added to quarry soils can improve their mechanical properties; Finally, the slabs removed from rigid pavements are ideal for obtaining recycled aggregates, which added to natural aggregates, also allows to produce concrete resistance standards. Analyze the mechanical behavior of pavements with the reuse of recycled materials in roads of San Miguel, San Roman, Puno -2017. Methodologically, the present research assumed the non-experimental, transversal design. According to the characteristics and depth of the study, it corresponds to the level of explanatory research. The results show that the waste of rigid pavements can be recycled to obtain recycled aggregates, and be used again in concrete for roads; however it has been verified that with replacements greater than 10% of recycled aggregates decrease the strength of the concrete; the resistance to the understanding of concrete $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ with 70% of natural coarse aggregate and 30% of coarse aggregate recycled has reached a concrete $f'c = 205 \text{ kg / cm}^2$, which means a decrease in strength of the concrete 5 %; being this result manageable, but possible the recycling of aggregates.

KEY word: Mechanical behavior, reuse of recycled materials, pavements.

INTRODUCCION

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de la meteorología y calidad de los materiales. Estos factores, junto con el envejecimiento natural de los componentes del pavimento, hacen que (Pavimento flexible y rígido) sufra un proceso de deterioro que conlleva una disminución paulatina en los niveles de seguridad del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación, requiriendo un presupuesto necesario para el mantenimiento.

En estos últimos años, se han realizado bastantes proyectos de ejecución de vías urbanas, en la ciudad de Juliaca, impulsando de esta manera el desarrollo económico de la ciudad, con un transporte más rápido y seguro.

Algunos proyectos de pavimentación de vías se han realizado muchas veces con marcadas deficiencias en el proceso de construcción y especialmente en el empleo de materiales de baja calidad y acompañado del clima de la ciudad (lluvias constantes), todos estos factores generan un deterioro acelerado de los pavimentos generando que el presupuesto del mantenimiento de los mismo sea mayor, recursos que muchas veces los distritos de la Provincia de San Román no cuentan.

Viendo la problemática antes expuesta consideramos la reutilización de material de reciclaje como alternativa para racionalizar recursos de mantenimiento de vías, y a la vez preservar el medio ambiente.

El presente trabajo, se fundamenta en:

- Mejoramiento de base y sub base antiguos con adición de suelos de cantera, con las granulometrías requeridas.
- Uso de residuos de carpetas asfálticas de pavimentos antiguos triturados y adicionados a suelos de cantera para mejorar las propiedades mecánicas.
- Uso losas retiradas de pavimentos rígidos para obtener agregados reciclados, los que, adicionados a agregados naturales, también permite producir concreto de mayor resistencia según normatividad.

Con estas tres propuestas se quiere demostrar que, todos los materiales de pavimentos antiguos, pueden utilizarse nuevamente en los mismos pavimentos nuevos, pero mejorarlos con adición de otros materiales, y a la vez preservar el medio ambiente que es otro de los objetivos del desarrollo del presente trabajo.

En lo que respecta al control de calidad de materiales reciclados empleados en la construcción de vías están: análisis granulométrico, clasificación de suelos, límites de consistencia, compactación, ensayos de abrasión; entre otros.

INDICE

CARATULA	
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCION.....	V
INDICE.....	VII

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.2.1. Delimitación espacial.....	1
1.2.2. Delimitación temporal.....	2
1.2.3. Delimitación social/conductual.....	2
1.2.4. Delimitación conceptual.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. Problema General.....	2
1.3.2. Problemas Específicos.....	3
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. FORMULACION HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.5.1. Hipótesis General.....	4
1.5.2. Hipótesis Específica.....	4
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6.1. Variable independiente.....	4
1.6.2. Variable dependiente:.....	4
1.6.3. Operacionalización de Variables.....	5
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.1. Tipo de investigación.....	6
1.7.2 Nivel investigación.....	6
1.7.3 Metodos de investigación.....	6

1.7.4. Diseño de investigación.....	6
1.8. Población y muestra de la investigación	8
1.8.1 Población	8
1.8.2 Muestra	8
1.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
1.9.1 Técnicas	8
1.9.2 Instrumentos.....	8
1.10.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.10.1.Justificación.....	9
1.10.2 Importancia	9
1.10.3.Limitaciones	10

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1.1. Primer Antecedente.....	11
2.1.2. Segundo Antecedente	11
2.1.3 Tercer Antecedente.....	12
2.1.4 Cuarto Antecedente	12
2.2. BASES TEORICAS.....	14
2.2.1. Desarrollo de conceptos basicos de pavimentos flexibles	14
2.2.1.1. Pavimento	14
2.2.1.2. Tipos de pavimentos.....	15
2.2.2. Componentes estructurales del Pavimento Flexible	16
2.2.2.1. Terreno de Fundación	17
2.2.2.2. Terraceria.....	17
2.2.2.3. Subrasante.....	17
2.2.2.4. Pavimento	18
2.2.3. Ventajas y Desventajas de un pavimento Flexible	21
2.2.3.1. Ventajas	21
2.2.3.2. Desventajas	21
2.2.4. Conceptos Básicos de Reciclaje de Pavimentos.	21
2.2.4.1. Que es Reciclar	21
2.2.4.2. Por qué Reciclar	21
2.2.4.3 Que es el Reciclaje de Pavimentos	22
2.2.4.4. Ventajas del Reciclaje de Pavimentos	23

2.2.4.5. Técnicas de Reciclaje.....	24
2.2.4.6. ¿Qué es Mezclar Reciclada?.....	24
2.2.5. Daños en Pavimentos Flexibles	24
2.2.6. Figuras y Grietas	25
2.2.6.1. Fisura Piel de Cocodrilo	25
2.2.6.2. Fisura en Bloque	27
2.2.6.3. Fisura en Arco.....	29
2.2.6.4. Fisura Transversal	30
2.2.6.5. Fisura Longitudinal.....	32
2.2.6.6. Fisura por Reflexión de Junta	35
2.2.7. Deformaciones Superficiales	37
2.2.7.1. Ahuellamiento	37
2.2.7.2. Corrimiento	49
2.2.7.3. Corrugación	40
2.2.7.4. Hinchamiento	41
2.2.7.5. Hundimiento.....	42
2.2.8. Desintegración del Pavimento	43
2.2.8.1. Bache.....	43
2.2.8.2. Peladura	45
2.2.8.3. Desintegración de Borde.....	46
2.2.9. Otros Deterioros en los Pavimentos	47
2.2.9.1. Exudación de asfalto.....	47
2.2.9.2. Parchados y Reparaciones de Servicios Públicos.....	49
2.2.10. Consideraciones Generales, Especificaciones Técnicas y Mezcla Reciclada	50
2.2.11. Consideraciones Ambientales	51
2.2.11.1. Disposiciones de Material Sobrante y Desechos	51
2.2.11.2. Sobre los Campamentos	52
2.2.11.3. Sitios de Préstamo.....	53
2.2.11.4. Localización de la Planta Asfáltica y el Transporte de Asfalto.....	53
2.2.12. Actividades de Mantenimiento.....	54
2.2.12.1. Sello de Grietas	54
2.2.12.2. Sello de Fisuras	56
2.2.12.3. Bacheo Superficial.....	59
2.2.12.4. Bacheo Profundo.....	61

2.2.13. Agentes Estabilizadores Ceméntales	64
2.2.13.1. Estabilización con Cemento.....	65
2.2.13.2. Agrietamiento del Material Tratado con Cemento	66
2.2.13.3. Criterios de Capas Estabilizadas con Cemento	69
2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	70

CAPITULO III

PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION

3.1. Canteras a Utilizar.	73
3.1.1. Población	73
3.1.2. Muestra.	73
3.1.3. Metodología para el Tratamiento de la Variable Independiente.	73
3.1.4. Metodología para Tratamiento de la Variable Dependiente	74
3.1.5. Metodología para Reciclar los Suelos de base mejorando con Adición de Suelos de cantera	75
3.1.5.1. Diagrama de Flujo del Procedimiento de Reciclaje de Suelos adicionando Suelos de Cantera	76
3.1.6. Metodología para el Reciclaje de Residuos de Mezclas Asfálticas de Pavimentos Flexibles	79
3.1.6.1. Diagrama de Flujo del Procedimiento de Reciclaje de Mezclas Asfálticas en Material de Base.....	77
3.1.7. Metodología para el Concreto con Agregados Naturales y Reciclados.	78
3.1.7.1. Diagrama de Flujo del procedimiento de Reciclaje de Agregados para Produccion de Concreto	79
3.1.7.2. Diseño de Mezclas de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con Agregados Naturales.....	79
3.2. RECICLADO DE PAVIMENTOS	84
3.2.1. Evaluacion de Materiales para la Mezcla en Frio	85
3.2.2. Muestra de Campo	85
3.2.3. Pavimento Asfáltico Recuperado (rap).....	86
3.2.4. Agregado Material Recuperado (ram).....	87
3.2.5. Nuevos Agregados	88
3.2.6. Agentes Estabilizadores	88
3.3. DISEÑO DE MEZCLA DE RECICLADO EN FRIO	90
3.3.1. Pasos de Preparacion.....	91

3.3.2. Diseño de la Mezcla	91
3.4. EVALUACION DE MATERIAL PARA LA MEZCLA EN CALIENTE	95
3.4.1. Pruebas	95
3.4.2. El Pavimento Asfáltico a Reciclar.....	96
3.4.3. Asfalto Nuevo	99
3.5. AGENTES DE RECICLAJE.....	100
3.5.1. Agregado sin Tratar	100
3.5.2. Combinacion de Agregados.....	101
3.6. DISEÑO DE MEZCLA DE RECICLADO EN CALIENTE	102
3.6.1. Pasos de Preparacion	102
3.6.2. Diseño de la Mezcla	103
3.7. IMPORTANCIA DEL RECICLADO EN PAVIMENTOS.....	109
3.7.1. Selección de Alternativas.....	110
3.8. PROPUESTRAS DE CAMPOS DE APLICACIÓN DE RECICLAJE EN PAVIMENTOS	112
3.9. RECICLADO EN PAVIMENTOS ASFALTICOS	114
3.9.1. Tipos de Reciclados.....	114
3.9.2. Ventajas del Reciclado	115
3.9.3. Reciclado Superficial	116
3.9.4. Reciclado IN SITU	119
3.9.5. Reciclado en Planta.....	119

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaluacion de Resultados.....	120
4.2. Resultados de Ensayos Efectuados en Muestras de Suelos de Base en la Av. Circunvalacion.....	120
4.2.1. Caracteristicas Granulometricas y clasificacion de suelos de Base del Ovalo Pedro Vilcapaza de Juliaca.....	120
4.2.2. Caracteristicas de Limites de consistencia y compactacion de Suelos de Base del ovalo Pedro Vilcapaza de juliaca.	121
4.2.3. Mejoramiento de Granulometria y Clasificación de Suelos Reciclados Evaluacion de Resultados.	122
4.2.4. Mejoramiento de limites de consistencia y Compactacion con Proctor modificado de Suelos Re ciclados.....	124

4.3. Analisis Comparativo de Caracteristicas Mecanicas de Suelos a Reciclar y Mejorados	125
4.3.1. Comparacion de Caracteristicas Granulometricas	125
4.3.2. Comparacion de Caracteristicas de Clasificacion de Suelos	126
4.3.3. Comparacion de caracteristicas de limites de Consistencia en Suelos Reciclados Mejorados.....	126
4.3.4. Comparacion de Caracteristica de densidades Seca por Compactacion en Proctor Modificado.....	127
4.4. Determinacion de Caracteristicas Granulometricas y Clasificacion de Suelos de la Cantera Taparachi de Juliaca	128
4.4.1. Determinacion de Caracteristicas de Limites de Consistencia y Compactacion de Suelos de la Cantera de Tarapachi de Juliaca... 128	
4.4.2. Determinacion de las Caracteristicas Granulometricas y Clasificacion de Suelos con Adicion del 3% de residuos de Mezclas Asfalticas Trituradas.....	129
4.4.3. Determinacion de las Caracteristicas de Limites de Consistencia y Compactacion de Suelos con Adicion del 3% de Residuos de Mezclas Asfalticas Trituradas.....	129
4.4.4. Determinacion de las Caracteristicas Granulometricas y Clasificacion de Suelos con Adicion del 5% de residuos de Mezclas Asfalticas .	130
4.4.5. Determinacion de las Caracteristicas de Limites de Consistencia y Compactacion de Suelos con Adicion del 5% de residuos de Mezclas Asfalticas Trituradas.....	131
4.4.6. Determinacion de las Caracteristicas Granulometricas y Clasificacion de Suelos con Adicion del 10% de residuos de Mezclas Asfalticas Trituradas.....	131
4.4.7. Determinacion de las Caracteristicas de Limites de Consistencia y Compactacion de Suelos con Adicion del 10% de residuos de Mezclas Asfalticas Trituradas.....	132
4.5. Analisis Comparativo de Variacion de Caracteristicas Mecanicasde Suelos Adicioados con Mezclas Asfalticas.....	133
4.6. Produccion de Concreto con Agregados Naturales y Reciclados.....	136
4.6.1. Caracteristicas Fisicas de Agregados Naturales de la Cantera Isla	136
4.6.2. Caracteristicas Resistentes de Agregados Naturales de la Cantera Isla.....	137
4.6.3. Caracteristicas Fisicas de Agregados Gruesos Resicladados.....	138

4.6.4. Características Resistentes de Agregados Reciclados	138
4.6.5. Resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto de F ^c =210Kg/m ² con Agregados Naturales	139
4.6.6. Resultado de la Resistencia a la Compresión del Concreto f ^c =210 kg/m ² con 70 % Agregado grueso Natural y 30 % de Agregado Grueso Reciclado	140
4.6.7. Resultado de la Resistencia a la Compresión del Concreto f ^c =210 kg/m ² con 50 % Agregado grueso Natural y 50 % de Agregado Grueso Reciclado	141

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
Anexo 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	151
Anexo 2 ENSAYOS DE LABORATORIO	153

LISTA DE TABLAS

- Tabla I.1. Factores de análisis del diseño de investigación
- Tabla II.1. Niveles de severidad en función a la profundidad del bache
- Tabla III.1. Estabilización por combinación de suelos
- Tabla III.2. Estabilización por combinación de suelos
- Tabla III.3. Matrices
- Tabla III.4. Principales ventajas de las técnicas de reciclado
- Tabla IV.1. Resultado de características granulométricas y clasificación de suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca
- Tabla IV. 2.Resultados de características de límites de consistencia y compactación de suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca
- Tabla IV.3. Resultado de características mejoradas en granulometría y clasificación de suelos de base con adición de material de cantera
- Tabla IV.4. Resultado de características mejoradas en los límites de consistencia y compactación de suelos de base y mejorados con adición de material de cantera
- Tabla IV.5. Cuadro comparativo de resultados de análisis granulométrico
- Tabla IV.6. Cuadro comparativo de resultados de clasificación de suelos
- Tabla IV.7. Cuadro comparativo de límites de consistencia
- Tabla IV.8. Cuadro comparativo de densidad seca por compactación en proctor modificado
- Tabla IV.9. Resultado de los análisis granulométricos y clasificación de suelos de cantera de Taparachi de Juliaca
- Tabla IV.10. Resultado del ensayo de límites de consistencia y compactación de suelos de cantera de Taparachi de Juliaca
- Tabla IV.11. Resultados de ensayos de granulometría y clasificación de suelos con adición del 3 % de residuos de mezcla asfálticas trituradas
- Tabla IV.12. Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 3 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas
- Tabla IV.13. Resultados de las características granulométricas y clasificación de suelos con adición de 5 % de residuos de mezclas asfálticas
- Tabla IV.14. Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 5 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas
- Tabla IV.15. Resultados de ensayos de granulométricas y clasificación de suelos con adición del 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.

- Tabla IV.16. Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
- Tabla IV.17. Resultado de análisis comparativo de la granulometría de suelos con adición de residuos de mezclas asfálticas
- Tabla IV.18. Resultado de análisis comparativo de la clasificación de suelos con adición de residuos de mezclas asfálticas.
- Tabla IV.19. Resultado comparativo de límites de consistencia con adición de residuos de mezclas asfálticas.
- Tabla IV.20. Resultado compartido de la densidad seca por compactación en suelos adicionados con residuos de mezclas asfálticas.
- Tabla IV.21. Características físicas de agregados naturales de la cantera: isla - Juliaca
- Tabla IV.22. Características resistentes de agregados cantera: isla - Juliaca
- Tabla IV.23. Características físicas de agregados reciclados
- Tabla IV.24. Características resistentes de agregados gruesos reciclados
- Tabla IV.25. Resultado de ensayos a la compresión del concreto de $f'c=210$ kg/m² con agregados naturales.
- Tabla IV.26. Resultado de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/m² con 70 % agregado grueso natural y 30 % de agregado grueso reciclado
- Tabla IV.27. Resultado de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/m² con 50 % agregado grueso natural y 50 % de agregado grueso reciclado.

LISTA DE FIGURAS

- Figura I.1. Operacionalización de variables
- Figura II.1. Esquema de estructura del pavimento
- Figura II.2. Estructura de un pavimento flexible
- Figura II.3. Proceso de reciclaje
- Figura II.4. Fisura transversal
- Figura II.5. Daño por huellamiento
- Figura II.6. Daño por corrimiento
- Figura III.1. Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de mezcla en frío
- Figura III.2. Muestra separada del asfalto, es a la que se toma la granulometría
- Figura III.3. Aparato centrífugo, separa los agregados finos del asfalto-solvente
- Figura III.4. Carta de viscosidad del asfalto para mezcla

CAPITULO I :

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La mayoría de los problemas ambientales que padecemos son debido a la generación de los residuos y que estos sean vertidos al medio ambiente, contaminando el agua, suelos y aire; paralelo a ello degradando los sistemas naturales. Tomando en consideración que, en el distrito de San Miguel, las vías construidas han cumplido su vida útil; por la presencia de vehículos de mayor peso y la mayor circulación, éstas han sido nuevamente construidas; eliminándose todo el material de estructura de la vía antigua; contaminando el medio ambiente, sin pensar que estos han podido ser reciclados.

La eliminación de estos materiales de construcción producto de demolición de vías antiguas ha generado un gasto adicional, a la municipalidad, tanto en el traslado de los mismos, como el uso de compactadoras.

Razón que nos permite plantear el reciclado y reutilización de material de estructura de vías antiguas, en el mejoramiento de la base y sub base del pavimento y ver su comportamiento mecánico.

Con el presente estudio, se pretende dar un uso adecuado a los desechos de materiales de construcción de vías antiguas, y de esta manera proteger a la vez el medio ambiente, con un control debidamente monitoreado.

1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Delimitación espacial

El presente trabajo investigación toma como delimitación espacial el distrito de San Miguel, se debe indicar que la ciudad presenta

gran cantidad de vías donde se elimina material de estructura de pavimentos el cual contamina el medio ambiente.

1.2.2 Delimitación temporal

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo a partir de julio del 2017 hasta diciembre del 2017, tiempo que permitirá desarrollar y mostrar los resultados de la investigación.

1.2.3 Delimitación social/conductual

Esta investigación permitirá conocer aspectos relevantes en cuanto al reciclado y reutilización de residuos de construcción, ya que en la actualidad estos aspectos no son muy difundidos en nuestra realidad, por lo que es importante realizar el estudio ya que contribuirá a mejorar los aspectos que se deben tomar en cuenta, cuando se hace una demolición de una vía y posterior uso de la misma.

1.2.4 Delimitación Conceptual

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales: como parámetros de diseño de materiales reciclados y reutilización en construcción de vías, ambos conceptos direccionaran el presente trabajo de investigación.

1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION

1.3.1. Problema General

¿Cómo será el comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno -2017?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo será el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de un suelo reciclado en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno?
- ¿Cómo será el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de mezcla asfáltica reciclado en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno?
- ¿Cómo será el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de agregados reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno -2017

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de un suelo reciclado en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno
- Analizar el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de mezcla asfáltica reciclado en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno.
- Analizar el comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de agregados reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno.

1.5. FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE INVESTIGACION

1.5.1. Hipótesis general

El comportamiento mecánico de pavimentos es óptimo con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno -2017.

1.5.2. Hipótesis específico

- El comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de un suelo reciclado es óptimo en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno.
- El comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de mezcla asfáltica reciclado es óptimo en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno.
- El comportamiento mecánico de pavimentos con la adición de agregados reciclados es óptimo en vías del distrito de San Miguel, San Román, Puno.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Variable independiente

- PAVIMENTOS

Indicadores:

- Estructura
- Superficie de rodadura

1.6.2. Variable dependiente

MATERIALES RECICLADOS Y SU REUTILIZACION

Indicadores:

- Análisis granulométrico
- Límites de consistencia
- Proctor modificado

1.6.3 Operacionalización de Variables.

Figura I.1.
Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE (X) PAVIMENTOS	Adición de materiales reciclados	% de suelo reciclado % de mezcla de asfalto % de agregados reciclados
VARIABLE DEPENDIENTE (Y) DE MATERIALES RECICLADOS	propiedades mecánicas del suelo con la adición de un suelo reciclado	– Análisis granulométrico – Límites de consistencia – Proctor modificado
	propiedades mecánicas de suelo con la adición de mezcla de asfalto reciclado	– Análisis granulométrico – Límites de consistencia – Proctor modificado
	propiedades mecánicas del concreto con la adición de agregados reciclados	– Características resistentes de los Agregados – resistencia a la compresión – diseño de mezclas

Fuente: Elaboración propia.

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo de investigación

El presente estudio asume el enfoque cuantitativo, se obtendrán los datos a través de ensayos de laboratorio, el propósito de estudio es de tipo básico y está orientado a determinar los parámetros de diseño de materiales de reciclado para su reutilización, mediante ensayos de laboratorio, por la naturaleza de estudio que es: Experimental.

1.7.2 Nivel de investigación

De acuerdo a las características y profundidad del estudio, corresponde al nivel de investigación explicativo, porque se argumentará la reutilización de los materiales reciclados demostrados a través de ensayos, donde se pretende aplicar los resultados a situaciones reales donde se ejecuten obras con materiales reciclados.

1.7.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se utilizará todos los pasos del método científico y como método general se utilizará el método deductivo.

1.7.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación asume el diseño experimental transversal, que por sus características peculiares posee la validez interna y externa, y consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después realizar medición de una o más variables para observar cuál es el comportamiento de estos, en el presente estudio se adicionara materiales reciclados en estructuras de pavimento.

Dado que los objetos no se asignan al azar sino a los grupos, ni se emparejan, porque tal grupo ya existe como grupo intacto como comenta (Estévez Cullell, 2004) corresponde al diseño factorial, correspondiente a los diseños experimental puro como manifiesta Hernández y Baptista (Hernández, Baptista, & Fernández, 2006), debido a que se manipula dos variables Independientes; como factor 01, 02, (bloque; 1,2,) y factor 03 y 04 (bloque;3,4) para conocer la eficacia los resultados que se desea en la variable dependiente (ponderación exámenes de respuesta abierta) en la población en estudio, para lo cual se utilizará el siguiente esquema:

Tabla I.1.
Factores de análisis del diseño de investigación

BLOQUES	Factor 01	Factor 02	Factor 03	Factor 04
B1	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01
B2	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01
B3	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01
B4	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01

Fuente Elaboración propia.

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Población

El desarrollo del trabajo, considera como población de estudio todo material en demolición de las estructuras del Distrito de San Miguel, a fin de mejorarlos con otros de primer uso y se empleen en la construcción de nuevas vías.

1.8.2 Muestra

Los parámetros de diseño considerados en el presente trabajo están orientados al empleo de los mismos materiales que se tiene en las estructuras de vías antiguas, al adicionarlos con materiales de cantera, para que mejoren las características mecánicas para tener estructura más resistentes en las vías nuevas y también el empleo de los residuos de mezclas asfálticas en abandono, adicionados a suelos de cantera también permita lograr mejores características mecánicas; finalmente los pavimentos rígidos pueden ser tratados para obtener agregados reciclados para la producción de concretos para pavimentos rígidos, todo ello en el distrito de San Miguel.

1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 Técnicas

- Toma de muestras:
- Mediciones
- Ensayo de laboratorios

1.9.2 Instrumentos

- Equipos de laboratorio
- Instrumentos de medición

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.10.1 Justificación

Las estrategias de los sistemas técnicos tradicionales para obtener el máximo de utilidad de los materiales extraídos del medio son: reconocer la mayor cantidad posible de fuentes de recursos ofrecidos por el medio, incrementar la productividad del medio en los materiales de construcción empleados. Por tanto, el sector de la construcción requiere, de un cambio significativo de estrategia para acercarse a la sostenibilidad. Un cambio que debe incluir estrategias globales en el sector construcción, pero también estrategias sectoriales de fabricación que deben aprovechar las oportunidades que cada uno de ellos representa; en primer lugar la construcción debe adoptar una estrategia de retorno indiscriminado de los recursos naturales para su producción, y pueda garantizarse el mantenimiento del medio natural; en este aspecto se tiene la extracción de agregados para el concreto, de suelos de canteras para vías, suelos para rellenos. Con el reciclado de los RCD (Residuos de Construcción y Demolición) puede lograrse un desarrollo sostenible en la construcción; objetivo principal del desarrollo de este trabajo.

1.10.2 Importancia

Los materiales de construcción empleados de estructuras antiguas en vías, pueden ser reciclados con la adición de materiales faltantes para una nueva estructura de la vía, acortándose los tiempos de ejecución de la obra; con la consecuencia de abreviar molestias que se ocasionan a los propietarios de viviendas que se encuentra en el entorno de la vía; por otro lado posibilita la toma de conciencia de la acción de reciclaje en las personas; motivando que estas acciones pueden ser tomadas en cuenta en actividades propias en cada vivienda involucrada.

La producción de RCD, se incrementa cada vez en volumen en todo lugar del planeta; fundamentalmente en las ciudades; puesto que las primeras construcciones, ya cumplieron su vida útil y las personas requieren de nuevas construcciones, para ello se sigue empleando materiales de construcción primarios, es decir recién utilizados, lo que trae como consecuencia una mayor explotación de los recursos naturales. Por otro lado, los RCD, no tienen un manejo responsable en las ciudades, las autoridades de cada lugar se limitan al traslado y abandono, ocasionando contaminaciones al agua, aire y suelos.

