



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**“RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y SU
REUTILIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE ASFALTO
EN FRIO UTILIZANDO RC-250”**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

- **ARTURO WILSON HUARINO OSCCO**
- **JUSTA ISABEL GARCIA CHINO**

ASESOR:

- **ING. CESAR CRUZ ESPINOZA**

Tacna, 2016

AGRADECIMIENTO

Para la realización del presente trabajo de investigación, contamos con el apoyo de muchas personas, las cuales queremos agradecer.

En primer lugar a Dios, por su grandeza y guía maestra en nuestras vidas, por la sapiencia que nos brindó para culminar satisfactoriamente nuestras metas.

A nuestros padres quienes a lo largo de toda nuestras vidas nos han apoyado y motivado en nuestra formación académica, creyeron en nosotros en todo momento y no dudaron de nuestras habilidades.

A nuestros hermanos, que con sus consejos nos han sabido orientar por el sendero de la superación.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la UPT, por las facilidades brindadas.

Al Ingeniero César Cruz Espinoza, por su asesoría en la presente investigación.

Y a todas las personas que, de alguna manera, han colaborado en ésta investigación y en nuestra formación profesional.

Muchas gracias

DEDICATORIA

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprension, amor, y ayuda en los momentos dificiles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.

Arturo Wilson

DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor a mis padres por ser partícipes en mi formación profesional y en mis valores como persona, por brindarme todo su apoyo incondicional durante toda mi vida y en especial durante mis años de carrera universitaria.

Justa Isabel

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en el empleo de un diseño de Mezcla de asfalto, determinando diferentes proporciones de materiales como agregados y asfalto líquido para obtener nuevos diseños de mezclas. Esta propuesta , permite demostrar que mediante la reutilización del pavimento asfáltico se disminuye el consumo de materiales nuevos y al mismo tiempo reduce la explotación de canteras y el consumo de ligantes hidrocarbonados de origen petrolífero. Para ello se detalla por capítulos todo el proceso que engloba la presente tesis.

En el capítulo I, se trató de ubicar el tema en estudio y resaltar su importancia de dicho diseño, identificando y mencionando todos los parámetros que engloba la presente investigación tales como: descripción del problema, formulación del problema, objetivos, hipótesis, justificación, etc.

En el capítulo II, se enmarcó e identificó toda la información teórica, dicha información obtenida es concisa y puntual.

En el capítulo III, se utiliza el método de Marshall Modificado determinando la densidad de la mezcla, vacíos de aire, estabilidad y fluencia.

En el capítulo IV, se detalló las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

INDICE

INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE CUADROS	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I:	2
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	4
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	7
1.5.1. ALCANCES	7
1.5.2. LIMITACIONES	7
1.6. HIPÓTESIS	7
1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL	7
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	7
1.7. VARIABLES.....	8
1.7.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	8
1.8. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	8

CAPITULO II:	9
MARCO TEORICO	9
2.1. MARCO REFERENCIAL	10
2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.2. BASES TEORICAS	13
2.2.1. PAVIMENTO	13
2.2.2. RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO	16
2.2.3. MEZCLA ASFALTICA	26
2.2.4. ENSAYOS REALIZADOS AL RAP	33
2.2.5. ASFALTO LÍQUIDO	34
2.2.6. DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL MODIFICADO	38
CAPITULO III:	50
MARCO METODOLOGICO	50
3.1. DISEÑO DE INVESTIGACION	51
3.2. POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO	51
3.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	51
3.3.1. EQUIPOS Y MATERIALES PARA TRABAJO EN LABORATORIO	51
3.3.2. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL TRABAJO EN GABINETE	52
3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO	52
3.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.4.2. TRABAJO EN CAMPO	54
3.5. RESULTADOS DE LOS ENSAYO	70
3.5.1. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO RECUPERADO	70
3.5.2. GRANULOMETRIA DEL NUEVO AGREGADO	73
3.5.3. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO COMBINADO	74
3.5.4. CONTENIDO ESTIMADO DE ASFALTO LIQUIDO RC-250	77
3.5.5. DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO	79
3.5.6. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ELABORACIÓN ENTRE UN ASFALTO NUEVO Y UN ASFALTO RECICLADO	86
CAPITULO IV:	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1. CONCLUSIONES	92

4.2. RECOMENDACIONES 93

BIBLIOGRAFIA 94

ANEXOS 97

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DOS TIPOS DE TREN DE RECICLADO DE UNIDAD SIMPLE.....	19
FIGURA 2: TAMBOR FRESADOR/MEZCLADOR Y SISTEMA DE INYECCIÓN DE ADITIVO	19
FIGURA 3: TREN DE RECICLADO DE DOS UNIDADES	20
FIGURA 4: TREN DE RECICLADO DE UNIDADES MÚLTIPLES	21
FIGURA 5: COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA	28
FIGURA 6: DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRÍO ..	31
FIGURA 7: FLUJO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA EN FRÍO	40
FIGURA 8: ESTABILIDAD VS CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	47
FIGURA 9: PÉRDIDA DE ESTABILIDAD VS ASFALTO RESIDUAL	47
FIGURA 10: DENSIDAD SECA BULK VS ASFALTO RESIDUAL.....	48
FIGURA 11: HUMEDAD ABSORBIDA VS ASFALTO RESIDUAL.....	48
FIGURA 12: VACÍOS TOTALES VS ASFALTO RESIDUAL.....	49
FIGURA 13: MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	53
FIGURA 14: PLANO DE UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	54
FIGURA 15: MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	56
FIGURA 16: EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA - MUESTRA NUMERO I ENTRE AV BOLOGNESI Y AV. AMAZONAS.....	56
FIGURA 17: EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA - MUESTRA NUMERO II ENTRE AV BOLOGNESI Y AV. PATRICIO MELENDEZ.....	57
FIGURA 18: EVALUACIÓN DE LA MUESTRA - MIDIENDO LA EL RECAPEO DE LA.....	57
FIGURA 19: EVALUACIÓN DE LA AV. BOLOGNESI - MIDIENDO DISTANCIA DE.....	58
FIGURA 20: LAVADO ASFALTICO - DISGREGADO Y PESADO DE MATERIAL	58
FIGURA 21: LAVADO ASFALTICO - SE PROCEDE A COLOCAR EL RAP EN LA CENTRIFUGA EXTRACTORA DE ASFALTO.....	59
FIGURA 22: LAVADO ASFALTICO - COLOCANDO GASOLINA DE 95 OCTANOS PARA EXTRAER EL ASFALTO.....	59
FIGURA 23: LAVADO ASFÁLTICO-AGREGADO EXTRAÍDO DE LA MUESTRA MEDIANTE EL PROCESO DE CENTRIFUGADO	60
FIGURA 24: LAVADO ASFÁLTICO - EXTRAYENDO EL MATERIAL EN UNA TARA PARA LUEGO SER SECADO Y PESADO.....	60
FIGURA 25: GRANULOMETRÍA - PESANDO EL AGREGADO RECUPERADO SECO.....	61
FIGURA 26: GRANULOMETRÍA - MALLAS PARA EL TAMIZADO DE LA MUESTRA RECUPERADA.....	61
FIGURA 27: GRANULOMETRÍA - PROCESO DE TAMIZADO DE LA MUESTRA	62
FIGURA 28: GRANULOMETRÍA - MUESTRA TAMIZADA.....	62
FIGURA 29: GRANULOMETRÍA - PESANDO LAS MUESTRAS	62

FIGURA 30: GRANULOMETRÍA –MUESTRA DE PIEDRA CHANCADA, CANTERA ARUNTA	63
FIGURA 31: GRANULOMETRÍA DEL NUEVO AGREGADO –PESANDO LA MUESTRA	63
FIGURA 32: GRANULOMETRÍA - PROCESO DE TAMIZADO DE LA MUESTRA	64
FIGURA 33: GRANULOMETRÍA - PESANDO LAS MUESTRAS	64
FIGURA 34: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - CALENTANDO EL ASFALTO LIQUIDO RC-250 HASTA 60°, VERIFICANDO CON EL TERMÓMETRO	65
FIGURA 35: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - COMBINANDO RAP + 25% AGREGADO GRUESO VIRGEN PARA CORREGIR LA GRANULOMÉTRICA.	65
FIGURA 36: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - MEZCLANDO LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS CON EL ASFALTO LIQUIDO RC-250.....	66
FIGURA 37: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - COMPACTANDO LAS MUESTRAS	66
FIGURA 38: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - EXTRAYENDO LAS MUESTRAS COMPACTADAS.....	67
FIGURA 39: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - PESANDO LAS MUESTRAS COMPACTADAS	67
FIGURA 40: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - REALIZANDO EL ENSAYO DE ESTABILIDAD DE MARSHALL MODIFICADO	68
FIGURA 41: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - ANOTANDO LAS MEDICIONES DEL EQUIPO	68
FIGURA 42: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - ANOTANDO LAS MEDICIONES DEL EQUIPO	69
FIGURA 43: DISEÑO MARSHALL MODIFICADO - PESANDO LAS MUESTRAS PARA HALLAR AL DENSIDAD DE BULK	69
FIGURA 44: CURVA GRANULOMÉTRICA PARA MUESTRA 1	70
FIGURA 45: CURVA GRANULOMÉTRICA PARA MUESTRA 2	72
FIGURA 46: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL NUEVO AGREGADO	73
FIGURA 47: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO COMBINADO MUESTRA 1	75
FIGURA 48: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO COMBINADO MUESTRA 2.....	76
FIGURA 49: CURVA DE PE BULK VS % DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	82
FIGURA 50: CURVA DE % DE VACÍOS VS % DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	83
FIGURA 51: CURVA DE % VMA VS % DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	83
FIGURA 52: CURVA DE % DE VACÍOS LLENADOS CON A.L. VS% DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	84
FIGURA 53: CURVA DE FLUJO VS % DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	85
FIGURA 54: CURVA DE ESTABILIDAD VS % DE ASFALTO LÍQUIDO RC-250.....	85
FIGURA 55: PROCESO DE MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AV. BOLOGNESI TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELÉNDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA – TACNA.	89
FIGURA 56: PROCESO DE MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AV. BOLOGNESI TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELÉNDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA – TACNA.	90

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: GRADACIONES SUGERIDAS PARA EL RECICLAJE EN FRÍO	29
TABLA 2: ENSAYOS PARA AGREGADOS	34
TABLA 3: DATOS TÉCNICOS ASFALTO LIQUIDO MC-30	36
TABLA 4: DATOS TÉCNICOS ASFALTO LIQUIDO RC-250	38
TABLA 5: ENSAYOS DE PROBETAS CON MEZCLA ASFÁLTICA	46

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO RECUPERADO MUESTRA 1	703
CUADRO 2: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO RECUPERADO MUESTRA 2	714
CUADRO 3: CARACTERIZACIÓN DEL NUEVO AGREGADO.....	736
CUADRO 4: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO COMBINADO MUESTRA 1	747
CUADRO 5: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO COMBINADO MUESTRA 2	769
CUADRO 6: DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO - ASFALTO LIQUIDO AL 3%	82
CUADRO 7: DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO – ASFALTO LÍQUIDO AL 3.5%.....	80
CUADRO 8: DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO- ASFALTO LÍQUIDO AL 4.0%	80
CUADRO 9: DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO – ASFALTO LÍQUIDO AL 4.5%.....	81
CUADRO 10: DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO – ASFALTO LÍQUIDO AL 5.0%.....	81
CUADRO 11: RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO.....	825
CUADRO 12: PRESUPUESTO: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AV. BOLOGNESI. TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELÉNDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA – TACNA.	869
CUADRO 13: PRESUPUESTO: RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO Y SU UTILIZACIÓN EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. BOLOGNESI. TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELÉNDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA – TACNA.	90
CUADRO 14: RESUMEN COMPARACIÓN DE COSTOS DE ELABORACIÓN ENTRE UN ASFALTO NUEVO Y UN ASFALTO RECICLADO.	91

INTRODUCCIÓN

EL RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y SU REUTILIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE ASFALTO EN FRIO UTILIZANDO RC-250, se plantea en razón a que el pavimento urbano está sujeto a la acción continua del tráfico y factores ambientales. Estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que la carpeta asfáltica sufra un proceso progresivo de deterioro. Este envejecimiento y deterioro de la carpeta asfáltica conlleva una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de mantenimiento de la misma.

La operación de mantenimiento de la red viaria es un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza, tanto en la obtención de nuevas materias primas y la obtención del asfalto líquido para realizar un recapeo de la misma. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costes y serán respetuosas con el medio. En este contexto, el reciclado de pavimentos asfálticos, como medio de racionalizar los recursos, toma un renovado protagonismo y se convierte en una necesidad.

El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio y que han perdido propiedades, éstos deben ser reutilizados (Quesada, 2004).

El reciclado de los pavimentos y su reutilización para el diseño de mezcla asfáltica en frío utilizando RC-250, debido a que el reciclado en frío tiene las ventajas de ahorrar energía, no degradar los ligantes asfálticos y son procedimientos de bajo costo comparados con los reciclados en caliente, además de ver si es posible obtener mezclas asfálticas que tengan las mismas características originales.

CAPITULO I:
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de factores ambientales. Estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que el pavimento sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento y deterioro del pavimento asfáltico conlleva a una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

En los últimos años la Municipalidad Provincial de Tacna, viene ejecutando trabajos de mantenimiento de vías, los mismos que se realizan haciendo un recapeo de carpeta asfáltica y la Empresa Prestadora de Servicios - EPS, viene ejecutando obras de Mejoramiento de redes de agua y alcantarillado en la Ciudad de Tacna.

Al realizar una verificación visual in situ, se observaron que no se cumple la Norma CE 010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, debido a que la altura entre el pavimento asfáltico y la vereda peatonal de aproximadamente 5 cm menor a la que se establece según la Norma. Es por ello que si realiza un recapeo en un futuro la altura del recapeo llegaría a la misma altura de la vereda. De igual forma se aprecia bacheos producto de la Obra “Mejoramiento del Servicio de Agua Potable”, causando malestar a los choferes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Es posible obtener diseños de mezcla que tengan las mismas características de diseño que cumplan la norma de pavimento, incorporando diferentes cantidades de asfalto líquido RC-250 y agregados de aportación a pavimentos reciclados de asfalto?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Es posible caracterizar la mezcla Asfáltica a reciclar y determinar las proporciones de los agregados y asfalto de aportación?
- ¿Es posible determinar el contenido de ligante en las mezclas asfálticas?
- ¿Es posible determinar la relación de costos del proceso de elaboración entre un asfalto nuevo y un asfalto reciclado de igual espesor?

1.3 OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo de investigación propuesto son los siguientes:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las proporciones adecuadas de los materiales para el diseño de una mezcla asfáltica en frío con material reciclado, utilizando asfalto líquido RC-250.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la mezcla Asfáltica a reciclar y determinar las proporciones de los agregados y asfalto de aportación.
- Determinar el contenido de ligante en las mezclas asfálticas.
- Determinar la relación de costos del proceso de elaboración entre un asfalto nuevo y un asfalto reciclado de igual espesor.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Es un reto para los ingenieros civiles conservar el patrimonio de las vías de comunicación con recursos financieros siempre escasos, buscando soluciones técnicas que permitan aprovechar de manera más eficiente los recursos. La técnica del reciclado se presenta como una alternativa.

Desde el punto de vista ambiental y de aprovechamiento de materiales, las técnicas de reciclado son beneficiosas, sin embargo, en el Perú, se tiene la necesidad de hacer estudios de alguna metodología de diseño empleando el material reciclado del pavimento asfáltico ya que no están muy desarrolladas. La mayoría de proyectos que utilizan técnicas de reciclado de pavimentos exigen que las mezclas cumplan con las mismas especificaciones que se piden a las mezclas convencionales y que presenten un comportamiento similar en campo. Para este caso sería necesario investigar métodos específicos para el diseño y control de calidad de los pavimentos que contemplan este tipo de mezclas y se tomen en cuenta, para el diseño de mezclas.

Las contribuciones a nivel ambiental son mayores cuando se producen mezclas con material reciclado, pues se está reutilizando un material que normalmente, en el país, se considera un desecho.

Las mezclas asfálticas en caliente, otorgan al pavimento propiedades mecánicas y de adhesión, sin embargo cuando las temperaturas de mezcla y calentamiento de asfalto se incrementan, los pavimentos se exponen a problemas de fisuramiento, deformaciones, y otras fallas, mucho antes de lo previsto; estos problemas requerirán entonces nuevos trabajos de reconstrucción o rehabilitación.

Se realizó una relación a la mezcla asfáltica en frío, la cual es una alternativa en contraposición al empleo de mezclas asfálticas en caliente y se puede emplear en diversas condiciones ambientales. Se emplea una cantidad de agregados y de ligante asfáltico que tiene características diferentes en sus propiedades Geológicas, en comparación a un asfalto convencional.

Se consideró trabajar con RC-250, debido a que Municipalidad Provincial de Tacna cuenta con una planta de Mezcla asfáltica en Frío y utiliza asfalto líquido RC-250 en sus mezclas asfálticas y también la misma entidad es la encargada de realizar los mantenimientos de las zonas urbanas de Tacna.

La reutilización de la mezcla asfáltica con RC-250 en frío permitirá determinar la relación costo–beneficio, mediante un análisis para asegurar la factibilidad económica de la utilización del reciclado en los diferentes proyectos de construcción, saneamiento y rehabilitación de pavimentos asfálticos.

Finalmente, la presente tesis representa un aporte metodológico para todo el personal técnico y profesional encargado del control de calidad de mezclas asfálticas, así como a otros investigadores interesados en el reciclaje de pavimentos como variable de estudio.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. ALCANCES

La presente investigación se realizara en la Av. Bolognesi en el tramo desde la Av. Amazonas hasta la Av. Patricio Meléndez de la ciudad de Tacna, del cual se extraerán las muestras de carpeta asfáltica para luego proceder a realizar los ensayos respectivos y obtener diseños de mezcla que cumplan con las normas de pavimentos.

1.5.2. LIMITACIONES

Este trabajo se realizó a nivel de laboratorio con muestras que se obtendrán de las actuales obras de mantenimiento vial y saneamiento de la ciudad de Tacna.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

“Con la incorporación de diferentes cantidades de asfalto líquido RC-250 y agregados de aportación a pavimentos reciclados de asfalto es posible obtener nuevas mezclas que cumplan con las normas de pavimentos”

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- Permite determinar las proporciones de los agregados y asfalto de aportación.
- Permite determinar el contenido de ligante en las mezclas asfálticas.

- La reutilización de la mezcla asfáltica en frío con RC-250 permite determinar la variación de costos de producción respecto a una mezcla asfáltica nueva.

1.7. VARIABLES

1.7.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

- **Variable independiente:** Incorporación de asfalto líquido adicional y agregado de aportación
- **Variable dependiente:** Características mecánicas de mezclas asfálticas recicladas en frío.

1.8. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

- A) **Variable independiente:** Incorporación de asfalto líquido adicional y agregados de aportación

INDICADORES:

- Cantidad de asfalto líquido RC-250
- Agregado Grueso

- B) **Variable Dependiente:** Características mecánicas de mezclas asfálticas recicladas en frío.

INDICADORES:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de en el agregado mineral
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Estabilidad
- Fluencia

CAPITULO II:
MARCO TEORICO

2.1.MARCO REFERENCIAL

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta la revisión de estudios relacionados al tema de investigación:

Nacionales

- Tesis elaborado por **ING. GALVAN HUAMANI, LUIS MIGUEL**. **“CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO CON PAVIMENTO RECICLADO Y EMULSION ASFALTICA LIMA - PERU¹”, 2015**. Se plantea este tipo de trabajo con la finalidad determinar criterios de análisis y diseño del comportamiento de una mezcla en frío, producida con pavimento reciclado y emulsión asfáltica. Dicha tesis fue presentada para optar el grado de profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tesis elaborado por **ING. COTACALLAPA CACERES, YENY**, con el tema **“RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON ASFALTO ESPUMADO²”, 2012**. Se plantea este tipo de trabajo con la finalidad de lograr un conocimiento adecuado de la dosificación diseño y la aplicación del reciclado en frío de pavimentos flexibles con asfalto espumado. Dicha tesis fue presentada para optar el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Alas peruanas, Moquegua.

¹ Tesis sustentada “Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica” en el año 2015, por Ing. LUIS MUIGUEL GALVAN HUAMANI-EPIC-UNI

² Tesis sustentada “Reciclado de pavimentos flexibles con asfalto espumado” en el año 2012, por Ing. YENI COTACALLAPA CACERES-UAP-PERU

Internacionales

- Tesis elaborado por **ING. CANCINOS SAZO, GUSTAVO ADOLFO** en el tema **“RECICLADO EN FRIO IN SITU EN LA REABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON ASFALTO ESPUMANDO Y RECOMENTACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION PARA GUATEMALA³”, 2013**. Se plantea este tipo de trabajo con la finalidad de describir el uso del reciclado en frio in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumando y elaboración de propuesta de especificaciones técnicas de construcción para. Dicha tesis fue presentada para optar el grado de maestro en Artes de Ingeniería Vial, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Tesis elaborado por **ING. MARINI, SEBASTIAN**, con el tema **“RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN FRIO⁴”, 2006**. Se plantea este tipo de trabajo con la finalidad reflejar lo que pasa en el mundo y en Argentina con los reciclados de pavimentos pasando por su historia, los tipos y formas de realizarlos, haciendo hincapié en los reciclados en. Dicha tesis fue presentada para optar el grado de profesional de ingeniero civil en la Universidad tecnología Nacional-Argentina.
- Artículo Científico elaborado por **CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES** con el tema **“RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN FRIO. UNA FORMA DE UTILIZAR TOTALMENTE EL RAP**

³ Tesis sustentada "Reciclado en frío in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumado y recomendación de especificaciones técnicas de construcción para Guatemala" en el año 2013, por Ing. GUSTAVO CANCINOS SAZO-USC-GUATEMALA

⁴ Tesis sustentada "Reciclado de pavimentos en frío" en el año 2006, por Ing. SEBASTIAN MARINI-UTNA-ARGENTINA

PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE LA RED CAMINERA⁵,1990. Se plantea este tipo de trabajo con la finalidad Presentar los primeros desarrollos de laboratorio sobre mezclas asfálticas en frío utilizando la totalidad del asfalto reciclado para rehabilitaciones. Dicho Artículo Científico fue presentado por el centro de investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires-Argentina.

- Tesis elaborado por **Mgr. ECHIVARRIA ROMERO, JOSE MARTINEZ,** con el tema **“ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION EN LABORATORIO PARA MEZCLAS RECICLADAS EN FRIO CON EMULSION BITUMINOSA⁶”,2012.** se plantea este tipo de trabajo con la finalidad de reproducir un material reciclado en laboratorio de las mismas características que el obtenido en el proceso de reciclado in situ, mediante la determinación de un procedimiento de compactación con el compactador de segmentos de rodillo, que permita fabricar probetas con densidades iguales a las alcanzadas en obra. Dicha tesis Doctoral fue presentada para optar el grado de Doctor en la Universidad de granada con mención de Doctorado Internacional, Granada-España.

⁵ Artículo Científico “Reciclado de pavimentos asfálticos en Frío. Una forma de utilizar totalmente el RAP para el mantenimiento y rehabilitación de la red caminera” presentado en el año 1990, por el CENTRO INVESTIGACIONES VIALES-ARGENTINA

⁶ Tesis sustentada “Estudio del procedimiento de compactación en laboratorio para mezclas recicladas en frío con emulsión bituminosa” en el año 2012, por Ing. JOSE MARTINEZ ECHIVARRIA ROMERO-ESPAÑA

2.2.BASES TEORICAS

2.2.1. PAVIMENTO

A) DEFINICION:⁷

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de explotación y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

B) CARACTERISTICAS:⁸

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe de reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de interperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial, además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe de presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.

⁷ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Alfonso Montejó Fonseca. (2002), pág.01

⁸ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Alfonso Montejó Fonseca. (2002), pág.01-02

- Debe de ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, el interior de los vehículos que afectan al usuario así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

C) CLASIFICACION:⁹

- **Pavimentos flexibles:**

Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante debe prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

- **Pavimentos Semi - Rígidos:**

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo como: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento teniendo en cuenta que

⁹ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Alfonso Montejó Fonseca. (2002), pág.02-07

los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

- **Pavimentos rígidos:**

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por la losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento

- **Pavimentos Articulados:**

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta debe ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la sub rasante, dependiendo de la cantidad esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento.

2.2.2. RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO

A) DEFINICION:¹⁰

El reciclado consiste en la extracción mecánica de la superficie del pavimento (carpeta asfáltica) o en la remoción del paquete estructural para un sometimiento a tratamientos de recuperación (reciclados), que satisfagan las especificaciones y que den lugar a una nueva mezcla asfáltica.

¹¹ En el diseño de pavimentos reciclados, tradicionalmente se han enfrentado dos teorías contrapuestas en lo que refiere al reciclado del asfalto propiamente tal. La primera teoría trata el material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos que se denomina como RAP en coincidencia con su nombre en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement” como un “agregado negro” con algo de asfalto endurecido. En este caso, se asume que el RAP se comporta solo como un agregado que presenta un bajo porcentaje de absorción por lo cual, se dosifica la cantidad de asfalto virgen sin considerar el asfalto existente. La segunda teoría, considera que el asfalto adherido al agregado debe ser reconstituido al adicional un rejuvenecedor o agente ablandador el cual podría restaurar el asfalto a su condición original. En este segundo caso la dosificación de asfalto virgen considera las propiedades y la cantidad de asfalto existente.

En investigaciones llevadas a cabo en California, Oregón, Nevada y Nuevo México, se ha concluido que lo más probable que ocurra es una combinación de ambas teorías. Un porcentaje del asfalto envejecido se combina con el asfalto virgen para producir un contenido de asfalto en la mezcla conocido como “asfalto efectivo”, el porcentaje que se combina en forma efectiva con el asfalto virgen es muy variable y depende fundamentalmente de cuatro factores:

¹⁰ Pavimentos ICG, Edwin Vences Martinez, Jorge Timana Rojas. (2002), pág.151

¹¹ La revista de Ingeniería de construcción-Estudio de técnicas de Reciclado en Frio, Guillermo thenoux Z. Gabriel García S. (1999), pág.06

- Tipo de asfalto virgen que se emplee. Es decir, asfalto cortado, emulsión asfáltica, asfalto espumado o cemento asfáltico.
- Porcentaje y estado de envejecimiento del asfalto residual.
- Tipo de aditivo rejuvenecedor. Aunque esta última situación los aditivos rejuvenecedores podrían actuar más bien como aditivos reblandecedores y no restituyen las propiedades visco elásticas del asfalto residual.
- Porcentaje de asfalto residual absorbido por el agregado.

En todo caso, no es fácil determinar con exactitud la proporción en que el asfalto residual se combinada con el asfalto virgen y cuáles serán las propiedades del asfalto combinado. Para el reciclado en frío empleando emulsión es recomendable asumir que el asfalto virgen no se combinara con el asfalto residual adherido al agregado.

B) TIPOS DE RECICLADO:¹²

Los distintos tipos deben distinguir por el lugar donde se lleva a cabo la mezcla y su temperatura, las características del material a reciclar y el tipo de ligante.

B.1) Por el lugar donde se lleva a cabo la mezcla

- **In situ**

Todo procesamiento del material recuperado del pavimento asfáltico es realizado sobre la superficie de la misma en que se colocara, incluyendo la operación de mezcla, una gran cantidad de variantes que dependen de los equipos empleados, se debe distinguir 2 tipos de

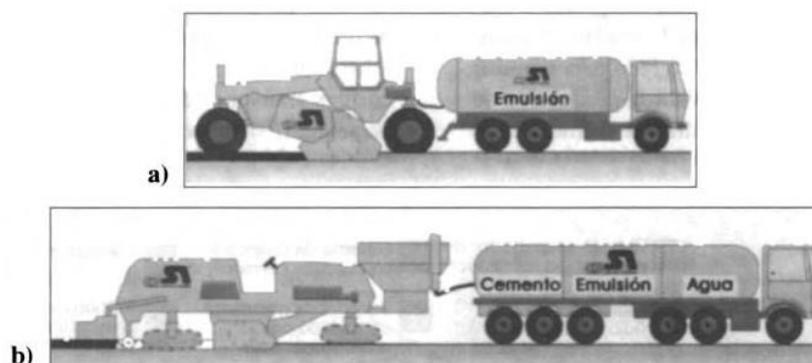
¹² La revista de Ingeniería de construcción-Estudio de técnicas de Reciclado en Frío, Guillermo thenoux Z. Gabriel Garcia S. (1999), pág.06-10

procesamiento de reciclado en frío in-situ los cuales son designados como “tren de unidad simple” y “tren de unidades múltiples”.

En tren de unidad simple, consiste en una maquina fresadora autopropulsada utilizada solo para procesamiento del RAP e incorporación del ligante (aditivo reciclador). Para un mejor control del tamaño del RAP, la Fresadora debería tener un tambor fresador con profundidad de corte variable. La fresadora es equipada con un sistema de aditivo líquido y un esparcidor que controle volumétricamente la cantidad de líquido en base a la profundidad del fresado, al ancho de corte y a la velocidad de la máquina.

La figura 1, muestra dos ejemplos de este tipo de equipos. En la parte a) se muestra una maquina recicladora montada sobre ruedas neumáticas que en este caso está utilizando emulsión como aditivo reciclador pero que podría ser asfalto espumado o un sistema mixto, también se muestra el camión suministrador de la emulsión; en la parte b) se presenta una maquina montada sobre orugas, en este caso está usando gigante mixto (emulsión, cemento), además a la maquina recicladora se le ha agregado un mezclador para lechada (en la parte derecha) y un dispositivo especial para la extensión del material reciclado (en la parte izquierda), también se muestra el camión que suministra los aditivos recicladores y el agua para la preparación de la lechada.

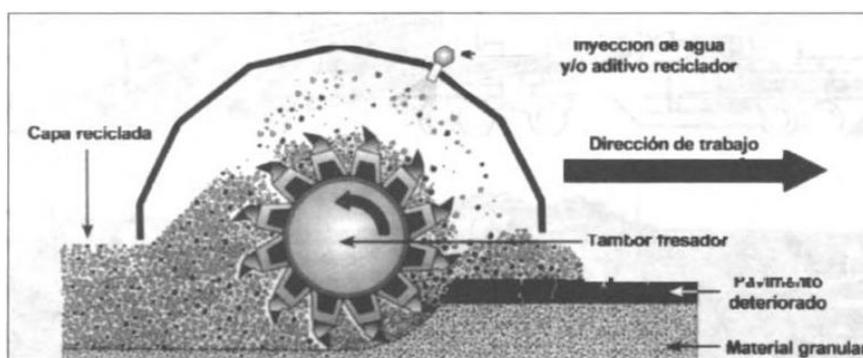
Figura 1: Dos tipos de Tren de Reciclado de unidad simple



FUENTE: Thenoux G. y García G, Estudio de Técnicas de reciclado en frío: primera Parte Revista Ingeniería de Construcción N° 20, Santiago de Chile, 1999.

El elemento clave en este tipo de maquinarias es el tambor fresador/mezclador el que está equipado con una cantidad de dientes de corte. El tambor rota, fresando el material del pavimento existente como se muestra en la figura 2

Figura 2: Tambor Fresador/Mezclador y sistema de inyección de aditivo

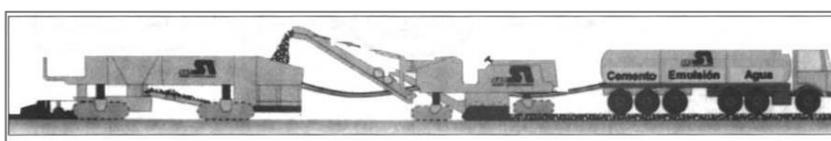


FUENTE: Thenoux G. y García G, Estudio de Técnicas de reciclado en frío: primera Parte Revista Ingeniería de Construcción N° 20, Santiago de Chile, 1999.

En el caso del tren de unidades múltiples, el procesamiento del RAP es completado por un equipo distinto de la maquina fresadora. Se ha desarrollado un tren de dos unidades que consiste en una maquina

fresadora que produce el RAP y una unidad de mezclado /extensión para la incorporación del aditivo y colocación de la mezcla reciclada. También, hay trenes de dos unidades que consisten en una fresadora más un remolque que contiene una planta de cribado/chancado y un mezclador. Ver figura 3

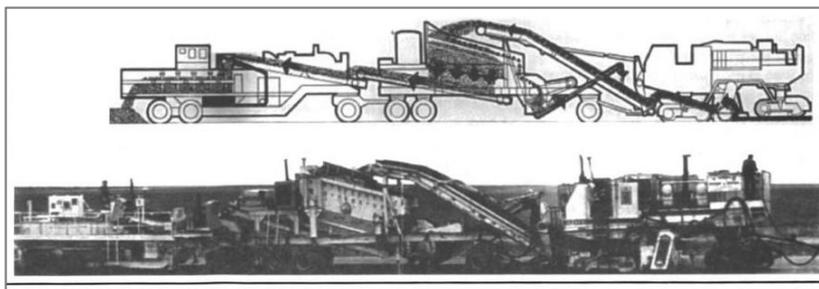
Figura 3: Tren de reciclado de dos unidades



FUENTE: Thenoux G. y García G, Estudio de Técnicas de reciclado en frío: primera Parte Revista Ingeniería de Construcción N° 20, Santiago de Chile, 1999.

La figura 4, muestra un tren de reciclado de tres unidades. En la parte de la derecha de la figura se aprecia la fresadora; en la parte central se encuentra la unidad de chancado la que en este caso es en circuito cerrado para permitir procesar el RAP con sobre tamaño cerrado para permitir procesar el RAP con sobre tamaño y evitar la producción de desperdicios, todo esto sin incrementar el contenido de finos; la de más a la izquierda, esta provista de un sistema de mezclado controlado por un micro procesador para mantener la mezcla de aditivo/RAP dentro de límites, provista de un sistema de mezclado controlado por un micro procesador para mantener la mezcla de aditivo/RAP dentro de límites muy precisos y de un mezclador de flujo continuo, en este caso, el material reciclado es dejado en un cordón lo cual es realizado por medio de un brazo transportador de material (el cual no aparece en la figura); este brazo transportador también debe ser utilizado para cargar camiones directamente desde el mezclador.

Figura 4: Tren de reciclado de unidades múltiples



FUENTE: Thenoux G. y García G, Estudio de Técnicas de reciclado en frío: primera Parte Revista Ingeniería de Construcción N° 20, Santiago de Chile, 1999.

- **En planta**

El RAP fresado es transportado hasta la planta donde es acopiado. Al construir los acopios de RAP, se deben seguir procedimientos preestablecidos para optimizar la posterior explotación. Diferentes tipos de RAP deberían ser separados para prevenir la contaminación del material y los acopios deberían ser construidos en capas horizontales para minimizar la segregación. También, la altura de los acopios debería ser mantenida a un máximo de 3m y evitar que los equipos operen sobre ellos para minimizar la compactación y la aglomeración de partículas

Las plantas deben ser fijas o móviles y normalmente estarán compuestas por una tolva alimentadora de RAP (donde también se incorpora agregado virgen), correas transportadoras, sistema de pesaje del material, mezclador, sistema de adición de aditivo líquido y agua.

B.2) Por la temperatura de la mezcla

- **En Frio**

El reciclado en frio de pavimentos asfálticos, se define como el procesamiento y tratamiento con material bituminoso y/o aditivos químicos, de un pavimento asfáltico existente, sin aplicación de calor, para producir una capa de pavimento restaurado.

El principal objetivo del reciclado en frio es rehabilitar un pavimento asfáltico deteriorado, restituyendo o mejorando las propiedades de la mezcla asfáltica así como las propiedades funcionales y estructurales del pavimento.

El reciclado en frio básicamente consiste en la recuperación de un pavimento asfáltico existente RAP, el mezclado del pavimento recuperado con asfalto, agregado nuevo (si es necesario) y aditivos (si es necesario). La recuperación de un pavimento en frio debe ser realizada por un equipo fresador el cual, es capaz de disgregar el material de modo tal que pueda ser reutilizado en el mismo lugar o bien transportado a una planta para ser utilizado en cualquier otro proyecto vial. Por otra parte, si no se dispone de una fresadora, el pavimento es removido con otros métodos convencionales, transportado a una planta trituradora/seleccionadora y utilizarse en la preparación de mezclas en planta tanto en frio como en caliente.

Las mezclas recicladas podrán requerir la adición de agregado cuando el porcentaje de asfalto residual de la mezcla recuperada es muy alto y /o cuando sea necesario restaurar la granulometría del RAP. En

relación al uso de aditivos estos se requieren en general, para mejorar la adherencia asfalto/agregado y/o para mejorar las propiedades del asfalto que se utiliza. Por lo general, no es recomendable que la mezcla reciclada sea utilizada como carpeta estructural superficial por lo cual, sobre esta usualmente se coloca un recapeo de mezcla asfáltica en caliente entre 3 a 5cm., o algún tipo de sello de superficie.

- **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 es obtenido 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 de responder al diseño adoptado. Para ello, se agregan materiales nuevos 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, respondiendo al proyecto correspondiente, podrá emplearse como capa de rodadura o base, caso este último en el cual se deberá superponer una nueva capa superficial.

Agentes de reciclaje Las alteraciones o cambios que sufren los asfaltos, ya sea durante el mezclado o en el transcurso del tiempo,

conducen a un aumento de consistencia y por lo tanto a una pérdida del poder ligante y cohesivo del asfalto. Muchos investigadores consideran que un asfalto se encuentra en el límite de servicio, cuando presenta las siguientes características:

- Penetración (258, 5 seg. 100 g) < 20 (1/10 mm).
- Viscosidad absoluta a 258C >108 Poises.

En el reciclaje de pavimentos, cuando lo que se busque sea reciclar asfaltos envejecidos (debe tenerse presente que el reciclaje se debe aplicar a pavimentos con mezclas de baja estabilidad donde el asfalto no es la causa del problema), lo que se intenta es volver las propiedades del asfalto a su estado original o lo más cerca posible de él. Para lograr este objetivo, se recurre a los "agentes de reciclaje", denominados también rejuvenecedores, ablandadores o modificadores, los cuales deben restaurar las características.

El envejecimiento del asfalto de un pavimento es un proceso físico-químico complejo en el que están involucradas fundamentalmente reacciones de oxidación y evaporación. En última instancia, ese endurecimiento progresivo se pone de manifiesto a través de fenómenos visibles como el fisuramiento, el desprendimiento de agregados, etc. Los agentes de reciclaje deben cumplir las siguientes funciones:

1. Devolverle al asfalto envejecido su estructura fisicoquímica para hacerlo nuevamente durable.
2. Restaurar en el asfalto un nivel de consistencia adecuado para una buena trabajabilidad de la nueva mezcla en sus etapas fundamentales de mezcla, compactación y servicio.

3. Contribuir a satisfacer la cantidad de ligante total requerido por el diseño de la nueva mezcla asfalto-agregado a reciclar. Para cumplir estas funciones, los agentes de reciclaje, que en general son productos especiales derivados del petróleo, deben cumplir con las siguientes características:

- Alto contenido de hidrocarburos aromáticos.
- Alto punto de inflamación, por razones de seguridad.
- Alta viscosidad.
- Total compatibilidad y facilidad de difusión en el asfalto a reciclar.
- Resistencia al endurecimiento.

- **Reciclaje superficial.**

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

2.2.3. MEZCLA ASFALTICA ¹³

Es una mezcla homogénea de agregados pétreos y un ligante asfáltico, para ser empleado en la conformación de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles, previo transporte, extensión y compactación.

A) MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE¹⁴

- **INTRODUCCION:**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

- **CARACTERISTICAS:**

¹³ Pavimentos, Evaluación, Diseño Construcción-ICG, Chang A. Carlos M. (2002), pág.32

¹⁴ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca (2002), pág.595

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

Las cuatro características son: Densidad de la mezcla:

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

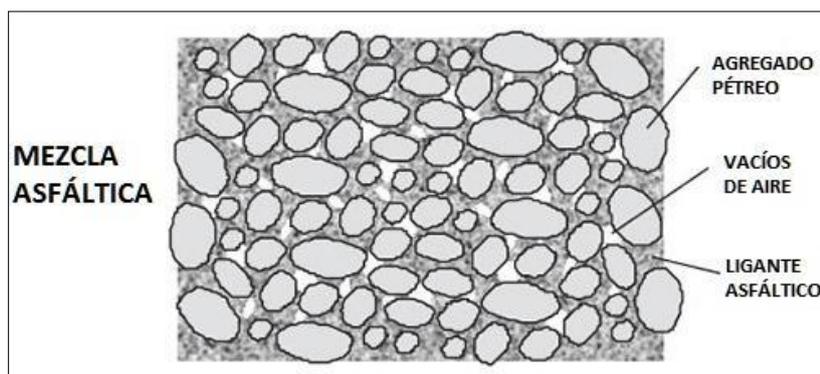
• **DENSIDAD**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

B) MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO¹⁵

Una mezcla asfáltica es el producto que se obtiene de incorporar y distribuir uniformemente un ligante asfáltico sobre un material pétreo en proporciones determinadas de acuerdo a un diseño. Estas proporciones determinan las propiedades físicas de la mezcla resultante y se emplean ensayos de laboratorio para lograr la caracterización, tanto para los componentes como para la combinación de éstos. En la Figura 5 se visualizan los componentes de una mezcla asfáltica.

Figura 5: Componentes de una mezcla asfáltica



FUENTE: Néstor Huamán G., Manual Básico de Pavimentos Asfálticos, Perú, 2011.

Un factor importante a conocer es el valor de la temperatura, que depende del empleo final de la mezcla en obra. De acuerdo a este parámetro, se producen las mezclas en caliente o mezclas en frío. Las mezclas asfálticas en frío son aquellas que se colocan en obra a una temperatura ambiente, empleando una gran variedad de agregados, de canteras o material reciclado, y asfalto líquido.

B.1) Diseño de mezcla asfáltica frío (método del instituto del asfalto)¹⁶

¹⁵ Manual Básico de Pavimentos Asfálticos, Néstor Huamán G. (2011), pág.54

¹⁶ Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca (2002), pág.596-600

El agregado de la mezcla recuperada de la vía se mezcla con agregados naturales, también recuperados o nuevos, para obtener una gradación que cumpla los requisitos indicados en la Tabla 1. A continuación, se elige un asfalto apropiado al caso y se hace una estimación de la cantidad de asfalto necesaria para la mezcla, efectuándose en seguida un cálculo que permite determinar la cantidad de asfalto nuevo por añadir. Por último, la obra dirá los ajustes que sean pertinentes. Todos estos pasos se describen a continuación y se resumen en la Figura 6.

Tabla 1: Gradaciones sugeridas para el reciclaje en Frío

Tamiz		Porcentaje que pasa						
		Gradación abierta			Gradación densa			
m.m	Pg.	A	B	C	D	E	F	G
28.1	1 1/2	100			100			
25	1	95-100	100		80-100			
19	3/4		90-100					
12.5	1/2	25-60		100		100	100	100
9.5	3/8		20-55	85-100				
4.5	N°.4	0-10	0-10		25-85	75-100	75-100	75-100
2.36	N°.8	0-5	0-5					
1.18	N°.16			0-5				
0.3	N°.50						15-30	
0.15	N°.100							15-65
0.075	N°.200	0-2	0-2	0-2	3-15	0-12	5-12	12-20

FUENTE: Montejo F. Alfonso, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Colombia, 2002.

- **Combinación de agregados.**

La mezcla del agregado recuperado de la capa asfáltica, el recuperado de la base granular (si lo hay) y el agregado nuevo que se haya añadido,

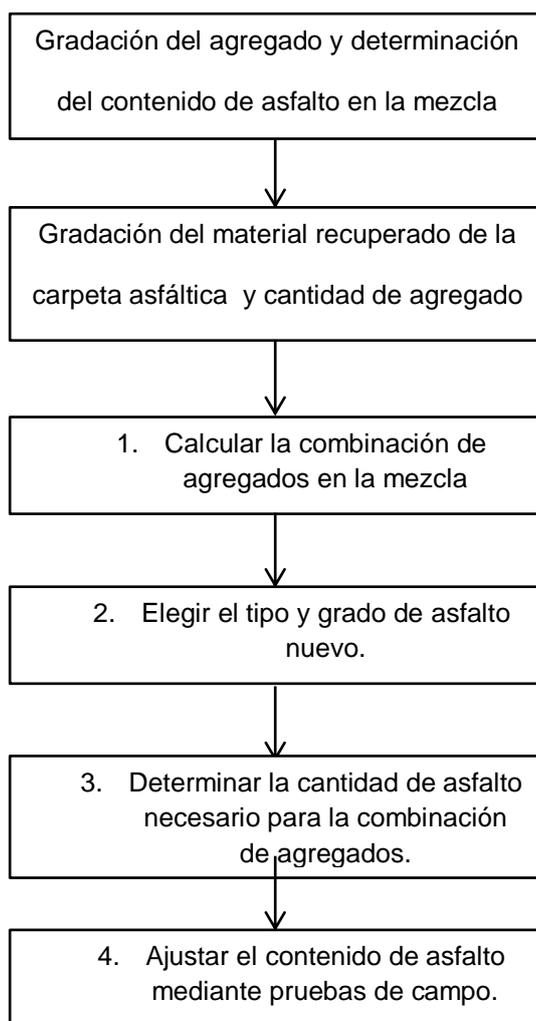
debe cumplir alguna de las normas granulométricas de la Tabla 1. Para que el reciclaje con asfalto sea posible, los agregados tomados del pavimento a reciclar deberán cumplir, además, al menos uno de los siguientes requisitos:

- a) IP x % que pasa tamiz de 75 um < 72
- b) Equivalente de arena > 30

- **Selección del asfalto nuevo.**

La selección del tipo y grado de asfalto más apropiado es muy importante en el resultado final del reciclado. Es necesario tener en cuenta experiencias previas con los diversos asfaltos disponibles, las condiciones ambientales de la zona y los equipos de construcción disponibles. Como regla general se recomienda emplear el asfalto más pesado que pueda trabajarse con facilidad.

Figura 6: Diagrama de Flujo para el diseño de Mezclas asfálticas recicladas en frío



FUENTE: Montejo F, Alfonso, Ingeniería de para Carreteras, Colombia, 2002.

- **Determinación de la cantidad necesaria de asfalto para la combinación de agregados.**

Se emplea la siguiente fórmula:

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

Donde:

P_c = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.

a = Porcentaje de material mayor a 2.36 mm (Tamiz No. 8)

b = Porcentaje de partículas entre 2.36 mm y 75 μ m (No. 8 a No. 200).

c = Porcentaje de partículas menores a 75 μ m (No. 200).

k = 0.15 si el porcentaje inferior a 75 μ m está entre 11 y 15; 0.18 si está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.

F = Varía entre 0 y 2% de acuerdo con la absorción del agregado. La fórmula se basa en un agregado pétreo con peso específico de 2.6 a 2.7.

Si no se dispone de información, se adopta un valor entre 0.7 y 1.0.

R = Concentración del producto asfáltico (1.0 para cemento asfáltico y suele variar entre 0.60 a 0.65 en emulsiones asfálticas).

- **Porcentaje de asfalto nuevo por añadir.**

Es la diferencia entre la demanda total de asfalto y la cantidad existente en el pavimento recuperado:

$$P_r = P_c - \frac{P_a \times \frac{P_p}{100}}{R}$$

Siendo:

P_r = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

P_c = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total (paso 3).

Pa =Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

Pp =Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

Si se quiere expresar la cantidad necesaria del asfalto nuevo como porcentaje en relación con el peso de los agregados, se emplea la expresión:

$$Pd = \frac{100Pr}{100 - Pr}$$

- **Pruebas de campo para ajustar la dosificación.**

Es el paso final que debe adelantar el ingeniero de la obra, quien determinará a través de una prueba a escala natural, los ajustes a que haya lugar para producir una mezcla resistente al agrietamiento y las deformaciones.

2.2.4. ENSAYOS REALIZADOS AL RAP ¹⁷

Para la utilización del material reciclado, se realizan ensayos de laboratorio que permiten analizar las características que presenta y establecer las condiciones iniciales de ingreso del material en un diseño de pavimento. El material reciclado del pavimento, después de ser separado del asfalto envejecido, es sometido a los mismos ensayos empleados para un agregado nuevo, descritos en el Tabla 2, y normados por organizaciones internacionales como la American Society for Testing and Materials (ASTM) o la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

¹⁷ Tesis: Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, Luis Miguel Galván Huamani. (2015), pág.26-27

Tabla 2: Ensayos para Agregados

Tipo de Ensayo	Descripción	Normativa
Análisis Granulométrico	Determina, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos del material, por medio de tamices normalizados, elaborando una curva granulométrica.	ASTM C136 AASHTO T 27 MTC E 204

FUENTE: Galván H., Luis Miguel, “Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado”, Perú, 2015.

2.2.5. ASFALTO LÍQUIDO

A) DEFINICION:¹⁸

Son materiales constituidos por mezclas de cementos asfálticos y solventes de hidrocarbonados de diferentes rangos de destilación, que le imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. Se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío. Los más utilizados son los de Curado Medio (MC) y los de Curado Rápido (RC) y emulsiones asfálticas convencionales y modificadas con polímeros. Son recomendados con demostrados y excelentes resultados en imprimaciones, lechadas asfálticas, riesgos de liga, tratamientos superficiales, micro pavimentos y estabilización de suelos en superficies con necesidades de impermeabilización.

¹⁸ Ficha técnica asfaltos líquidos, Repsol (2015), pág.01

B) TIPOS:

B.1) Asfalto de curado medio:

El disolvente de este asfalto es keroseno, y se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiStokes.

Asfaltos rebajados de fraguado medio, son cementos asfálticos rebajados o diluidos a una mayor fluidez mezclándolos con destilados del tipo kerosene o el aceite diesel ligero que se evapora a una velocidad relativamente baja.

- **Asfalto Líquido MC 30:**¹⁹

También se le llama **ASFALTO LIQUIDO DE CURADO MEDIO**, es un derivado del Petróleo constituido por mezcla de cemento asfáltico y solventes de hidrocarbonados de diferentes rangos de destilación que le imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado, se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío.

Asfalto cuyo fluidificante es kerosene, se designan con las letras MC (Medium Curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen los asfaltos MC. Son recomendados con demostrados y excelentes resultados.

Uso:

- Imprimaciones de suelos.
- Lechados Asfálticos.

¹⁹ Ficha técnica asfalto líquido MC-30, Continental Company (2015), pág.02

- Riego de Liga.
- Tratamiento Superficial.
- Micro pavimentos y estabilización de suelos.

Tabla 3: Datos técnicos Asfalto liquido MC-30

Ensayos	Especificaciones 8.301.3 A	
	Min.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	75	150
Punto de inflamación (copa abierta Tag),(°C)	38	--
Agua (%)	--	0,2
Destilación total. % en volumen a 360°C		
A 225°C	-	30
A 260°C	40	70
A 316°C	75	93
Residuo de la destilación	50	--
Penetración a 25°C, 100g. 5 s, (0,1 mm)	120	250
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, (cm)	Min. 100	
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	Min. 99	
Mancha: Heptano-Xilol, (% Xilol)	--	20
Densidad	A 20°C 0,9 gr/cc	

FUENTE: Dynal Industrial, Ficha técnica Asfalto MC-30, Chile,2009.

B.2) Asfalto de curado rápido:

Es aquel cuyo disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiestokes.

Asfaltos rebajados de fraguado rápido, son cementos asfálticos diluidos con un destilado de petróleo tal como la gasolina, que se evapora rápidamente. Los productos de curado rápido se emplean cuando se desea

un cambio rápido del estado líquido de aplicación al cemento asfáltico original.

- **Asfalto Líquido RC 250:** ²⁰

También se llama **ASFALTO LIQUIDO DE CURADO RAPIDO (RC)** es una mezcla de ASFALTO DE PENETRACION con un destilado de petróleo muy volátil, del tipo de gasolina, que imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. Se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío. El número de 250 asociados con el nombre indica la viscosidad cinemática permisible en constante a 60°C (144°F), la viscosidad del producto depende del tipo de ASFALTO DE PENETRACION, de la volatilidad del solvente y de la proporción de los componentes. Son recomendados con demostrados y excelentes resultados.

USOS

- Preparación de mezcla asfáltica para pavimentación en frío (Asfalto en frío).
- Riego de imprimación (Sellado para la construcción de carreteras).
- Riego de adherencia.
- Preparación de carpeta asfáltica en frío.
- Riego de liga.
- Estabilización de suelos para bases y sub bases.
- Lechadas asfálticas.
- Tratamiento superficial.
- Micro pavimentos y estabilización de suelos.

²⁰ Ficha técnica asfalto liquido MC-30, Continental Company (2015), pág.03

Tabla 4: Datos técnicos Asfalto liquido RC-250

Ensayos	Especificación 8.301.2.A	
	Min.	Máx.
Viscosidad Sybolt Furol a 60°, SF	125	250
Punto de inflamación (copa abierta Tag), (°C)	27	--
Agua (%)	--	0,2
<u>Destilación total, % en volumen a 360°C</u>		
A 225°C	35	--
A 260°C	60	--
A 315°C	80	--
Residuo de la destilación	65	--
Penetración a 25°C, 100g, 5 s, (0,1 mm)	80	120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, (cm)	Min. 100	
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	Min. 99	
Mancha: Heptano-Xilol, (% Xilol)	--	20

FUENTE: Dynal Industrial (2009), Ficha técnica Asfalto MC-30, Chile

2.2.6. DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL MODIFICADO²¹

El diseño de mezcla es parte fundamental de las investigaciones sobre pavimentos y procedimientos de diseño. Tiene como objetivo determinar la combinación más efectiva de materiales que conformarán las capas asfálticas.

Generalmente, el diseño adecuado es el más económico y el que cumple satisfactoriamente los criterios establecidos al inicio del proyecto.

Uno de los métodos de diseño más usado es el Marshall Modificado, basado en el método Marshall para diseño de mezclas en caliente el cual es modificado para adecuarse al diseño de mezclas preparadas a temperatura ambiente. Su propósito es proveer la cantidad adecuada de ligante asfáltico que establezca el material granular con el fin de dar la resistencia o estabilidad requerida para soportar las aplicaciones de carga sin una deformación permanente excesiva o los efectos por cambios

²¹ Tesis: Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, Luis Miguel Galván Huamani. (2015), pág.37-38

bruscos de temperatura. El diseño analiza la relación estabilidad-flujo en muestras compactadas y la relación densidad-análisis de vacíos.

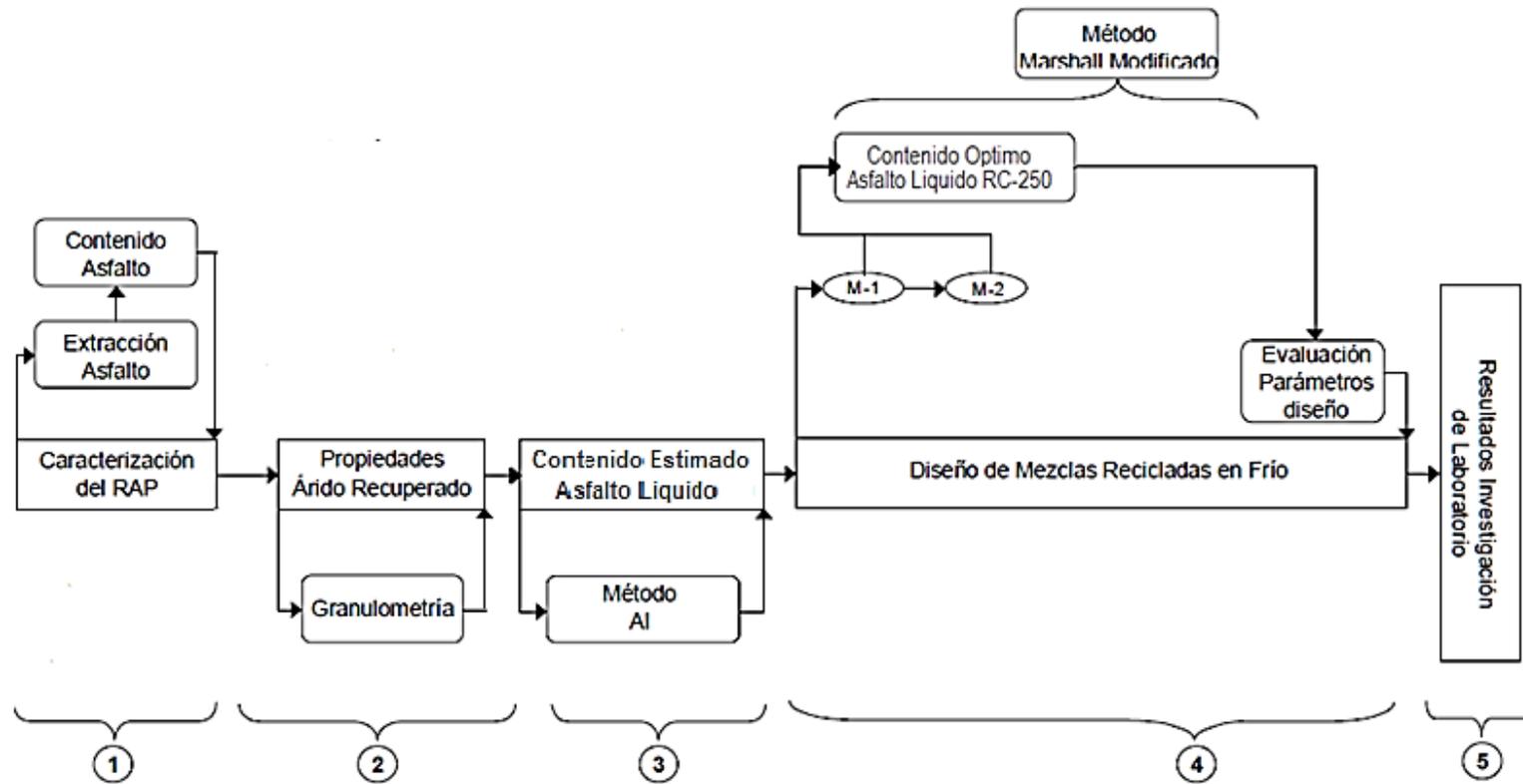
La estabilidad y el flujo de un pavimento reflejan su capacidad de resistir desplazamientos y su deformación bajo las cargas del tránsito. En la relación densidad y contenido de vacíos, entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos, a menor cantidad de vacíos menor será la permeabilidad de la mezcla y un contenido alto proporciona aberturas donde debe entrar agua y aire, deteriorando el pavimento.

A) METODOLOGIA DE DISEÑO²²

La Figura 7 indica el flujo de procesos de la metodología Marshall Modificado para mezclas en frío, inicia con la evaluación y caracterización de los materiales mediante ensayos de laboratorio, llegando al cálculo del contenido tentativo de ligante asfáltico requerido, estableciendo la humedad para compactación, continua con el ensayo de probetas que contienen un contenido de asfalto variado y concluye con la selección del contenido óptimo de ligante asfáltico que satisface de la mejor manera todos los criterios de diseño.

²² Tesis: Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, Luis Miguel Galván Huamani. (2015), pág.38

Figura 7: Flujo para el diseño de Mezcla en frío



FUENTE: Elaboración propia

A.1) Caracterización del material Reciclado (RAP) (etapa I):²³

Se analizaron las características del RAP, para establecer las condiciones iniciales requeridas por el método de diseño de mezclas seleccionado.