1.10.3 Limitaciones

La poca información existente sobre la reciclado y reutilización de los materiales en nuestro medio es una limitante, ya que no se tiene referencias sobre estudios anteriores en nuestro medio, que permita tener una validación de estos aspectos, así mismo para realizar este tipo de estudios se requiere la coordinación con las instituciones pertinentes que muestran poco interés por realizar este tipo de estudios.

CAPITULO II :

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1 PRIMER ANTECEDENTE

Según Montejo, (2005), se entiende por reciclaje de pavimentos, la reutilización de materiales que forman parte de alguna de las capas estructurales de pavimentos existentes y que han cumplido su finalidad inicial, mediante la transformación de un pavimento degradado en una estructura homogénea y adaptada al tráfico que debe soportar. Las técnicas y metodologías que se han desarrollado para el reciclaje de pavimentos obedecen. Los tratamientos utilizados parten de un principio físico-mecánico esencial que consiste en la buena gradación del material existente como residuo, puesto que ese material ya sufrió los procesos de selección, clasificación y trituración, que lo hicieron apto para la producción de materiales que conforman las estructuras de pavimento (bases granulares y mezclas asfálticas).

2.1.2 SEGUNDO ANTECEDENTE

Otro antecedente se refiere al estudio realizado el 2014: La evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, Pablo José Hernández Hernández Colombia. En el que concluye el empleo de pavimentos reciclados promete un menor consumo de recursos naturales y energía, considerado como un material de desecho en la construcción de estructuras de pavimento nuevas, ofrece una disminución en los costos de los proyectos viales, lo que facilita la viabilidad de desarrollar proyectos que no podrían materializarse empleando materiales y técnicas convencionales de construcción. Adicionalmente, la utilización de material reciclado, genera la posibilidad de habilitar vías, que nunca han tenido una estructura de pavimento adecuada y mejorar la calidad de vida de las personas. Consecuentemente en esta investigación se caracterizó de manera

integral el material de desecho denominado, mediante la realización de ensayos granulométricos debido a que se necesitaba conocer a fondo las propiedades de este material como granular.

2.1.3 TERCER ANTECEDENTE

Mezclas asfálticas recicladas y su uso en capas granulares para pavimentos

Edgar Iván Guio Vargas 1 , Héctor Mauricio Sánchez Abril 2015 Colombia
Con la elaboración de este estudio se pretendió mejorar las especificaciones técnicas y controles de calidad con base a nuevos procedimientos constructivos, (materiales y pruebas experimentales), Este estudio se enfocó en la necesidad de reutilizar materiales sobrantes producto de la rehabilitación y reconstrucción de vías (concreto asfáltico), el cual fue adquirido por rompimiento (Martillo Neumático) y así se utilizó como material de adición para transformar capas granulares tales como Base y Sub Base. La investigación se realizó con asfalto reciclado proveniente de tres puntos diferentes de la ciudad de Tunja (Boyacá), los cuales presentaron diferentes contenidos de asfalto y variación en los tamaños de sus partículas, todo esto se evidenció gracias a los laboratorios que determinaron su distribución y propiedades físicas. Después de la etapa de clasificación de los materiales se verificó el comportamiento del material natural y mezclado en varias proporciones con ensayos de Próctor y CBR, estas adiciones (asfalto reciclado + base granular) y (asfalto reciclado + sub base granular) generaron una disminución de capacidad de soporte en determinadas condiciones de compactación. Siendo así se determinó que las mezclas hechas con Sub Base granular cumplen los parámetros exigidos requisito de los agregados para afirmados, sub bases granulares y bases granulares).

2.1.4 CUARTO ANTECEDENTE.

Tema: Empleo de agregados reciclados para concreto de baja y mediana resistencia. Cap de ingeniería civil – UANCV – 2013. Autores : Bach. Edwin Toque Quispe, Bach. Omar David Chuquija Vilca.

RESUMEN. La reutilización y reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras, es una de

las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en ese sector.

En el caso específico de la Región Puno, esta cuenta con grandes cantidades de recursos referidos para la construcción del concreto; sin embargo, se descuida el manejo de los residuos de la construcción que generalmente se destinan a depositarlos fuera de la población en abandono, donde genera contaminación ambiental. Particularmente en la ciudad de Juliaca estos últimos años se viene renovando muchas edificaciones y pavimentos; caso Centro de Salud Cono Sur como edificación, Jr. Moquegua salida Arequipa, salida a Puno, etc.; donde los residuos extraídos de las referidas obras se han trasladado a área baja de la ciudad y se ha dejado en abandono.

La mayoría de los problemas ambientales que padecemos son debido a la generación de residuos y que estos sean vertidos al medio ambiente, generando problemas de contaminación tanto en el aire, suelo y agua.

El monto total disponible de un recurso y de las utilidades sociales que aporta debe ser proporcional a la velocidad de su reciclado en el medio. Ante estos hechos nos hemos propuesto en desarrollar el presente trabajo de investigación, con la intención de reciclar reutilizar estos residuos de la construcción en la producción de concretos de baja y mediana resistencia.

CONCLUSIONES:

1. En la ciudad de Juliaca, cada cierto tiempo a removerse los pavimentos rígidos en los jirones, los RCD se ubican en lugares fuera de la ciudad en calidad de abandono, ocasionando significativos impactos ambientales negativos, que se puede aprovechar con cierta ventaja para la obtención de agregados reciclados para la producción de concreto.
2. En el desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha demostrado que las características físicas y resistentes de los agregados reciclados tienen valores ligeramente menores que los agregados naturales de primer uso.
3. En el desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha demostrado que las características físicas y resistentes de los agregados reciclados tienen valores ligeramente menores que los agregados naturales de

primer uso; por lo que es posible la producción de concretos de mediana resistencia a la compresión

2.2 BASES TEORICAS.

2.2.1 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

2.2.1.1 PAVIIMENTO.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo

dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes. (AGUIRRE, R. 1997).

2.2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.

Básicamente existen dos tipos de pavimentos:

- Rígidos.
- Flexibles.

A. PAVIMENTO RÍGIDO.

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

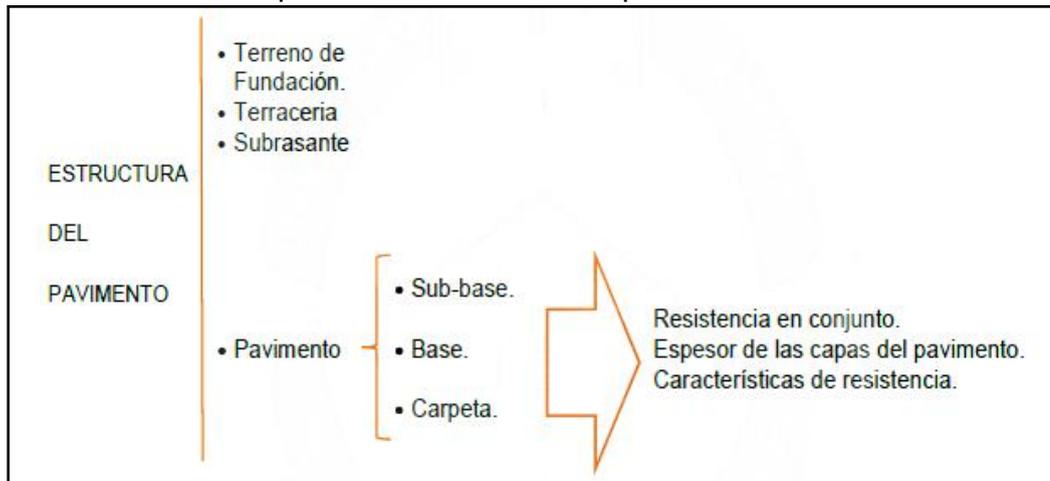
B. PAVIMENTO FLEXIBLE.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base. (AGUIRRE, R. 1997).

2.2.2 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

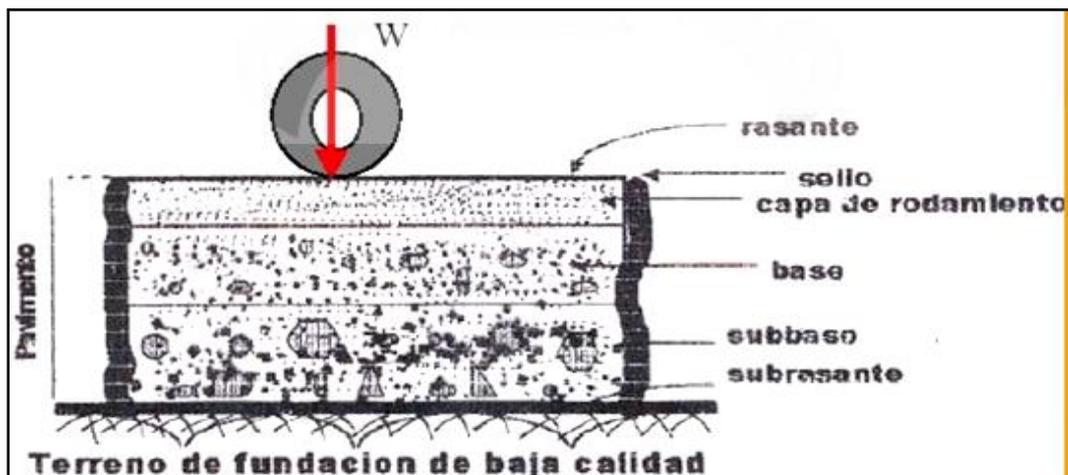
Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio. Estas características se pueden agrupar de la siguiente manera: (OSORIO, A. 1996).

Figura II.1.
Esquema de estructura del pavimento



Fuente: elaboración propia.

Figura II.2.
Estructura de un pavimento flexible



Fuente: "métodos para calcular espesores de pavimentos flexibles". Osorio.

2.2.2.1 TERRENO DE FUNDACIÓN.

Aunque no constituye parte del pavimento, es muy importante tener un conocimiento lo más completo posible de los suelos que constituyen el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros.

2.2.2.2 TERRACERÍA.

Se llama terracería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formada principalmente por la sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento. Cuando se va a construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como sub-yacente; la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm.

2.2.2.3 SUBRASANTE.

Los últimos 30 cm. De una terracería de corte o terraplén se conoce como sub-rasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente está formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m., debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Sub-rasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la Sub-rasante, tanto en el campo como en el laboratorio. Comprende

estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

2.2.2.4 PAVIMENTO.

1. SUB BASE.

Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

A. PRINCIPALES FUNCIONES DE LA SUBBASE.

- Transmitir los esfuerzos a la capa Sub-rasante en forma adecuada.

- Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la sub-rasante de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.
- Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.
- Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que, por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base. (DELGADO, V. 2002).

2. BASE.

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

A. PRINCIPALES FUNCIONES DE LA BASE.

Las principales funciones de la base son:

- Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la sub-rasante, por medio de la sub base, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.
- Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar. (DELGADO, V. 2002).

3. CARPETA.

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino. (RODRIGUEZ, C. 2004).

2.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.1 VENTAJAS.

- Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.
- La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje. (RODRIGUEZ, C. 2004).

2.2.3.2 DESVENTAJAS.

- Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento. (RODRIGUEZ, C. 2004).

2.2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE RECICLAJE DE PAVIMENTOS.

2.2.4.1 QUE ES RECICLAR.

Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser REINCORPORADO, a un ciclo de producción o de consumo. (RIVERA, G. 1997).

2.2.4.2 PORQUÉ RECICLAR

- Proceso simple que ayuda a resolver muchos problemas creados por la vida moderna.

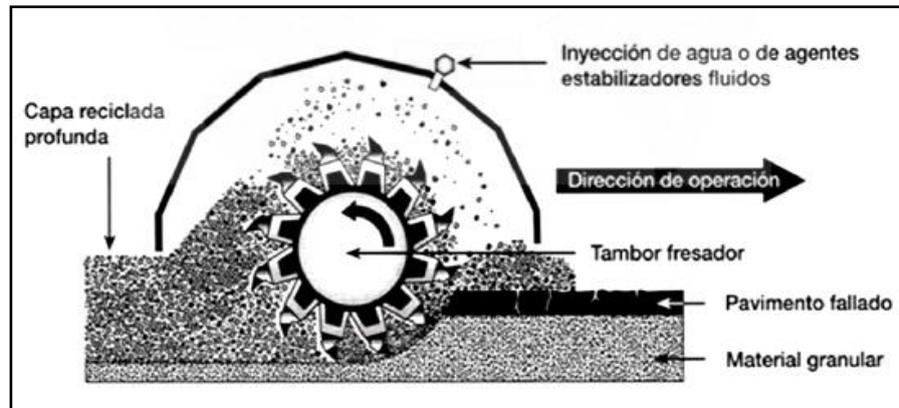
- Se salvan grandes cantidades de RECURSOS NO RENOVABLES.
- Genera economía favorable en los países. (RIVERA, G. 1997).

2.2.4.3 ¿QUE ES EL RECICLAJE DE PAVIMENTOS?

En la actualidad existen varios conceptos de reciclaje de pavimentos asfálticos entre los que podemos mencionar:

- El reciclado es una nueva alternativa técnica de rehabilitación de pavimentos, que consiste en la reutilización de los materiales en servicio, los que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales y cuyas características se desean mejorar.
- También es el procedimiento de ingeniería mediante el cual se emplea parte o la totalidad de una estructura de pavimentos bituminosos en la fabricación de una mezcla asfáltica de calidad superior a la existente o en la estabilización de sus capas granulares.
- El reciclaje de pavimento asfáltico es una tecnología especial que permite la reconstrucción de pavimentos envejecidos y/o deteriorados, empleando sus materiales de construcción originales. Esto es posible en la medida en que no haya llegado a un grado de degradación tal que no permita un rejuvenecimiento eficiente. (RIVERA, G. 1997).

Figura II.3.
Proceso de reciclaje



Fuente: reciclado de pavimentos en frío empleando emulsiones asfálticas. Rivera, g.

2.2.4.4 VENTAJAS DEL RECICLAJE DE PAVIMENTOS.

- Posibilita la mejora estructural del pavimento existente.
- Permite el uso de refinada técnica de control de calidad.
- Es aplicable a la solución de todos los problemas que afectan la capacidad resistente del pavimento.
- Facilita la eliminación de grietas reflejas.
- Permite corregir los diseños y/o elaboración incorrecta de las mezclas asfálticas existentes.
- Reduce los costos de reconstrucciones y obras de refuerzo estructural.
- Produce un efecto de conservación de las fuentes de materiales viales, de energía y de menor utilización de los caminos para el transporte de materiales viales.
- Permite la utilización de rejuvenecedores y/o mejoradores de cemento asfáltico, lo que confiere una más larga vida de comportamiento visco elástico de los pavimentos.
- Posee un menor grado de impacto ambiental. (SIECA, 2001).

2.2.4.5 TÉCNICAS DE RECICLAJE.

Existen dos grupos:

- Reciclado en frío.

El reciclado en frío: Generalmente in-situ, adolece de limitaciones técnicas en lo referente al logro de refinados y precisos procesos constructivos, por lo que produce estructuras de inferior calidad que las elaboradas con materiales de alta calidad.

- Reciclado en caliente.

El reciclado en caliente: producen estructuras de alta calidad comparables a los de los pavimentos realizados con materiales de alta calidad nuevas, elaboradas en caliente.

Se realiza según dos metodologías distintas, una in-situ y la otra realizada en planta.

2.2.4.6 ¿QUÉ ES MEZCLA RECICLADA?

La mezcla de concreto asfáltico reciclada es la preparada usando agregados recuperados, mezcla asfáltica recuperada, agregado nuevo, ligante asfáltico nuevo, agente de reciclaje y aditivos (si son necesarios). (SIECA, 2001).

2.2.5 DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En el presente capítulo se tratarán los daños que le ocurren a los pavimentos flexibles, además de una descripción detallada de estos y cuáles son las causas que los producen para que al final de cada ítem se dará una muestra fotográfica de estos deterioros que sufren estas clases de pavimentos para así poder diferenciarlos unos de otros.

Luego de darlos a conocer se presentarán los diferentes niveles de severidad que estos pueden presentar y la forma más correcta de cómo debe realizarse su medición para no tener dudas a la hora de clasificarlos y de esta forma poder darle un adecuado mantenimiento a la vía.

El objetivo de dar a conocer los diferentes tipos de daños, las causas que lo producen y como clasificarlos radica en que desempeñan un papel sumamente importante para definir el tipo de rehabilitación más apropiada incluyendo qué tipo de reciclaje se deberá aplicar para exitoso un proyecto. (SIECA, 2001).

2.2.6 FISURAS Y GRIETAS.

2.2.6.1 FISURA PIEL DE COCODRILO.

- 1. Descripción:** Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores.

En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentara fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamiento y baches.

2. Posibles causas: Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no presentan despostillamiento.
- **M (Mediano)** Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden presentar un moderado despostillamiento en correspondencia con las intersecciones.
- **A (Alto)** La red de fisuras ha progresado de manera de constituir una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos, con despostillamiento de severidad moderada a alta, a lo largo de sus bordes; algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidas al tránsito y/o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

4. **Medición:** Las fisuras Piel de Cocodrilo se miden en metros cuadrados de superficie afectada. La mayor dificultad en la medición radica en que dos o hasta tres niveles de severidad pueden existir dentro de una misma área fallada. Si estas porciones pueden ser distinguidas fácilmente, una de otra, se miden y registran separadamente. Si los distintos niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada. (SIECA, 2001).

2.2.6.2 FISURAS EN BLOQUE.

1. **Descripción:** Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². La fisura en bloque se presenta normalmente en una gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.
2. **Posibles causas:** Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento portland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no

está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Existen algunas de las siguientes condiciones:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 2mm con presencia de despostillamiento menor.
 - Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condiciones satisfactorias que no permiten la filtración de agua.

- **M (Mediano)** Existen algunas de las siguientes condiciones:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 2 y 5 mm.
 - Fisuras sin sellar de ancho promedio menor de 5 mm con presencia de despostillamiento menor.
 - Fisura sellada de cualquier ancho, sin despostillamiento o cuando éste es breve, pero el material de sello está en condiciones insatisfactorias.

- **A (Alto)** Existen algunas de las siguientes condiciones:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 5 mm.
 - Fisuras con presencia de despostillamientos severos.

4. Medición: Las fisuras en bloque se miden en metros cuadrados de superficie afectada. Normalmente ocurre a un nivel de severidad en una sección del pavimento, pero cuando se observe diferentes niveles de severidad se miden y registran separadamente, en caso que no se puedan diferenciar, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada. (SIECA, 2001).

2.2.6.3 FISURAS EN ARCO.

1. Descripción: Son fisuras en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito. Por ejemplo, si se frena el vehículo cuesta abajo, la dirección de las fisuras está cuesta arriba.

2. Posibles causas: Se producen cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie de pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combinan una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento. La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, son factores que con frecuencia conducen a tales fallas. Asimismo, espesores de carpeta muy reducidos sobre superficies pulidas, especialmente sobre pavimentos de concreto, suelen ser causas primarias en muchos casos. La causa también puede ser un contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) según las características de la fisura y el

estado del pavimento que las rodea, de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Las fisuras son de ancho promedio inferior a 3 mm.

 - **M (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Las fisuras son de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
 - Las áreas alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas por las piezas que se encuentran bien ligadas y firmes aún.

 - **A (Alto)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras de ancho promedio mayor de 6 mm.

 - El área alrededor de las fisuras se encuentra fracturada en trozos fácilmente removibles o que han desaparecido casi completamente.
- 4. Medición:** El área asociada con una determinada "fisura de arco" se mide en metros cuadrados, calificándolo de acuerdo con el máximo nivel de severidad observado en dicha área. Se totalizan los metros cuadrados afectados en la sección o muestra, separadamente según el nivel de severidad. (SIECA, 2001).

2.2.6.4 FISURA TRANSVERSAL.

- 1. Descripción:** Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento.

2. Posibles causas: Las posibles causas incluyen:

- a. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- b. Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
- c. Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

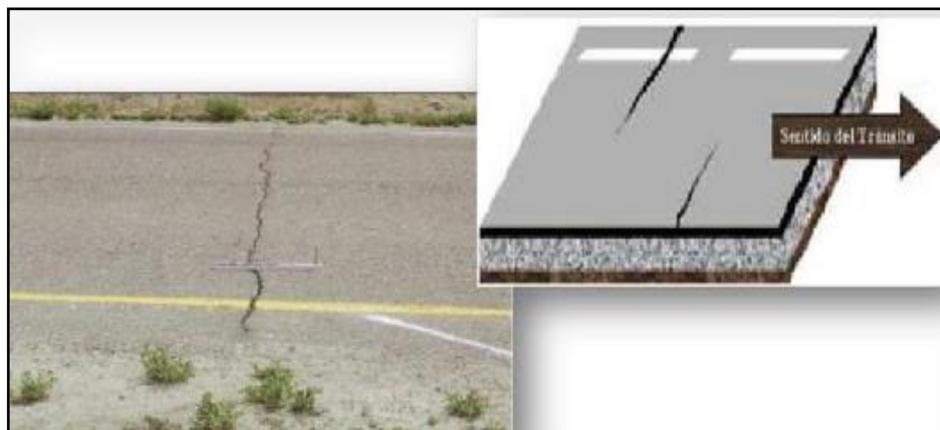
3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
 - Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.
- **M (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas,
 - Fisuras selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.
- **A (Alto)** Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
- Cualquier fisura, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

4. Medición: Las fisuras transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente. Se totaliza el número de metros lineales observados en la sección o muestra. (SIECA, 2001).

Figura II.4.
Fisura transversal



Fuente: extraído de las especificaciones SIECA.

2.2.6.5 FISURA LONGITUDINAL.

1. **Descripción:** Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito,

en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

2. Posibles causas: Las posibles causas incluyen:

- a. Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- b. Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches.
- c. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- d. Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
- e. Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
 - Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.
 - **M (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas.
 - Fisuras selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.
 - **A (Alto)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
 - Cualquier fisura, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.
- 4. Medición:** Las fisuras longitudinales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser observada en la sección o muestra. (SIECA, 2001).

2.2.6.6 FISURA POR REFLEXIÓN DE JUNTA.

- 1. Descripción:** Se presentan sólo en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y/o transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.

- 2. Posibles causas:** Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad. Las grietas por reflexión se propagan dentro de la capa asfáltica, como consecuencia directa de una concentración de tensiones; así mismo, si por la aplicación de las cargas de tránsito las losas experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez. El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.

- 3. Niveles de severidad:** Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:
 - **B (Bajo)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 5 mm sin descascaramiento o despostillamiento de sus bordes.

- Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no provocan golpeteo cuando se circula en vehículo sobre el pavimento.
- **M (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 5 y 15 mm.
 - Fisuras sin sellar, hasta 5 mm de ancho y/o selladas de cualquier ancho, que evidencien leve despostillamiento de sus bordes y/o están rodeadas por fisuras erráticas leves muy próximas.
 - La fisura provoca un significativo golpeteo al vehículo cuando se circula sobre el pavimento.
- **A (Alto)** Existen algunas de las condiciones siguientes:
 - Cualquier fisura, sellada o no, rodeada por un moderado o severo agrietamiento de la superficie, o que evidencie rotura y desprendimiento de parte del material asfáltico en la proximidad de la misma.
 - Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor a 15 mm.
 - La fisura provoca un severo golpeteo en el vehículo cuando se circula sobre el pavimento.
- 4. Medición:** Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales.

La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección. (SIECA, 2001).

2.2.7 DEFORMACIONES SUPERFICIALES.

2.2.7.1 AHUELLAMIENTO.

- 1. Descripción:** Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m.

- 2. Posibles causas:** Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante. Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito. El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante-pavimento. En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida. Las causas posibles incluyen:
 - a. Las capas estructurales pobremente compactadas.

 - b. Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.

 - c. Mezcla asfáltica inestable.

 - d. Falta de apoyo lateral por erosión del hombro.

 - e. Capacidad estructural del pavimento con espesores deficientes de las capas que lo integran.

- f. Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
- g. Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.
- h. La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).
- i. El acompañamiento por levantamiento subyacentes a los ahuellamientos, que indica que hay fallas en las capas superiores del pavimento.
- j. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados. xi. Exceso de ligantes de riegos.

3. Niveles de severidad: La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 1.20 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera; la medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m a lo largo de la huella.

Se identifican tres niveles de severidad:

- **B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 10 mm.
- **M (Mediano)** La profundidad promedio es entre 10 y 25 mm.
- **A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 25 mm.

4. Medición: Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales.

La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección. (SIECA, 2001).

Figura II.5.
Daño por huellamiento



Fuente: extraído de las especificaciones SIECA.

2.2.7.2 CORRIMIENTO.

1. Descripción: Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

3. Posibles causas: Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

- **B (Bajo)** El corrimiento es perceptible, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.
- **M (Mediano)** El corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad.
- **A (Alto)** El corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una sustancial reducción de la velocidad.

Figura II.6.
Daño por corrimiento



Fuente: extraído de las especificaciones SIECA.

4. Medición: Los corrimientos se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección. (SIECA, 2001).

2.2.7.3 CORRUGACIÓN.

1. Descripción: Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las

cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1 m entre ellas, a lo largo del pavimento.

2. Posibles causas: Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento).

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

- **B (Bajo)** La corrugación causa cierta vibración en el vehículo, sin llegar a generar incomodidad.
- **M (Mediano)** La corrugación causa una significativa vibración en el vehículo, que genera cierta incomodidad.
- **A (Alto)** La corrugación causa una vibración excesiva y continua en el vehículo, que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la circulación de vehículos, siendo necesaria una reducción en la velocidad por seguridad.

4. Medición: La corrugación se mide en metros cuadrados, registrando, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección. (SIECA, 2001).

2.2.7.4 HINCHAMIENTO.

1. Descripción: Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

2. Posibles causas: Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de sub-rasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie.

3. Niveles de severidad: Según su incidencia en la comodidad de manejo, se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.
- **M (Mediano)** Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.
- **A (Alto)** Alta incidencia en la comodidad de manejo, condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad con peligro para la circulación (el vehículo es proyectado por efecto del hinchamiento).

4. Medición: Los hinchamientos se miden en metros cuadrados de la superficie afectada, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección. (SIECA, 2001).

2.2.7.5 HUNDIMIENTO.

1. Descripción: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.

2. Posibles causas: Los hundimientos son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes.

La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo,

Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.
- **M (Mediano)** Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.
- **A (Alto)** Alta incidencia en la comodidad de manejo, produce una severa incomodidad requiriéndose reducir la velocidad por razones de seguridad.

4. Medición: El hundimiento se mide en metros cuadrados, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección. (SIECA, 2001).