El material utilizado en la presente investigación se trató de un RAP proveniente de un recapado asfáltico sobre un pavimento Asfáltico existente de la Avenida Bolognesi de la Ciudad de Tacna, Perú.

Dicho pavimento mas el recapado tiene un espesor alrededor de los 8 cm. Como se aprecia en la Figura 7, la Etapa 1 consistió en determinar la extracción y contenido de asfalto.

A.2) Propiedades del Árido recuperado (Etapa II):²⁴

Consistió en realizar un análisis granulométrico del árido resultante una vez extraído el asfalto del RAP.

A.3) Contenido de asfáltico Líquido tentativo: (Etapa III)²⁵

El contenido de asfalto residual tentativo se determina en base al análisis granulométrico del agregado o de la mezcla de agregados y de la capacidad de absorción de estos.

Existen varios métodos para determinar el contenido óptimo de asfalto, siendo el método del Instituto del Asfalto el más empleado.

- **Método del Instituto del Asfalto (USA)**

²³ Revista Ingeniería de Construcción Vol. 16, Guillermo Thenoux , Gabriel García (2001), pág.03

²⁴ Revista Ingeniería de Construcción Vol. 16, Guillermo Thenoux , Gabriel García (2001), pág.04

²⁵ Revista Ingeniería de Construcción Vol. 16, Guillermo Thenoux , Gabriel García (2001), pág.04

El método busca determinar un porcentaje de asfalto residual por peso de la mezcla, iniciando con la aplicación de una fórmula empírica basada en las características granulométricas del agregado:

Se debe emplear la siguiente fórmula:

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

Donde:

P_c = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total.

a = Porcentaje de material mayor a 2.36 mm (Tamiz No. 8)

b = Porcentaje de partículas entre 2.36 mm y 75 μ m (No. 8 a No. 200).

c = Porcentaje de partículas menores a 75 μ m (No. 200).

k = 0.15 si el porcentaje inferior a 75 μ m está entre 11 y 15; 0.18 si está entre 6 y 10; 0.20 si es menor o igual a 5.

F = Varía entre 0 y 2% de acuerdo con la absorción del agregado.

La fórmula se basa en un agregado pétreo con peso específico de 2.6 a 2.7. Si no se dispone de información, debe adoptarse un valor entre 0.7 y 1.0.

R = Concentración del producto asfáltico (1.0 para cemento asfáltico y suele variar entre 0.60 a 0.65 en emulsiones asfálticas).

Porcentaje de asfalto nuevo por añadir.

Es la diferencia entre la demanda total de asfalto y la cantidad existente en el pavimento recuperado:

$$Pr = Pc \cdot \frac{Pa \times \frac{Pp}{100}}{R}$$

Siendo:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

Pc = Porcentaje de asfalto por peso de la mezcla total (paso 3).

Pa = Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del pavimento.

Pp = Porcentaje en que interviene el pavimento asfáltico recuperado dentro de la mezcla reciclada.

Si se quiere expresar la cantidad necesaria del asfalto nuevo como porcentaje en relación con el peso de los agregados, se emplea la expresión:

$$Pd = \frac{100Pr}{100 - Pr}$$

A.4) Diseño de mezclas recicladas en frío: (Etapa IV) ²⁶

La elección del valor óptimo se basa en los siguientes criterios:

- La mezcla debe proporcionar una estabilidad adecuada en una condición “húmeda” para proporcionar una resistencia adecuada a la carga de tráfico durante las estaciones húmedas.
- El porcentaje de pérdida de estabilidad de la mezcla en condición “húmeda” no debe ser excesiva. Una gran pérdida es indicador que la mezcla tiene una gran susceptibilidad a la humedad y debe causar desintegración durante las estaciones húmedas.
- El total de vacíos debe estar dentro de un rango aceptable para prevenir la deformación permanente excesiva y la absorción de

²⁶ Revista Ingeniería de Construcción Vol. 16, Guillermo Thenoux , Gabriel García (2001), pág.05

humedad (para contenidos de vacíos muy alto), o exudación del asfalto residual de la mezcla (para un contenido de vacíos bajo).

- La absorción de humedad en la mezcla no debe ser excesivo para minimizar el potencial de debilitamiento de la unión entre el asfalto residual y el agregado.
- El asfalto residual debe proporcionar un adecuado recubrimiento del agregado y debe ser resistente a la abrasión.

El contenido óptimo de asfalto residual es elegido como el valor que proporciona la estabilidad húmeda máxima, siendo ajustado ese valor dependiendo de la humedad absorbida, % pérdida de estabilidad, los vacíos totales, y el recubrimiento de los agregados. Este valor debe cumplir con los requisitos mínimos de estabilidad. Si uno o más criterios no se cumplen, la mezcla es considerada inadecuada.

Si no hay ningún pico en la gráfica contenido de asfalto residual vs la Estabilidad húmeda u otras propiedades desarrolladas, el contenido óptimo de emulsión se establece sobre la base de las mejores combinaciones de propiedades tales como la estabilidad Marshall, el porcentaje de pérdida de estabilidad y la densidad seca, con especial atención a los efectos del agua sobre las propiedades de las muestras.

El método de diseño que se expone en esta sección, es el que la presente investigación propone para el reciclado en frío de pavimentos asfálticos, y el que fue empleado durante el trabajo de investigación de laboratorio. Ya que se basa en el método de diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente convencionales,

también se le denomina “Método Marshall Modificado para el Diseño de Mezclas Recicladas en Frío”.

Este método consiste básicamente en emplear las mismas probetas, martillo y equipo utilizados para diseñar mezclas asfálticas en caliente con el método Marshall, preparando un mínimo de tres probetas por cada contenido de asfalto líquido a ensayar. La temperatura de mezclado, compactación y de ensayo que se utiliza normalmente es de 25°C y fue la utilizada en esta investigación; sin embargo, esta temperatura podría adecuarse a las temperaturas probables de encontrar en los lugares donde se realice el reciclado.

Después del curado, las probetas son sometidas a varios ensayos para evaluar sus propiedades de ingeniería. Para determinar el contenido óptimo de asfalto residual

A.5) Resultados (Etapa V):²⁷

Los resultados de los ensayos son graficados con respecto al contenido de asfalto residual de cada mezcla. El contenido de asfalto residual que permite lograr las propiedades deseadas, es considerado como el contenido óptimo de asfalto. Las pruebas y análisis que se realizan con el fin de obtener ciertos datos de las probetas compactadas.

²⁷ Tesis: Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, Luis Miguel Galván Huamani. (2015), pág.41-47

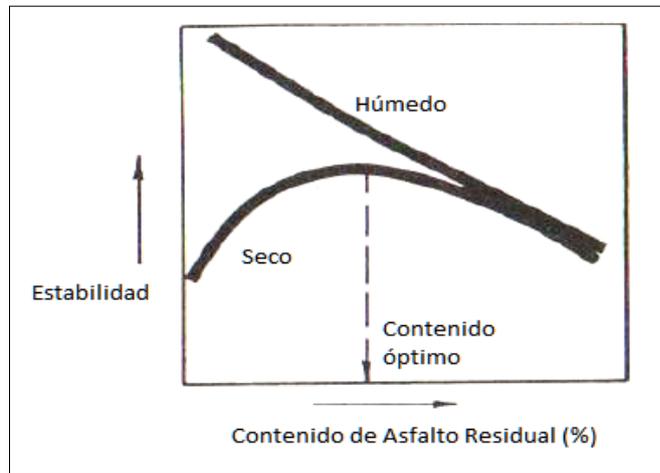
Tabla 5: Ensayos de probetas con mezcla Asfáltica

Ensayo	Descripción	Normativa
Densidad Bulk	Relación entre el peso de una probeta en el aire y su volumen incluyendo vacíos permeables. Útil para cálculo de % de vacíos de aire.	ASTM D2726
Estabilidad modificada (en modo seco y saturado)	Determina la resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica, mediante el aparato Marshall, reflejando que tan estable es la mezcla.	ASTM D-1559
Pérdida de Estabilidad	Determina la pérdida de cohesión de la mezcla acción del agua.	ASTM D-1559
Flujo o Fluencia	Determina la deformación de la mezcla por efectos de esfuerzos de compresión diametral y es medido mediante un dial de deformación vertical.	ASTM D-1559
Humedad absorbida	Determina el peso específico aparente y la cantidad de agua que la mezcla puede absorber.	ASTM D-1559
Análisis de densidad y vacíos	Determina la cantidad de bolsas de aire que se encuentra entre las partículas de agregado cubiertas con asfalto, luego de compactada la mezcla.	ASTM D-3203

Fuente: Elaboración propia

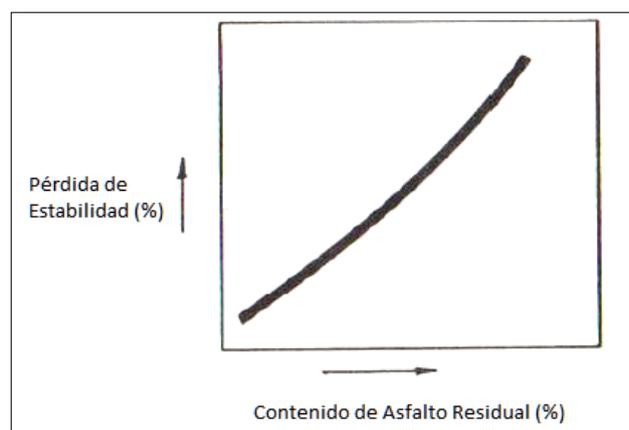
Los datos obtenidos se representados en gráficas donde cada uno de dichos datos es conectado con una curva suave que proporciona el mejor ajuste para todos los valores.

Estabilidad modificada seca vs contenido de asfalto residual y Estabilidad modificada húmeda vs contenido de asfalto residual, gráficas representadas en la Figura 8.

Figura 8: Estabilidad vs Contenido de asfalto residual

FUENTE: Manual Series N°14 - Instituto del Asfalto (2002), Chile

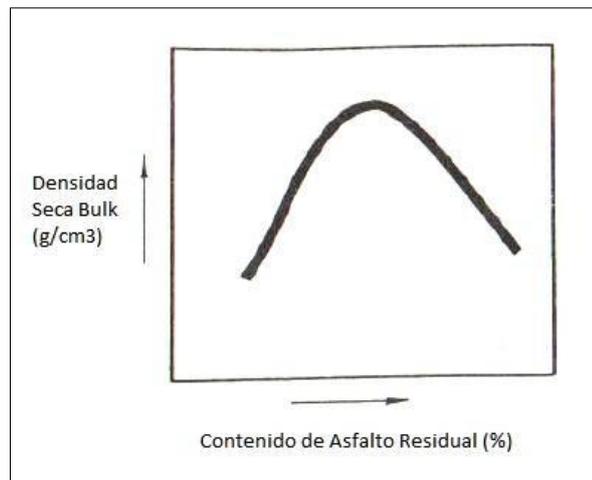
Pérdida de estabilidad (%) vs contenido de asfalto residual, gráfica representada en la Figura 9.

Figura 9: Pérdida de Estabilidad vs asfalto residual

FUENTE: Manual Series N°14 - Instituto del Asfalto (2002), Perú.

Densidad seca Bulk (corregida por humedad) vs contenido de asfalto residual, gráfica representada en la Figura 10

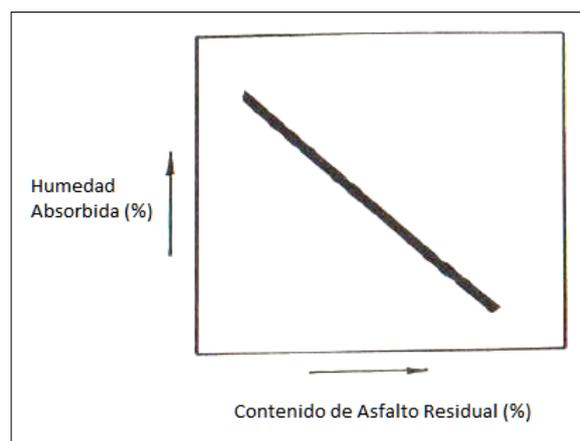
Figura 10: Densidad Seca Bulk vs asfalto residual



FUENTE: Manual Series N°14 - Instituto del Asfalto (2002), Perú

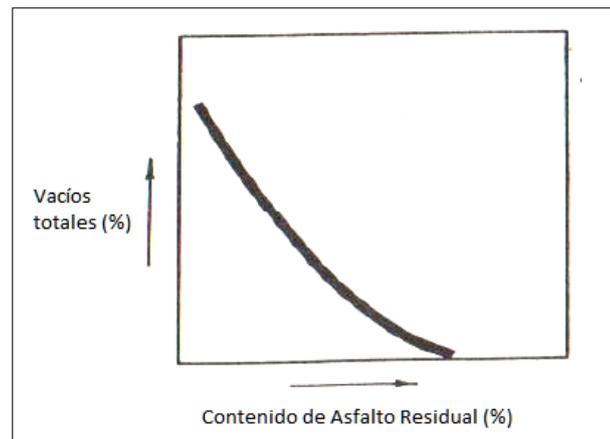
Humedad absorbida (%) vs contenido de asfalto residual, gráfica representada en la Figura 11.

Figura 11: Humedad Absorbida vs asfalto residual



FUENTE: Manual Series N°14 - Instituto del Asfalto (2002), Perú.

Vacíos totales (%) vs contenido de asfalto residual, gráfica representada en la Figura 12.

Figura 12: Vacíos totales vs asfalto residual

FUENTE: Manual Series N°14 - Instituto del Asfalto (2002), Perú

Las tendencias generales y relaciones entre datos de los ensayos representados son:

- La estabilidad húmeda generalmente mostrará un pico a un contenido de asfalto residual en particular, mientras que la estabilidad seca generalmente mostrará una curva continuamente decreciente con el aumento del contenido de asfalto residual. Algunas mezclas deben mostrar un incremento continuo de la estabilidad húmeda sobre el rango del contenido de asfalto evaluado, lo que indica el aumento del efecto beneficioso del contenido de asfalto adicional en la estabilidad húmeda.
- El porcentaje de pérdida de estabilidad generalmente disminuye con el aumento del contenido de asfalto residual.
- La densidad seca Bulk usualmente tiene un pico a un contenido de asfalto residual en particular.
- El porcentaje de humedad absorbida durante la inmersión disminuye con el aumento del contenido de asfalto residual.
- El porcentaje total de vacíos disminuye con el aumento del contenido de asfalto residual.

CAPITULO III:
MARCO METODOLOGICO

3.1.DISEÑO DE INVESTIGACION

La presente investigación es de carácter experimental. Utilizando la validación y comprobación debida.

3.2.POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO

Para la presente investigación se recopiló y se trabajó con datos extraídos del tramo que empieza en el cruce de la av. Bolognesi con av. Patricio Meléndez hasta el cruce de av. Bolognesi con av. Amazonas, extrayendo en dos puntos diferentes muestras de la carpeta asfáltica para realizar los ensayos.

3.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

3.3.1. EQUIPOS Y MATERIALES PARA TRABAJO EN LABORATORIO

- Extractor centrifuga.
- Balanza electrónica de 5kg.
- 01 Máquina de Equipo Marshall
- 01 Cabezal de rotura de 4"
- 01 Indicador de flujo
- 01 Compactador manual de asfalto
- Moldes de compactación de 4"
- 01 Horno eléctrico
- 01 Termómetro
- Mallas para la granulometría
- Asfalto líquido RC-250

- Gasolina de 95 octanos.
- Taras.
- Espátulas.
- Bandejas.
- Wincha.
- Balde.
- Jarra.
- Escobillas.

3.3.2. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL TRABAJO EN GABINETE

- Equipo de cómputo
- Materiales de escritorio
- Materiales de referencia y bibliográfico
- Hojas de cálculo de laboratorio

3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la presente investigación se recopiló y se trabajó con datos extraídos del tramo que empieza en el cruce de la Av. Bolognesi con Av. Patricio Meléndez hasta el cruce de Av. Bolognesi con Av. Amazonas, extrayendo en dos puntos diferentes muestra de la carpeta asfáltica para realizar los ensayos.

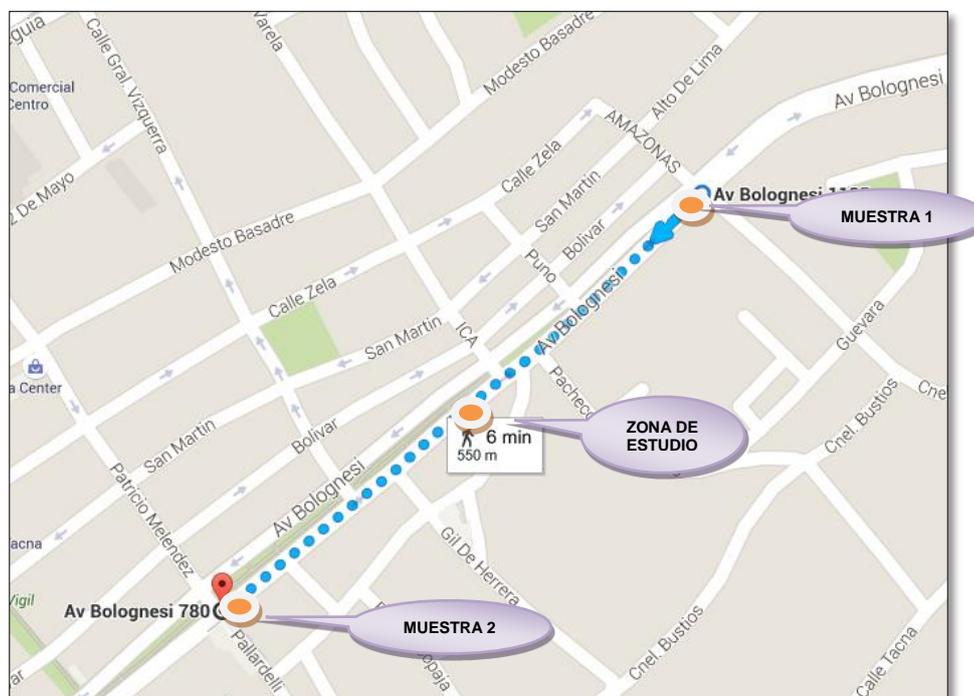
DE LA ZONA EN ESTUDIO:

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El lugar donde se realizó el estudio para el diseño optimizado de redes abiertas, se encuentra ubicado en:

Departamento	:	Tacna
Provincia	:	Tacna
Distrito	:	Tacna
Lugar	:	Av. Bolognesi
Altitud	:	589 m.s.n.m.
Latitud Sur	:	-18.01194711
Longitud Oeste	:	-70.24624407

Figura 13: Mapa de Ubicación de los puntos de extracción de muestras.



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 14: Plano de ubicación política de la zona de estudio



FUENTE: Elaboración Propia

3.4.2. TRABAJO EN CAMPO

A) EVALUACIÓN PRELIMINAR

La evaluación preliminar centra su interés en tener un conocimiento amplio y general del proyecto en asfalto en estudio, previo a la realización de los trabajos que seguidos a esta nos ha proporcionado un criterio técnico y realista el mismo que el producto de una exhaustiva evaluación in situ.

Bajo estas premisas deberá esbozarse una planificación sobre los trabajos necesarios que se realizan en forma secuencial durante la realización del proyecto.

B) EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.