2.2.8 DESINTEGRACIÓN DEL PAVIMENTO.

2.2.8.1 BACHE.

1. Descripción: Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

2. Posibles causas: Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables;

espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.

La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla II.1.
Niveles de severidad en función a la profundidad del bache

PROFUNDIDAD MAXIMA (CM)	DIAMETRO PROMEDIO DE BACHE (CM)		
	MENOR A 70	70 - 100	MAYOR A 100
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 - 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

Fuente: extraído de las especificaciones SIECA.

4. Medición: Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente:

- a. Contando el número de baches con niveles de severidad baja, moderada y alta, registrando estos separadamente.
- b. Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad. (SIECA, 2001).

2.2.8.2 PELADURA.

1. **Descripción:** Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.
2. **Posibles causas:** Esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego.

El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).

3. **Niveles de severidad:** Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:
 - **B (Bajo)** Pequeñas peladuras superficiales, distribuidas erráticamente en la superficie del pavimento. El agregado y/o el ligante han comenzado a desprenderse en algunos sectores. En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y no puede penetrarse con una moneda.

- **M (Mediano)** Extensivos desprendimientos de agregados pétreos finos y/o de ligante, confieren a la superficie una textura abierta y rugosa. En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y puede penetrarse con una moneda.
 - **A (Alto)** Extensivo desprendimiento de agregados pétreos gruesos y finos, confiere a la superficie una textura muy rugosa, con presencia de oquedades de máximo 10 y 15 mm de diámetro y profundidad respectivamente. En el caso de ataque por aceites, el asfalto ha perdido sus propiedades ligantes y el agregado ha quedado suelto.
- 4. Medición:** Las peladuras se miden en metros cuadrados de superficie afectada, registrando éstas separadamente según el nivel de severidad identificado para cada caso. (SIECA, 2001).

2.2.8.3 DESINTEGRACIÓN DE BORDES.

- 1. Descripción:** Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.
- 2. Posibles causas:** La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc. La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que

ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con el estado del pavimento en los 0.50 m contiguos al mismo, según la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad baja o moderada, sin signos de peladuras, desintegración y canales de erosión.

- **M (Mediano)** Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad alta, y/o peladuras de cualquier tipo, sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos.

- **A (Alto)** Se observa una considerable desintegración total de los bordes, con importantes sectores removidos por el tránsito; el borde resulta serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.

2. Medición: Las desintegraciones de bordes se miden en metros cuadrados, totalizados separadamente, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección. (SIECA, 2001).

2.2.9 OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS.

2.2.9.1 EXUDACIÓN DE ASFALTO.

- 1. Descripción:** Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

2. Posibles causas: La exudación es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos.

Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, dejando una película de bitumen en la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie.

3. Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** Se hace visible la coloración algo brillante de la superficie, por efecto de pequeñas migraciones de asfalto, aún aisladas.
- **M (Mediano)** Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito; la superficie se torna pegajosa a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.
- **A (Alto)** Presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra; superficie pegajosa o adhesiva a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.

4. Medición: La exudación del asfalto se mide en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente ésta según su severidad. Cuando se computa como "Exudación de Asfalto", dicha área no debe ser considerada como pulimiento de superficie. (SIECA, 2001).

2.2.9.2 PARCHADOS Y REPARACIONES DE SERVICIOS PÚBLICOS.

1. Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente, para reparar el pavimento existente. También un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen el nivel de servicio de la carretera, al tiempo que puede constituir un indicador tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como de la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En general las áreas parchadas tienen un comportamiento inferior al pavimento original y en muchos casos son el origen de una mayor rugosidad del pavimento o de nuevas fallas en el mismo o en el área adyacente, particularmente cuando su ejecución es defectuosa. Posibles causas: Si bien los parches por reparaciones de servicios públicos se deben a causas diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

- **B (Bajo)** El parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro.
- **M (Mediano)** El parche se encuentra moderadamente deteriorado; se evidencia un moderado deterioro alrededor de sus bordes.

- **A (Alto)** El parche está severamente dañado. La extensión o severidad de estos daños indican una condición de falla, siendo necesario el reemplazo del parche.

2. Medición: Los parchados se miden en metros cuadrados de área afectada, registrando separadamente éstas de acuerdo con su nivel de severidad. En un mismo parche (particularmente cuando éste alcanza cierta extensión) pueden diferenciarse áreas con distinto nivel de severidad. Si una gran extensión del pavimento ha sido reemplazada en forma continua (por ejemplo, reconstruyendo toda una intersección), esta área no debe registrarse como parchado. (SIECA, 2001).

2.2.10 CONSIDERACIONES GENERALES, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y MEZCLA RECICLADA.

En este capítulo se presentan criterios dados por el Instituto del Asfalto en cuanto a la evaluación de los materiales recuperados y nuevos de los se disponen de poca información en nuestro país ya que las más conocidas son las especificaciones SIECA y las FP'96 o las FP'03, las cuales no se han dejado de lado y se enfatiza en las secciones requeridas para el reciclaje en frío y en caliente.

Partiendo de las consideraciones generales previas a un proceso de rehabilitación de una carretera, como la extracción de muestras representativas teniendo como objetivo principal proporcionar los requerimientos para la evaluación de los materiales y para el diseño de la mezcla reciclada, así como las especificaciones utilizadas a materiales con fines de otros procesos de rehabilitación como las actividades de mantenimiento que juegan un papel importante en el reciclaje de pavimentos ya que a veces se requiere que los daños del pavimento deban ser reparados previo al reciclaje.

Los alcances de todas las especificaciones estándar son muy amplios y requieren ajustarse a cada proyecto en particular dependiendo de las condiciones que presente el pavimento a reciclar, por esta razón se debe tener cuidado para interpretar las especificaciones que se deben utilizar para lograr los objetivos que se proponen al construir o al reparar una vía. En el desarrollo de este capítulo se expondrá un resumen de estas especificaciones utilizadas en el tema de Reciclaje de pavimentos asfálticos para así demostrar que aunque esta técnica es reciente en nuestro país se basa en normas ya existentes y utilizadas en la construcción de carreteras nuevas. (SIECA, 2001).

2.2.11 CONSIDERACIONES AMBIENTALES.

En el proceso de ejecución se deben tener en cuenta ciertas medidas de mitigación, prevención y protección del Medio Ambiente en lo que se refiere a:

1. Sobre la disposición de material sobrante y desechos (botaderos).
 2. Sobre los campamentos.
 3. Sobre los sitios de préstamo
 4. Sobre la localización de la planta asfáltica y el transporte de asfalto.
- (SIECA, 2001).

2.2.11.1 DISPOSICIÓN DE MATERIAL SOBRANTE Y DESECHOS (BOTADEROS).

- Acumular o botar el material sobrante en sitios preestablecidos que no alteren el drenaje natural, ensucie o contaminen las aguas superficiales o afecten en alguna medida los cultivos en los terrenos aledaños. Igualmente, los botaderos o acumulaciones de material sobrante no deben alterar el contorno estético del área.

- Los sitios botaderos deben indicarse en los documentos de licitación, o en su ausencia deben ser aprobados por el Supervisor antes de botar los desperdicios. El sitio para la disposición de los botaderos debe ser seleccionado cuidadosamente, evitando zonas inestables, área de importancia ambiental como humedades, pantanos o áreas de alta productividad agrícola.
- Deben evitarse y prohibirse que se den acumulaciones de desechos de maquinaria a lo largo del derecho de vía.
- El manejo del drenaje es de suma importancia en el botadero para evitar su posterior erosión, por lo cual, si se hace necesario, se colocarán filtros de desagüe para permitir el paso del agua.
- Cuando se rellenan laderas o depresiones, debe conformarse el relleno en forma de terrazas y colocar un muro de contención apropiado.
- Las laderas de los rellenos deben ser estabilizadas evitando la erosión y generación de sedimentos que contaminen las aguas superficiales cercanas. (SIECA, 2001).

2.2.11.2 SOBRE LOS CAMPAMENTOS.

La construcción de campamentos, si fuere necesario, debe ser en lugares previamente aprobados por el Supervisor fuera de zonas poblados. El Contratista debe acatar las órdenes del Supervisor referente las medidas necesarias para evitar la contaminación del ambiente. Los campamentos deben contar con las instalaciones mínimas incluyendo pozo séptico para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. El Contratista debe velar que los sobrantes de aceites de la maquinaria deben ser acumulados en recipientes

seguros y adecuados para luego disponer de ellos. Los campamentos serán desmantelados al terminar la obra. Los residuos resultantes deben ser retirados y dispuestos adecuadamente. (SIECA, 2001).

2.2.11.3 SITIOS DE PRÉSTAMO.

- Los sitios de préstamo y/o extracción de materiales de construcción sean de ladera, terraza, playones de ríos o quebradas, serán seleccionadas previo un análisis de alternativas, y su explotación será sometida a aprobación del Supervisor.
- En los sitios de extracción o préstamo de material a lo largo de los cauces de los ríos, no se debe alterar el borde base ni la pendiente del cauce, como tampoco los represados o acumulaciones de material que alteren el alineamiento del cauce principal.
- No se dejarán cortes perpendiculares en los sitios de extracción de material o cantera ni permitir la existencia de hoyos en donde se acumule agua.
- En lo posible en los sitios de cantera debe nivelarse la topografía para que pueda adecuar a los terrenos aledaños. (SIECA, 2001).

2.2.11.4 LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA ASFÁLTICA Y EL TRANSPORTE DE ASFALTO.

La planta debe localizarse en lugares desprovistos de vegetación, de fácil acceso y alejados de centros poblados. Las vías de entrada y salida de material estarán situadas en forma tal que los sobrantes, durante la carga y descarga, no afecten el área de los límites de las instalaciones. (SIECA, 2001).

2.2.12 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

Las actividades de mantenimiento desempeñan un papel muy importante, para mantener en muy buen estado las carreteras de nuestro país, pero el objetivo de hacer énfasis en ellas en el desarrollo de este capítulo, es que estas al ser ejecutadas correctamente se obtienen excelentes resultados en el pavimento, que es el fin que se persigue con la ejecución de estas actividades.

Únicamente presentamos aquellas que específicamente tratan de reparar, mitigar los daños en el pavimento, que como se tipificaron en el capítulo anterior cada uno de ellos de acuerdo a su magnitud, pueden dar origen a lo que es el reciclaje del pavimento completo, si agregamos a estos daños el envejecimiento del pavimento. (SIECA, 2001).

Actividades de mantenimiento y su código de identificación según la SIECA.

CODIGO	NOMBRE
MR01	SELLO DE GRIETAS
MR01a	SELLO DE FISURAS
MR02	BACHEO SUPERFICIAL
MR 05	BACHEO PROFUNDO

2.2.12.1 SELLO DE GRIETAS.

1. Descripción. Este trabajo consistirá en la ejecución de las labores necesarias para el sellado de grietas de abertura superior a 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, mediante el sellado en caliente (asfaltos rebajados) o en frío (emulsiones), con un mástic asfáltico adecuado. Las grietas se producen a raíz de la eventual contracción de las capas inferiores del pavimento y se reflejan en la superficie de rodadura de la carretera.

Esta actividad no será ejecutada en aquellas áreas en que las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante al agrietamiento piel de cocodrilo, cuya formación se debe en mayor parte a la fatiga del pavimento, debido a repeticiones de carga por exceso de peso en los ejes, en este caso se procederá a realizar un bacheo superficial o profundo en el área que determine el supervisor. Esta actividad no se aplica a fisuras con aberturas menores de 3 mm.

Dicho trabajo, se hará a lo largo de la línea de grieta a sellar, a fin de lograr la adecuada impermeabilización de la estructura en el sitio tratado.

2. Materiales. Los materiales para realizar esta actividad son: asfalto y arena fina.

Se usarán emulsiones o asfaltos rebajados. Emulsiones: CRS-2P (AASHTO M-316); CSS-1(AASHTO M 208) o CSS-1h (AASHTO M 208), asfalto rebajado MC-70 o MC- 30 (AASHOTO M 82) u otro debidamente aprobado por el Supervisor.

La arena será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz No. La arena podrá ser triturada o natural, los granos serán densos, limpios y duros, libre de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir la adhesión de éstos con el asfalto.

3. Procedimiento de ejecución del trabajo: El Supervisor indicará la zona de grietas a sellar y el Contratista procederá inicialmente a la limpieza del área objeto de trabajo. Esta limpieza debe hacerse con mayor esmero y detalle a todo lo largo de la grieta por sellar, utilizando para ello aire a presión y cepillos especiales o cualquier

otro instrumento que pudiese facilitar esta labor. Tanto el espacio de la grieta como el área adyacente a la misma, en un ancho no menor de 0.20 m debe estar libre de polvo, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación.

Una vez efectuada la limpieza, como se expuso anteriormente, se debe proceder a llenar el espacio agrietado con asfalto, utilizando para ello un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita derramar, en línea fina sobre la grieta, la emulsión o el asfalto con el cual la grieta debe ser rellenada. El asfalto debe ser calentado a la temperatura especificada conforme su tipo.

En caso de que la grieta a tratar fuese de abertura que no permitiese ejecutar con relativa facilidad las labores, ésta debe picarse en las orillas y debe desprenderse el material suelto, limpiando completamente el agujero longitudinalmente, el cual será rellenado con una mezcla, lo suficientemente fluida, de arena fina mezclada con asfalto. Completadas las operaciones anteriores, debe esparcirse una delgada capa de arena fina sobre el área longitudinal de la grieta en proceso de sello, con el objeto de cubrir el asfalto derramado; Para formar una cáscara o costra que no permita desprendimiento o la pérdida del asfalto recién aplicado en la superficie, por adherencia a las ruedas del tránsito circulante. Finalmente debe limpiarse y barrerse todo material suelto, que como producto de las labores haya quedado en la superficie. (SIECA, 2001).

2.2.12.2 SELLO DE FISURAS.

- 1. Descripción.** Este trabajo consistirá en la ejecución de las labores necesarias para el sellado de fisuras de abertura menores a 3 mm aparecidos en la superficie del pavimento, mediante el sellado en

frío o en caliente, con un mástic asfáltico adecuado. Las fisuras se producen a raíz de la eventual contracción de las capas inferiores del pavimento y se reflejan en la superficie de rodadura de la carretera.

Esta actividad no será ejecutada en aquellas áreas en que las fisuras formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante al agrietamiento piel de cocodrilo, cuya formación se debe en mayor parte a la fatiga del pavimento, debido a repeticiones de carga por exceso de peso en los ejes, en tales casos se procederá a realizar bacheo superficial o profundo en el área que indique el supervisor.

Dicho trabajo, se hará a lo largo de la línea de fisura a sellar, a fin de lograr la adecuada impermeabilización de la estructura en el sitio tratado.

2. Materiales. Los materiales para realizar esta actividad son: asfalto y arena fina.

Se usarán emulsiones o asfaltos rebajados. Emulsión: CRS - 2P (AASHTO M 316) CSS -1 (AASHTO M 208), emulsión CSS - 1h (AASHTO M 208), asfalto rebajado MC-70 o MC-30 que reúnan las características especificadas en AASHTO M 82 u otro debidamente aprobado por el Supervisor.

La arena será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz No. 4, La arena podrá ser triturada o natural, los granos serán densos, limpios y duros, libre de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir la adhesión de éstos con el asfalto.

3. Procedimiento de ejecución del trabajo: El Supervisor indicará la zona de fisuras a sellar y el Contratista procederá inicialmente a

la limpieza del área objeto de trabajo. Esta limpieza debe hacerse con mayor esmero y detalle a todo lo largo de la grieta por sellar, utilizando para ello aire a presión y cepillos especiales o cualquier otro instrumento que pudiese facilitar esta labor. Tanto el espacio de la fisura como el área adyacente a la misma, en un ancho no menor de 0.20 m debe estar libre de polvo, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación.

Una vez efectuada la limpieza, como se expuso anteriormente, se debe proceder a llenar el espacio agrietado con asfalto, utilizando para ello un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita derramar, en línea fina sobre la grieta, el asfalto con el cual la grieta debe ser rellenada. El asfalto debe ser calentado a la temperatura especificada conforme su tipo.

En caso de que la fisura a tratar fuese de abertura que no permitiese ejecutar con relativa facilidad las labores, ésta debe picarse en las orillas y debe desprenderse el material suelto, limpiando completamente el agujero longitudinalmente, el cual será rellenado con una mezcla, lo suficientemente fluida, de arena fina mezclada con asfalto. Completadas las operaciones anteriores, debe esparcirse una delgada capa de arena fina sobre el área longitudinal de la fisura en proceso de sello, con el objeto de cubrir el asfalto derramado; para formar una cáscara o costra que no permita desprendimiento o la pérdida del asfalto recién aplicado en la superficie, por adherencia a las ruedas del tránsito circulante. Finalmente debe limpiarse y barrerse todo material suelto, que como producto de las labores haya quedado en la superficie. (SIECA, 2001).

2.2.12.3 BACHEO SUPERFICIAL

- 1. Descripción:** Consiste en reconstruir localmente la capa de rodadura en los pequeños deterioros que empiezan a formarse cuya degradación puntual así lo requiera (deformaciones, agrietamientos, baches), y en general todos aquellos deterioros locales cuya evolución posterior pueda afectar a la seguridad de la circulación y comodidad del usuario. También se llevará a cabo si se ha realizado con anterioridad alguna actividad provisional en las capas superficiales, como en el caso de ahuellamientos o bacheo provisional. En el caso del bacheo superficial sólo se restituirá la capa de rodadura hasta la capa superior del material de base.
- 2. Materiales:** Se utilizará concreto asfáltico en caliente elaborada en planta. El método de dosificación y control del concreto asfáltico, será el Método Marshall (AASHTO T-45). No se permitirá la segregación del concreto asfáltico durante la operación de transporte del mismo.

Para la capa de liga se utilizará un asfalto rebajado tipo RC-70 (AASHTO M-81) o emulsiones asfálticas CSS-1 (AASHTO M-208) o CSS-1h (AASHTO M-208). Si se utiliza RC-70, éste se aplicará en proporción de 1.0 litro/mt² y en el caso de utilizar emulsiones asfálticas la proporción será de 0.7 lt/mt².

Salvo casos especiales, debidamente justificados, podrá utilizarse mezclas asfálticas fabricadas en frío utilizando emulsión asfáltica. En este caso, el contratista debe utilizar un equipo de mezclado adecuado para tal fin y tanto la mezcla a utilizar como el proceso de fabricación deberá ser previamente autorizado por el Supervisor.

3. Procedimiento de ejecución del trabajo: El supervisor marcará sobre el pavimento las áreas a reparar y posteriormente, el contratista deberá colocar todos los dispositivos de señalización y seguridad y proceder a cortar el pavimento en formas rectangulares o cuadradas de lados paralelos y perpendiculares al eje de la carretera, de forma que exceda en unos 20 centímetros en cada dimensión de la superficie a reparar.

Se cortará verticalmente con sierra mecánica el pavimento hasta alcanzar una profundidad máxima de 8 cms o alcanzar el límite inferior de la capa asfáltica.

Se retirará la mezcla asfáltica afectada, acumulándola y desalojándola a los botaderos autorizados.

Se barrerá y limpiará con aire a presión el fondo y paredes de la excavación realizadas para eliminar las partículas sueltas y el polvo.

Se deberá aplicar un riego de liga a la superficie ya limpia y se colocará la mezcla asfáltica en todo el espesor necesario a las dimensiones del bache. La compactación debe hacerse, iniciándola desde la parte exterior del área tratada hacia el interior de la misma.

El área reparada, debe estar al mismo nivel de la superficie de rodadura adyacente, es decir, no debe permitirse que el área tratada manifieste depresiones o abultamientos. Al terminar el proceso, la carretera debe mantener su sección transversal de diseño.

No se permitirá la colocación de concreto o mezcla asfáltica bajo lluvia.

Por ningún motivo puede dejarse un bache abierto para colocar el concreto o mezcla asfáltica al día siguiente. (SIECA, 2001).

2.2.12.4 BACHEO PROFUNDO.

- 1. Descripción:** En las zonas inestables bajo la estructura del pavimento de una carretera, independientemente que la inestabilidad sea producida por problemas de la capa de rodadura, por saturación del suelo circundante, bolsón del suelo inestable, fatiga de la estructura del pavimento o por contaminación de cualquier naturaleza, las áreas con problemas de este tipo deben ser preparadas con el objeto de devolver la sustentación estructural original de la carretera y para proporcionar el confort y la seguridad esperada del mismo.

Por lo general, el bacheo profundo implica reponer la carpeta asfáltica en su totalidad (espesor promedio de 8 cms) y la base existente (promedio 20 cms). En algunos casos, podría implicar trabajos de excavaciones por debajo de la base existente y restituir con material no clasificado.

- 2. Materiales:** Se utilizará concreto asfáltico en caliente elaborado en planta.

El método de dosificación y control del concreto asfáltico, será el Método Marshall (AASHTO T-245). No se permitirá la segregación del concreto asfáltico durante la operación de transporte del mismo.

Salvo casos especiales, debidamente justificados, podrá utilizarse mezclas asfálticas fabricadas en frío utilizando emulsión asfáltica. En este caso, el contratista debe utilizar un equipo de mezclado adecuado para tal fin y tanto la mezcla a utilizar como el proceso

de fabricación deberá ser previamente autorizado por el Supervisor.

Para la capa de liga se utilizará un asfalto rebajado tipo RC-70 (AASHTO M-81) o emulsiones asfálticas CSS-1 (AASHTO M-208) o CSS-1h (AASHTO M-208). La proporción será de 1.0 lt/mt² si se utiliza asfalto rebajado y 0.7 lt/mt² en emulsión.

Salvo casos especiales, debidamente justificados, podrá utilizarse mezclas asfálticas fabricadas en frío utilizando emulsión asfáltica. En este caso, el contratista debe utilizar un equipo de mezclado adecuado para tal fin y tanto la mezcla a utilizar como el proceso de fabricación deberá ser previamente autorizado por el Supervisor.

La base a utilizar podrá ser del tipo granular o una base estabilizada. De utilizar base granular el agregado se compondrá de materiales pétreos triturados con un tamaño máximo de 1 pulgada y por lo menos el 50% del material debe ser retenido en el tamiz No. 4. El índice de plasticidad no debe ser mayor de 6 (AASHTO T-90), el límite líquido no mayor de 25 (AASHTO T-89), el valor de soporte, CBR, no debe ser menor de 80 (AASHTO T-193) y el desgaste al ser sometido al ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96) debe presentar un desgaste menor del 40%. En el caso de bases estabilizadas, el contratista propondrá al supervisor todas las especificaciones de los productos a utilizar, sus proporciones y las características de los mismos para su respectiva aprobación.

Procedimiento de ejecución del trabajo: Al igual que para el bacheo superficial, el supervisor marcará sobre el pavimento las áreas a reparar y posteriormente, el contratista deberá colocar todos los dispositivos de señalización y seguridad y proceder a

cortar el pavimento en formas rectangulares o cuadradas de lados paralelos y perpendiculares al eje de la carretera, de forma que exceda en unos 20 centímetros en cada dimensión de la superficie a reparar.

Se cortará verticalmente con sierra mecánica el pavimento hasta alcanzar una profundidad promedio de 20 cm o alcanzar el límite inferior de la capa de base o hasta el nivel que indique el supervisor. En algunos casos y cuando el supervisor lo indique, se profundizará más para remover cualquier material o capa inferior defectuosa o inestable, la cual deberá ser rellenada con material no clasificado y debidamente aprobado por el supervisor, pero deberán cumplir con un índice de plasticidad no mayor de 8, límite líquido no mayor de 30 y el CBR debe ser mayor de 10.

Se retirará la mezcla asfáltica afectada y el material de base, acumulándola y desalojándola a los botaderos autorizados.

Se barrerá y limpiará con aire a presión el fondo y paredes de la excavación realizadas para eliminar las partículas sueltas y el polvo.

Se procederá a colocar y compactar el material de relleno (si fuera necesario) en capas de espesor acorde con el equipo de compactación disponible y debe alcanzar por lo menos el 95% de la densidad máxima seca, medida a través del ensayo Proctor Estándar (AASHTO T-99). En ningún caso se colocará este tipo de material más arriba del nivel de inferior de la subbase o base existente. El material deberá tener el grado de humedad necesario para alcanzar la compactación requerida.

El material de base debe ser colocado y extendido en capas de espesor similar y en el proceso de mezclado no debe permitirse la

segregación del mismo. El proceso de compactación debe ejecutarse utilizando el equipo que asegure obtener el 95% de la densidad, medido a través del procedimiento Proctor modificado (AASHTO T-180). En las zonas inaccesibles para el equipo utilizado en la compactación, deben ser compactadas satisfactoriamente mediante el uso de compactadores vibratorios manuales, previamente aprobados por el supervisor. Los daños que el equipo del contratista cause en este proceso a la zona adyacente al trabajo, serán reparados por su cuenta.

Una vez terminado el proceso de colocación de la capa de base, se deberá aplicar un riego de liga o imprimación a la superficie ya limpia y se colocará la mezcla asfáltica en todo el espesor necesario a las dimensiones del bache.

La compactación debe hacerse, iniciándola desde la parte exterior del área tratada hacia el interior de la misma.

El área reparada, debe estar al mismo nivel de la superficie de rodadura adyacente, es decir, no debe permitirse que el área tratada manifieste depresiones o abultamientos. Al terminar el proceso, la carretera debe mantener su sección transversal de diseño.

No se permitirá la colocación de concreto o mezcla asfáltica bajo lluvia. Por ningún motivo puede dejarse un bache abierto para colocar el concreto o mezcla asfáltica al día siguiente. (SIECA, 2001).

2.2.13 AGENTES ESTABILIZADORES CEMENTANTES.

La cal, el cemento y la mezcla de estos productos con cenizas volantes, escorias de alto horno y otros materiales, corresponden a los agentes estabilizadores cementantes comúnmente usados.

La principal función de estos agentes es incrementar la resistencia, además de la cal liberada durante el proceso de hidratación reacciona con los minerales arcillosos presentes en los suelos, reduciendo su plasticidad. El uso del cemento debe limitarse al tratamiento de materiales que presenten un índice de plasticidad menor que 10. La cal es el mejor agente estabilizador para materiales de mayor plasticidad.

La resistencia alcanzada depende en gran parte de la cantidad de agente estabilizador que se incorpore, pero también del tipo de material que va a tratarse. Contrario al punto de vista de algunos expertos, la adición de una mayor cantidad de agente estabilizador para lograr una mayor resistencia puede ir en detrimento del comportamiento de la capa. Un material tratado con agentes cementantes tiende a ser semifrágil, y al incrementar la resistencia se hace más frágil, con una consecuente disminución de las propiedades de fatiga de la capa estabilizada.

Lo anterior conduce, invariablemente, a una proliferación de grietas indeseables por efecto de las cargas repetidas del tráfico. Resulta por tanto importante que los requerimientos de comportamiento de la capa tratada no sean ambiguos y que se realice un diseño apropiado de la mezcla sobre muestras representativas con el objeto de determinar la dosificación correcta. (WIRTGEN, 2001).

2.2.13.1 ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO.

El cemento corresponde al agente estabilizador más usado. Su empleo excede en gran medida a los demás agentes estabilizadores combinados, debido principalmente a su disponibilidad, pues el cemento se manufactura en muchos países y está disponible alrededor del mundo. Otra razón radica en su aceptación como material de construcción. Existen diferentes estándares, métodos de ensayo y especificaciones disponibles para los tratamientos con

cemento, así como numerosos ejemplos de pavimentos con capas estabilizadas con cemento de buen comportamiento.

No obstante, a estabilización con cemento requiere una atención especial, ya que todos los materiales tratados con cemento, incluyendo el concreto, son propensos al agrietamiento. Sin embargo esto puede controlarse y no necesariamente es perjudicial, como se explica en la siguiente sección. (WIRTGEN, 2001).

2.2.13.2 AGRIETAMIENTO DEL MATERIAL TRATADO CON CEMENTO.

Es importante reconocer que los materiales tratados con cemento tienden a agrietarse por dos razones muy diferentes: la primera es por la reacción química que tiene lugar cuando el cemento se hidrata en presencia de agua y por tanto no es inducida por el tráfico, y la segunda se debe a las cargas repetitivas del tráfico. En cada caso, la iniciación de las grietas y su subsecuente propagación son bastante diferentes, por lo cual se comentarán por separado.

1. GRIETAS NO ORIGINADAS POR EL TRÁFICO.

Cuando un material es tratado con cemento resulta inevitable la formación de grietas, pues a medida que el cemento se hidrata, se forman complejos cristales de silicato de calcio que ligan las partículas del material. Adicionalmente a la generación de calor y a otros numerosos cambios que se producen durante esta reacción química, el material experimenta un cambio de volumen y se contrae, dando lugar a las grietas por contracción. Estas grietas son inevitables y constituyen uno de los riesgos de trabajar con cemento. La intensidad (separación entre grietas) y la magnitud (ancho de la grieta), o el grado de agrietamiento, están influidos en gran medida por:

- El contenido de cemento. La contracción que ocurre durante la hidratación es función de la cantidad de cemento presente. A medida que se incrementa el contenido de cemento aumenta el grado de agrietamiento, siendo esta una de las principales razones para minimizar su incorporación y cumplir con las exigencias del diseño. La adición de muy bajos contenidos de cemento (< 2 % en masa) solamente debe considerarse si éste se inyecta en el proceso de reciclaje en forma de lechada.
- El tipo de material por estabilizar. Algunos materiales tienden a contraerse más que otros cuando se tratan con cemento. Adicionalmente, ciertos materiales plásticos son más activos, y presentan cambios significativos de volumen entre los estados húmedo y seco. Cuando el IP (Índice de Plasticidad) de material es mayor que 10, debe adicionarse cal o una combinación de cal y cemento para producir la plasticidad, ojalá hasta un estado no plástico.
- El contenido de humedad en la compactación. El grado de agrietamiento es función de la cantidad de humedad que se pierde a medida que el material se seca. Éste puede reducirse significativamente, limitando el contenido de humedad en el momento de la compactación a menos del 75 % de la humedad de saturación.
- La velocidad de secado. Cuando el material tratado con cemento se contrae, se inducen esfuerzos internos en el mismo. El grado de agrietamiento es altamente dependiente de la relación entre las velocidades con que se desarrollan la resistencia y los esfuerzos de contracción. Si el material se seca con rapidez, los esfuerzos generados por la contracción superarán la resistencia desarrollada, en tanto que el patrón de

grietas será más intenso (2 m x 2 m) y las grietas angostas. Cuando el secado es lento se observará un patrón de menor intensidad (6 m x 4 m), con grietas anchas. Un curado apropiado de la capa terminada prevendrá el secado de la superficie, reduciendo la intensidad y la magnitud del agrietamiento.

Las grietas por contracción son más anchas en la superficie que en la base (el secado se inicia en la superficie) y sus paredes son irregulares, permitiendo una transferencia efectiva de las cargas del tráfico debido a la trabazón mecánica que se presenta entre las caras de la grieta.

2. GRIETAS CAUSADAS POR EL TRÁFICO.

Este tipo de grietas se presenta cuando el material tratado con cemento se encuentra sobreesforzado o se ha excedido su vida de fatiga. Las grietas comienzan en la base de la capa, donde los esfuerzos de tensión inducidos por las cargas del tráfico son máximos y, a su vez, generan las máximas deformaciones.

Las capas tratadas con cemento son semifrágiles y exhiben propiedades elásticas relativamente pobres y, por ende, sensibles a las sobrecargas.

Las grietas por fatiga ocurren después de un número predecible de repeticiones de carga. Esta clase de grietas no implica una falla inminente. Luego del agrietamiento inicial, la capa todavía es capaz de soportar las cargas del tráfico y en este estado la capa puede modelarse reduciendo el valor de su módulo. La intensidad y la magnitud de las grietas se incrementan a medida que la capa se deteriora con las cargas de tráfico posteriores. Esta reducción en el

módulo continúa hasta que finalmente el material regresa a la condición granular anterior a su estabilización. (WIRTGEN, 2001).

2.2.13.3 CRITERIOS PARA LAS CAPAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO.

Las propiedades más importantes aplicables a los materiales tratados con cemento son:

- **Resistencia.** El ensayo comúnmente usado para evaluar los materiales cementados es el UCS ya que el ensayo de CBR no se considera lo bastante sensible para evaluar materiales de alta resistencia. El ensayo UCS normalmente se realiza sobre muestras preparadas que han sido curadas durante siete días a una temperatura de 22°C y una humedad superior al 95 %.
- Algunos métodos de ensayo permiten que se acelere el curado poniendo las probetas en horno a 75°C durante 24 horas.

El contenido de cemento que dé lugar a valores de la UCS entre 1,5 y 3 MPa normalmente se considera como el óptimo para el material reciclado. Generalmente se requieren las siguientes dosificaciones de cemento, expresadas como un porcentaje de la masa del material reciclado:

- Material fresado / piedra triturada (mezcla 50/50) - 2,0 a 2,5%
- Piedra triturada - 2,0 a 3,0 %
- Grava natural (IP < 10, CBR > 30) - 3,0 a 4,0 %

- **Tiempo de procesamiento.** El mezclado, colocación, compactación y terminado deben llevarse a cabo en el menor tiempo posible. Para los materiales tratados con cemento, normalmente se especifica un tiempo límite de una hora,

medido desde el primer momento en que el cemento entra en contacto con el material hasta cuando se termina la compactación.

Con el uso de equipos modernos de reciclaje, es posible reducir este tiempo a menos de una hora.

Densidad. Para cada sitio de ensayo normalmente se especifica una densidad (promedio) de mínimo el 97 % de la densidad AASHTO modificada. Algunas veces se permite una variación de densidad, precisando una densidad promedio, lo que significa que la densidad en la parte superior de la capa puede ser mayor que la de la base. Donde se especifique, también es normal incluir una desviación máxima del 2 % para la densidad medida en el tercio inferior de la capa. Así, si la densidad promedio fijada es del 97 %, entonces la densidad en la base de la capa debe ser mayor del 95 %. (WIRTGEN, 2001).

2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.

Agregado:

Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado grueso:

Material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8).

Agregado fino:

Material que pasa el tamiz de 2.36mm (No. (8)).

Relleno mineral:

Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60mm (No. 30).

Polvo mineral:

Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No. 200.).

Alcantarilla:

Cualquier estructura por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

Balasto:

Una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la sub-rasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura.

Daños:

Desperfectos ocurridos en la superficie de una carretera debido a efectos de clima y tránsito tal como se describe en el Catálogo Centroamericano de Daños de Pavimentos Viales.

Deflexión:

El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

Derecho de Vía:

El área de terreno que el Gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.

Hombro:

Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.

Intervención:

La designación aplicada de actividades de mantenimiento rutinario y de obras de mantenimiento periódico consideradas en forma conjunta.

Mantenimiento:

Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera.

Mejoramiento:

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario.

Rehabilitación:

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida originalmente.

Rugosidad:

La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.

El envejecimiento del asfalto:

Es un proceso complejo, consiste principalmente en la evaporación de ciertos componentes y la oxidación por oxígeno de aire. La modificación química se traduce en una alteración de su estructura, aumentando su dureza, rigidez y fragilidad; como consecuencia pierde la capacidad de ser un ligante adecuado para el concreto asfáltico. (CANALES, A. (2000)

CAPITULO III :

PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION

3.1. CANTERAS A UTILIZAR

TIPO : Experimental

ENFOQUE : Cuantitativo

3.1.1 POBLACIÓN.

El desarrollo del trabajo, considera reciclar, cuanto material de vías antiguas se tenga, a fin de mejorarlos con otros de primer uso y se empleen en la construcción de nuevas vías; en esto la construcción de vías en ciudades de la Región Puno son similares.

3.1.2 MUESTRA.

Los mecanismos de diseño considerados en el presente trabajo están orientados al empleo de los mismos materiales que se tiene en las estructuras de vías antiguas, al que adicionados con materiales de cantera, mejoren las características mecánicas para tener estructura más resistentes en las vías nuevas y también el empleo de los residuos de mezclas asfálticas en abandono, adicionados a suelos de cantera también permita lograr mejores características mecánicas; finalmente los pavimentos rígidos pueden ser tratados para obtener agregados reciclados para la producción de concretos para pavimentos rígidos, todo ello para la ciudad de Juliaca.

3.1.3 METODOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.

Para tal efecto se consideró los criterios siguientes:

- Obtención de muestras de suelo de la base del pavimento, en el óvalo Pedro Vilcapaza de la Av. Circunvalación.
- Determinación de las características mecánicas de suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza.
- Determinación de las características de suelos para base de la cantera Taparachi.
- Reparación, trituración de residuos de mezclas asfálticas para ser adicionados a suelos de base en diferentes proporciones.
- Reparación de residuos de pavimentos rígidos para la obtención de agregados reciclados para la producción de nuevos concretos con resistencias normales.

3.1.4 METODOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.

Para tal efecto, se consideró los criterios siguientes:

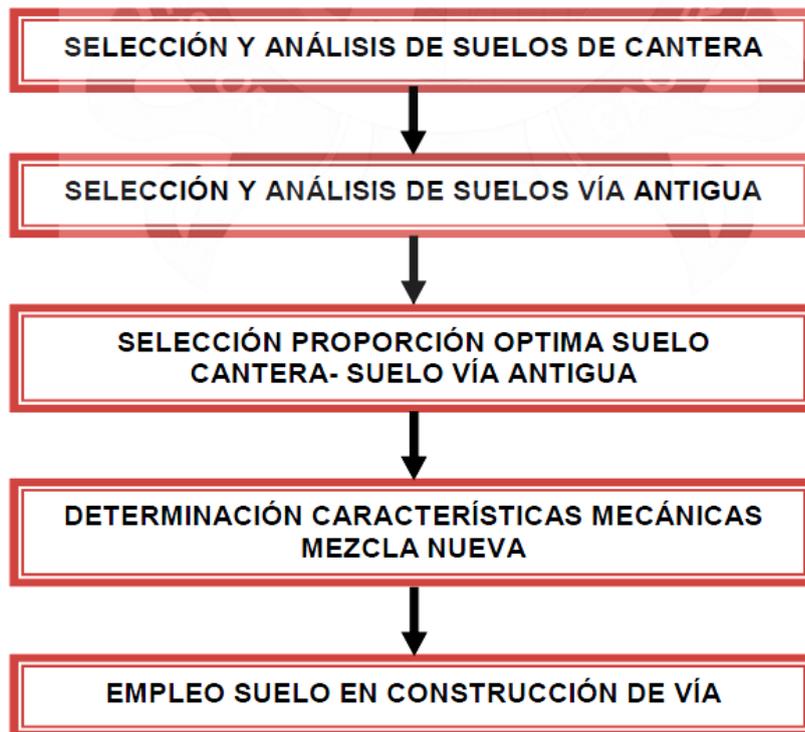
- Se empleó los suelos obtenidos de tres calicatas del óvalo Pedro Vilcapaza, al que se adicionó 3% de material de suelos de cantera.
- Al material e suelos de cantera de Taparachi, se adicionó residuos de mezclas asfálticas en abandono en proporciones de peso en 3%, 5% y 10%.
- Se seleccionó residuos de concreto de pavimentos rígidos a fin de obtener agregados reciclados, para producir nuevos concretos, para lo que se adiciono agregados reciclados a agregados naturales en proporciones en peso de 30% y 50% con resultados esperados.

3.1.5 METODOLOGÍA PARA RECICLAR LOS SUELOS DE BASE MEJORANDO CON ADICIÓN DE SUELOS DE CANTERA.

La operación de reciclaje se entiende, que los materiales de construcción deben volver a utilizarse, y en esta parte se efectuará tales determinaciones.

1. No se eliminará el material de base del Óvalo Pedro Vilcapaza.
2. El material de base se mejorará con la adición de material de cantera, de primer uso.
3. Se seleccionará la granulometría requerida para mejorar las características mecánicas de suelos existentes en la base.
4. El material de cantera adicionado fue del 30 % en peso, con fragmentos de 2" a 3/8" de suelos granulares.
5. Se han efectuado los siguientes ensayos después de mezclados.
 - a. Análisis granulométrico.
 - b. Límites de consistencia.
 - c. Clasificación de suelos.
 - d. Compactación en proctor modificado.

3.1.5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE RECICLAJE DE SUELOS ADICIONANDO SUELOS DE CANTERA.



3.1.6 METODOLOGÍA PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Uno de los materiales que por lo general se quedan en abandono, originando serios impactos ambientales negativos son los residuos de las mezclas asfálticas en abandono, estos provenientes de la escarificación de carpetas asfálticas antiguas, esos materiales son propicios para el reciclaje.

En el presente trabajo este material en abandono, se adicionará a suelos de canteras a fin de mejorar las características mecánicas de suelos que se empleará en la construcción de nuevas vías; para lo que se efectuará el procedimiento siguiente:

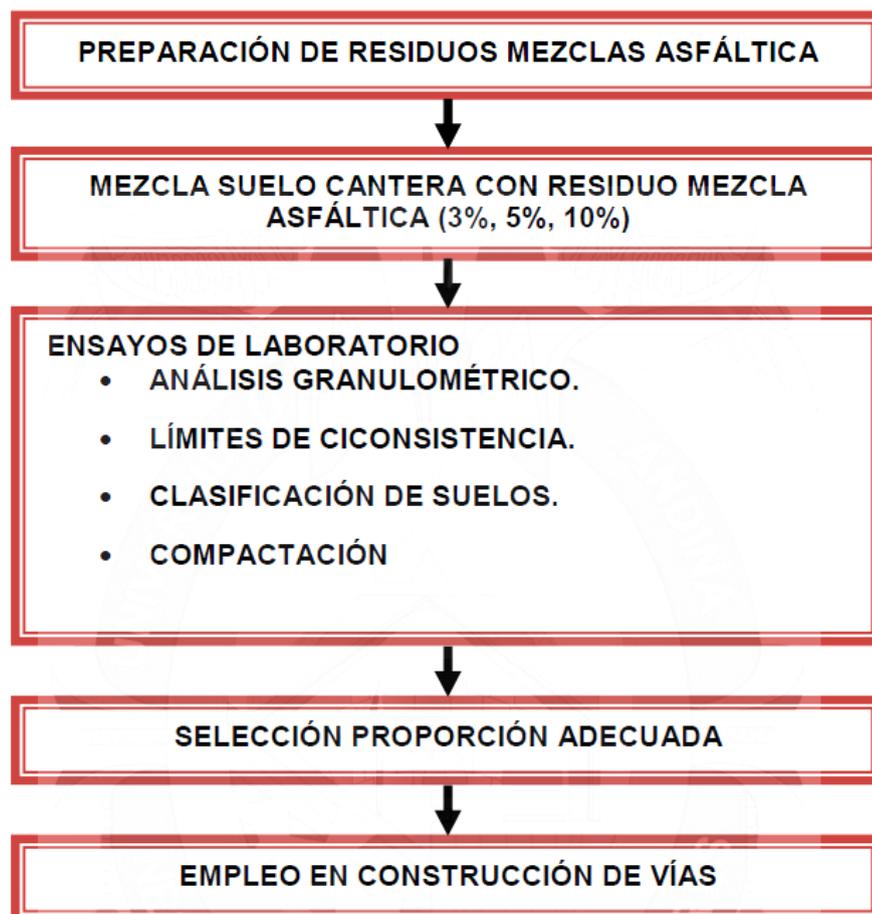
1. Se tomará material de la cantera de Taparachi y se determinará sus características mecánicas.

2. Del material de cantera se efectuará los ensayos siguientes:

- a. Análisis granulométrico.
- b. Límites de consistencia.
- c. Compactación Proctor modificado.

3. Al material de cantera se adicionará residuos de mezclas asfálticas trituradas a fin de verificar la variación de sus características mecánicas. La adición se efectuará en proporciones del 3 %, 5 % y 10 % en peso.

3.1.6.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE RECICLAJE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN MATERIAL DE BASE.

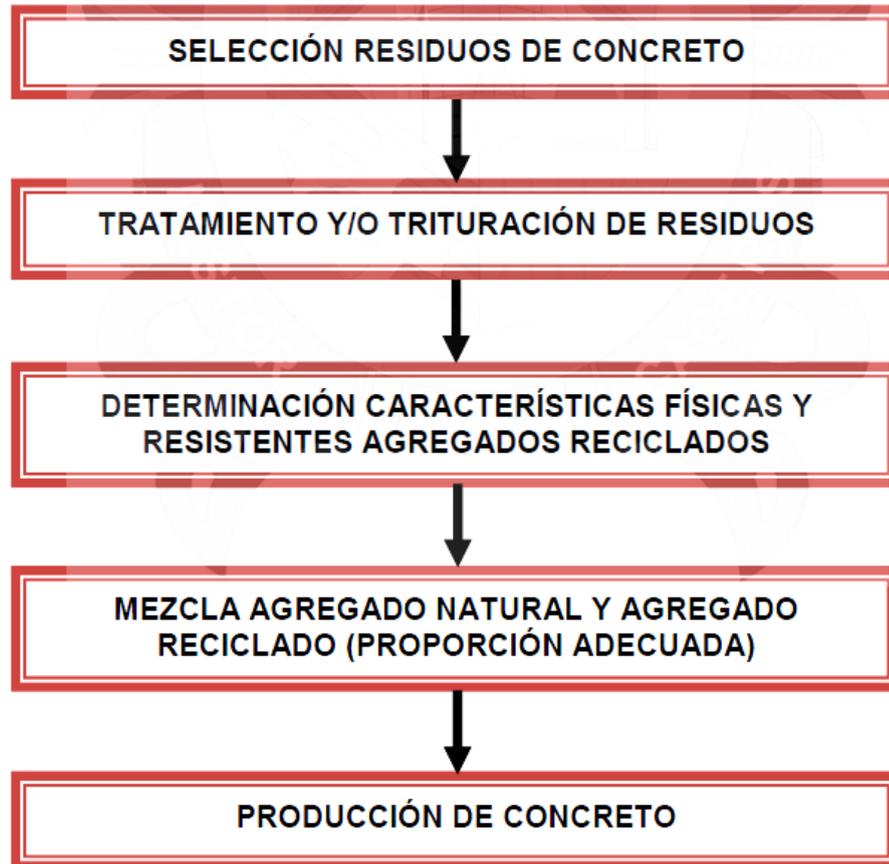


3.1.7 METODOLOGÍA PARA EL CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS.

El concreto es un material de construcción más empleado, en nuestro medio establecido, producirlo con agregados naturales de la cantera Isla. El desarrollo del presente trabajo implica la producción de agregado reciclados para el concreto; tomando en consideración estos aspectos en esta parte del trabajo propuesto se tomarán en consideración los aspectos siguientes:

1. Determinación de las características mecánicas de los agregados de la cantera Isla de Juliaca.
2. Determinación de las características mecánicas de los agregados gruesos reciclados para producir concreto.
3. Diseño de mezclas para una resistencia de 210 kg/cm.
4. Producción el concreto con agregados naturales gruesos y finos.
5. Producción del concreto con agregados gruesos 70 % agregados naturales y 30 % agregados gruesos reciclados.
6. Producción del concreto con 50 % de agregados gruesos naturales y 50 % de agregados gruesos reciclados.

3.1.7.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE RECICLAJE DE AGREGADOS PARA PRODUCCIÓN DE CONCRETO.



3.1.7.2 DISEÑO DE MEZCLAS DE $f'c=210$ kg/cm² CON AGREGADOS NATURALES.

El Comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto. (RIVVA, E. (2010).

APLICACIÓN.

A. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

Calcular las proporciones de los materiales integrantes de un concreto a ser empleado para determinar por comparación de la

resistencia a la compresión del concreto con fines de investigación, empleando agregados naturales y agregados reciclados. Las especificaciones a considerar son las siguientes:

- a. No existe limitaciones en el diseño no por congelación, ni presencia de cloruros y sulfatos.
- b. La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 Kg/cm² a los 28 días. La desviación a considerar será de 10% de la resistencia.
- c. El concreto deberá tener una consistencia seca.
- d. Luego se añadirá agregados reciclados en 30% y 50% de su peso.

B. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

- a. Cemento.
 - Portland ASTM, tipo IP Rumi.
 - Peso específico. 3.00 gr/cm³.
- b. Agua.
 - Potable.

C. AGREGADO FINO.

- | | |
|--|--------|
| • Peso específico de masa. | 2.62 |
| • Absorción. | 4.60 % |
| • Humedad. | 8.74 % |
| • Módulo de fineza. (3.68 aprox. 3.70) | 2.91 % |

D. AGREGADO GRUESO.

- Perfil redondeado.
- Tamaño máximo nominal. 1"

- Peso específico de masa. 2.57
- Absorción. 2.30 %
- Humedad. 3.36 %
- Peso seco compactado. 1685 Kg/cm³.
- Módulo de fineza. 7.76

E. DESARROLLO.

Paso 1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

(f'_{cr})

- Resistencia del concreto establecido = 210 kg/cm².
- Desviación estándar (S) = 21 kg/cm².

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(S) = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1.34(21) = 238 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(S) - 35 = 210 \text{ kg/cm}^2 + 2.33(21 \text{ kg/cm}^2) - 35 = 224 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma en cuenta el mayor: 238 kg/cm² = 240 kg/cm²

Paso 2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO.

Establecido en las especificaciones de diseño.

T.M.N.: 1"

Paso 3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Exigencia del diseño, en este caso se establece que la mezcla tenga consistencia seca.

S = 1" a 2"

Paso 4. DETERMINACION DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA.

- Uso de tabla 10.2.1.
- Asentamiento 1" a 2"

- Mezcla sin aire incorporado.
- Tamaño máximo nominal 1".

Agua: 179 lit. (m3)

Paso 5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO.

- Concreto normal sin influencia de agente externo.
- Uso tabla 11.2.1
- Tamaño máximo nominal 1".

Aire atrapado: 1.5 %

Paso 6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO.

- Concreto normal.
- Resistencia promedio: $238 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ kg/cm}^2$.
- Sin aire incorporado.
- Tabla 12.2.2

POR RESISTENCIA.

$A/C = 0.636$

Paso 7. FACTOR CEMENTO.

- Cantidad de agua. = 179 lit.
- Relación agua /cemento = 0.636

Cemento = agua/a-c, $179 / 0.636 = 281.45 = 281 \text{ kg}$.

Cemento = 281 kg (7 bolsas)

Paso 8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

- Uso tabla 16.2.2
- Tamaño máximo nominal: 1"
- Módulo de fineza de agregado fino : 2.91
- Peso seco compactado.: 1685 kg/m^3 .

$$\text{AG. (Vol.)} = 0.66 \text{ m}^3.$$

$$\text{AG. (Peso) : } 1685 (0.66) = 1112.10 = 1112 \text{ kg.}$$

$$\text{AG} = 1112 \text{ kg. (seco)}$$

Paso 9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS.

- Cemento. : $281/3000 = 0.0937 \text{ m}^3.$
- Agua. : $179/1000 = 0.1790 \text{ m}^3.$
- Aire atrapado. : $1.5 \% = 0.0150 \text{ m}^3.$
- Agregado grueso. : $1112/2570 = 0.4327 \text{ m}^3.$

$$\Sigma = 0.7204 \text{ m}^3.$$

Paso 10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

- Peso específico de masa AF. : 2.62
- Suma volúmenes absolutos : 0.7204 m³

$$\text{Volumen AF.} = 1.0000 - 0.7204 = 0.2796 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso AF.} = (2620) (0.2796) = 732.55 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso AF.} = 733 \text{ kg (seco)}$$

Paso 11. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.

- Humedad A.F. : 8.74 %
- Humedad A.G. : 3.36 %
- Absorción A.F. : 4.60 %
- Absorción A.G. : 2.30 %
- Peso seco A.F. : 733 kg. (seco)
- Peso seco A.G. : 1112 kg. (seco)

Humedad superficial de los agregados.

$$\text{A.F.} = 733 (1.0874) = 796.77 = 797 \text{ kg. (húmedo)}$$

$$\text{A.G.} = 1112 (1.0336) = 1149.36 = 1149 \text{ kg. (húmedo)}$$

Aporte de la humedad superficial.

$$A.F. = 733 (0.0874 - 0.0460) = 30.35 \text{ lt.}$$

$$A.G. = 1112 (0.0336 - 0.0230) = 11.79 \text{ lt}$$

$$\Sigma = 42.14 \text{ lt}$$

$$\text{Agua neta} = 179 - 42 = 137 \text{ lt.}$$

Paso 12. PROPORCIÓN EN PESO PARA UN KILO DE CEMENTO.