Este modo operativo está basado en las normas ASTM D 2172 y AASHTO T 164, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad, cabe indicar que este modo operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

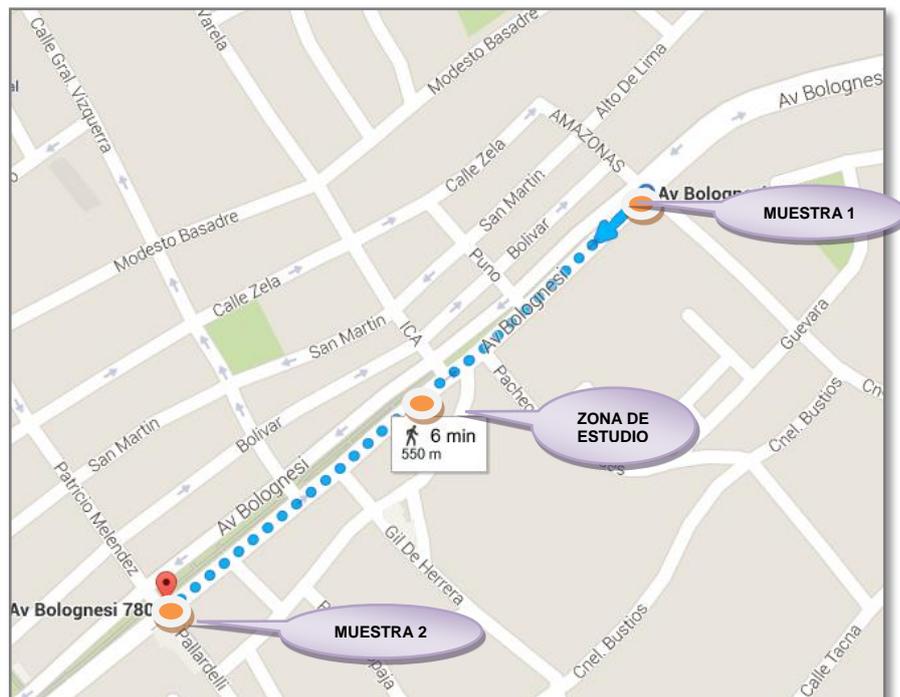
Este modo operativo no propone los requisitos consumientes a seguridad es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar además las obligaciones de su uso a interpretación.

Describe métodos para la determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente y en muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos mediante estos métodos deben emplearse para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

B.1) PROCEDIMIENTO

Una vez en el terreno se empezó a realizar los puntos donde se sacarían las muestras ya definidos los puntos se empezó con el sacado de muestras se extrajeron 15 kilos por muestra.

Figura 15: Mapa de Ubicación de los puntos de extracción de muestras.



FUENTE: Elaboración Propia

A continuación se muestran las fotografías de los trabajos realizados en campo.

Figura 16: Extracción de la muestra - muestra numero I entre Av Bolognesi y Av. Amazonas



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 17: Extracción de la muestra – muestra número II
Entre Av. Bolognesi y Av. Patricio Meléndez



FUENTE: Elaboración Propia

C) TRABAJO EN LABORATORIO

a. EVALUACION DE LA MUESTRA

Se lleva las muestras extraídas al laboratorio y se empieza a evaluar cuál es su espesor y si tuvo recapeo.

Figura 18: Evaluación de la muestra - Midiendo la el recapeo de la Muestras



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 19: Evaluación de la Av. Bolognesi - Midiendo distancia

de Pista y vereda.



FUENTE: Elaboración Propia

b. LAVADO ASFALTICO

Se procede a disgregar el agregado con un combo y cincel, manteniendo el tamaño original de los agregados, luego se procede a pesar la muestra.

Figura 20: lavado asfáltico - Disgregado y pesado de material

Asfáltico



FUENTE: Elaboración Propia

Paso siguiente se procede a colocar la muestra en la centrifuga extractora de asfalto y se procede a verter Gasolina de 95 octanos con el propósito de que el asfalto del RAP se vaya separando.

Figura 21: lavado asfaltico - Se procede a colocar el RAP en la Centrifuga extractora de asfalto.



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 22: Lavado asfaltico - colocando gasolina de 95 octanos para extraer el asfalto



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 23: Lavado asfáltico-Agregado extraído de la muestra mediante el proceso de centrifugado



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 24: lavado asfáltico - Extrayendo el material en una tara para luego ser secado y pesado



FUENTE: Elaboración Propia

c. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO RECUPERADO

Se procede a pesar el agregado, luego se coloca en las mallas y se empieza a agitar durante 15 minutos aproximadamente, luego se pesan las muestras con los tamices.

Figura 25: Granulometría - pesando el agregado recuperado seco



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 26: Granulometría - mallas para el tamizado de la muestra recuperada



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 27: Granulometría - proceso de tamizado de la muestra



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 28: Granulometría - muestra tamizada



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 29: Granulometría - pesando las muestras



FUENTE: Elaboración Propia

d. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO RECUPERADO

Figura 30: Granulometría –muestra de piedra chancada, Cantera Arunta



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 31: Granulometría del nuevo agregado –pesando la muestra



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 32: Granulometría - proceso de tamizado de la muestra



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 33: Granulometría - pesando las muestras



FUENTE: Elaboración Propia

e. DISEÑO MARSHALL MODIFICADO

Figura 34: Diseño Marshall Modificado - calentando el asfalto liquido RC-250 hasta 60°, verificando con el termómetro.



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 35: Diseño Marshall Modificado - Combinando RAP + 25% agregado grueso virgen para corregir la granulométrica.



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 36: Diseño Marshall Modificado - mezclando la combinación de agregados con el asfalto líquido RC-250.



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 37: Diseño Marshall Modificado - compactando las muestras



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 38: Diseño Marshall Modificado - Extrayendo las muestras compactadas



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 39: Diseño Marshall Modificado - pesando las muestras compactadas



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 40: Diseño Marshall Modificado - realizando el ensayo de estabilidad de Marshall modificado



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 41: Diseño Marshall Modificado - anotando las mediciones del equipo



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 42: Diseño Marshall Modificado - anotando las mediciones del equipo



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 43: Diseño Marshall Modificado - pesando las muestras para hallar al densidad de Bulk



FUENTE: Elaboración Propia

3.5. RESULTADOS DE LOS ENSAYO

3.5.1. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO RECUPERADO

A) MUESTRA 1

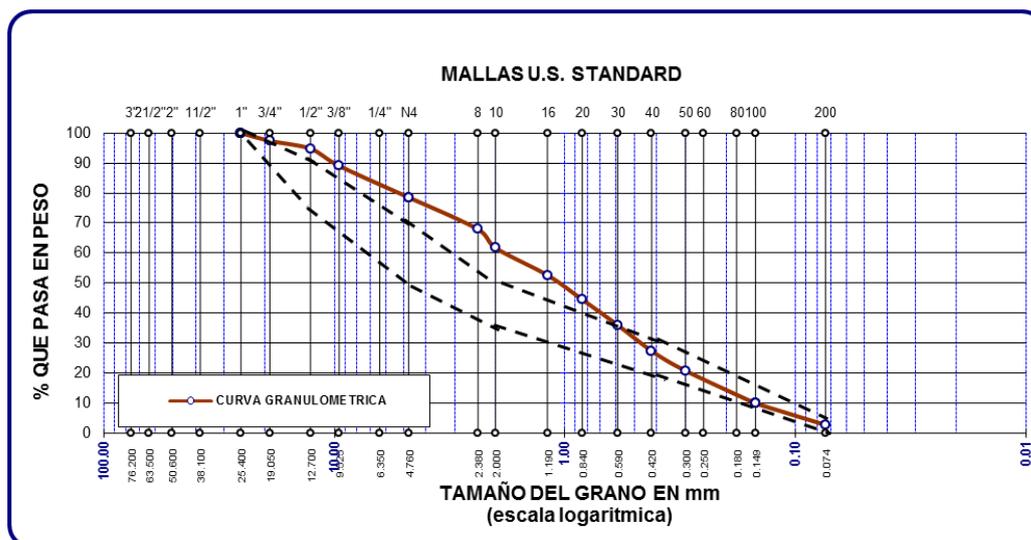
Cuadro 1: Caracterización del agregado recuperado Muestra 1

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. IV - b	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso de la Muestra Antes del Lavado
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100 100	1800.0
3/4"	19.050	44.55	2.58	2.58	97.42		Peso de la Muestra Despues del Lavado
1/2"	12.700	45.47	2.63	5.21	94.79	75 90	
3/8"	9.525	99.33	5.75	10.96	89.04		1728.3
1/4"	6.350						%del Asfalto
No4	4.760	181.28	10.49	21.44	78.56	50 70	
No8	2.380	184.19	10.66	32.10	67.90		3.98
No10	2.000	107.01	6.19	38.29	61.71	35 50	
No16	1.190	157.01	9.08	47.38	52.62		
No20	0.840	140.54	8.13	55.51	44.49		
No30	0.590	147.05	8.51	64.02	35.98		
No40	0.420	149.20	8.63	72.65	27.35	20 30	
No 50	0.300	113.51	6.57	79.22	20.78		Porcentaje de Grava 21.44
No60	0.250						Porcentaje de Arena 78.56
No80	0.180						
No100	0.149	188.43	10.90	90.12	9.88		
No200	0.074	124.39	7.20	97.32	2.68	0 3	
		46.34	2.68	100.00	0.00		
TOTAL		1728.30					

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

La figura 44, muestra el análisis de la granulometría de manera gráfica, para cada tamiz correspondiente.

Figura 44: Curva granulométrica para muestra 1



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

En la Figura N° 44 se aprecia que La granulometría del material reciclado se encuentra fuera de los rangos, por tal motivo debe realizarse una corrección en la granulometría con la adición de agregado grueso nuevo, el cual debe contar con características mineralógicas similares al material reciclado con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de ellos.

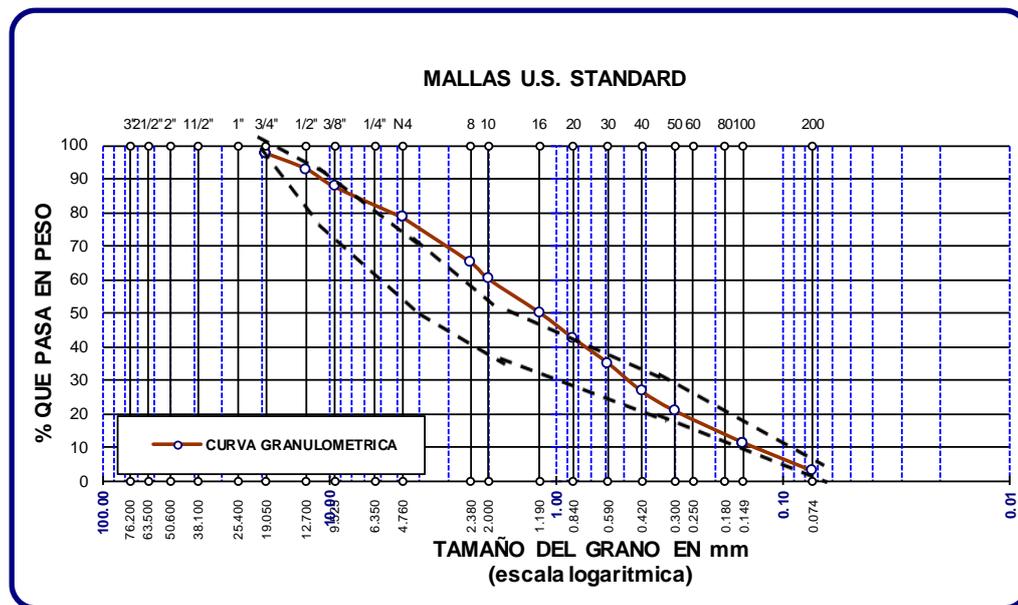
B) MUESTRA 2

Cuadro 2: Caracterización del agregado recuperado Muestra 2

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. IV - b		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200							Peso de la Muestra Antes del Lavado
2 1/2"	63.500							
2"	50.600							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400					100	100	
3/4"	19.050	42.33	2.45	2.45	97.55			
1/2"	12.700	79.74	4.62	7.07	92.93	75	90	
3/8"	9.525	92.22	5.34	12.41	87.59			
1/4"	6.350							
No4	4.760	158.85	9.20	21.61	78.39	50	70	
No8	2.380	232.37	13.46	35.07	64.93			Peso de la Muestra Despues del Lavado
No10	2.000	82.50	4.78	39.84	60.16	35	50	
No16	1.190	172.98	10.02	49.86	50.14			% del Asfalto
No20	0.840	133.65	7.74	57.60	42.40			
No30	0.590	128.66	7.45	65.05	34.95			Porcentaje de Grava: 21.61 Porcentaje de Aren: 78.39
No40	0.420	143.21	8.29	73.34	26.66	20	30	
No 50	0.300	101.40	5.87	79.22	20.78			
No60	0.250							
No80	0.180							
No100	0.149	165.40	9.58	88.79	11.21			
No200	0.074	144.01	8.34	97.13	2.87	0	3	
TOTAL		49.48	2.87	100.00	0.00			
		1726.80						

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Figura 45: Curva granulométrica para muestra 2



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

En la Figura N° 45 se aprecia que La granulometría del material reciclado se encuentra fuera de los rangos, por tal motivo debe realizarse una corrección en la granulometría con la adición de agregado grueso nuevo, el cual debe contar con características mineralógicas similares al material reciclado con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de ellos.

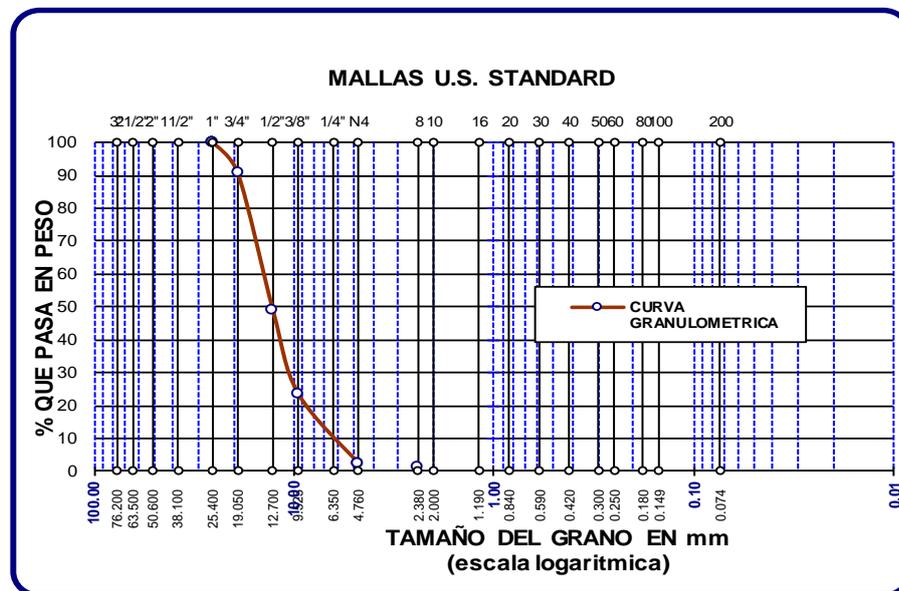
3.5.2. GRANULOMETRIA DEL NUEVO AGREGADO

Cuadro 3: Caracterización del nuevo agregado

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. IV - b	
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.050	408.80	9.28	9.28	90.72		
1/2"	12.700	1838.80	41.76	51.05	48.95	75	90
3/8"	9.525	1110.20	25.21	76.26	23.74		
1/4"	6.350						
No4	4.760	933.30	21.20	97.46	2.54	50	70
No8	2.380	62.90	1.43	98.89	1.11		
No10	2.000					35	50
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420					20	30
No 50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074					0	3
TOTAL		49.00	1.11	100.00	0.00		
		4403.00					

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Figura 46: Curva granulométrica del nuevo agregado



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

En la Figura N° 46 se aprecia que La granulometría del material nuevo que servirá para corregir la granulometría del material reciclado añadiendo cierto porcentaje.

El agregado nuevo que se utiliza proviene de la cantera Arunta, está ubicada cerca de la av. Humboldt en el distrito Gregorio Albarracín lanchipa de Tacna

3.5.3. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO COMBINADO

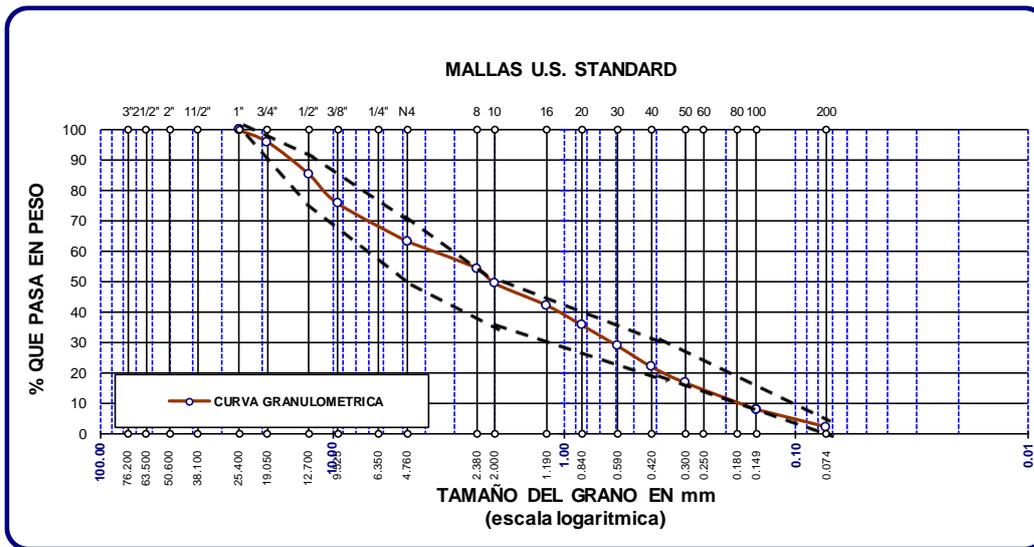
A) MUESTRA 1

Cuadro 4: Caracterización del agregado combinado Muestra 1

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	RAP 100%	PIEDRA 25%	MEZCLA RAP+25%	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. IV - b	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200									Peso de la Muestra Antes del Lavado 2160.4	
2 1/2"	63.500										
2"	50.600										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400	0.00		0.00	0.00	0.00	100.00	100	100		
3/4"	19.050	44.55	40.12	84.67	84.67	3.92	96.08				
1/2"	12.700	45.47	180.46	225.93	225.93	10.46	14.38	85.62	75		90
3/8"	9.525	99.33	108.95	208.28	208.28	9.64	24.02	75.98			
1/4"	6.350		0.00								
No4	4.760	181.28	91.59	272.87	272.87	12.63	36.65	63.35	50		70
No8	2.380	184.19	6.17	190.36	190.36	8.81	45.46	54.54			
No10	2.000	107.01		107.01	107.01	4.95	50.41	49.59	35	50	
No16	1.190	157.01		157.01	157.01	7.27	57.68	42.32			
No20	0.840	140.54		140.54	140.54	6.51	64.19	35.81			
No30	0.590	147.05		147.05	147.05	6.81	70.99	29.01			
No40	0.420	149.20		149.20	149.20	6.91	77.90	22.10	20	30	
No 50	0.300	113.51		113.51	113.51	5.25	83.15	16.85			
No60	0.250										
No80	0.180										
No100	0.149	188.43		188.43	188.43	8.72	91.87	8.13			
No200	0.074	124.39		124.39	124.39	5.76	97.63	2.37	0	3	
		46.34	4.81	51.15	51.15	2.37	100.00	0.00			
TOTAL		1728.30	432.10	2160.40	2160.40						
										Porcentaje de Grava 36.65 Porcentaje de Arena 63.35	

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Figura 47: Curva granulométrica del agregado combinado Muestra 1



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

En el cuadro 04 se aprecia que La granulometría del material combinado, este agregado final resulta al combinar el agregado reciclado y el agregado nuevo, cada uno en cierta proporción, de manera que defina una granulometría final con porcentajes que representen una mejor tendencia a cumplir con los criterios de diseño y el equilibrio con las demás propiedades.

Haciendo uso del método de tanteos para el cálculo de la proporción por cada agregado, evaluamos la mezcla con una proporción de 25% para el agregado nuevo, corrigiendo la curva granulométrica como se muestra en la Figura 47.