Cemento	AF	AG	/	Agua
$\frac{281}{281}$:	$\frac{797}{281}$:	$\frac{1149}{281} / \frac{137}{281}$
1	:	2.84	:	4.09 / 0.49

PARA LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A ELABORAR SE TOMARÁ LA SIGUIENTE PROPORCIÓN:

$$1 : 3 : 4 / 0.50$$

Paso 13. CANTIDAD DE MATERIALES PARA UN M3 DE CONCRETO.

Cemento	:	281 kg.
Agregado fino	:	797 kg. Húmedo.
Agregado grueso	:	1149 kg. Húmedo.
Agua	:	137 lt.

3.2 RECICLADO DE PAVIMENTOS.

Las especificaciones técnicas utilizadas, para el reciclaje de un pavimento sea este en frío o en caliente, son directamente aplicadas a los materiales utilizados en el proceso, bajo el concepto de que estos materiales son procedentes de muestras representativas del pavimento a reciclar, los

cuales deben estar regidas por las normas utilizadas en nuestro país para este proceso, como lo son las FP'96, FP'03 o las SIECA.

Estos materiales procedentes de la mezcla asfáltica de la carpeta asfáltica y demás agregados de la base y sub-base del pavimento existente son sometidos a ensayos y bajo los parámetros especificados se determina la mezcla reciclada y demás cantidades y calidades de materiales nuevos a agregar a los existentes para conformar lo que será el pavimento reciclado. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.1 EVALUACIÓN DE MATERIALES PARA LA MEZCLA EN FRÍO.

Este capítulo cubre los procedimientos para la muestra y prueba de materiales para la mezcla fría reciclada. Incluyendo las consideraciones de selección de materiales nuevos. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.2 MUESTRA DE CAMPO.

Esta debe ser muestra representativa de pavimento existente, esto es requerido para un buen análisis y la necesidad de lograr una mezcla satisfactoria.

El método muestreo especificado por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales estándar, ASTM D 979 muestra bituminosa de mezcla de pavimento, debería ser la siguiente. En adición el espesor del pavimento debe ser indicado.

Se debe dar una inspección visual de la carretera y una revisión de la construcción y registro de mantenimiento, debería ser hecha para descubrir alguna variación significativa en los materiales a ser reciclados. La sección de carretera con diferencias significativas en la composición de los materiales debe ser evaluada como unidad separada.

La localización de muestras debe ser seleccionada de acuerdo a los criterios técnicos. Un mínimo de cinco muestras por kilómetro (uno por bloque en la ciudad) deben ser tomados para análisis en el laboratorio. Si los materiales de la base deben ser reciclados en el lugar, se deben sacar muestras de ellos en la misma posición y el registro del espesor de la capa. (Esto debe ser anotado para tener la graduación del agregado en una mezcla específica ya que puede ser alterado por el tipo de proceso usado de recuperación, sea este el fresado en frío, el triturado o similar). (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.3 PAVIMENTO ASFÁLTICO RECUPERADO. (RAP).

El diseño apropiado de una mezcla para reciclaje de mezclas en frío, es que los agregados y el contenido de asfalto en el pavimento asfáltico recuperado deben ser evaluados independientemente. Es por lo tanto necesario separar el contenido de asfalto de los agregados en una muestra representativa de pavimento asfáltico recuperado. El asfalto es extraído acorde a la norma ASTM D 2172, extracción cuantitativa de bitumen de una mezcla de pavimento bituminoso. (En mezcla que contienen asfaltos rebajados o asfaltos emulsificados que contienen solventes, una determinación de —asfalto residual puede ser obtenido calentando la muestra antes extraída por sobre tres horas a 121 °C ó 250 °F).

Las siguientes propiedades son entonces determinadas:

- a) Gradación de agregados** – la gradación de los agregados una vez separado del asfalto es establecida por el análisis del tamiz, ASTM C 136 Análisis de tamizados de agregados finos y gruesos.

- b) Contenido de asfalto** – El contenido de asfalto de un pavimento asfáltico recuperado es determinado en base al peso relativo del

asfalto extraído y los agregados. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.4 AGREGADO MATERIAL RECUPERADO. (RAM).

La graduación de material agregado recuperado para una muestra representativa es determinada por el uso del método, ASTM C 136.

La cantidad del material agregado recuperado (materiales extraídos en el lugar) depende de factores tales como la forma de la partícula de agregado, tipo y cantidad de finos y diferencias en absorción. Existen bases granulares y caminos sin superficies sin tratar, que incluyen una amplia variedad de agregados y combinaciones suelo-agregado. Aunque materiales que van de arenas limosas a bien graduadas, rocas trituradas pueden ser recicladas por el proceso de mezcla fría, pero hay ciertos criterios deben ser reunidos para garantizar el éxito.

Existen (en el lugar) agregados para reciclado en frío que debe reunir uno (no ambos) de los siguientes criterios:

- 1) Una medida de la conveniencia de material fino o suelto para reciclaje de mezclas para reciclaje en frío es el resultado del índice de plasticidad, ASTM D 424, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, y el porcentaje que pasa el tamiz de 75 μ m (Nº 200) debe ser menor a 72.
- 2) Otra medida de conveniencia es la prueba del equivalente de arena. ASTM D 2419, valor equivalente de arena, de suelos y agregados finos, es usado para detectar excesiva cantidad de arcillas, finos plásticos y polvo. Generalmente, los materiales con un equivalente de arena sobre 30 puede ser reciclada con éxito. La posibilidad de tener éxito con materiales que tienen un equivalente de arena de 20 a 30 depende en la habilidad del asfalto de impermeabilizar las partículas.

Procurar estabilizar suelos granulados con equivalentes de arena menores a 20 no son normalmente exitoso.

La habilidad del material agregado recuperado a resistir despojos puede ser indicado por pruebas. El grado de prueba de despojos de la partícula, cubriendo y despojando a mezclas de agregados-bitumen, ASTM D 1664, puede ser usada para este propósito. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.5 NUEVOS AGREGADOS.

Si un nuevo agregado es necesario para corregir la graduación del material agregado recuperado (RAM) o el incremento del espesor al pavimento a reciclar, su calidad no debe ser menor a la del material agregado recuperado del subtema anterior.

La gradación del nuevo agregado, basado en el diseño de la mezcla requerida, es establecida por un análisis de tamices; ver ASTM C 136.

Para la calidad de los agregados en todas sus propiedades, deberán ser conforme a los parámetros establecidos en la sección 703 de las especificaciones SIECA. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.2.6 AGENTES ESTABILIZADORES.

Actualmente, se usa un amplio rango de agentes estabilizadores en el mundo; éstos incluyen compuestos químicos, tales como cloruro de calcio, polímeros de cadena larga y productos sulfatados del petróleo, al igual que otros productos patentados y agentes más convencionales como el cemento. Todos persiguen el mismo objetivo; ligar las partículas individuales para incrementar la resistencia o hacer el material más resistente al agua. Algunos agentes son más efectivos sobre materiales específicos y otros tienen claras ventajas económicas, pero todos cuentan

con un lugar en el mercado; además, la mayor parte de ellos ofrece mejores resultados cuando se usan con máquinas recicladoras modernas.

Continuamente se están desarrollando nuevos productos siendo importante para la industria contar con una buena experimentación. Siempre debe promoverse la innovación, ya que no puede pretenderse que un solo agente estabilizador sea el mejor para todas las aplicaciones. Los ingenieros tienen que mantener su mente abierta cuando se enfrentan a la toma de decisión de cuál agente usar en un proyecto específico. Tales decisiones invariablemente están influidas en orden de importancia, por los siguientes factores:

- a. **Precio.** El costo unitario del estabilizador (expresado normalmente en pesos por metro cuadrado de capa terminada) siempre será la preocupación principal.
- b. **Disponibilidad.** En varias partes del mundo no se consigue un agente estabilizador específico. Las emulsiones asfálticas son un ejemplo, ya que actualmente no se fabrican en ciertos países.
- c. **Características del material.** Algunos agentes estabilizadores son más efectivos que otros sobre cierto tipo de materiales. Por ejemplo, se prefiere la cal en lugar del cemento cuando van a estabilizarse suelos de alta plasticidad.
- d. **Política.** Algunos propietarios de carreteras, a menudo influenciados por experiencias anteriores, tienen políticas rígidas en relación con el uso de ciertos tipos de agentes estabilizadores. (WIRTGEN, 2001).

3.3 DISEÑO DE MEZCLA DE RECICLADO EN FRÍO.

Para el reciclado de mezcla en frío, el objetivo primario del diseño de la mezcla es producir una mezcla comparable a una hecha con todos los materiales nuevos.

Sin embargo, no hay universalmente aceptado ningún método de diseño de mezcla para el reciclado de mezcla en frío. En general, pruebas de laboratorio, formulas empíricas o experiencias pasadas con proyectos idénticos son usados para establecer el contenido inicial de asfalto, con la intención de ajustar esto, si es necesario, después de que la construcción ha empezado.

En vista que el proceso de reciclaje en frío puede realizarse tanto en planta como In-situ y los criterios referentes al diseño de la mezcla reciclada varían un poco uno del otro de acuerdo a lo siguiente:

- 1. Reciclado in situ:** básicamente el diseño de la mezcla reciclada consiste en llevar la granulometría de los materiales de la carpeta asfáltica existente (RAP) y parte base granular (RAM) dependiendo del espesor a reciclar, a una de las granulometrías especificadas en la tabla 4 .2, si es que estos no la cumplen, la corrección de la granulometría se realiza agregando material nuevo, por lo que los ensayos de laboratorio de muestras representativas del pavimento a reciclar desempeñan un papel sumamente importante para definir la gradación del material existente, el tipo y cantidad de agente estabilizador a utilizar durante el reciclado in-situ.
- 2. Reciclado en planta:** en este proceso los materiales son escarificado tanto de la carpeta asfáltica como de la base granular para ser llevados a una planta en donde se determinan sus granulometrías por separado y fácilmente estos se combinan en porcentajes determinados para hacerlos llegar a una granulometría especificada

agregando material nuevo si es necesario, luego se procede a la determinación del tipo y cantidad de agente estabilizador a utilizar en la mezcla reciclada.

En las secciones siguientes se desarrolla un diseño de mezcla para reciclado en planta por ser un tanto más compleja la combinación de agregados ya que considera la carpeta asfáltica, base granular y agregado nuevo por separado mientras que el reciclado in situ combina la mezcla de base y carpeta como una sola granulometría con material nuevo cuando es necesario. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.3.1 PASOS DE PREPARACIÓN.

Este procedimiento de diseño de mezcla provisional es el siguiente:

El agregado de un pavimento asfáltico recuperado (Carpeta; RAP) es mezclado con agregado de material recuperado (base granular; RAM) y/o nuevo agregado que es requerido para obtener una gradación de agregado combinado encontrándose los requerimientos de la especificación. Una vez las proporciones relativas de agregado son determinadas, una calidad de nuevo asfalto se selecciona. Una demanda total del asfalto para la mezcla es determinada. Los cálculos siguen para estimar la cantidad requerida de nuevo asfalto por reciclar. Siguiendo estas determinaciones, al contenido de asfalto se le hacen ajustes hechos de los ensayos de campo. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.3.2 DISEÑO DE LA MEZCLA.

Con la información obtenida de la evaluación de materiales el diseño de la mezcla de reciclaje en frío puede ser formulado.

La Figura es una carta de flujo que parte los pasos para este procedimiento de diseño provisional. Los pasos son:

- 1. Combinación de los agregados en la mezcla reciclada.** Usando la gradación de los agregados del pavimento asfáltico reciclado (carpeta asfáltica), el material agregado recuperado (es cualquier material granular que sirva de base a la superficie o carpeta asfáltica) y el nuevo agregado, dan una gradación combinada que reúne los requisitos de la especificación deseada y es calculada.

Como una manera práctica, la mayoría de las especificaciones de reciclaje de mezcla en frío permite una variación razonable en gradaciones aceptables, y la corrección por adicionar nuevo agregado no es normalmente requerido. La gradación del material probado siempre debe evaluarse.

- 2. Selección del grado del asfalto nuevo.** La calidad de asfalto es seleccionada utilizando las pautas generales dadas para el cemento asfáltico, emulsión asfáltica y selección del asfalto, vistas anteriormente.
- 3. Demanda del porcentaje de asfalto de la combinación de agregados.**

La demanda de asfalto de la combinación de agregados puede ser calculada por la formula empírica:

$$P_c = \frac{0.035a + 0.045b + KC + F}{R}$$

Dónde:

P_c = Porcentaje* de material asfáltico por peso de la mezcla total.

K = 0.15 para 11-15 porcentaje que pasa la malla 75 μ m (No 200)

0.18 para 6-10 porcentaje que pasa la malla 75 μ m (No 200)

0.20 para el 5 por ciento o menos que pasa la malla 75 μ m (No 200)

a = Porcentaje* de agregado material retenido en la malla 2.36 mm
(No 8)

b = Porcentaje* de agregado material que pasa la malla 2.36 mm
(No 8) y retenido en la malla 75 μ m (No 200)

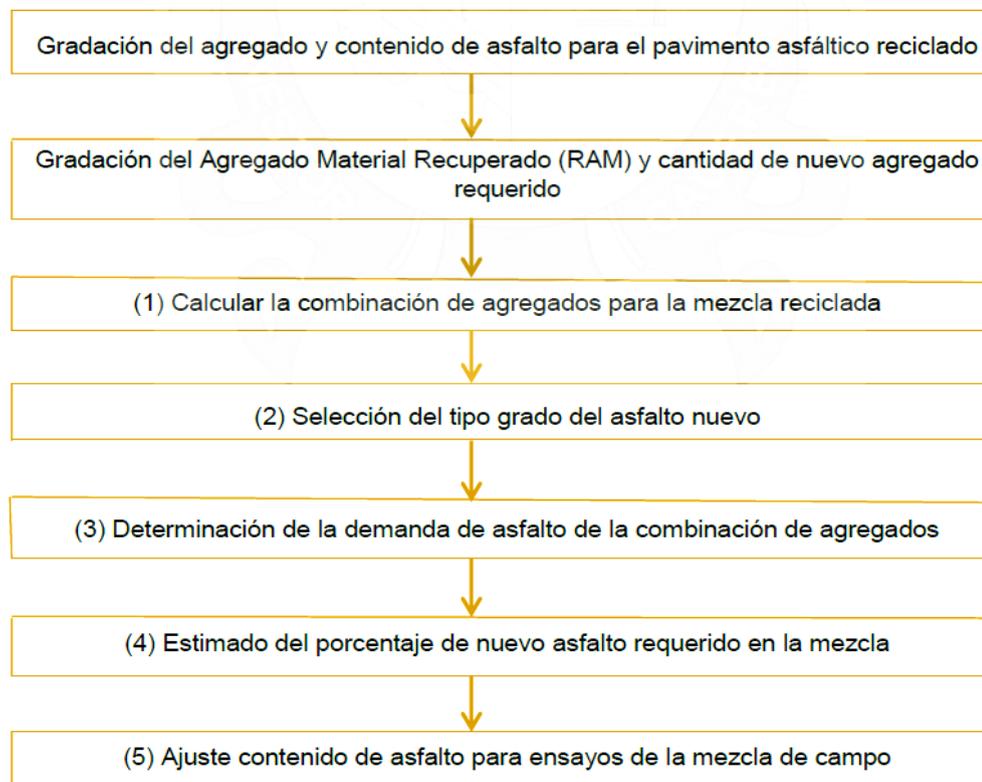
c = Porcentaje* de agregado material que pasa la malla 75 μ m (No
200) *Expresado en número entero.

F = 0 a 2.0 por ciento. Basado en la absorción del agregado. La
fórmula es basada en un promedio de gravedad específica de
2.6 a 2.7. En la ausencia de otros datos de un valor de 0.7 a 1.0
debe cubrir la mayoría de las condiciones.

R = 1.0 para cemento asfáltico; 0.60 a 0.65 para emulsiones
asfálticas.

Figura III.1.

Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de mezcla en frío



Fuente: el instituto de asfalto. 1983).

4. Porcentaje de Nuevo Asfalto en la Mezcla. La cantidad de nuevo asfalto a ser adicionado a la mezcla reciclada iguala a la demanda de asfalto calculado (paso (3)) menos el porcentaje de asfalto en el pavimento de asfalto recuperado. La fórmula es:

$$P_r = P_c - \frac{(P_a \times P_p)}{R}$$

Dónde:

P_r = Porcentaje* de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

P_c = Porcentaje* de asfalto por peso de la mezcla total.

P_a = Porcentaje* de asfalto en el pavimento asfalto recuperado.

P_p = Porcentaje decimal del pavimento asfáltico recuperado en la mezcla reciclada.

$R = 1.0$ para el cemento asfáltico en el pavimento recuperado;

0.60 a 0.65 para Emulsiones asfálticas; 0.70 a 0.80 para asfalto cutback (asfalto rebajado).

* Expresado como un número entero.

En construcción in situ es a menudo deseable proporcionar asfalto basado en el peso de agregado P_d , esta conversión es como sigue:

$$P_d = \frac{100P_r}{100 - P_r}$$

P_d = Porcentaje expresado como un numero entero, del asfalto nuevo por peso de Agregados.

5. Ensayos a la mezcla de campo. El ajuste final del contenido de asfalto puede ser hecho por el ingeniero en campo para obtener una carretera durable (basado en la necesidad de minimizar deformación y descomposición térmica).

3.4 EVALUACIÓN DE MATERIALES PARA LA MEZCLA EN CALIENTE.

La mezcla de reciclado en caliente, es una mezcla de recuperación y de nuevos materiales, formulados para lograr una mezcla adecuada y pavimentar con propiedades físicas especificadas. El primer paso es la evaluación de materiales, seguido por el diseño de mezcla (por el método de Marshall o Hveem).

Todos los materiales deben probarse y deben evaluarse para encontrar la mezcla óptima que reúna los requerimientos de la mezcla. A ese fin, este capítulo discute procedimientos y pruebas para reciclar un pavimento en caliente y a los nuevos materiales cuando sean necesarios. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.4.1 PRUEBAS.

Se han desarrollado varios métodos por obtener muestras representativas de materiales. Entre ellos los métodos para probar asfalto como en el Manual del Instituto del Asfalto serie No. 18; Probando Productos del Asfalto para Complacer las Especificaciones de La Asociación Americana para la Prueba de Materiales (ASTM D 140), o La Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO T 40); agregados, ASTM D 75 (AASHTO T 2), y la mezcla de pavimento asfáltico ASTM D 979 (AASHTO T 168). Sin embargo, sin tener en cuenta el método usado, es requerido juzgarlo en la ingeniería desarrollando un plan de prueba.

La técnica conocida es una prueba al azar y es todavía una de las mejores inventadas. Con esto la localización de la prueba es seleccionada de tal manera que todas las localizaciones posibles dentro de la selección sean igualmente probables para ser escogidos y que sean investigados. La opción es imparcial porque se hace completamente por casualidad, usando una mesa de números al azar.

Una ventaja agregada de usar la prueba al azar es que el procedimiento, es basado en métodos estadísticos, y es que ambos la cantidad de trabajo y el costo probablemente involucrado pueden reducirse.

El procedimiento para probar al azar los materiales para pavimentos esta detallado en el Manual de Suelos del Instituto del Asfalto MS-10 o ASTM D 3665, puede usarse para seleccionar las localizaciones de prueba.

El aplastar o moler el pavimento asfáltico a reciclar pueden alterar la gradación de la porción de agregados. Por consiguiente, las muestras sometidas a pruebas deben representar la fría alimentación de las pilas de acopio en el sitio de la planta (para reciclaje en planta) y los laboratorios de campo (para reciclaje in situ).

La reserva existente de pruebas puede describirse en el método de AASHTO T-2. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.4.2 EL PAVIMENTO ASFÁLTICO A RECICLAR.

El diseñar mezclando el pavimento asfáltico conteniendo pavimento asfáltico reciclado requiere ciertas pruebas de laboratorio además de los procesos usuales de Marshall o Hveem. Primero, la composición del pavimento asfáltico reciclado debe determinarse. Esto incluirá:

- a) Gradación del agregado,
- b) Contenido de asfalto,
- c) Viscosidad del asfalto a 60 °C (140 °F).

Entonces, la gradación de los agregados del material reciclado, cualquiera que sea, debe determinarse. Esta información es usada para definir la cantidad de cemento asfáltico nuevo que se necesita, y la gradación y cantidad adicional de agregados.

Los agregados y el asfalto en el pavimento asfáltico reciclado tienen propiedades que deben ser evaluados por separado. Por consiguiente, es

necesario extraer el asfalto viejo de una muestra representativa del pavimento asfáltico reciclado.

a. Evaluación del Agregado. Un análisis por tamices, ASTM C 117 y C 136 (AASHTO T 11 y T 27), se realiza en la porción de agregado de la muestra del pavimento asfáltico reciclado para determinar la gradación (figura 24). Cualquier deficiencia puede ser corregida por una mezcla apropiada de fragmentos en el tamiz del nuevo y/o agregado recuperado del pavimento asfáltico reciclado.

Figura III.2.

Muestra separada del asfalto, es a la que se toma la granulometría



Fuente: el instituto de asfalto. 1983.

Como se observa primero se extraen muestras de la carpeta asfáltica que va a reciclarse, se desmenuza y se coloca en recipientes debidamente identificadas, para luego proceder a separar los agregados del asfalto (figura 25). (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

b. Extracción. El método que debe ser usado está en ASTM D 2172 (AASHTO T 164). El propósito de la extracción es la separación cuantitativa del agregado y asfalto. Dicha extracción se realiza utilizando los siguientes aparatos:

Figura III.3.

Aparato centrífugo, separa los agregados finos del asfalto-solvente



fuente: el instituto de asfalto. 1983.

Se procede a extraer el asfalto para tener únicamente los agregados. Este proceso se realiza con los extractores que se muestran en la figura 23 y figura 24 la velocidad máxima a la que giran estos extractores es a 3600 revoluciones/por minuto.

El objeto de las pruebas de extracción del asfalto es conocer si necesita material virgen y rejuvenecedor, además en que cantidades se le van a colocar.

Después se procede a extraer los finos que pudieron quedar en la mezcla asfalto-solvente, para ser adicionados a los agregados antes extraídos y que así pueda tomarse una granulometría correcta de la carpeta asfáltica.

- d) **Evaluación de Asfalto.** El contenido de asfalto en el pavimento asfáltico reciclado es determinado basándose en los pesos relativos del asfalto extraído y del agregado. La extracción del asfalto recuperado es sobre la base de la solución ASTM D 1856 (AASHTO T 170).

Su consistencia es entonces determinada en base a la viscosidad a 60 °C (140 °F), ASTM D 2171 (AASHTO T 202). Esta determinación es

necesaria para estimar la cantidad requerida y el grado de asfalto a ser usada en la mezcla designada a reciclar (ver figuras 29 y 30).

Esta prueba puede realizarse usando agua o glicerina, dependiendo de la temperatura a la que falle, la prueba dura más o menos 5 minutos. Esta normada por ASTM D 3 Esta prueba consiste en penetrar una aguja en una muestra de asfalto que tiene 25°C de temperatura por 5 segundos y luego en la escala de arriba nos indica cuanto fue la penetración, está por lo general anda en un rango de 60-70 centésimas de milímetros, para un asfalto virgen, para un asfalto que va a ser reciclado anda en un rango mucho menor por lo que así se sabe si necesita asfalto virgen y en qué cantidad.

Nota:

Se sugiere que cuando no se utilice más de un 20 por ciento del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la mezcla; la viscosidad del asfalto extraído no es necesaria. La calidad de asfalto a ser usado en la mezcla reciclada normalmente será de la misma calidad usada para las mezclas convencionales. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.4.3 ASFALTO NUEVO.

Cemento asfáltico nuevo, adicionado a la mezcla del pavimento asfáltico reciclado y el nuevo agregado, sirve para dos propósitos. Para incrementar el contenido de asfalto total para reunir los requisitos de la mezcla; y mezclar con el asfalto viejo en la porción reciclada de la mezcla y rendir así un asfalto que se encuentre en las especificaciones deseadas. Generalmente, se usan cementos asfálticos AC-10, AC-5 o AC-2.5 (AR-4000, AR-2000 o AR-1000; 85-100, 120-150 o 200-300 en penetración.) para este propósito. Estos asfaltos deben encontrarse en las especificaciones normales, ASTM D 3381 o D 946 (AASHTO M 226 o M20). (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.5 AGENTES DE RECICLAJE.

Los agentes de reciclaje son materiales orgánicos con características químicas y físicas seleccionados para restaurar asfaltos viejos y llevarlos a las especificaciones deseadas. Seleccionar al agente de reciclado, las características de viscosidad del asfalto viejo combinado con el agente de reciclaje son los factores a determinar.

Se han usado varios agentes reciclando con éxito en el plan de mezclas recicladas, aunque no hay actualmente ninguna especificación estándar nacional Americana para estos materiales. En 1976, en una Conferencia de la Costa Pacífica de Usuarios y Productores del Asfalto, se estableció un comité de Productores del Asfalto y Agencias Del Usuario para desarrollar especificaciones funcionales para agentes de reciclaje, y en 1979 el mismo grupo adoptó un juego de especificaciones provisionales para este propósito.

Estas características técnicas provisionales se sometieron a ASTM para consideración en el desarrollo de normas para estos materiales. Estos propusieron especificaciones del agente de reciclaje y se publicó en los 1980 Procedimientos de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos de Asfalto (volumen 49). (Consulte con el fabricante para la selección de un agente de reciclaje). (RIVERA, G. 1997).

3.5.1 AGREGADO SIN TRATAR.

Cualquier agregado normalmente usado para concreto asfáltico, material agregado de un reciclaje, o ambos pueden ser adicionados a un pavimento de asfalto reciclado para producir una mezcla con la gradación deseada. Pruebas preliminares de la combinación de agregados son necesarias para determinar la cantidad correcta de cada uno a ser usado en la mezcla reciclada. Al seleccionar el nuevo o al agregado recuperado,

se debe considerar si la mezcla será usada como una base asfalto-concreto o superficie de curso. La mezcla debe tener la gradación deseada y debe encontrarse el criterio del procedimiento para diseñar y la selección estructural del pavimento. También debe tener bastante trabajabilidad para permitir su colocación apropiada. (RIVERA, G. 1997).

3.5.2 COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

A la mezcla de reciclado y a los nuevos agregados se les debe encontrar el criterio de la gradación especificada, como es una de las gradaciones de la mezcla descrita en la publicación del Instituto del Asfalto, ejemplares de especificaciones de la construcción para el concreto asfáltico y otros tipos de mezcla en Planta (SS-1). Alternativamente, ASTM especificación D 3515 establece el estado o el criterio local que puede usarse para determinar la gradación y los requisitos de calidad de los agregados combinados.

Además, la mezcla de agregados debe verificarse por resistencia a despojar.

Usando una prueba de sensibilidad de agua aceptada y el mismo asfalto escogido para el proyecto, determina si necesita un relleno mineral o un agente.

La prueba de inmersión a compresión, —el efecto del agua en la cohesión de mezclas bituminosas compactadas, ASTM D 1075 (AASHTO T 165), se recomienda para mezclas compactadas que contienen cemento asfáltico. La fuerza retenida debe exceder el 75 por ciento. También vea La Causa y Prevención al Desalojar un Pavimento Asfáltico (ES-10), de El Instituto del Asfalto. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.6 DISEÑO DE MEZCLA DE RECICLADO EN CALIENTE.

En esta sección se presenta paso a paso el proceso necesario para proporcionar los materiales reciclados, selección de la calidad y cantidad de cemento asfáltico (más agente de reciclaje, si necesita) y prepara un plan final para la mezcla reciclada. Este es el método de la mezcla en caliente a reciclar, usando de 10 a un 70 por ciento del pavimento asfáltico reciclado. El lote de plantas que puede manejar un 50 por ciento (sin algún método auxiliar de precalentar el pavimento asfáltico recuperado, RAP), con el rango más práctico siendo de 10 a 35 por ciento; las plantas de mezcla de tambor pueden manejar un 70 por ciento, con 10 a 50 por ciento que es un rango práctico. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.6.1 PASOS DE PREPARACIÓN.

Este procedimiento de diseño de mezcla usa el método de Marshall o el de Hveem como sigue: El agregado para un pavimento asfáltico es mezclado con materiales agregados de reciclado y/o nuevo, los cuales son requeridos para obtener una combinación de agregados encontrándose así la gradación en las especificaciones requeridas. Una vez las proporciones relativas de agregados son determinadas, una demanda total del asfalto se calcula. Un grado de asfalto nuevo es entonces seleccionado (mas agente de reciclaje, si es necesario) para restaurar el asfalto viejo y proporcionar una carpeta final que reúna los requisitos funcionales de las especificaciones del asfalto, entonces satisfacer la demanda de la mezcla del asfalto. Siguiendo estas determinaciones, la mezcla diseñada por Marshall o el procedimiento de Hveem es realizado y la cantidad exacta de la carpeta total determinada. (EL INSTITUTO DE ASFALTO. 1983).

3.6.2 DISEÑO DE LA MEZCLA.

Con la información obtenida en la evaluación de los materiales, el diseño de la mezcla reciclada en caliente puede ser formulado. La viscosidad a 60 °C (140 °F), ASTM D 2171 (AASHTO T 202), es la medida de la prueba usada en este procedimiento para identificar asfalto en el pavimento asfáltico reciclado y en la mezcla reciclada.

Al igual que en el reciclaje en frío el proceso de reciclaje en caliente puede realizarse tanto en planta como in situ y los criterios referentes al diseño de la mezcla reciclada varían un poco uno del otro de acuerdo a lo siguiente:

- 1. Reciclado in situ:** Básicamente el diseño de la mezcla reciclada consiste en llevar la granulometría de los materiales de la carpeta asfáltica existente (RAP) dependiendo del espesor a reciclar (5 cm. máximo), a una de las granulometrías, si es que estos no la cumplen, además se estudia lo que son las propiedades actuales del asfalto existente, la corrección de la granulometría se realiza agregando material nuevo, lo mismo para corregir el asfalto (se agrega rejuvenecedor si es necesario), por lo que los ensayos de laboratorio de muestras representativas del pavimento a reciclar desempeñan un papel sumamente importante para definir la gradación del material existente, el tipo y cantidad de asfalto más agente rejuvenecedor a utilizar durante el reciclado in situ.
- 2. Reciclado en planta:** En este proceso los materiales son escarificados por medio de una recicladora en frío o un ripper tanto la carpeta asfáltica como de la base granular para ser llevados a una planta en donde se determinan sus granulometrías por separado y fácilmente estos se combinan en porcentajes determinados para hacerlos llegar a la granulometría especificada agregando material nuevo si es necesario, luego se procede a la determinación del tipo y

cantidad de asfalto nuevo más agente rejuvenecedor (si lo necesita) a utilizar en la mezcla reciclada.

En las secciones siguientes se desarrolla un diseño de mezcla para reciclado en planta por ser un tanto más compleja la combinación de agregados ya que considera la carpeta asfáltica, base granular y agregado nuevo por separado mientras que en el reciclado in situ se recicla lo que es el espesor máximo de 5 cm. de la carpeta asfáltica sin tomar en cuenta la base y se conforma la nueva carpeta asfáltica agregando mezcla virgen y agente rejuvenecedor (cuando esta lo necesite).

Para el diseño de la mezcla, los pasos son:

- 1. Combinación de los agregados en la mezcla reciclada.** Usando la gradación de los agregados del pavimento asfáltico recuperado, el agregado material recuperado RAM (sí es una base granular) y el agregado nuevo; una gradación combinada que reúna los requisitos de la especificación deseada se calcula.
- 2. Demanda del asfalto aproximado para la combinación de agregados.** La demanda de asfalto aproximado para la combinación de agregados puede ser determinada por la prueba Equivalente Centrífuga del Querosén (ASTM D 5148), prueba incluida en el Instituto del Asfalto por el Método de Hveem para diseñar la mezcla, o calculada por la fórmula empírica siguiente:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

Dónde:

P = Demanda total de asfalto aproximado de mezcla reciclada, porcentaje por peso de mezcla.

a = Porcentaje* de agregado mineral retenido en la malla de 2.36 mm (Nº 8).

b = Porcentaje* de agregado mineral que pasa la malla 2.36 mm (Nº 8) y retenida en la malla de 75 µm (Nº 200).

* Expresado en número entero

c = Porcentaje de agregado mineral que pasa la malla de 75 µm (Nº 200).

K = 0.15 para 11-15 por ciento que pasa la malla de 75 µm (Nº 200).

0.18 para 6-10 por ciento que pasa la malla de 75 µm (Nº 200).

0.20 para el 5 por ciento o menos que pasen la malla de 75 µm (Nº 200).

F = 0 a 2.0 por ciento. Basado en la absorción del agregado, en la ausencia de otros datos, un valor que se sugiere es 0.7.

Con una demanda de asfalto aproximada establecida, esto mantendrá una base para una serie de ensayos para el diseño de la mezcla. Las mezclas de ensayo variarán en volúmenes de asfalto en 0.5 incrementos en cualquier lado de la demanda de asfalto aproximada calculada.

Por ejemplo, suponga que la demanda de asfalto aproximada está calculada para un 6.2 %. Una serie de mezclas de ensayo podría ir entonces de 5.0 a 7.0 por ciento o de 5.5 a 7.5 por ciento.

3. Porcentaje estimado de nuevo asfalto en mezclas. La cantidad de nuevo asfalto a ser adicionado a las mezclas del ensayo para la mezcla reciclada, expresado como porcentaje del peso total de la mezcla es calculado por la fórmula siguiente:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})Pb}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$$

Dónde:

Pnb = Porcentaje*, contenido de asfalto de la mezcla reciclada (aproximado).

r = Demanda de asfalto por CKE o la fórmula empírica en el ítem 2

P_b = Porcentaje*, contenido de asfalto o demanda de asfalto del pavimento asfáltico reciclado, determinado por CKE o la fórmula empírica en el ítem 2,

P_{sb} = Porcentaje*, contenido de asfalto del pavimento asfáltico reciclado.

* Expresado en un número entero.

Por ejemplo, suponga que el contenido de asfalto, P_{sb} del RAP es 4.7 por ciento y $r = 75\%$, entonces:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - 75 \times 4.7)P_b}{100(100 - 4.7)} - \frac{(100 - 75)4.7}{100 - 4.7} = 1.01P_b - 1.23$$

Nota:

La fórmula anterior es para expresar el contenido de asfalto como porcentaje por peso total de la mezcla. Si el contenido de asfalto esta expresado como porcentaje por peso de agregado, la fórmula para calcular la cantidad de nuevo asfalto es:

$$P_{nb} = P_b - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100} \text{ (ver la TABLA 4.3)}$$

4. Selección de la calidad del nuevo asfalto. Usando la figura 31, una viscosidad designada de la mezcla de asfalto se selecciona. Un punto designado normalmente seleccionado es la viscosidad en el medio-rango de un asfalto AC -20" o 2000 países.

El porcentaje del nuevo asfalto, P_{nb} , al contenido total de asfalto, P_b , es expresado por la siguiente formula:

$$R = \frac{100P_{nb}}{P_b}$$

Por ejemplo, suponga la mezcla descrita en el paso 3 es para tener un contenido de asfalto estimado de 6.2 %. La cantidad de nuevo asfalto a ser agregado (de paso 3) es:

$$P_{nb} = 1.01 \times 6.2 - 1.23 = 5.0\%$$

Entonces;
$$R = \frac{100(5.0)}{6.2} = 81$$

La calidad del nuevo asfalto (y/o agente de reciclaje) es determinado usando un log-log de viscosidad versus la carta del porcentaje de nuevo asfalto mezclado como lo muestra la figura 31. Por lo tanto una carta de viscosidad para preparar la mezcla asfáltica recuperada y el nuevo asfalto (y/o un agente de reciclaje) debe ser seleccionada.

La carta de viscosidad usada es normalmente viscosidad de medio-rango del grado de asfalto normalmente utilizado dependiendo del tipo de construcción, condiciones climáticas, la cantidad y naturaleza de tráfico.

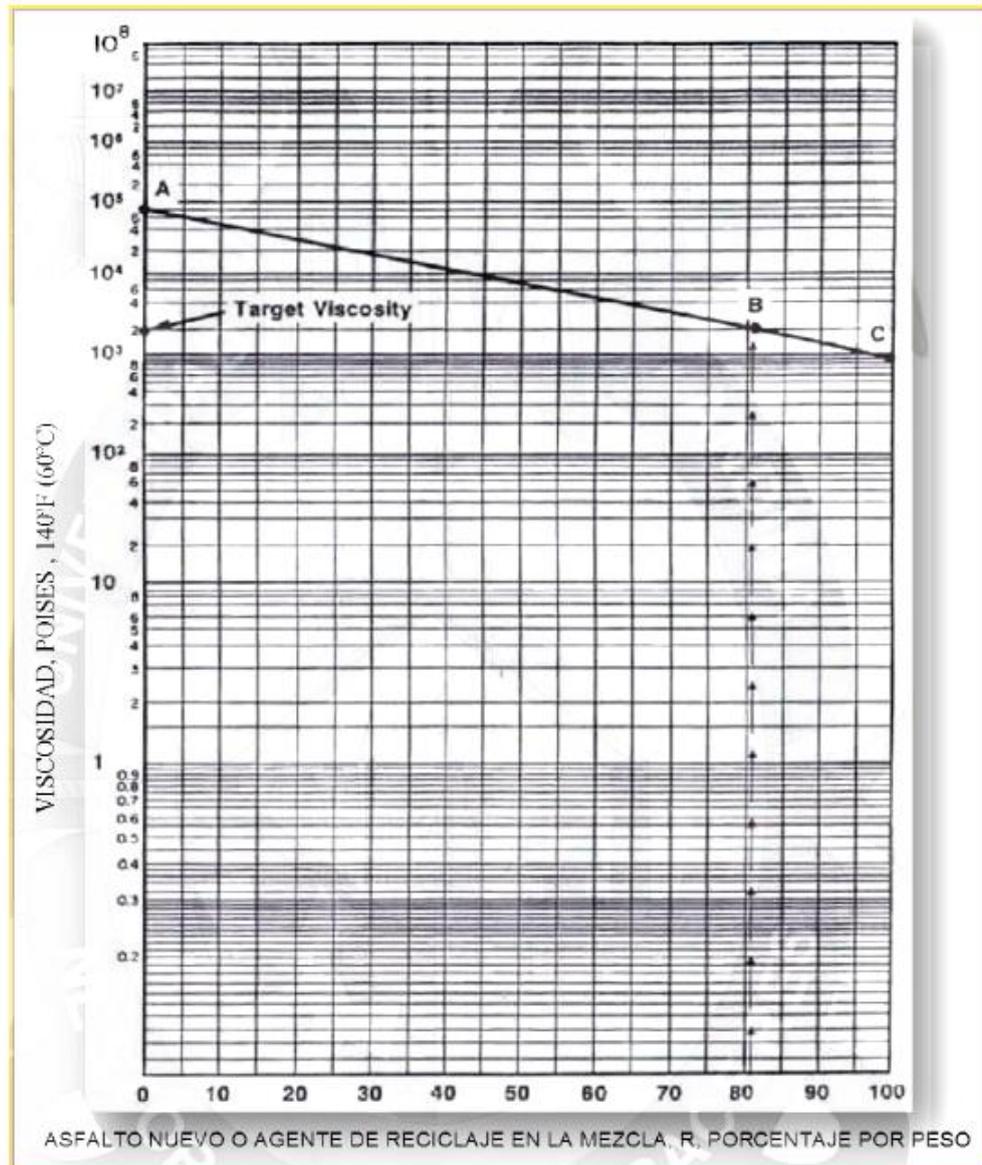
Trace la viscosidad del asfalto viejo del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en el lado izquierdo de la escala vertical, punto A, como se ilustra en la figura 31, Dibuje una línea vertical que representa el porcentaje de nuevo asfalto, R, calculado lo anterior se determina su intersección con la línea horizontal que representa la viscosidad de diseño de la carta, punto B.

Luego se traza una línea recta del punto A hasta el punto B y lo extiende para cortar el límite derecho, punto C. El punto C es la viscosidad a 60°C (140°F) del nuevo asfalto (y/o agente de reciclaje) requerido para mezclarlo con el asfalto obtenido del pavimento asfáltico recuperado y así obtener la viscosidad de la mezcla preparada. Se debe seleccionar la calidad del nuevo asfalto que este incluido en un rango de viscosidad o lo más cercano a la viscosidad del punto C.

Para trazar un punto usando la escala vertical, considere la viscosidad utilizando potencias de 10. Por ejemplo, 75000 países,

sería 7.5X10⁴, para trazar el punto en la escala vertical, se interpolaría 7.5 en la escala entre 10⁴ y 10⁵.

Figura III.4.
Carta de viscosidad del asfalto para mezcla



Nota:

Se sugiere que al seleccionar una calidad de cemento asfáltico por reciclar que la guía siguiente sea usada:

20% el RAP = no cambia más de un grado en calidad del asfalto.

21% RAP o más = no cambia más de una calidad.

(Para AC-20 a AC-10)

5. Ensayo de la mezcla diseñada. Se hacen ensayos de la mezcla diseñada usando a Marshall o el aparato de Hveem. Se usan las fórmulas mostradas en la tabla 4.3 para proporcionar los ingredientes: nuevo asfalto, Pnb, pavimento asfáltico reciclado (RAP), Psm y nuevo agregado y/o agregado reciclado (RAM), Pns.

Teniendo presente que, si se utilizan dos fuentes de agregados diferentes, como nuevo agregado y RAM, deben determinarse los porcentajes de cada una de estas fuentes y el total equivalente. Por ejemplo, la mezcla de agregado consiste en:

60% RAM (material de una base granular)

15% Nuevo agregado

25% RAP agregado

$r = 75$

Si Pns en una mezcla de ensayo es 61.4 por ciento, entonces el porcentaje de RAM (material de una base granular) en la mezcla total es $61.4 \times (60/75) = 49.1\%$ y el porcentaje de agregado nuevo será $61.4 \times (15/75) = 12.3$, siendo el total igual a 61.4%.

3.7 IMPORTANCIA DEL RECICLADO EN PAVIMENTOS.

La necesidad de incrementar la resistencia, durabilidad o mejorar la trabajabilidad de suelos de fundación y componentes estructurales del pavimento más allá de sus condiciones naturales es un reto permanente en la ingeniería vial para optimizar el uso de los materiales. Por ende, el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimiento mecánico o mediante la incorporación de productos

químicos, naturales o sintéticos se denomina estabilización. En el caso de subrasantes de baja capacidad de soporte se denomina estabilización mientras que en la base y sub base se denominan materiales tratados.

Existe una gran variedad de productos y alternativas para la estabilización desde la de tipo mecánica por compactación con la incorporación de componentes químicos, orgánicos o geosintéticos. Su aplicación depende del tipo de material que se desea mejorar, de las exigencias consideradas en el diseño y la disponibilidad de dichos materiales. (MENENDEZ, J. 2012).

3.7.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

Se cuenta con diversos procedimientos de selección y diseño de cada alternativa, los cuales dependen de las condiciones del material que se desea mejorar o estabilizar y las condiciones que este debe alcanzar. A continuación, se presenta una tabla con una guía de los tratamientos y su aplicabilidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012).

La norma de suelos y pavimentos del MTC (686 Ministerio de transportes y Comunicaciones del Perú 2012) recomienda algunas consideraciones geotécnicas a fin de seleccionar la alternativa adecuada de mejoramiento, a continuación, se resumen dichas recomendaciones.

1. Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR mayor de 6%. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización o mejoramiento.
2. Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse

una capa de material anticontaminante de 10 cm de espesor como mínimo o un geotextil.

3. La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.
4. En zonas sobre los 3000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a 1.20 m, la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en los últimos 0.60 m suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos, aquellos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02 mm.
5. Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.
6. Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:
 - Tipo de suelo a estabilizar.

- Uso propuesto del suelo estabilizado.
- Tipo de aditivo estabilizador de suelos.
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará.
- Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
- Disponibilidad del equipo adecuado.
- Costos comparativos. (MENENDEZ, J. 2012).

3.8 PROPUESTA DE CAMPOS DE APLICACIÓN DE RECICLAJE EN PAVIMENTOS.

Este tipo de tratamiento consiste en incorporar al material existente otro material procedente de cantera o corte que al ser adicionado mejore las propiedades del material existente. Por lo general se busca suelos granulares con bolones o roca fracturada. En este caso se debe verificar previamente que la granulometría resultante está distribuida uniformemente de tal manera que el proceso de compactación se facilite y la cantidad de vacíos disminuya.

Un ejemplo para calcular el porcentaje que debe ser colocado de cada material de cantera para obtener un material resultante que cumpla con las especificaciones para material de afirmado, si se conoce que las características granulométricas de cada material:

Tabla III.1.
Estabilización por combinación de suelos

TAMIZ	MM	AGREGADO A	AGREGADO B
3/4"	19.000	100	100
1/2"	12.500	90	100
3/8"	9.500	59	100
N°4	4.750	16	96
N° 8	2.360	3.2	82
N°30	0.600	1.1	54
N° 50	0.600	0	36
N° 100	0.150	0	21
N° 200	0.075	0	9.2

Fuente: ingeniería de pavimentos Menéndez, j. 2012.

La estabilización de combinación se realizara mediante mínimos cuadrados, empleando la notación matricial en Excel. En este caso la respuesta será calculada mediante la siguiente matriz:

$$[P] = [G^T \cdot G]^{-1} [G^T \cdot E]$$

Dónde: [P] = matriz resultante con los porcentajes por cada tipo de material [GT] = transpuesta de la matriz de % que casa en porcada tipo de material, [G] = matriz de % que pasa por cada tipo de material, y [E] = matriz de especificaciones.

Tabla III.2.
Estabilización por combinación de suelos

TAMIZ	MM	ESPECIF.MINIMA	ESPECIF.MAXIMA	ESPECIF. PROMEDEIO
3/4"	19.000	100	100	100
1/2"	12.500	80	100	90
3/8"	9.500	70	90	80
N°4	4.750	50	70	60
N° 8	2.360	35	50	42.5
N°30	0.600	18	29	23.5
N° 50	0.300	13	23	18
N° 100	0.150	8	16	12
\° 200	0.075	4	10	7

Fuente: ingeniería de pavimentos menéndez, j. 2012. de acuerdo a lo indicado las matrices estarían conformadas de la siguiente manera.

Tabla III.3.
Matrices

[G] =	Agregado A	Agregado B	[E] =	Especif. Promedio
	90	100		90
	59	100		80
	16	96		60
	3.2	82		42.5
	1.1	54		23.5
	0	36		18
	0	21		12
	0	9.2		7

Fuente: ingeniería de pavimentos Menéndez, j. 2012.

Resolviendo la ecuación planteada resulta % agregado A= 47.9% y agregado B = 52.1%. El material resultante se aprecia en el siguiente gráfico. (MENENDEZ, J. 2012).

3.9 RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

3.9.1 TIPOS DE RECICLADOS.

Existen tres tipos de reciclaje, que se describen a continuación:

a) Reciclado superficial.

Consiste en el retratamiento de la superficie del pavimento en bajos espesores, generalmente no superiores a los 2.5 centímetros, en casos en que los deterioros del pavimento no sean atribuibles a deficiencias estructurales. Se incluye todo procedimiento en que la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada o no de un agente de reciclaje, con o sin la incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, reacondicionada y recompactada. El proceso puede adelantarse en caliente o en frío y en este último caso el agente de reciclaje, si se requiere, se aplica en forma de emulsión.

b) Reciclado en el lugar (in-situ).

Conocido también como reciclaje en frío, consiste en rehabilitar el pavimento asfáltico hasta una profundidad mayor de 2.5 cm, involucrando o no el material de la capa de base. Para ello, el espesor es escarificado y el material trozado resultante es triturado hasta un tamaño adecuado y luego, mezclado con un agente de reciclaje y eventualmente con cierto porcentaje de agregado nuevo, todo como para cumplir con las exigencias de la nueva mezcla. Como su nombre lo indica, el proceso se realiza generalmente en frío y los aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes. También es posible el reciclaje in-situ con cementos asfálticos de alto grado de penetración.

c) Reciclado en planta.

Denominado también reciclaje en caliente, consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material trozado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por medio de fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado. Para ello, se agregan materiales nuevos que comúnmente incluyen un agente de reciclaje y agregado pétreo virgen, así como asfalto nuevo. La nueva mezcla en caliente se lleva al sitio de origen o al que se haya elegido para su colocación, donde se distribuye y compacta mediante métodos y equipos convencionales. En todos los casos, la estructura resultante del trabajo de reciclaje, podrá emplearse como capa de rodadura o base, caso este último en el cual se deberá superponer una nueva capa superficial. (MENENDEZ, J. 2012).

3.9.2 VENTAJAS DEL RECÍCLADO.

En la siguiente tabla se muestra las principales ventajas de las distintas técnicas de reciclado más frecuentemente utilizadas. (MENENDEZ, J. 2012).

Tabla III.4.
Principales ventajas de las técnicas de reciclado

TÉCNICA DE RECICLADO	VENTAJAS
Reciclado superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia al deslizamiento. - Corrige las deficiencias de origen superficial. - Mejora el perfil geométrico de la calzada. - Permite eliminar la capa de restitución de gálibo en refuerzos del pavimento.
Reciclado "IN-SITU"	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia al deslizamiento - Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural. - Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento. - Elimina temporalmente las fisuras reflejas. - Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7cm) con deformaciones plásticas. - Mejora el perfil geométrico de la calzada.

Reciclado en planta	<ul style="list-style-type: none">- Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto.- Corrige la deficiencia de origen superficial y estructural.- Produce mezclas asfálticas de mejor calidad.- Permite eliminar o corregir la capa intermedia de deficiente comportamiento.- Elimina las fisuras reflejas.- Mejora la resistencia al deslizamiento.- Corrige el perfil geométrico de la calzada.
---------------------	---

Fuente: ingeniería de pavimentos Menéndez, j. 2012.

3.9.3 RECICLADO SUPERFICIAL.

Este sistema es aplicable a espesores muy delgados de pavimento, puede realizarse en caliente o en frío y constituye una solución en aquellos casos en los que existen problemas de deslizamiento, ya que mediante la eliminación de un espesor superficial débil, se pueden regenerar las características antideslizantes del pavimento. Así mismo, puede resultar aplicable cuando se presenten otros tipos de fallas superficiales, tales como degradación de la carpeta por pérdidas de ligante o agregados pétreos o abultamientos producidos por el empleo de mezclas asfálticas de baja estabilidad. El retiro de esta delgada capa puede ser de carácter provisional hasta que se decida extender una nueva capa asfáltica o bien puede ser una solución a largo plazo, válida en todos los casos en que no existan defectos de tipo estructural.

1. Fresado en frío.

Consiste en el molido en frío, controlado automáticamente, de la superficie del pavimento para restaurar las rasantes especificadas y remover ondulaciones y otras imperfecciones, dejando una superficie texturizada, resistente al deslizamiento y al hidroplaneo, que sirve como buena superficie en pavimentos en los que el ruido de rodadura no sea el condicionante básico. Las máquinas que ejecutan esta labor se denominan fresadoras y ejercen su acción mediante una especie de uñas acopladas a un eje de giro horizontal.

2. Cepillado o fresado.

Lo realizan máquinas llamadas cepilladoras o más comúnmente rascadoras, las cuales únicamente pueden trabajar previo calentamiento del pavimento y desarrollan su labor por medio de unas cuchillas o útiles similares y sólo son utilizables para levantamientos de muy poco espesor.

3. Termo-reperfilado.

Comprende un conjunto de operaciones que son realizadas por una sola máquina de forma secuencial a excepción de la compactación final. Estas operaciones son las siguientes:

- Calentamiento previo del pavimento antiguo, generalmente mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado o fresado del pavimento hasta la profundidad deseada, que generalmente no excede de 2.5 centímetros.
- Homogeneización del material escarificado y nivelación del mismo.
- Precompactación del material mediante una maestra adosada a la parte trasera de la máquina.
- Compactación definitiva hasta la densidad deseada, por medio de equipos normales de compactación.

La característica fundamental que distingue este sistema, es que no existe aporte de mezcla bituminosa nueva, lo cual impide que el material reciclado mejore sus características; esto limita su aplicación a la corrección de pequeñas irregularidades superficiales, a la corrección de excesos de deslizabilidad o cuando se quiere incrementar la densidad de la carpeta.

Consecuentemente, este tratamiento no resulta apropiado para corregir defectos de tipo estructural, por lo que no es aplicable en los casos en que existan elevadas deformaciones superficiales. Tampoco es viable cuando la mezcla asfáltica presente deficiencias de tipo granulométrico o

exceso de ligante (caso de deformaciones plásticas), ya que, al no existir aporte de mezcla nueva, tales deficiencias no pueden corregirse.

d) Termo-regeneración.

Esta técnica presenta una serie de características comunes con la anterior, con la diferencia de que existe un aporte de mezcla nueva que se coloca sobre la antigua escarificada (adicionada o no de un agente rejuvenecedor), compactándolas sin mezclarlas. El conjunto de operaciones a realizares el siguiente:

- Calentamiento del pavimento mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado y descompactación del pavimento, en una determinada profundidad.
- Retiro de parte del material escarificado, aunque a veces esta operación no se presenta, aprovechándose la totalidad.
- Adición, en caso necesario, de un agente rejuvenecedor. Distribución transversal del material escarificado mediante una hoja niveladora.
- Aporte de mezcla nueva, la cual es conducida mediante una banda transportadora, desde una tolva de recepción situada en la parte delantera de la máquina hasta su extremo final, donde es puesta en obra sobre la capa de material escarificado.
- Precompactación de las dos capas, sin mezcla de las mismas, mediante una maestra vibrante colocada en la parte posterior de la máquina.
- Compactación hasta la densidad deseada de las dos capas anteriores con un tren de compactación convencional.

Aunque es un proceso menos económico, a veces, la mezcla se aporte, puede colocarse en obra independientemente, mediante una terminadora convencional. (MENENDEZ, J. 2012).

3.9.4 RECICLADO IN SITU.

Consiste en la pulverización de la carpeta asfáltica existente y su mezcla con el material de base existente, añadiendo un aditivo que desarrolle en la capa reciclada una resistencia suficiente para soportar adecuadamente las cargas del tránsito futuro. La selección del aditivo apropiado depende de factores tales como el uso proyectado, la resistencia requerida y el costo del producto. Los aditivos más empleados para este tipo de reciclaje son el cemento asfáltico, los asfaltos líquidos y emulsionados, asfaltos espumados, el cemento Portland y la cal cuando el material a reciclar tenga un contenido considerable de arcilla. En la mayoría de los procesos de estabilización, se requiere la colocación de una capa de rodadura para proteger la capa reciclada del efecto abrasivo del tránsito y de la acción de los agentes climáticos. (MENENDEZ, J. 2012).

3.9.5 RECICLADO EN PLANTA.

Es un proceso por el cual se combinan materiales recuperados de un pavimento asfáltico y eventualmente de la base granular, con asfalto y agregados nuevos y/o agentes de reciclaje, según las necesidades, en una planta central, para producir mezclas para pavimentación en caliente. El producto terminado deberá cumplir todas las especificaciones y requisitos constructivos para el tipo de mezcla producida. (MENENDEZ, J. 2012).

CAPITULO IV :

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El trabajo que se desarrolla se ha tomado en cuenta los pavimentos efectuados en la Av. Circunvalación; específicamente en el óvalo Pedro Vilcapaza de la ciudad de Juliaca; para lo que se empleó los siguientes criterios:

- Los materiales de base extraídos fueron de tres lugares, cerca al Óvalo Pedro Vilcapaza.
- El material extraído fue producto de la construcción de tres calicatas.
- Los ensayos a efectuarse son:
 - a. Análisis granulométrico tamizado (norma ASTM D422, ASSHTO T88, MTC E-107)
 - b. Límites de consistencia y/o constantes físicas (norma MTC – E110)
 - c. Ensayos de compactación Proctor modificado (norma MTC – E115-200)

4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS DE MUESTRAS DE SUELOS DE BASE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE BASE DEL ÓVALO PEDRO VILCAPAZA DE JULIACA.

Como se ha mencionado con anterioridad, se ha efectuado tres calicatas en el Óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca; los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla IV.1.
Resultado de características granulométricas y clasificación de suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca

CALICATA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CLASIFICACIÓN	
	D ₁₀	C _c	C _u	SUCS	AASHTO
1	-	-	-	GC	A – 2 – 6
2	-	-	-	GC	A – 2 – 6
3	-	-	-	GC	A – 2 – 6

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio Gobierno Regional de Puno – ver anexo 2

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. Respecto al análisis granulométrico de suelos extraídos de los pavimentos en el óvalo Pedro Vilcapaza, no se ha podido determinar el diámetro efectivo (D₁₀), por consiguiente, no se ha obtenido el coeficiente de curvatura (C_c) y el coeficiente de uniformidad (C_u).
2. Respecto a la clasificación de suelos el recomendado es el AASHTO; en el que las muestras se ubican como suelos A-2-6; no siendo estos los recomendables; AASHTO, tomando en cuenta la vía evaluada exigiría que sea un suelo A-1.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS DE BASE DEL ÓVALO PEDRO VILCAPAZA DE JULIACA.

De igual forma para estos ensayos de laboratorio se ha empleado los materiales extraídos de las tres calicatas del óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca, con los resultados que se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla IV. 2.

Resultados de características de límites de consistencia y compactación de suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza de Juliaca

CALICATA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	CP (%)	Ip (%)	Ds (gr/cm ²)	COA
1	32.30	20.20	12.10	1.851	7.31
2	38.30	21.80	16.50	1.872	7.22
3	36.30	20.70	15.60	1.841	8.20

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. Los resultados de los límites de consistencia LL, LP e Ip que están entre 12.10 % y 16.50 %, son altos; puesto que la AASHTO y la norma MTC E- 110, establece que debe ser menor al 7 %.
2. Los resultados que corresponde a la compactación en el equipo proctor modificado, los resultados de la densidad seca (Ds) es menor de 1.841 gr/cc; indica que los suelos no son los mejores, puesto que sus valores deben ser mayores a 2.00 gr/cm³ por recomendación AASHTO.

Finalmente se manifiesta, que los suelos empleados en la construcción de la base del óvalo Pedro Vilcapaza, no son los más recomendables.

4.2.3 MEJORAMIENTO DE GRANULOMETRÍA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS RECICLADOS.

Resultado de características mejoradas en granulometría y clasificación de suelos con adición al suelo de base reciclado con material de cantera.

Tabla IV.3.

Resultado de características mejoradas en granulometría y clasificación de suelos de base con adición de material de cantera

MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMETRICO			CLASIFICACION	
	D10	Co	Cu	SUCS	AASHTO
1	7.30	4.00	86.71	GP - GC	A - 1 - a
2	5.00	4.08	118.80	GP - GC	A - 2 - 4
3	6.20	4.05	93.20	GP - GC	A - 1 - a

fuentes: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de Puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SUELOS RECICLADOS MEJORADOS.

1. La granulometría del suelo de base a reciclar y mejorado con adición de suelos de cantera ha mejorado significativamente las características mecánicas de suelos.
2. La granulometría que no contaba con diámetro efectivo (D10), coeficiente de curvatura (Cc) y coeficiente de uniformidad (Cu), con los suelos reciclados por adición de suelos de cantera, dio resultados del diámetro efectivo en valor menor a 7.30, en el coeficiente de curvatura a valores menores de 4.08 y en el coeficiente de uniformidad a valores menores de 118.80.
3. Respecto a la clasificación de suelos, fundamentalmente en la AASHTO; estos de A-2-6, se ha mejorado a A-1-a.

Finalmente se manifiesta, que un suelo a reciclar que conforma la base de un pavimento, es posible mejorarlo con adición de suelos de granulometría faltante, con lo que se logra un mejor suelo de base para un pavimento.

4.2.4 MEJORAMIENTO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN CON PROCTOR MODIFICADO DE SUELOS RECICLADOS.

De igual forma se ha efectuado ensayos de laboratorio de límites de consistencia y compactación en suelos reciclados, con los resultados que a continuación se muestra:

Tabla IV.4.

Resultado de características mejoradas en los límites de consistencia y compactación de suelos de base y mejorados con adición de material de cantera

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	CP (%)	Ip (%)	Ds (gr/cm ²)	COA (%)
1	25.90	21.30	4.60	2.106	7.10
2	24.50	17.50	7.00	2.1020	7.27
3	27.70	21.10	6.60	2.0960	7.14

fuentes: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de Puno – ver anexos 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SUELOS Y RECICLADOS MEJORADOS.

1. Se ha adicionado el 30 % de material de cantera al suelo de base a reciclar.
2. En los límites de consistencia, específicamente en el índice plástico (Ip) de valores de suelos de base sin adición que estaba entre 12.10 % y 16.50 %, se ha mejorado a valores de 4.60 % a 7.00 %.
3. En lo que respecta a la densidad para (Ds) de valores en materiales de base sin reciclar entre 1.841 gr/cm³ a 1.872 gr/cm³; se ha mejorado a 2.1020 gr/cm³ a 2.1060 gr/cm³

Finalmente se concluye que los suelos que se encuentran conformando la base, pueden ser reciclados con adición de material

de cantera y poder ser utilizados en una nueva vía reconstruida en el mismo lugar.

4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE SUELOS A RECICLAR Y MEJORADOS.

4.3.1 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS.

Tabla IV.5.
Cuadro comparativo de resultados de análisis granulométrico

CALICATA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO											
	IN SITU			MEJORADOS			AASHTO			MTC		
	D10	CC	CU	D10	CC	CU	D10	CC	CU	D10	CC	CU
1	-	-	-	7.30	4.00	86.71	40	8	6.0	40	8	6.0
2	-	-	-	5.06	4.08	118.80	40	8	6.0	40	8	6.0
3	-	-	-	6.20	4.05	93.20	40	8	6.0	40	8	6.0

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. El diámetro efectivo (D10), el coeficiente de curvatura (Cc) que esta mejorado entre 4.00 y 4.08, es menor a los establecido por AASHTO y MTC que da valores al diámetro efectivo (D10) menor de 40, al coeficiente de curvatura (Cc) menor de 8 y al coeficiente de uniformidad (Cu) menor de 6.0.
2. Lo que debe entenderse que el reciclaje de suelos en vías es posible y también puede mejorarse las características mecánicas.

4.3.2 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

Tabla IV.6.

Cuadro comparativo de resultados de clasificación de suelos

MUESTRA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
	IN SITU	MEJORADO	AASHTO	MTC
1	A - 2 - 6	A-1-a	A - 1	A - 1
2	A - 2 - 6	A-2-4	A - 1	A - 1
3	A - 2 - 6	A-1-a	A - 1	A - 1

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta a la clasificación de suelos, los evaluados en los suelos de base corresponden a suelos según clasificación AASHTO a A-2-6, y con suelos adicionados se ha mejorado a suelos A-1-a y A-2-4.
2. Se puede manifestar que los suelos e base reciclados y adicionados con otros suelos puede mejorarse su clasificación, como muestra los resultados del presente trabajo.

4.3.3 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA EN SUELOS RECICLADOS MEJORADOS.

Tabla IV.7.

Cuadro comparativo de límites de consistencia

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			
	IN SITU(Ip)	MEJORADO(Ip)	AASHTO(Ip)	MTC(Ip)
1	12.10	4.60	7.00	7.00
2	16.50	7.00	7.00	7.00
3	15.60	6.60	7.00	7.00

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. Los límites de consistencia, como es el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (Ip) son importantes en la construcción de vías.
2. E el reciclaje propuesto, con empleo de material de base actual y mejorado por adición de material de cantera, se ha mejorado el índice de plasticidad que estuvo entre 12.10 % al 16.50 % de 4.60 % a 7.00 %,
3. En actividades de reciclaje, es posible también mejorar los índices de plasticidad.

4.3.4 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE DENSIDAD SECA POR COMPACTACIÓN EN PROCTOR MODIFICADO.

Tabla IV.8.
Cuadro comparativo de densidad seca por compactación en proctor modificado

MUESTRA	DENSIDAD SECA (gr/cc)			
	IN SITU(Ds)	MEJORADO(Ds)	AASHTO(Ds)	MTC(Ds)
1	1.851	2.1060	2.00	2.00
2	1.872	2.1020	2.00	2.00
3	1.841	2.0968	2.00	2.00

fuelle: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta a la densidad seca, en suelos o reciclar por adición de materiales de cantera es posible; esta característica mecánica es importante en la construcción.

2. La densidad seca del material de base actual en el óvalo Pedro Vilcapaza esta entre 1.841 gr/cm³ a 1.872 gr/cm³, ha mejorado a valores entre 2.0960 gr/cm³ a 2.1060 gr/cm³.
3. Debe entenderse que reciclar materiales para la construcción de vías, es posible, inclusive mejorando sus características mecánicas en los suelos reciclados mejorados.

4.4 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA CANTERA TAPARACHI DE JULIACA.

Estos ensayos de laboratorio se efectúan con la finalidad de verificar la variación de las características mecánicas.

Tabla IV.9.

Resultado de los análisis granulométricos y clasificación de suelos de cantera de taparachi de juliaca

CALICATA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CLASIFICACIÓN	
	D ₁₀	C _c	C _u	SUCS	AASHTO
1	–	–	–	GP - GC	A – 2 – 4

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.1 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS DE LA CANTERA DE TAPARACHI DE JULIACA.

Efectuado el ensayo correspondiente los resultados son los siguientes:

Tabla IV.10.

Resultado del ensayo de límites de consistencia y compactación de suelos de cantera de taparachi de juliaca

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	CP (%)	Ip (%)	DS (gr/cm ²)	COA (%)
1	26.90	20.30	6.60	1.984	7.3

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMETRICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 3 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TRITURADAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi, y se ha determinado sus características mecánicas.
2. Se ha adicionado el 3 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.11.

Resultados de ensayos de granulometría y clasificación de suelos con adición del 3 % de residuos de mezcla asfálticas trituradas

MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CLASIFICACIÓN	
	D ₁₀	C _c	C _u	SUCS	AASHTO
1				GP - GC	A - 1 - a

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. Los suelos de cantera debidamente seleccionado y a los que se adicione un 3 % de residuos de mezclas, mejoran sus características sobre todo en las clasificaciones de suelos.

4.4.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 3 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TRITURADAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi y se ha determinado sus características mecánicas.

2. Se ha adicionado el 3 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.

3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.12.

Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 3 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	LP (%)	Ip (%)	Ds (gr/cm ²)	COA (%)
1	21.80	16.6	5.3	2.03	7.58

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.4 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 5 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFALTICAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi y se ha determinado sus características mecánicas.
2. Se ha adicionado 5 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.13.

Resultados de las características granulométricas y clasificación de suelos con adición de 5 % de residuos de mezclas asfálticas

CALICATA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CLASIFICACIÓN	
	D ₁₀	C _c	C _u	SUCS	AASHTO
1	–	–	–	GP - GC	A – 1 – a

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 5 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TRITURADAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi y se ha determinado y se ha determinado sus características mecánicas.
2. Se ha adicionado el 5 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.14.

Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 5 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	LP (%)	Ip (%)	Ds(gr/cm ²)	COA (%)
1	25.20	19.74	5.46	2.1060	7.20

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.6 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 10 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TRITURADAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi y se ha determinado y se ha determinado sus características mecánicas.
2. Se ha adicionado el 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.15.

Resultados de ensayos de granulométricas y clasificación de suelos con adición del 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.

MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			CLASIFICACIÓN	
	D ₁₀	C _c	C _u	SUCS	AASHTO)
1	6.00	2.21	36.16	GP	A – 1 – a

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.4.7 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DEL 10 % DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TRITURADAS.

Para tal efecto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha tomado suelos de la cantera de Taparachi y se ha determinado y se ha determinado sus características mecánicas.
2. Se ha adicionado el 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.
3. Se ha efectuado los ensayos correspondientes.

Tabla IV.16.

Resultado de ensayos de límites de consistencia y compactación de suelos con adición del 10 % de residuos de mezclas asfálticas trituradas.

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA			COMPACTACIÓN	
	LL (%)	LP (%)	I _p (%)	D _s (gr/cm ²)	COA (%)
1	24.00	20.60	3.4	1.80	7.02

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE VARIACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE SUELOS ADICIONADOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Se ha indicado que el mejoramiento de características está supeditado al incremento de residuos de mezclas asfálticas, con la finalidad de reciclar este material que en abandono origina grave contaminación ambiental.

A continuación, se efectúa el análisis comparativo correspondiente.

1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Resultados y comparación de características granulométricas con adición de mezclas asfálticas.

Tabla IV.17.

Resultado de análisis comparativo de la granulometría de suelos con adición de residuos de mezclas asfálticas

MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
	CANTERA		3 % RESID.		5 % RESID.		10 % RESID.	
	Cc	Cu	Cc	Cu	Cc	Cu	Cc	Cu
1	-	-	-	-	-	-	2.21	36.16

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta al reciclaje de residuos de mezclas asfálticas a suelos para su empleo en la construcción de vías es factible.

2. La adición del 3 % y 5 % de residuos de mezclas asfálticas no han mejorado las características granulométricas de los suelos empleados.
3. La adición del 10 % de residuos de mezclas asfálticas, si han mejorado el coeficiente de curvatura (Cc) en 2.21 y el coeficiente de uniformidad (Cu) en 36.16.

2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Tabla IV.18.

Resultado de análisis comparativo de la clasificación de suelos con adición de residuos de mezclas asfálticas.

MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
	CANTERA	3 % RESID.	5 % RESID.	10 % RESID.	AASHTO
1	A-2-4	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta al reciclaje de residuos de mezclas asfálticas a suelos para su empleo en la construcción de vías es factible.
2. La adición del 3 %, 5 % y 10 % de residuos de mezclas asfálticas en todos los casos mejoró la clasificación de suelos de A-2-4 a A-1-a.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Tabla IV.19.

Resultado comparativo de límites de consistencia con adición de residuos de mezclas asfálticas.

MUESTRA	LÍMITES DE CONSISTENCIA (Ip)				
	CANTERA	3 % RESID.	5 % RESID.	10 % RESID.	AASHTO
1	6.60	5.30	5.46	3.40	7.00

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta al reciclaje de residuos de mezclas asfálticas a suelos para su empleo en la construcción de vías es factible.
2. La adición del 3 %, 5 % y 10 % de residuos de mezclas asfálticas en todos los casos mejoró el índice de plasticidad (Ip) de 6.60 % a 3.40%.

4 ANÁLISIS COMPARTIVO DEL DENSIDAD SECA POR COMPACTACIÓN EN SUELOS ADICIONADOS CON RESIDUOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Tabla IV.20.

Resultado compartido de la densidad seca por compactación en suelos adicionados con residuos de mezclas asfálticas.

MUESTRA	COMPACTACIÓN (Ds – gr/cm ³)				
	CANTERA	3 % RESID.	5 % RESID.	10 % RESID.	AASHTO
1	1.984	2.03	2.1060	1.80	2.00

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. En lo que respecta al reciclaje de residuos de mezclas asfálticas a suelos para su empleo en la construcción de vías es factible.
2. La adición del 3 %, 5 % de residuos de mezclas asfálticas en suelos, ha mejorado la densidad de 1.984 gr/ cm³ a 2.1060 gr/ cm³ en suelos con 5 % de adición; más no la adición del 10 % que disminuyó la densidad a 1.80 gr/ cm³.
3. La adición en % adecuados mejoran la densidad, pero en exceso lo disminuye; sin embargo es posible el reciclaje y/o reutilización e residuos de mezclas asfálticas en suelos para construcción de vías.

4.6 PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS.

El concreto es un material de construcción más empleado, en nuestro medio establecido, producirlo con agregados naturales de la cantera Isla.

4.6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA.

Tabla IV.21.

Características físicas de agregados naturales de la cantera: isla - Juliaca

CARACTERÍSTICA FISICA	A. F.	A. G.
Peso específico de masa.	2.62 gr/cm ³ .	2.57 gr/cm ³ .
Peso seco compactado.	1620 Kg/m ³ .	1685 Kg/m ³ .
Peso seco suelto.	1493 Kg/m ³ .	1508 Kg/m ³ .
Absorción.	4.60%	2.30%
Humedad.	8.74%	3.36%
Módulo de fineza.	2.91	7.76
Módulo de fineza de la combinación.	5.34	

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL CUADRO.

Efectuado los ensayos correspondientes los resultados de las características físicas de los agregados de la cantera de Isla son muy buenos y recomendables para la producción del concreto.

4.6.2 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS NATURALES DE LA CANTERA ISLA.

La calidad de los agregados tiene influencia directa en la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$).

En el caso de los agregados gruesos su resistencia se establece con el empleo de la MAQUINA DE LOS ANGELES; para ello se ha efectuado la preparación de la muestra correspondiente y se ensayó en el laboratorio del Gobierno Regional de Puno.

Tabla IV.22.
Características resistentes de agregados cantera: isla - Juliaca

CARACTERISTICAS RESISTENTES	A. G.
Perfil.	Redondeado
Tipo de agregado.	Natural
Resistencia al desgaste.	77.77%
Perdida.	22.23%
AASTHO.	T - 26
ASTM.	C - 131

Fuente: datos obtenidos de los resultados de ensayos del laboratorio del gobierno regional de puno. ver anexo 2.

4.6.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS.

Tabla IV.23.
Características físicas de agregados reciclados

CARACTERISTICA FISICA	A. G.
Peso específico de masa.	2.62 gr/cm ³ .
Peso seco compactado.	1684.50 Kg/m ³ .
Peso seco suelto.	1502.45 Kg/m ³ .
Absorción.	4.86%
Humedad.	2.55%
Módulo de fineza.	7.76
Módulo de fineza de la combinación.	

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional de puno – ver anexo 2.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL CUADRO.

Efectuado los ensayos correspondientes los resultados de las características físicas de los agregados reciclados son buenos y recomendables para la producción del concreto.

4.6.4 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DE AGREGADOS RECICLADOS.

La calidad de los agregados tienen influencia directa en la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$).

En el caso de los agregados gruesos reciclados su resistencia se establece con el empleo de la MAQUINA DE LOS ANGELES; para ello se ha efectuado la preparación de la muestra correspondiente y se ensayó en el laboratorio del Gobierno Regional de Puno.

Tabla IV.24.
Características resistentes de agregados gruesos reciclados

CARACTERISTICA RESISTENTES	A. G.
Perfil.	Redondeado
Tipo de agregado.	Natural
Resistencia al desgaste.	79.75%
Perdida.	20.25%
AASTHO.	T - 26
ASTM.	C - 131

Fuente: datos obtenidos de los resultados de ensayos del laboratorio del gobierno regional de Puno. ver anexo 2.

4.6.5 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE $f'c=210$ kg/m² CON AGREGADOS NATURALES.

Para esto se ha confeccionado en cinco (5) briquetas, cuyos resultados se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla IV.25.
Resultado de ensayos a la compresión del concreto de $f'c=210$ kg/m² con agregados naturales.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	ESPECIF. Kg/cm².	EDAD DIAS	AREA NETA Cm².	CARGA Kg	ESF. DE ROT. Kg/cm².	%
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 AGREG. NATURALES	210	28	176.71	38200.00	216.17	102.94%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 AGREG. NATURALE	210	28	176.71	37880.00	214.36	102.07%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 AGREG. NATURALES	210	28	176.71	38280.00	216.62	103.15%
4	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 AGREG. NATURALES	210	28	176.71	37750.00	213.62	101.72%
5	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 AGREG. NATURALES	210	28	176.71	38390.00	217.24	103.45%
PROMEDIO						215.602	

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. La resistencia promedio es de 215.60 kg/cm².
2. La resistencia promedio servirá de comparación con las resistencias de las demás proporciones propuestas de agregados reciclados.

4.6.6 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'_c=210$ kg/m² CON 70 % AGREGADO GRUESO NATURAL Y 30 % DE AGREGADO GRUESO RECICLADO.

Con 70 % agregado grueso natural y 30 % de agregado reciclado. Para esto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha empleado agregados finos naturales en su totalidad.
2. En los agregados gruesos se ha empleado 70 % de agregado grueso natural y 30 % de agregado grueso reciclado.
3. Se ha confeccionado cinco (5) briquetas, los resultados se muestran a continuación:

Tabla IV.26.

Resultado de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/m² con 70 % agregado grueso natural y 30 % de agregado grueso reciclado

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	ESPECIF Kg/cm ² .	EDAD DIAS	AREA NETA Cm ² .	CARGA Kg	ESF. DE ROT. Kg/cm ² .	%
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 70% AGR. NAT.- 30% AGR. REC.	210	28	176.71	36030.00	203.89	97.09%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 70% AGR. NAT.- 30% AGR. REC.	210	28	176.71	36080.00	204.17	97.22%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 70% AGR. NAT.- 30% AGR. REC.	210	28	176.71	36190.00	204.79	97.52%
4	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 70% AGR. NAT.- 30% AGR. REC.	210	28	176.71	36150.00	204.57	97.41%
5	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 70% AGR. NAT.- 30% AGR. REC.	210	28	176.71	36190.00	204.79	97.52%
PROMEDIO						204.442	

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1. La resistencia promedio del concreto con agregados naturales fue de 215.60 kg/cm².
2. Los concretos producidos con 70 % con agregados naturales y 30 % con agregados reciclados, dan una resistencia promedio de 204.44 kg/cm².
3. Se tiene una disminución de la resistencia en 11.16 kg/cm², que significa una disminución de resistencia del 5 %.
4. Se debe entender no obstante de una disminución de resistencia, es posible la obtención de agregados reciclados para la producción de nuevos concretos.

4.6.7 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'_c=210$ kg/m² CON 50 % AGREGADO GRUESO NATURAL Y 50 % DE AGREGADO GRUESO RECICLADO.

Con 50 % agregado grueso natural y 50 % de agregado reciclado.

Para esto se ha considerado los aspectos siguientes:

1. Se ha empleado agregados finos naturales en su totalidad.
2. En los agregados gruesos se ha empleado 50 % de agregado grueso natural y 50 % de agregado grueso reciclado.
3. Se ha confeccionado cinco (5) briquetas, los resultados se muestran a continuación:

Tabla IV.27.

 Resultado de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/m² con 50 % agregado grueso natural y 50 % de agregado grueso reciclado

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	ESPECIF Kg/cm ² .	EDAD DIAS	AREA NETA Cm ² .	CARGA Kg	ESF. DE ROT. Kg/cm ² .	%
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 50% AGR. NAT.- 50% AGR. REC.	210	28	176.71	34210.00	193.59	92.19%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 50% AGR. NAT.- 50% AGR. REC.	210	28	176.71	34320.00	194.21	92.48%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 50% AGR. NAT.- 50% AGR. REC.	210	28	176.71	33810.00	191.33	91.11%
4	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 50% AGR. NAT.- 50% AGR. REC.	210	28	176.71	33250.00	188.16	89.60%
5	BRIQUETA DE PRUEBA 15 X 30 50% AGR. NAT.- 50% AGR. REC.	210	28	176.71	35234.00	199.38	94.94%
PROMEDIO						193.334	

Fuente: resultados de ensayos de laboratorio gobierno regional – ver anexo 2.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- 1 La resistencia promedio del concreto con agregados naturales fue de 215.60 kg/cm².
- 2 Los concretos producidos con 50 % con agregados naturales y 50 % con agregados reciclados, dan una resistencia promedio de 193.33 kg/cm².
- 3 Se tiene una disminución de la resistencia en 22.27 kg/cm², que significa una disminución de resistencia del 10 %.
- 4 Se debe entender no obstante de una disminución de resistencia, es posible la obtención de agregados reciclados para la producción de nuevos concretos.

CAPITULO V:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

Tras haber desarrollado los ensayos de laboratorio, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

PRIMERA: Para la construcción de vías y/o carreteras y determinar los mecanismos de reciclaje debe efectuarse una adecuada evaluación de los materiales que es posible reciclar, y tomar en cuenta la tecnología y maquinaria que se requiera; los materiales a reciclar deben ser analizados en ensayos correspondientes en el laboratorio.

SEGUNDO: El tiempo de uso de vías construidas en la ciudad de Juliaca viene alcanzando su vida útil; y para la construcción de una nueva vía, es posible reciclar los suelos de base adicionando materiales de cantera en las granulometrías necesarias; tomando esta consideración los suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza parte de la Av. Circunvalación ha sido analizado y adicionado material de cantera en una cantidad del 30 % en peso y ha mejorado sus características mecánicas: En clasificación AASHTO de A-6-2 a A-1-a, en límites de consistencia del índice de plasticidad de 16.50 % a 7.10 % densidad seca (DS) de 1.841 gr/cm³ a 2.106 gr/cm³; entendiendo que es posible el reciclaje inclusive con el mejoramiento de características mecánicas de suelos de base para un nuevo pavimento.

TERCERA: Los residuos de mezclas asfálticas provenientes de pavimentos flexible renovados, pueden ser reciclados adicionándolos a suelos de base de un pavimento en proporciones adecuadas; es así que en el presente trabajo la adición del 5 % de residuos de mezclas asfálticas ha mejorado las características siguientes: en

clasificación de suelos AASHTO de A-2-4 a A-1-a, en límites de consistencia, específicamente el índice de plasticidad (I_p) de 6.60 % a 5.46 %, en la densidad seca de 1.984 gr/cm³ a 2.1060 gr/cm³. Sin embargo, en adiciones mayores del 5 % ya no es recomendable.

CUARTA: Los residuos de pavimentos rígidos, pueden ser reciclados para la obtención de agregados reciclados, y ser utilizados nuevamente en concretos para vías; sin embargo se ha verificado que con reemplazos mayores del 10 % de agregados reciclados disminuyen la resistencia del concreto; la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210$ kg/cm² con 70% de agregado grueso natural y 30% de agregado grueso reciclado ha alcanzado a un concreto $f'_c = 205$ kg/cm², que significa una disminución de resistencia del 5 %; siendo este resultado manejable, pero posible el reciclaje de agregados.

QUINTA: El reciclaje de materiales de construcción para carreteras y/o vías debe efectuarse necesariamente en función de sus características físicas y resistentes establecidas por la AASHTO y el MTC; con el empleo de tecnologías y equipo mecánico apropiado.

SEXTA: El reciclaje de agregados para el concreto; requiere de tratamiento referente a su trituración; de tal manera sea compatible en el mezclado con agregados de primer uso; por el momento en la ciudad de Juliaca solamente se puede reciclar agregados gruesos, debido a la falta de tecnología instalada.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda que los ingenieros civiles impulsen tecnologías de reciclaje en todos los materiales empleados en las construcciones anteriores; indudablemente con el tratamiento correspondiente para su empleo en una obra nueva

SEGUNDA: En la obtención de muestras en calicatas del óvalo Pedro Vilcapaza parte de la Av. Circunvalación, estos deben de ser una cantidad adecuada para un mejor análisis de sus características mecánicas y el porcentaje de adición de material nuevo de cantera debe ser determinado con un análisis más minucioso.

TERCERA: Los residuos de mezclas asfálticas en abandono, deben procesarse adecuadamente en su granulometría y en la determinación de la cantidad adecuada en el mejoramiento de los suelos de base.

CUARTA: La selección de la calidad de residuos de pavimentos rígidos es importante, puesto que tiene relación directa con la calidad de agregados reciclados. Por el momento solo se recomienda el reciclaje de agregado grueso.

QUINTA: En la actualidad existe diversos aditivos para el tratamiento de materiales reciclados; es recomendable su uso, puesto que garantiza el mejoramiento de sus características.

SEXTA: En caso de que los agregados reciclados no puedan emplearse en la producción de concretos de resistencia normal, estos pueden ser empleados en concretos no estructurales, como es el caso de veredas y/o cunetas revertidas, donde no tiene comportamiento estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS (1993). Actas del Simposium Nacional sobre Carreteras y Medio Ambiente. Las Palmas de Gran Canaria.

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS (1993). Actas del III Simposium Nacional sobre Carreteras y Medio Ambiente. Madrid.

ASOCEM (1995) (Asociación de Productores de cemento – Lima) "Cemento" Boletines Técnicos. 01 a 42.

AZQUETA, D. (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. Ed. McGraw Madrid.

BERNÁLDEZ. F. (1981). Ecología y paisaje. Blume. Madrid. HEREDIA. R. (1995). Dirección integrada de proyectos. Ese. Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid.

BRIZ, J. (1999). Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. Ed. Mundi-Prensa.

CARDELLS. F. y SALVADOR. P.J. (2001). Manual de Valoración de Árboles y Arbustos. Universidad Politécnica de Valencia, Centro de Ingeniería Económica. Valencia. CARSON, R.L. (1962). The Silent Spring. Houghton Mifflin. Boston.

CARRILLO, F. (1974). "La Tesis Universitaria" Ed. UMSM.

CASTROVIEJO, M. (1991). Prácticas para la Planificación de Espacios Naturales. ICONA. Madrid.

CASSINELLO, F. (1995). "Construcciones Hormigonera" Edit Rueda –Madrid.

GORDON, G, y ALDANA M. (1995). Caminos Rurales con Impactos Mínimos. Un manual de capacitación con énfasis sobre planificación ambiental, drenajes, estabilización de taludes y control de erosión.

CASTROVIEJO, M. (coord.). (1991). Prácticas para la Planificación de Espacios Naturales. ICONA. Madrid.

HERNÁNDEZ. S. (1987). Ecología para Ingenieros. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. HOUGH.II. (1998). Naturaleza y ciudad. Mundi-Preílsa. Madrid.

JUÁREZ, E y RICO, A. (1995) Mecánica de Suelos, Tomo I. (Fundamento de Mecánica de Suelos) Editorial LIMUSA CV. Noriega Editores. México.

JUÁREZ, E y RICO, A. (1995) Mecánica de Suelos, Tomo II. Editorial LIMUSA CV. Noriega Editores. México.

JUÁREZ, E y RICO, A. (1995) Mecánica de Suelos, Tomo III. Flujo de agua en suelos. Editorial LIMUSA CV. Noriega Editores. México.

LOWWES, J. (2001) Propiedades Geofísicas de los Suelos, Me. Graw Hill México.

LUDEÑA, E. (2006) Manual para el Desarrollo de Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos Viales. Edit. MOPE. Ecuador.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (2007). Resolución ministerial 073-2007 que identifica costos aplicables a la gestión ambiental de evaluación, control y seguimiento ambiental y otros servicios administrativos del ministerio de ambiente y recursos naturales.

MURDOCK L. J. (2001) "Elaboración de Concreto y sus aplicaciones" Edit. Continental S. A. México.

OLIVERA, F. (2004). Estructuración de Vías Terrestres. Compañía Editorial Continental, S.A. de C. V. México.

PASQUEL, E. (2000). "Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú". Edit. Capítulo de Ing. Civil. Consejo Dptal. Lima.

PASQUEL, E. (1984). "Curado del Concreto en el Altiplano Empleando Recursos de la Zona. IV-C. De Ing. Civil. Cajamarca - Perú.

REGAL A. (1998). "Materiales de Construcción" Edit UNI – Lima.

RIVVA, E. (2010). Concreto Diseño de Mezclas. Tomo 2, 1ra. Edición. Ed. ICG. Perú.

RIVVA, E. (1997) "Tecnología del Concreto" Edit. P. A. Ing. Civil UNI – Lima – Perú.

SÁIZ, A.; OROZCO, E. y MONREAL, J.A. (1997). Forestación en tierras agrícolas. Universidad de Castilla-La Mancha. Cuenca.

SEOÁNEZ CALVO, M. (1998). Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Reconversión Industrial y a la Restauración de los Paisajes Industriales Degradados. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. .

RUIZ DE LA TORRE, 1. (1996). Mapa Forestal de España, hojas 5-5 y 5-6. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

STAFF-PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1987) "Proyecto y Control de Mezclas de Concreto" Edit. Limusa-México.

SEOÁNEZ, M. (1998). Ingeniería Medioambiental Aplicada a la reconversión Industrial y a la Restauración de los Paisajes Industriales Degradados. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

UNESCO-ORCYT, (1995). Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Fernando L. Repetto y Claudia Santiago Karez Editores.

VALDIVIA, W. (1986). "Tecnología de Materiales" Copia FIC – UNI.

VELÁSQUEZ, A y OTROS. (1997). "Metodología de la Investigación Científica" Ed. San Marcos. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿Cuál será el efecto del cemento portland en la estabilización del suelo en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca?</p> <p>Problema específico: ¿Cómo será el efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la base en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cómo será el efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la sub base en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿Cuál será la proporción más adecuada del cemento portland en la estabilización del suelo en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivo general: Determinar el efecto del cemento portland en la estabilización del suelo en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Objetivo específico: Determinar el efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la base en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar el efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la sub base en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar la proporción más adecuada del cemento portland en la estabilización del suelo en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis general: El efecto del cemento portland en la estabilización del suelo es significativo, en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Hipótesis específica: El efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la base mejora significativamente en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Determinar el efecto del cemento portland en la resistencia mecánica de la sub base mejora significativamente en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p> <p>La proporción más adecuada del cemento portland en la estabilización del suelo es más del 7%, en estructuras de pavimentos de la ciudad de Juliaca.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (y) Cemento portland</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE (x) Estabilización del suelo</p>	<p>Estructura de pavimentos</p> <p>Resistencia mecánica en base</p> <p>Resistencia mecánica en sub base</p> <p>Proporción de cemento portland</p>	<p>Sub base</p> <p>base</p> <p>proporciones</p> <p>– Proctor modificado</p> <p>– Valor relativo de soporte (CBR)</p> <p>– Proctor modificado</p> <p>Valor relativo de soporte (CBR)</p> <p>3%</p> <p>5%</p> <p>7%</p>	<p>TIPO: Cuantitativa, aplicado.</p> <p>NIVEL: Explicativo, analítico</p> <p>DISEÑO: Explicativo</p> <p>MÉTODO: Deductivo-inductivo</p> <p>POBLACIÓN: Ciudad de Juliaca</p> <p>MUESTRA: Muestras de canteras de Taparachi y de Isla</p> <p>TÉCNICAS: Ensayos Observación</p> <p>INSTRUMENTOS: Certificaciones Ensayos de laboratorio</p> <p>PROCEDIMIENTO S: ANOVA</p>

ANEXO 2

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

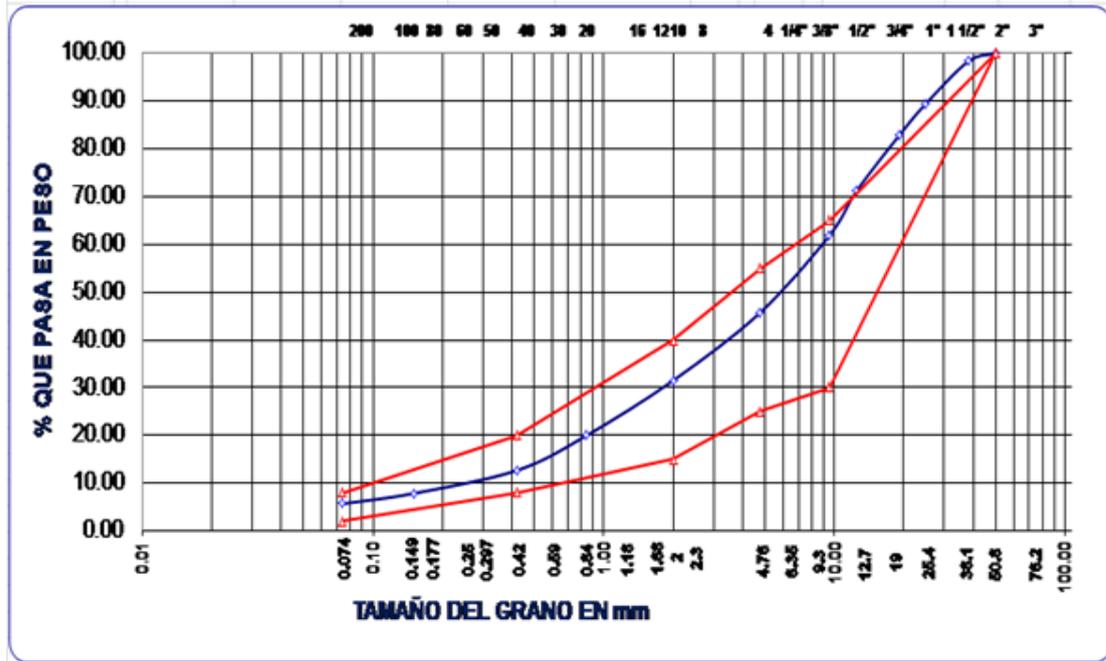
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA:	CANTERA ISLA	TEC. RESPON.S.:	PERSONAL DE LABORATORIO
MUESTRA:	CANTERA ISLA	ING. RESPON.S.:	CALIXTO VILCA MAMANI
UBICACIÓN:	ISLA	FECHA:	

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. A	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial : 6851 Grs
2 1/2"	63.000						Fración < Nº4 : 780 Grs
2"	50.000				100.00	100 - 100	Grava : 54.30 %
1 1/2"	38.100	114.00	1.70	1.70	98.30		Areas : 39.96 %
1"	25.000	604.00	8.80	10.50	89.50		Fino : 5.74 %
3/4"	19.100	458.00	6.70	17.20	82.80		W natural : 8.34 %
1/2"	12.500	792.00	11.60	28.80	71.20		
3/8"	9.500	641.00	9.40	38.20	61.80	30 - 65	<u>LIMITES DE CONSISTENCIA</u>
No.04	4.760	1,106.00	16.10	54.30	45.70	25 - 55	Limite Líquido : 24.75 %
No.10	2.000	242.00	14.18	68.48	31.52	15 - 40	Limite Plástico : 19.80 %
No.20	0.840	197.00	11.54	80.02	19.98		Índice Plástico : 4.94 %
No.40	0.420	124.00	7.27	87.29	12.71	8 - 20	
No.100	0.150	82.00	4.80	92.09	7.91		<u>CLASIFICACIÓN DEL SUELO</u>
No.200	0.074	37.00	2.17	94.26	5.74	2 - 8	S.U.C.S. : GP-GC
<No.200		98.00	5.74	100.0			A.A.S.H.T.O. : A-1-a (0)

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD**



Observaciones:

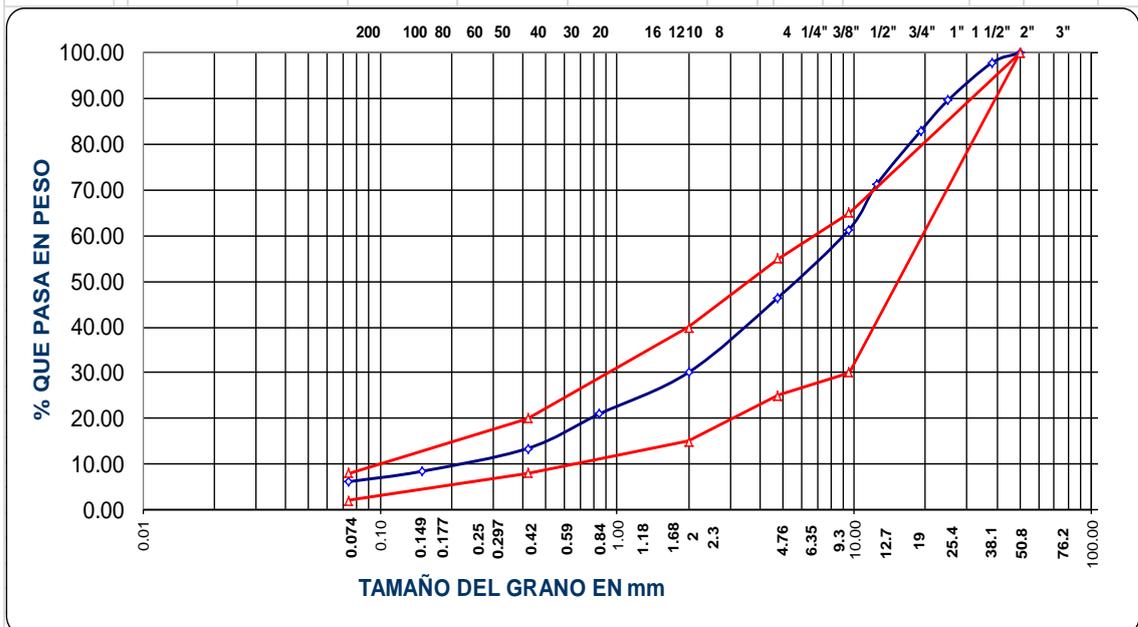
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA:	CANTERA TAPARACHI	TEC. RESPON.:	PERSONAL DE LABORATORIO
MUESTRA:	CANETRA TAPARACHI	ING. RESPON.:	CALIXTO VILCA MAMANI
UBICACIÓN:	TAPARACHI	FECHA:	

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. A	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial : 10230 Grs
2 1/2"	63.000						Peso Fracción : 1230 Grs
2"	50.000				100.00	100 - 100	Grava : 53.60 %
1 1/2"	38.100	221.00	2.20	2.20	97.80		Arena : 40.21 %
1"	25.000	832.00	8.10	10.30	89.70		Fino : 6.19 %
3/4"	19.100	691.00	6.80	17.10	82.90		W natural : 8.33 %
1/2"	12.500	1,189.00	11.60	28.70	71.30		
3/8"	9.500	1,023.00	10.00	38.70	61.30	30 - 65	<u>LIMITES DE CONSISTENCIA</u>
No.04	4.760	1,524.00	14.90	53.60	46.40	25 - 55	Límite Líquido : 23.98 %
No.10	2.000	433.00	16.33	69.93	30.07	15 - 40	Límite Plástico : 19.00 %
No.20	0.840	241.00	9.09	79.02	20.98		Índice Plástico : 4.99 %
No.40	0.420	199.00	7.51	86.53	13.47	8 - 20	
No.100	0.150	133.00	5.02	91.55	8.45		<u>CLASIFICACIÓN</u>
No.200	0.074	60.00	2.26	93.81	6.19	2 - 8	SUCS : GP-GC
<No.200		164.00	6.19	100.0			AASHTO : A-1-a (0)

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA
TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD**


Observaciones:

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMETOS

PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : CANETRA TAPARACHI	TEC. RESPNS.: PERSONAL DE LAB.
MUESTRA: CANETRA TAPARACHI	ING. RESPNS.: CALIXTO VILCA MAMAN
UBICACIÓN: TAPARACHI	FECHA:

ENSAYO N°	1	2	3	4
NÚMERO DE CAPAS	5	5	5	5
GOLPES DE PISÓN POR CAPA	56	56	56	56

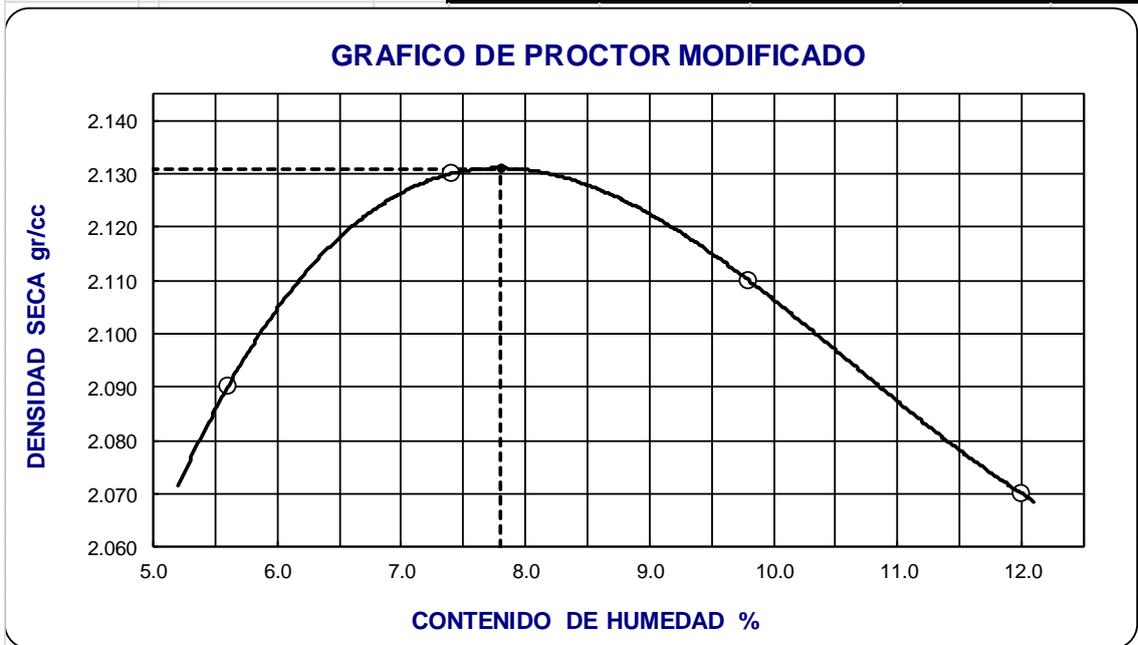
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD

PESO MOLDE+SUELO	Grs	10,631	10,791	10,864	10,871
PESO MOLDE	Grs	5,980	5,980	5,980	5,980
PESO SUELO COMPACTADO	Grs	4,651	4,811	4,884	4,891
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³	2,104.9	2,104.9	2,104.9	2,104.9
DENSIDAD HUMEDA	gr/cm ³	2.21	2.29	2.32	2.32

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°		Tz-01	Tz-02	Tz-03	Tz-03
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	Grs	412.00	404.00	235.00	346.00
SUELO SECO + RECIPIENTE	Grs	390.00	376.00	214.00	309.00
PESO RECIPIENTE	Grs	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA	Grs	22.00	28.00	21.00	37.00
PESO DE SUELO SECO	Grs	390.00	376.00	214.00	309.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	5.60	7.40	9.80	12.00
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	2.09	2.13	2.11	2.07

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.131
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (%)	7.80



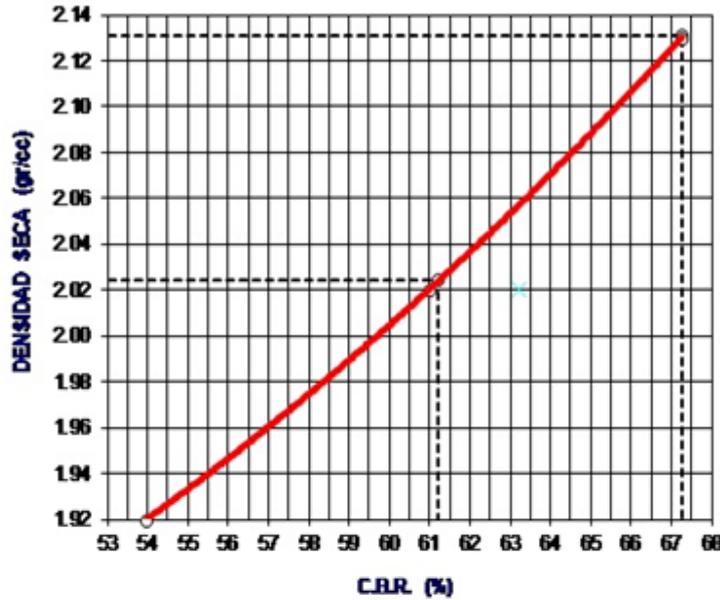
Observaciones:

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMETOS

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA:	CANTERA TAPARACHI	TEC. RESPON.S.:	PERSONAL DE LABORATORIO
MUESTRA:	CANETRA TAPARACHI	ING. RESPON.S.:	CALIXTO VILCA MAMANI
UBICACIÓN:	TAPARACHI	FECHA:	

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **67.3%**
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **61.2%**

LEYENDA

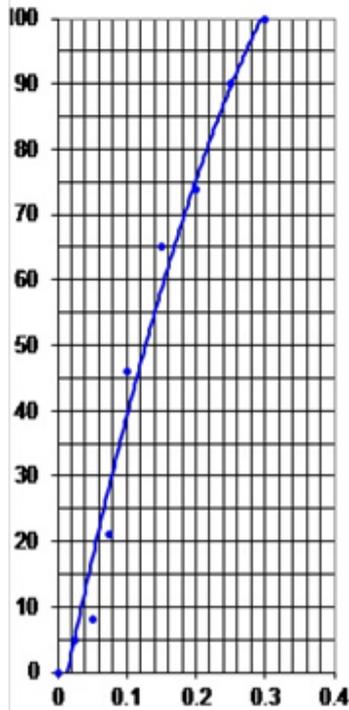
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1"= 67.3%

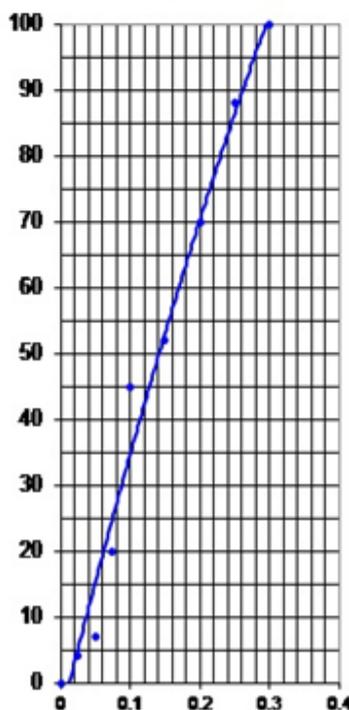
C.B.R 0.1"= 61.0%

C.B.R 0.1"= 54.0%

CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES