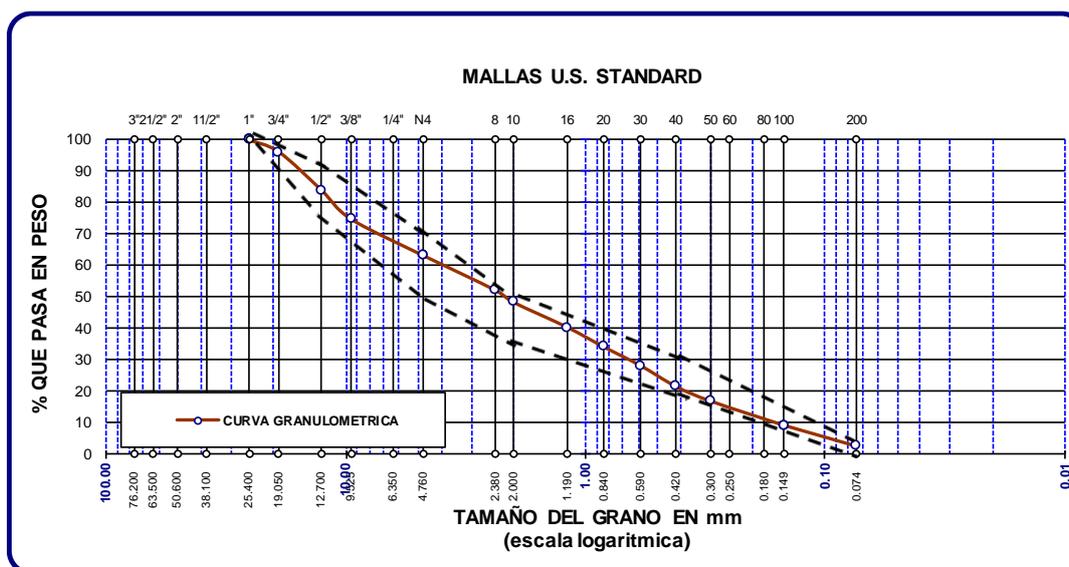
B) MUESTRA 2

Cuadro 5: Caracterización del agregado combinado Muestra 2

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	RAP 100%	PIEDRA 25%	MEZCLA RAP+25%	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. IV - b	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200									Peso de la Muestra Antes del Lavado	
2 1/2"	63.500								2158.9		
2"	50.600										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400	0.00		0.00	0.00	0.00	100.00	100		100	
3/4"	19.050	42.33	40.12	82.45	82.45	3.82	3.82	96.18		Peso de la Muestra Despues del Lavado	
1/2"	12.700	79.74	180.46	260.20	260.20	12.05	15.87	84.13	75		90
3/8"	9.525	92.22	108.95	201.17	201.17	9.32	25.19	74.81		2158.9	
1/4"	6.350		0.00								
No4	4.760	158.85	91.59	250.44	250.44	11.60	36.79	63.21	50		70
No8	2.380	232.37	6.17	238.54	238.54	11.05	47.84	52.16			
No10	2.000	82.50		82.50	82.50	3.82	51.66	48.34	35		50
No16	1.190	172.98		172.98	172.98	8.01	59.67	40.33			
No20	0.840	133.65		133.65	133.65	6.19	65.86	34.14			
No30	0.590	128.66		128.66	128.66	5.96	71.82	28.18			
No40	0.420	143.21		143.21	143.21	6.63	78.46	21.54	20		30
No 50	0.300	101.40		101.40	101.40	4.70	83.15	16.85			
No60	0.250										
No80	0.180										
No100	0.149	165.40		165.40	165.40	7.66	90.81	9.19			
No200	0.074	144.01		144.01	144.01	6.67	97.49	2.51	0		3
		49.48	4.81	54.29	54.29	2.51	100.00	0.00			
TOTAL		1726.80	432.10	2158.90	2158.90						Porcentaje de Grava 36.79 Porcentaje de Arena 63.21

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Figura 48: Curva granulométrica del agregado combinado Muestra 2



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

En el cuadro 05 se aprecia que La granulometría del material combinado, este agregado final resulta al combinar el agregado reciclado y el agregado nuevo, cada uno en cierta proporción, de manera que defina una granulometría final con porcentajes que representen una mejor tendencia a cumplir con los criterios de diseño y el equilibrio con las demás propiedades.

Haciendo uso del método de tanteos para el cálculo de la proporción por cada agregado, evaluamos la mezcla con una proporción de 25% para el agregado nuevo, corrigiendo la curva granulométrica como se muestra en la Figura 48.

3.5.4. CONTENIDO ESTIMADO DE ASFALTO LIQUIDO RC-250

FORMULA EMPIRICA

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

DONDE:

P_c = Porcentaje de asfalto líquido en peso de la mezcla total

Porcentaje del agregado que pasa la malla 3/4" y es retenida en la malla

a = N°8

Porcentaje del agregado que pasa la malla N°8 y es retenida en la

b = malla N°200

c = Porcentaje del agregado que pasas la malla N°200

R = 1 concentración del producto asfaltico

$K_c = 0.18c$ Cuando 6 - 10% pasa Tamiz N°200

$K_c = 0.15c$ Cuando 11 - 15% pasa Tamiz N°200

$K_c = 0.20c$ Cuando <5% pasa Tamiz N°200

F = Factor de corrección por absorción, el valore de F varia

Muy poroso 2.0 %

Muy liso 0.7 %

Mediano 1.0 %

PORCENTAJE DE ASFALTO NUEVO POR AÑADIR

Es la diferencia entre la demanda total de asfalto y la cantidad existente en el pavimento recuperado

$$Pr = Pc - \frac{Pa \times \frac{Pp}{100}}{R}$$

Donde:

Pr = Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla reciclada

Pc = Porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total

Porcentaje de asfalto en la mezcla recuperada del

Pa = pavimento

Porcentaje en que interviene el paviemento asfaltico recuperado dentro

Pp = de la mezcla reciclada

Reemplazando datos:

a = 47.84

b = 49.65

$$c = 2.51$$

$$p = \frac{(0.035 * 47.84 + 0.045 * 49.65 + 0.2 * 2.51)}{0.7}$$

$$P = 6.30 \%$$

$$Pr = 6.30 - \frac{4.07 * \frac{25}{100}}{0.7}$$

$$Pr = 4.28 \%$$

3.5.5. DISEÑO DE MARSHALL MODIFICADO

Cuadro 6: Diseño de Marshall Modificado - Asfalto liquido al 3%

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	Promedio
1	% A.L. En peso de la muestra	3.00	3.00	3.00	3.00
2	% Agregado grueso en peso de la muestra	36.79	36.79	36.79	
3	% Agregado fino en peso de la muestra	63.21	63.21	63.21	
4	Peso específico del cemento Asfáltico - aparente	1.02	1.02	1.02	
5	Peso específico del agregado grueso - bulk	2.60	2.60	2.60	
6	Peso específico del agregado fino - bulk	2.53	2.53	2.53	
7	Peso de la briqueta en el Aire (gr)	1175.20	1178.50	1176.20	
8	Peso de la briqueta en el Agua (gr)	658.70	659.50	659.30	
9	Volumen de la briqueta por desplazamiento (7-8)	516.50	519.00	516.90	
10	Peso específico Bulk de la briqueta (7/9)	2.28	2.27	2.28	2.27
11	Peso específico Máximo ASTM D - 2041	2.42	2.42	2.42	
12	% de vacíos 100 (11-10)/11	5.78	5.97	5.78	5.85
13	Peso específico Bulk del agregado total (2+3)/(2/5+3/6)	2.56	2.56	2.56	
14	VMA 100-(2+3)*10/13	10.96	11.14	10.95	11.02
15	% de vacíos llenados con A.L. 100 (14-12)/14	47.21	46.36	47.25	46.94
16	Peso específico del agregado total (2+3)/(100/11-11/4)	2.60	2.60	2.60	
17	Asfalto absorbido por el agregado total 100*4(16-13)/(16*13)	0.68	0.68	0.68	
18	% de asfalto efectivo 1-17(2+3)/100	2.32	2.32	2.32	
19	Flujo (mm)	2.90	3.00	3.10	3.00
20	Estabilidad sin corregir (kg)	1466.00	1457.00	1406.00	
21	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	
22	Estabilidad corregida (20*21) (kg)	1466.00	1457.00	1406.00	1443.00

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Cuadro 7: Diseño de Marshall Modificado – Asfalto líquido al 3.5%

N° DE BRIQUETAS		4	5	6	Promedio
1	% A.L. En peso de la muestra	3.50	3.50	3.50	3.50
2	% Agregado grueso en peso de la muestra	36.79	36.79	36.79	
3	% Agregado fino en peso de la muestra	63.21	63.21	63.21	
4	Peso específico del cemento Asfáltico - aparente	1.02	1.02	1.02	
5	Peso específico del agregado grueso - bulk	2.60	2.60	2.60	
6	Peso específico del agregado fino - bulk	2.53	2.53	2.53	
7	Peso de la briqueeta en el Aire (gr)	1177.80	1179.60	1178.60	
8	Peso de la briqueeta en el Agua (gr)	663.90	663.80	663.00	
9	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (7-8)	513.90	515.80	515.60	
10	Peso específico Bulk de la briqueeta (7/9)	2.29	2.29	2.29	2.29
11	Peso específico Máximo ASTM D - 2041	2.40	2.40	2.40	
12	% de vacíos 100 (11-10)/11	4.50	4.71	4.75	4.66
13	Peso específico Bulk del agregado total (2+3)/(2/5+3/6)	2.56	2.56	2.56	
14	VMA 100-(2+3)*10/13	10.31	10.50	10.54	10.45
15	% de vacíos llenados con A.L. 100 (14-12)/14	56.30	55.14	54.90	55.45
16	Peso específico del agregado total (2+3)/(100/11-11/4)	2.62	2.62	2.62	
17	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 4(16-13)/(16 \cdot 13)$	0.92	0.92	0.92	
18	% de asfalto efectivo $1-17(2+3)/100$	2.58	2.58	2.58	
19	Flujo (mm)	3.20	3.40	3.30	3.30
20	Estabilidad sin corregir (kg)	1568.00	1518.00	1540.00	
21	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	
22	Estabilidad corregida (20*21) (kg)	1568.00	1518.00	1540.00	1542.00

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Cuadro 8: Diseño de Marshall Modificado- Asfalto líquido al 4.0%

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	Promedio
1	%A.L. En peso de la muestra	4.00	4.00	4.00	4.00
2	% Agregado grueso en peso de la muestra	36.79	36.79	36.79	
3	% Agregado fino en peso de la muestra	63.21	63.21	63.21	
4	Peso específico del cemento Asfáltico - aparente	1.02	1.02	1.02	
5	Peso específico del agregado grueso - bulk	2.60	2.60	2.60	
6	Peso específico del agregado fino - bulk	2.53	2.53	2.53	
7	Peso de la briqueeta en el Aire (gr)	1180.90	1178.90	1178.10	
8	Peso de la briqueeta en el Agua (gr)	667.30	664.70	665.60	
9	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (7-8)	513.60	514.20	512.50	
10	Peso específico Bulk de la briqueeta (7/9)	2.30	2.29	2.30	2.30
11	Peso específico Máximo ASTM D - 2041	2.38	2.38	2.38	
12	% de vacíos 100 (11-10)/11	3.39	3.67	3.41	3.49
13	Peso específico Bulk del agregado total (2+3)/(2/5+3/6)	2.56	2.56	2.56	
14	VMA 100-(2+3)*10/13	10.02	10.28	10.04	10.11
15	% de vacíos llenados con A.L. 100 (14-12)/14	66.14	64.30	65.99	65.48
16	Peso específico del agregado total (2+3)/(100/11-11/4)	2.63	2.63	2.63	
17	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 4(16-13)/(16 \cdot 13)$	1.06	1.06	1.06	
18	% de asfalto efectivo $1-17(2+3)/100$	2.94	2.94	2.94	
19	Flujo (mm)	3.60	3.80	3.70	3.70
20	Estabilidad sin corregir (kg)	1555.00	1525.00	1550.00	
21	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	
22	Estabilidad corregida (20*21) (kg)	1555.00	1525.00	1550.00	1543.33

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Cuadro 9: Diseño de Marshall Modificado – Asfalto líquido al 4.5%

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	Promedio
1	%A.L. En peso de la muestra	4.50	4.50	4.50	4.50
2	% Agregado grueso en peso de la muestra	36.79	36.79	36.79	
3	% Agregado fino en peso de la muestra	63.21	63.21	63.21	
4	Peso específico del cemento Asfáltico - aparente	1.02	1.02	1.02	
5	Peso específico del agregado grueso - bulk	2.60	2.60	2.60	
6	Peso específico del agregado fino - bulk	2.53	2.53	2.53	
7	Peso de la briketa en el Aire (gr)	1177.00	1179.70	1176.80	
8	Peso de la briketa en el Agua (gr)	667.00	665.60	664.70	
9	Volumen de la briketa por desplazamiento (7-8)	510.00	514.10	512.10	
10	Peso específico Bulk de la briketa (7/9)	2.31	2.29	2.30	2.30
11	Peso específico Máximo ASTM D - 2041	2.36	2.36	2.36	
12	% de vacíos 100 (11-10)/11	2.21	2.77	2.63	2.54
13	Peso específico Bulk del agregado total (2+3)/(2/5+3/6)	2.56	2.56	2.56	
14	VMA 100-(2+3)*10/13	9.68	10.20	10.07	9.98
15	% de vacíos llenados con A.L. 100 (14-12)/14	77.18	72.87	73.91	74.65
16	Peso específico del agregado total (2+3)/(100/11-11/4)	2.63	2.63	2.63	
17	Asfalto absorbido por el agregado total $100^4(16-13)/(16^4)$	1.20	1.20	1.20	
18	% de asfalto efectivo $1-17(2+3)/100$	3.30	3.30	3.30	
19	Flujo (mm)	4.20	4.10	3.90	4.07
20	Estabilidad sin corregir (kg)	1371.00	1383.00	1400.00	
21	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	
22	Estabilidad corregida (20*21) (kg)	1371.00	1383.00	1400.00	1384.67

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Cuadro 10: Diseño de Marshall Modificado – Asfalto líquido al 5.0%

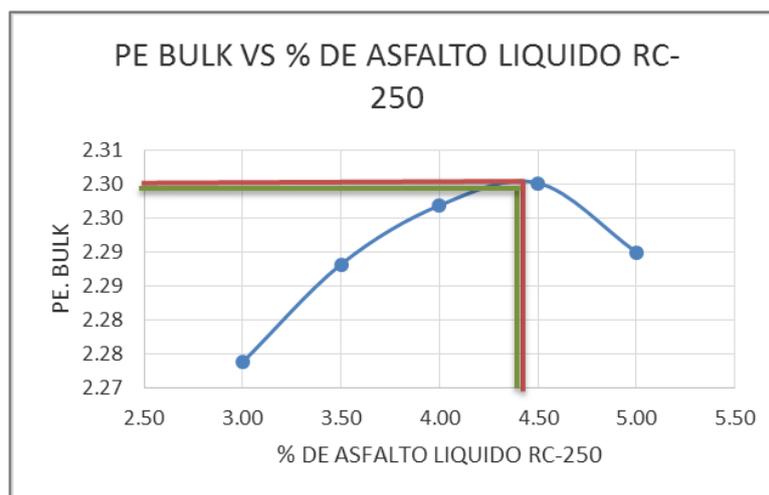
N° DE BRIQUETAS		1	2	3	Promedio
1	% A.L. En peso de la muestra	5.00	5.00	5.00	5.00
2	% Agregado grueso en peso de la muestra	36.79	36.79	36.79	
3	% Agregado fino en peso de la muestra	63.21	63.21	63.21	
4	Peso específico del cemento Asfáltico - aparente	1.02	1.02	1.02	
5	Peso específico del agregado grueso - bulk	2.60	2.60	2.60	
6	Peso específico del agregado fino - bulk	2.53	2.53	2.53	
7	Peso de la briketa en el Aire (gr)	1177.80	1179.00	1177.40	
8	Peso de la briketa en el Agua (gr)	664.20	664.80	664.20	
9	Volumen de la briketa por desplazamiento (7-8)	513.60	514.20	513.20	
10	Peso específico Bulk de la briketa (7/9)	2.29	2.29	2.29	2.29
11	Peso específico Máximo ASTM D - 2041	2.34	2.34	2.34	
12	% de vacíos 100 (11-10)/11	2.00	2.01	1.96	1.99
13	Peso específico Bulk del agregado total (2+3)/(2/5+3/6)	2.56	2.56	2.56	
14	VMA 100-(2+3)*10/13	10.26	10.27	10.22	10.25
15	% de vacíos llenados con A.L. 100 (14-12)/14	80.51	80.39	80.86	80.59
16	Peso específico del agregado total (2+3)/(100/11-11/4)	2.64	2.64	2.64	
17	Asfalto absorbido por el agregado total $100^4(16-13)/(16^4)$	1.33	1.33	1.33	
18	% de asfalto efectivo $1-17(2+3)/100$	3.67	3.67	3.67	
19	Flujo (mm)	4.30	4.80	4.40	4.50
20	Estabilidad sin corregir (kg)	1201.00	1078.00	1103.00	
21	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	
22	Estabilidad corregida (20*21) (kg)	1201.00	1078.00	1103.00	1127.33

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Cuadro 11: Resumen de resultados Diseño de Marshall Modificado

	% A.L. En peso de la muestra	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	OPTIMO A.L. RC- 250	CARACT. PROMEDIO OPTIMO DE A.L.
1	Peso específico Bulk de la briquet	2.27	2.29	2.30	2.30	2.29	4.40	2.29
2	% de vacios	5.85	4.66	3.49	2.54	1.99	4.90	4.80
3	VMA	11.02	10.45	10.11	9.98	10.25		
4	% de vacios llenados con A.L.	46.94	55.45	65.48	74.65	80.59		
5	Flujo (mm)	3.00	3.30	3.70	4.07	4.50		
6	Estabilidad corregida(kg)	1443.00	1542.00	1543.33	1384.67	1127.33	3.80	1384.67
PROMEDIO							4.37	

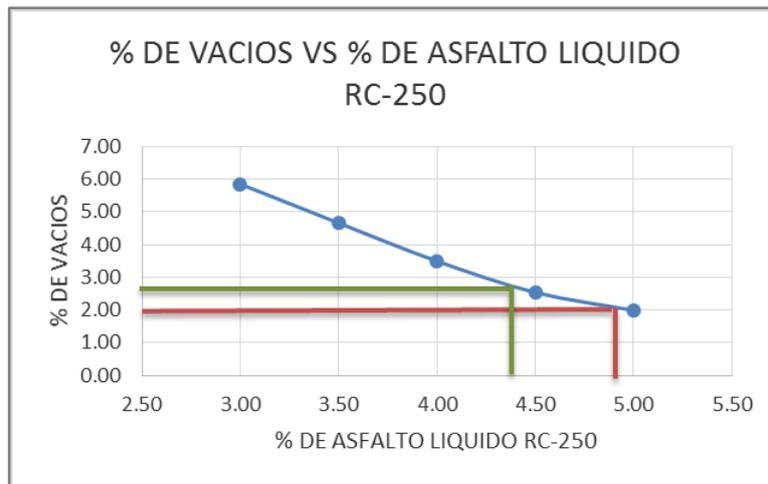
FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

Figura 49: Curva de PE BULK VS % de asfalto líquido RC-250

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

La figura 49 nos muestra los pesos específicos que se tienen añadiendo cierto porcentaje nuevo de asfalto líquido, teniendo un peso específico máximo de 2.30 kg/cm³

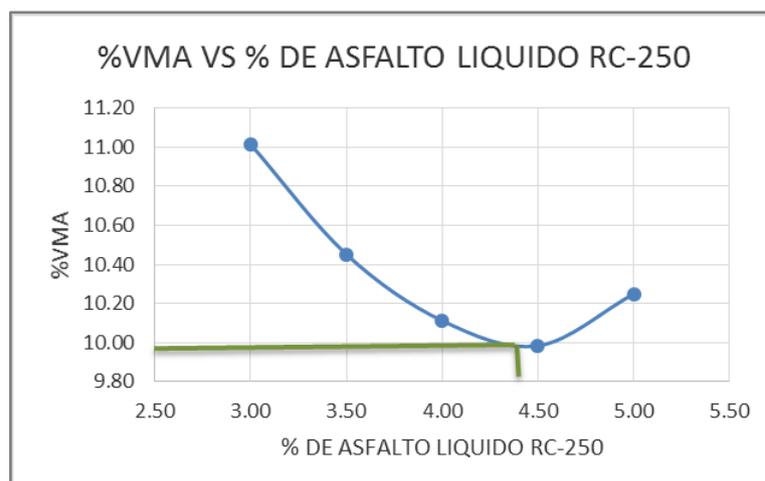
FIGURA 50: curva de % de vacíos VS % de asfalto líquido RC-250

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

La figura 50 nos muestra el contenido máximo de vacíos totales en la mezcla asfáltica, su valor disminuye con el incremento en el contenido de asfalto residual.

Se muestra el valor deseable que debe ser el % de vacíos.

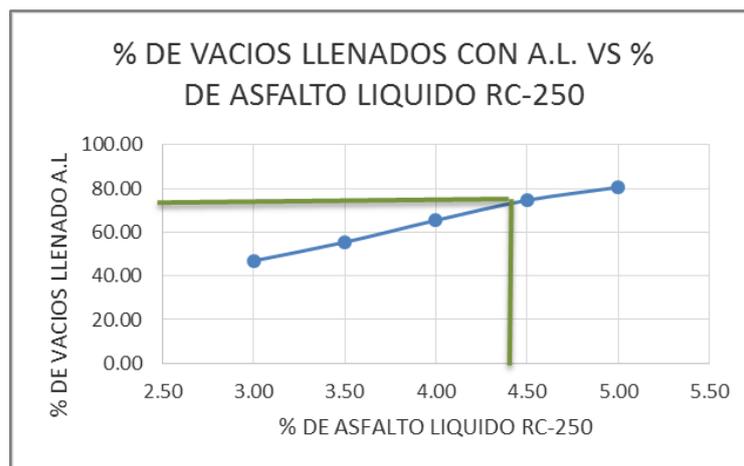
FIGURA 51: curva de % VMA VS % de asfalto líquido RC-250

FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

La figura 51 nos muestra que el punto más bajo del porcentaje de vacíos de agregado mineral es 10%, cuando se contiene un 4.5% de asfalto líquido nuevo añadido.

FIGURA 52: curva de % de vacíos llenados con A.L. VS% de asfalto Líquido RC-250

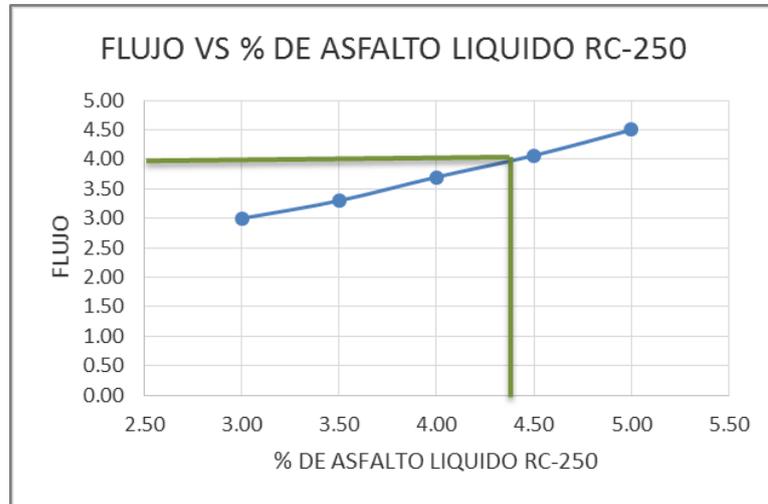


FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

La figura 52 nos muestra que mientras se va aumentando el porcentaje de asfalto líquido, va aumentando el porcentaje de vacíos llenados por el asfalto líquido.

FIGURA 53: Curva de flujo VS % de asfalto líquido RC-250

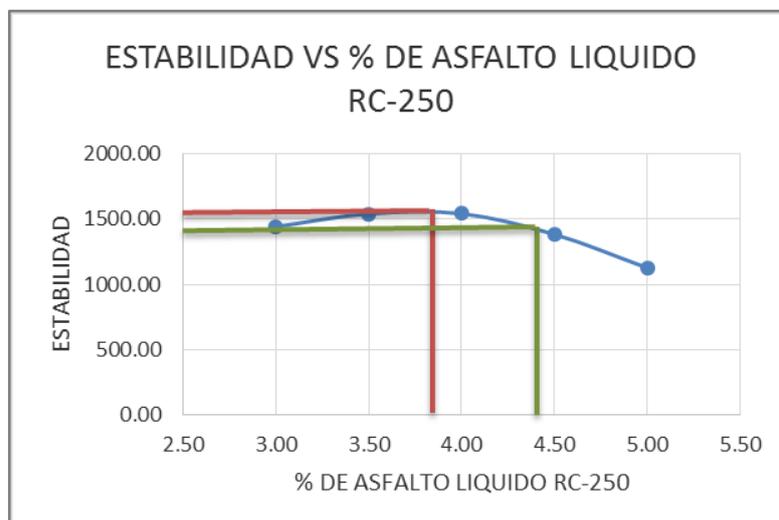


FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

Se muestra que mientras se vaya añadiendo más asfalto líquido, la fluencia del diseño va a ir aumentando

FIGURA 54: Curva de estabilidad VS % de asfalto líquido RC-250



FUENTE: Informe de ensayo de laboratorio UPT

INTERPRETACION:

El valor buscado de estabilidad para la mezcla asfáltica es aquel que proporciona la mayor estabilidad.

Analizando el gráfico y comparando los resultados obtenidos de la Estabilidad contra el contenido del asfalto líquido lo que muestra en la figura 54 es que no es necesario aumentar el rango más allá del 4.5% de contenido, además se observa una menor pérdida de estabilidad para los valores comprendidos en el rango de 2.5% a 4.0%.

3.5.6. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ELABORACIÓN ENTRE UN ASFALTO NUEVO Y UN ASFALTO RECICLADO

Cuadro 12: Presupuesto: Mejoramiento de pistas en la Av. Bolognesi. Tramo entre Av. Patricio Meléndez y Calle Amazonas, Tacna – Tacna.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				6,588.55
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA DE 3.60X2.40 M	und	1.00	1,825.99	1,825.99
01.02	CASETA DE ALMACEN Y GUARDIANA	m2	48.00	99.22	4,762.56
02	TRABAJOS PRELIMINARES				22,923.25
02.01	DEMOLICION DE PAVIMENTO ASFALTICO DE 2"	m2	3,500.00	5.06	17,710.00
02.02	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA 30 M	m3	175.00	15.93	2,787.75
02.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE C/MAQUINARIA	m3	175.00	13.86	2,425.50
03	SEGURIDAD Y SALUD				19,235.52
03.01	ELABORACION, IMPLEMENTACION Y ADMINISTRACION DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	glb	1.00	1,038.26	1,038.26
03.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	und	10.00	231.00	2,310.00
03.03	EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA	glb	1.00	13,790.00	13,790.00
03.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	glb	1.00	389.00	389.00
03.05	CAPACITACION SOBRE SALUD Y SEGURIDAD	glb	1.00	1,038.26	1,038.26
03.06	RECURSOS DE RESPUESTA DE EMERGENCIA	glb	1.00	670.00	670.00
04	PAVIMENTO DE VIAS				264,005.00

04.01	TRABAJOS PRELIMINARES				7,595.00
04.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	3,500.00	0.25	875.00
04.01.02	TRAZO NIVELES Y REPLANTEO	m2	3,500.00	1.92	6,720.00
04.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				12,740.00
04.02.01	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB RASANTE	m2	3,500.00	3.64	12,740.00
04.03	PAVIMENTACION EN FRIO PARA VIAS				240,450.00
04.03.01	BASE GRANULAR DE E=0.20 M C/MAQUINARIA	m2	3,500.00	13.92	48,720.00
04.03.02	CAPA DE IMPRIMACION	m2	3,500.00	9.90	34,650.00
04.03.03	ARENADO MANUAL DESPUES DE IMPRIMACION	m2	3,500.00	0.83	2,905.00
04.03.04	LIMPIEZA DE VIAS CON EQUIPO	m2	3,500.00	0.72	2,520.00
04.03.05	CARPETA DE ASFALTO DE E= 2"	m2	3,500.00	43.33	151,655.00
04.04	VIARIOS				3,220.00
04.04.01	CONTROL TOPOGRAFICO	m2	3,500.00	0.92	3,220.00
05	SEÑALIZACION				3,252.85
05.01	SEÑALIZACION HORIZONTAL				3,252.85
05.01.01	PINTADO DE MARCAS DE PAVIMENTO	m2	89.00	15.65	1,392.85
05.01.02	PINTADO LINEAL CONTINUO LATERAL	m	1,000.00	1.86	1,860.00
06	MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL				2,030.00
06.01	RIEGO EN LA ZONA DE TRABAJO	m2	3,500.00	0.58	2,030.00
COSTO DIRECTO					S/. 318,035.17
GASTOS GENERALES (15%)					S/. 47,705.28
PRESUPUESTO DE OBRA					S/. 365,740.45

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 13: Presupuesto: Reciclado de pavimento asfáltico y su utilización en la pavimentación de la Av. Bolognesi. Tramo entre Av. Patricio Meléndez y Calle Amazonas, Tacna – Tacna.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				6,588.55
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA DE 3.60X2.40 M	und	1.00	1,825.99	1,825.99
01.02	CASETA DE ALMACEN Y GUARDIANIA	m2	48.00	99.22	4,762.56
02	SEGURIDAD Y SALUD				19,235.52
02.01	ELABORACION, IMPLEMENTACION Y ADMINISTRACION DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	glb	1.00	1,038.26	1,038.26
02.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	und	10.00	231.00	2,310.00
02.03	EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA	glb	1.00	13,790.00	13,790.00
02.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	glb	1.00	389.00	389.00
02.05	CAPACITACION SOBRE SALUD Y SEGURIDAD	glb	1.00	1,038.26	1,038.26
02.06	RECURSOS DE RESPUESTA DE EMERGENCIA	glb	1.00	670.00	670.00
03	PAVIMENTO DE VIAS				186,305.00
03.01	RECICLADO Y PAVIMENTACION EN FRIO PARA VIAS				183,085.00
03.01.01	CAPA DE IMPRIMACION	m2	3,500.00	9.90	34,650.00
03.01.02	RECICLADO Y PAVIMENTACION EN FRIO PARA VIAS	m2	3,500.00	42.41	148,435.00
03.02	VIARIOS				3,220.00

03.02.01	CONTROL TOPOGRAFICO	m2	3,500.00	0.92	3,220.00
04	SEÑALIZACION				3,252.85
04.01	SEÑALIZACION HORIZONTAL				3,252.85
04.01.01	PINTADO DE MARCAS DE PAVIMENTO	m2	89.00	15.65	1,392.85
04.01.02	PINTADO LINEAL CONTINUO LATERAL	m	1,000.00	1.86	1,860.00
05	MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL				2,030.00
05.01	RIEGO EN LA ZONA DE TRABAJO	m2	3,500.00	0.58	2,030.00
COSTO DIRECTO					S/. 217,411.92
GASTOS GENERALES (15%)					S/. 32,611.79
PRESUPUESTO DE OBRA					S/. 250,023.71

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 14: Resumen comparación de costos de elaboración entre un asfalto nuevo y un asfalto reciclado.

TIPO DE EJECUCION DE OBRA	RESUMEN: CUADRO COMPARATIVO	
	METODOLOGIA TRADICIONAL	RECICLADO DE PAVIMENTO
	MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI. TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELENDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA-TACNA	RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO Y SU UTILIZACION EN LA PAVIMENTACION DE LA AVENIDA BOLOGNESI. TRAMO ENTRE AV. PATRICIO MELENDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA-TACNA
PRESUPUESTO	S/. 365,740.45	S/. 250,023.71
DIFERENCIA	S/. 115,716.74	
PORCENTAJE DE AHORRO (%)	31.64%	

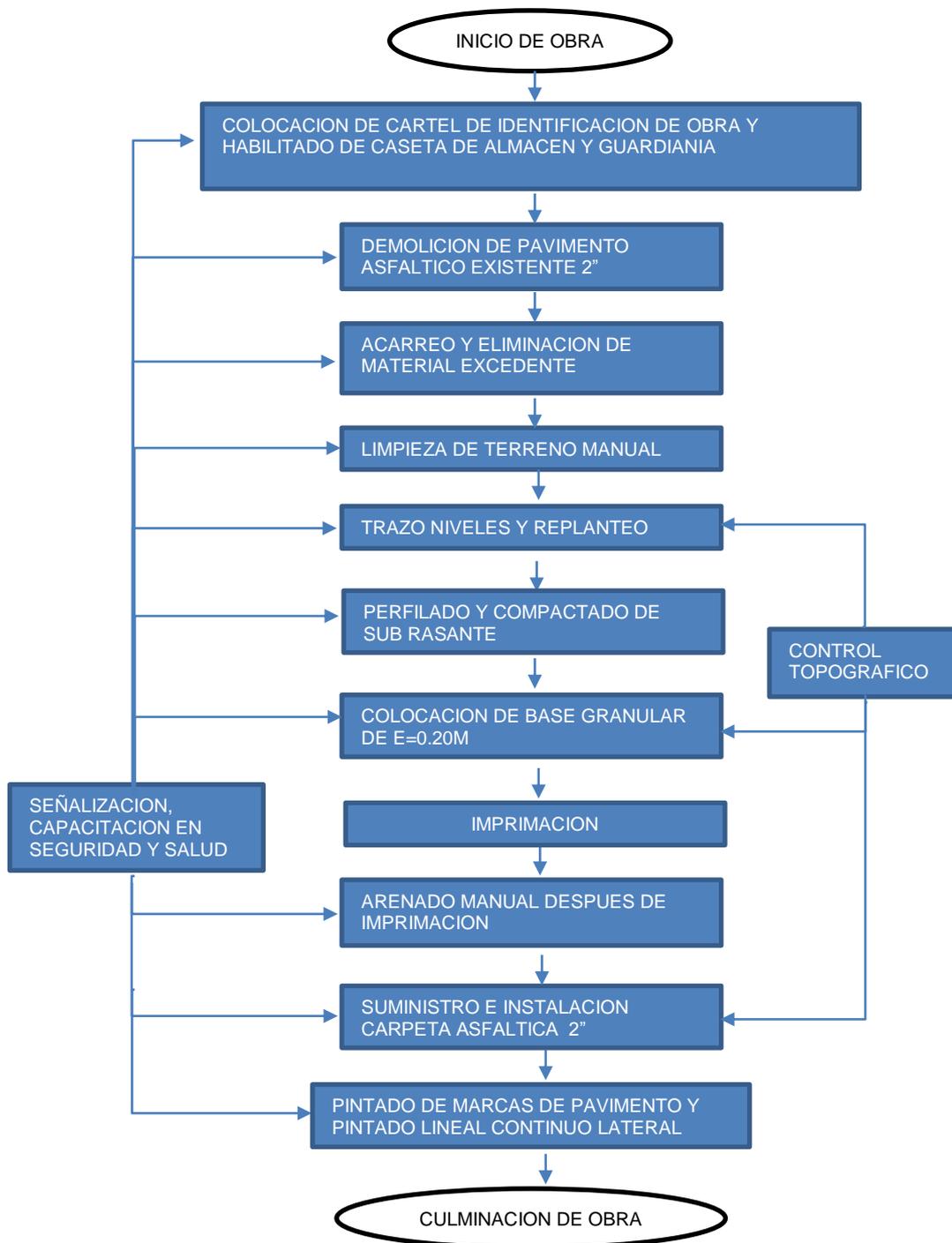
FUENTE: Elaboración propia

INTERPRETACION:

El cuadro 14 se muestra la comparación de la metodología tradicional vs el reciclado la carpeta asfáltica in situ, donde se aprecia un ahorrar hasta un 31.64% de dinero si se realiza el reciclado de la carpeta asfáltica.

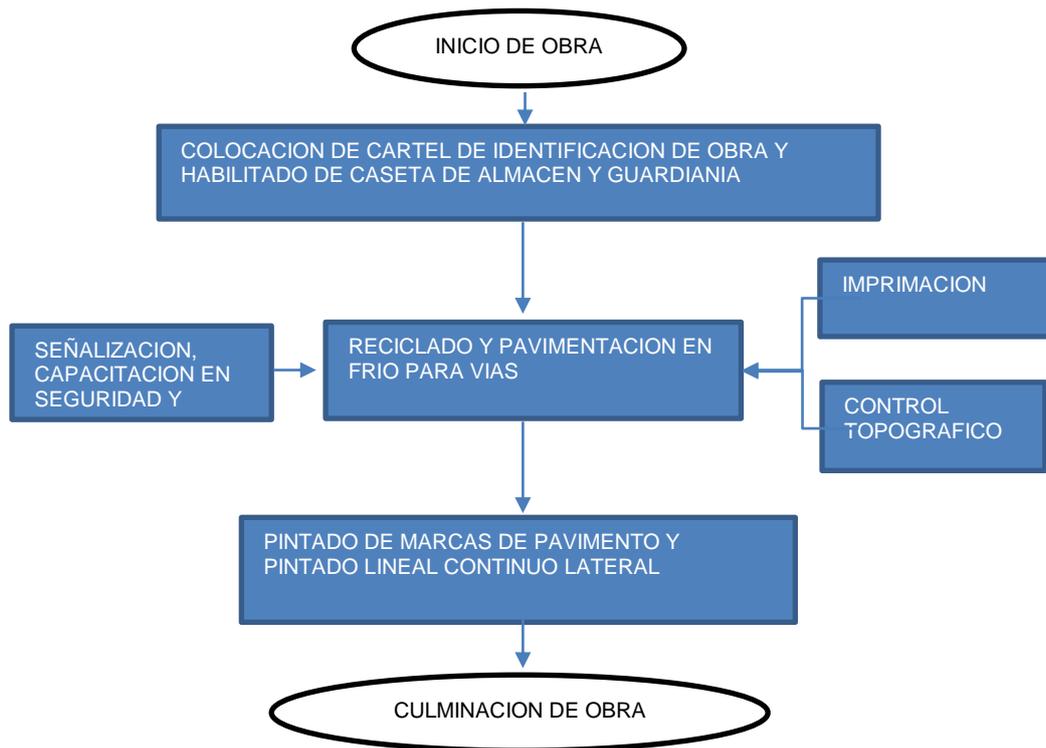
El presupuesto, análisis de costos unitarios y la lista de materiales se encuentran en Anexos.

FIGURA 55: Proceso de Mejoramiento de pistas en la Av. Bolognesi tramo entre Av. Patricio Meléndez y Calle Amazonas, Tacna – Tacna.



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 56: Proceso de Mejoramiento de pistas en la Av. Bolognesi tramo entre Av. Patricio Meléndez y Calle Amazonas, Tacna – Tacna.



FUENTE: Elaboración propia

CAPITULO IV:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó las proporciones adecuadas de materiales para el diseño de mezcla asfáltica, para lo cual se tuvo que corregir la granulometría del RAP, y aumentar 25% de agregado grueso nuevo.
- Se determinó la utilización del método de Marshall modificado a la cantidad de 4.37% de asfalto líquido RC-250 nuevo para añadir a la nueva mezcla asfáltica y que cumplan todos los parámetros de densidad de la mezcla, vacíos de aire, estabilidad y fluencia que solicita el método Marshall modificado.
- En la caracterización de los agregados de la mezcla asfáltica reciclada, se encontró una granulometría que no cumple con los límites establecidos de acuerdo a la norma CE.010 de pavimentos urbanos, esto debido a que ya se hizo un recapeo en la zona analizada en el año 2012, por lo cual el espesor total de la carpeta asfáltica fue de 8cm.
- De las dos muestras analizadas se realizaron las granulometrías correspondientes, encontrando la mayor cantidad de agregado retenido entre la malla #8 a la #200. Para corregir esta granulometría se agregó 25% de agregado grueso (piedra chancada) proveniente de la cantera Arunta.
- Mediante el método de centrifugado, se obtuvo 3.98% y 4.07% de asfalto de líquido RC-250 proveniente de las muestras analizadas. Debido a que este contenido de asfalto ha sufrido degradación con el paso del tiempo y ha perdido sus propiedades mecánicas, no se consideró en su totalidad para realizar el nuevo diseño de mezcla asfáltica.
- Mediante el método de Marshall modificado se logró encontrar el contenido óptimo de asfalto líquido a añadir a la muestra, siendo este 4.37, cumpliendo con todos los parámetros de diseño tales como densidad de la mezcla, vacíos de aire, estabilidad y fluencia que contempla el método Marshall modificado.

- Realizando dos presupuestos, uno con la metodología tradicional de asfaltado de vías y otro con el método de reciclado in situ de pavimentos, se logró determinar la relación de costos del proceso de elaboración entre un asfalto nuevo y un asfalto reciclado in situ, obteniendo un ahorro de 31.64% en el presupuesto de obra al realizar el reciclado del pavimento in situ respecto a la metodología tradicional de asfaltado, con lo cual se demostró que el reciclado de asfalto líquido reduce el presupuesto de la ejecución de una obra.

4.2. RECOMENDACIONES

- Cuando se realice un reciclado de pavimento asfáltico, se deben extraer muestras de este y realizar los ensayos correspondientes a fin de determinar que el material recuperado cumpla con los rangos establecidos en la granulometría, para poder corregir este agregado recuperado.
- Se recomienda realizar los ensayos correspondientes a las muestras que se diseñen con el agregado recuperado a fin que cumplan tanto en la estabilidad, relación de vacíos, vacíos llenados con asfalto líquido RC-250, densidad y fluencia para tener un diseño efectivo y saber la cantidad de asfalto nuevo a añadir.
- Es necesario desarrollar un plan de difusión masiva de las técnicas de reciclado de pavimentos, esto en razón de las notables ventajas que ofrece, tanto en el aspecto ambiental como en el aspecto económico y con la finalidad de optimizar el uso de los recursos naturales con que se cuentan y permitir que se obtengan mejores resultados en menos tiempo.
- Se debe de estimular, tanto a nivel estatal como privado, la adquisición de nuevos equipos que permitan la aplicación de nuevas tecnologías de recuperación de pavimentos y que permitan que en el Perú, se encuentre a la vanguardia en técnicas muy difundidas y de uso común en otros países.

BIBLIOGRAFIA

- Association, A.P.(2010). Publication Manual of the American Psychological Association. Washington: American Psychological Association.
- Botasso H.G.(2003) Cuattrocchio, A.C., Rebollo, O.R., Soengas C. J.“Reciclado de pavimentos asfálticos en frío. Una forma de utilizar totalmente el RAP para el mantenimiento y rehabilitación de la red Caminera”. Buenos Aires - Argentina, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- Cancinos Sazo, Gustavo (2013). “Reciclado en frío in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumando y recomendación de especificaciones técnicas de construcción para Guatemala”. Maestría en Ingeniería Vial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- Cotacallapa Cáceres, Yeny (2011). “Reciclado de pavimentos flexibles con asfalto espumado”. Moquegua – Perú. Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Echivarría Romero, José (2012). “Estudio del procedimiento de compactación en laboratorio para mezclas recicladas en frío con emulsión bituminosa”. España, Universidad de Granada, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería.
- Galván Huamaní, Luis (2015). “Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica”. Lima - Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.
- Marini, Sebastian (2009), “Reciclado de pavimentos asfálticos en frío”. Buenos - Argentina. Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- Montejo Fonseca, Alfonso (2002), “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”. Segunda Edición. Colombia.

- Quesada, Israel (2004). Evaluación del comportamiento de diferentes tramos de carretera rehabilitados utilizando mezclas recicladas en frío.paña.
- Thenoux, Guillermo (2001). Estudio de técnicas de reciclado en frío: Revista de Ingeniería de Construcción. Chile. Pontificie Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción.
- Repsol (2015), Ficha técnica. Perú Recuperado de :http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/aliquidados/

ANEXOS

ANEXO No. 01

(GRANULOMETRIA DEL AGREGADO RECUPERADO)

ANEXO No. 02

(GRANULOMETRIA DEL AGREGADO NUEVO)

ANEXO No. 03

(GRANULOMETRIA DEL AGREGADO COMBINADO)

ANEXO No. 04

(CONTENIDO ESTIMADO DE ASFALTO LIQUIDO RC-250)

ANEXO No. 05

(DISEÑO MARSHALL MODIFICADO)

ANEXO No. 06

(PRESUPUESTO DE PAVIMENTO TRADICIONAL)

ANEXO No. 07

(PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RECICLADO IN SITU)

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0701011** TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO
 Subpresupuesto **003** TESIS: RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO Y SU UTILICACION EN LA PAVIMENTACION DE LA AVENIDA BOLOGNESI. TRAMO AV. PATRICIO MELENDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA-TACNA Fecha presupuesto 31/03/2016

Partida **01.01** CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA DE 3.60X2.40 M

Rendimiento **und/DIA** MO. **4.0000** EQ. **4.0000** Costo unitario directo por : und **1,825.99**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.2000	19.13	3.83
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	2.0000	18.30	36.60
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	4.0000	15.11	60.44
0147010004	PEON	hh	1.0000	2.0000	13.56	27.12
						127.99
Materiales						
0221000094	CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP (42.5 kg)	bls		0.7000	21.50	15.05
0229190007	CLAVO DE 2 1/2", 3", 4"	kg		0.1100	3.50	0.39
0230380001	BANNER INCLUYE TRAVEZAÑOS	und		1.0000	1,500.00	1,500.00
0238000003	HORMIGON	m3		0.2100	45.00	9.45
0239050000	AGUA	m3		0.0550	5.00	0.28
0243040005	PARANTE DE MADERA TORNILLO 4"X4"	p2		39.3000	4.30	168.99
						1,694.16
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	127.99	3.84
						3.84

Partida **01.02** CASETA DE ALMACEN Y GUARDIANIA

Rendimiento **m2/DIA** MO. **10.0000** EQ. **10.0000** Costo unitario directo por : m2 **99.22**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0800	19.13	1.53
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	18.30	14.64
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.8000	15.11	12.09
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.8000	13.56	10.85
						39.11
Materiales						
0202170001	CLAVOS PARA CALAMINA	kg		0.6000	3.50	2.10
0229190007	CLAVO DE 2 1/2", 3", 4"	kg		0.2100	3.50	0.74
0243040000	MADERA TORNILLO	p2		3.6000	4.73	17.03
0244030021	TRIPLAY DE 4' X 8' X 4 mm	pl		1.0200	24.00	24.48
0256900002	CALAMINA GALVANIZADA ZINC 28 CANALES 1.83 X 0.830 m X 0.4 mm	pl		0.6000	23.00	13.80
						58.15
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	39.11	1.96
						1.96

Partida **02.01** ELABORACION, IMPLEMENTACION Y ADMINISTRACION DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

Rendimiento **glb/DIA** MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **1,038.26**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000037	ENCARGADO DE SEGURIDAD	mes		2.0000	19.13	38.26
						38.26
Subcontratos						
0402020001	ELABORACION DE DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	serv		1.0000	1,000.00	1,000.00
						1,000.00

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO
 Subpresupuesto 003 TESIS: RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO Y SU UTILICACION EN LA PAVIMENTACION DE LA AVENIDA BOLOGNESI. TRAMO AV. PATRICIO MELENDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA-TACNA Fecha presupuesto 31/03/2016

Partida 02.02 EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL

Rendimiento und/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : und **231.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380023	ZAPATOS DE SEGURIDAD	par		1.0000	60.00	60.00
0230380024	CHALECO DE SEGURIDAD	und		1.0000	45.00	45.00
0230380025	OVEROL PARA PERSONAL DE OBRA	und		1.0000	65.00	65.00
0230380026	GUANTES DE CUERO	par		2.0000	10.00	20.00
0230380028	LENTES DE SEGURIDAD	und		1.0000	7.00	7.00
0230380029	CASCOS DE SEGURIDAD	und		1.0000	15.00	15.00
0230380038	TAPONES O PROTECCION DE OIDO	und		1.0000	5.00	5.00
0230380039	GUANTES DE JEBE	par		2.0000	7.00	14.00
						231.00

Partida 02.03 EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA

Rendimiento glb/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **13,790.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0243040007	TRANQUERAS PARA SEÑALIZACION	und		4.0000	120.00	480.00
0246010006	MALLA DE SEGURIDAD	m		500.0000	25.00	12,500.00
0262000013	POSTE DE APOYO DE MADERA CON BASE DE CONCRETO	pza		45.0000	18.00	810.00
						13,790.00

Partida 02.04 SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD

Rendimiento glb/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **389.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380030	CARTEL INFORMATIVO SOBRE SEGURIDAD INC/TRAVESAÑOS	und		4.0000	50.00	200.00
0230380031	CONO REFLECTIVOS	und		3.0000	35.00	105.00
0230380032	CINTA DE SEGURIDAD C/AMARILLOX100 M	rl		3.0000	28.00	84.00
						389.00

Partida 02.05 CAPACITACION SOBRE SALUD Y SEGURIDAD

Rendimiento glb/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **1,038.26**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000038	CAPACITADOR SOBRE SEGURIDAD EN OBRA	charla		2.0000	19.13	38.26
						38.26
Materiales						
0230380033	INSTALACION PARA EXPOSICION DE SEGURIDAD	glb		1.0000	1,000.00	1,000.00
						1,000.00

Partida 02.06 RECURSOS DE RESPUESTA DE EMERGENCIA

Rendimiento glb/DIA MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **670.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380034	BOTIQUIN CON MATERIAL FARMACOLOGICO	und		1.0000	350.00	350.00
0230380035	CAMILLA	und		1.0000	70.00	70.00
0230380036	EXTINTOR DE POLVO QUIMICO SECO DE 12 KILOS	und		1.0000	250.00	250.00
						670.00

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO
 Subpresupuesto 003 TESIS: RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO Y SU UTILICACION EN LA PAVIMENTACION DE LA AVENIDA BOLOGNESI. TRAMO AV. PATRICIO MELENDEZ Y CALLE AMAZONAS, TACNA-TACNA Fecha presupuesto 31/03/2016

Partida 03.01.01 CAPA DE IMPRIMACION

Rendimiento m2/DIA MO. 2,500.0000 EQ. 2,500.0000 Costo unitario directo por : m2 9.90

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0006	19.13	0.01
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0032	15.11	0.05
0147010004	PEON	hh	8.0000	0.0256	13.56	0.35
0.41						
Materiales						
0213000023	ASFALTO DILUIDO GRADO MC-30	gal		0.3900	23.00	8.97
8.97						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.41	0.01
0349020000	COMPRESORA NEUMATICA 150 HP 380-590 PCM	hm	0.0500	0.0002	130.00	0.03
0349130004	CAMION IMPRIMIDOR 6 X 2 178 - 210 HP 1,800 gal	hm	1.0000	0.0032	150.00	0.48
0.52						

Partida 03.01.02 RECICLADO Y PAVIMENTACION EN FRIJO PARA VIAS

Rendimiento m2/DIA MO. 2,000.0000 EQ. 2,000.0000 Costo unitario directo por : m2 42.41

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0040	19.13	0.08
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0040	18.30	0.07
0147010003	OFICIAL	hh	3.0000	0.0120	15.11	0.18
0147010004	PEON	hh	10.0000	0.0400	13.56	0.54
0.87						
Materiales						
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.0250	85.00	2.13
0213000006	ASFALTO RC-250	gal		1.7300	20.00	34.60
36.73						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.87	0.04
0349030001	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	hm	1.0000	0.0040	180.00	0.72
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO DOBLE ROLA 0.8-1.1 TON	hm	1.0000	0.0040	150.00	0.60
0349030046	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0040	180.00	0.72
0349050036	RECICLADORA EN FRIJO COMPACTA, PARA LA REMOCION Y COLOCACION DE CAPAS DE PAVIMENTOS	hm	1.0000	0.0040	532.13	2.13
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0040	150.00	0.60
4.81						

Partida 03.02.01 CONTROL TOPOGRAFICO

Rendimiento m2/DIA MO. 850.0000 EQ. 850.0000 Costo unitario directo por : m2 0.92

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0094	18.30	0.17
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0009	19.13	0.02
0147010004	PEON	hh	3.0000	0.0282	13.56	0.38
0.57						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.57	0.02
0349180052	MIRA TOPOGRAFICA	hm	1.0000	0.0094	5.00	0.05
0349190005	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	1.0000	0.0094	10.00	0.09
0349880020	ESTACION TOTAL	hm	1.0000	0.0094	20.00	0.19
0.35						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO
 Subpresupuesto 002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO Fecha presupuesto 31/03/2016
 Partida 01.01 CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA DE 3.60X2.40 M

Rendimiento	und/DIA	MO. 4.0000	EQ. 4.0000	Costo unitario directo por : und			1,825.99
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.2000	19.13	3.83	
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	2.0000	18.30	36.60	
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	4.0000	15.11	60.44	
0147010004	PEON	hh	1.0000	2.0000	13.56	27.12	
							127.99
Materiales							
0221000094	CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP (42.5 kg)	bls		0.7000	21.50	15.05	
0229190007	CLAVO DE 2 1/2", 3", 4"	kg		0.1100	3.50	0.39	
0230380001	BANNER INCLUYE TRAVEZAÑOS	und		1.0000	1,500.00	1,500.00	
0238000003	HORMIGON	m3		0.2100	45.00	9.45	
0239050000	AGUA	m3		0.0550	5.00	0.28	
0243040005	PARANTE DE MADERA TORNILLO 4"X4"	p2		39.3000	4.30	168.99	
							1,694.16
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	127.99	3.84	
							3.84
<hr/>							
Partida	01.02	CASETA DE ALMACEN Y GUARDIANIA					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m2			99.22
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0800	19.13	1.53	
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	18.30	14.64	
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.8000	15.11	12.09	
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.8000	13.56	10.85	
							39.11
Materiales							
0202170001	CLAVOS PARA CALAMINA	kg		0.6000	3.50	2.10	
0229190007	CLAVO DE 2 1/2", 3", 4"	kg		0.2100	3.50	0.74	
0243040000	MADERA TORNILLO	p2		3.6000	4.73	17.03	
0244030021	TRIPLAY DE 4' X 8' X 4 mm	pl		1.0200	24.00	24.48	
0256900002	CALAMINA GALVANIZADA ZINC 28 CANALES 1.83 X 0.830 m X 0.4 mm	pl		0.6000	23.00	13.80	
							58.15
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	39.11	1.96	
							1.96
<hr/>							
Partida	02.01	DEMOLICION DE PAVIMENTO ASFALTICO DE 2"					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 360.0000	EQ. 360.0000	Costo unitario directo por : m2			5.06
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.0444	15.11	0.67	
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.0444	13.56	0.60	
							1.27
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.27	0.06	
0349020007	COMPRESORA NEUMATICA 76 HP 125-175 PCM	hm	1.0000	0.0222	130.00	2.89	
0349060003	MARTILLO NEUMATICO DE 24 kg	hm	0.2500	0.0056	150.00	0.84	
							3.79

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO**
 Subpresupuesto **002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO** Fecha presupuesto **31/03/2016**

Partida **02.02 ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA 30 M**

Rendimiento **m3/DIA MO. 8.0000 EQ. 8.0000** Costo unitario directo por : m3 **15.93**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.1000	19.13	1.91
0147010004	PEON	hh	1.0000	1.0000	13.56	13.56
15.47						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	15.47	0.46
0.46						

Partida **02.03 ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE C/MAQUINARIA**

Rendimiento **m3/DIA MO. 255.0000 EQ. 255.0000** Costo unitario directo por : m3 **13.86**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0031	19.13	0.06
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0314	18.30	0.57
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.1255	13.56	1.70
2.33						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.33	0.07
0348040036	VOLQUETE DE 15 M3	hm	1.0000	0.0314	150.00	4.71
0349990005	CARGADOR FRONTAL 3.0 M3	hm	1.0000	0.0314	215.00	6.75
11.53						

Partida **03.01 ELABORACION, IMPLEMENTACION Y ADMINISTRACION DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO**

Rendimiento **glb/DIA MO. EQ.** Costo unitario directo por : glb **1,038.26**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000037	ENCARGADO DE SEGURIDAD	mes		2.0000	19.13	38.26
38.26						
Subcontratos						
0402020001	ELABORACION DE DE PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	serv		1.0000	1,000.00	1,000.00
1,000.00						

Partida **03.02 EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL**

Rendimiento **und/DIA MO. EQ.** Costo unitario directo por : und **231.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380023	ZAPATOS DE SEGURIDAD	par		1.0000	60.00	60.00
0230380024	CHALECO DE SEGURIDAD	und		1.0000	45.00	45.00
0230380025	OVEROL PARA PERSONAL DE OBRA	und		1.0000	65.00	65.00
0230380026	GUANTES DE CUERO	par		2.0000	10.00	20.00
0230380028	LENTES DE SEGURIDAD	und		1.0000	7.00	7.00
0230380029	CASCOS DE SEGURIDAD	und		1.0000	15.00	15.00
0230380038	TAPONES O PROTECCION DE OIDO	und		1.0000	5.00	5.00
0230380039	GUANTES DE JEBE	par		2.0000	7.00	14.00
231.00						

Partida **03.03 EQUIPO DE PROTECCION COLECTIVA**

Rendimiento **glb/DIA MO. EQ.** Costo unitario directo por : glb **13,790.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0243040007	TRANQUERAS PARA SEÑALIZACION	und		4.0000	120.00	480.00
0246010006	MALLA DE SEGURIDAD	m		500.0000	25.00	12,500.00
0262000013	POSTE DE APOYO DE MADERA CON BASE DE CONCRETO	pza		45.0000	18.00	810.00
13,790.00						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO**
 Subpresupuesto **002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO** Fecha presupuesto **31/03/2016**

Partida **03.04 SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD**

Rendimiento **glb/DIA** MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **389.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380030	CARTEL INFORMATIVO SOBRE SEGURIDAD INC/TRAVESAÑOS	und		4.0000	50.00	200.00
0230380031	CONO REFLECTIVOS	und		3.0000	35.00	105.00
0230380032	CINTA DE SEGURIDAD C/AMARILLOX100 M	rl		3.0000	28.00	84.00
						389.00

Partida **03.05 CAPACITACION SOBRE SALUD Y SEGURIDAD**

Rendimiento **glb/DIA** MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **1,038.26**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000038	CAPACITADOR SOBRE SEGURIDAD EN OBRA	charla		2.0000	19.13	38.26
						38.26
Materiales						
0230380033	INSTALACION PARA EXPOSICION DE SEGURIDAD	glb		1.0000	1,000.00	1,000.00
						1,000.00

Partida **03.06 RECURSOS DE RESPUESTA DE EMERGENCIA**

Rendimiento **glb/DIA** MO. EQ. Costo unitario directo por : glb **670.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
0230380034	BOTIQUIN CON MATERIAL FARMACOLOGICO	und		1.0000	350.00	350.00
0230380035	CAMILLA	und		1.0000	70.00	70.00
0230380036	EXTINTOR DE POLVO QUIMICO SECO DE 12 KILOS	und		1.0000	250.00	250.00
						670.00

Partida **04.01.01 LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **1,000.0000** EQ. **1,000.0000** Costo unitario directo por : m2 **0.25**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0008	19.13	0.02
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.0160	13.56	0.22
						0.24
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.24	0.01
						0.01

Partida **04.01.02 TRAZO NIVELES Y REPLANTEO**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **700.0000** EQ. **700.0000** Costo unitario directo por : m2 **1.92**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0114	18.30	0.21
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0011	19.13	0.02
0147010004	PEON	hh	3.0000	0.0343	13.56	0.47
						0.70
Materiales						
0229060008	YESO DE 18 Kg	bls		0.0400	15.00	0.60
0229750008	CLAVOS DE 2 1/2"	kg		0.0035	3.50	0.01
0243040000	MADERA TORNILLO	p2		0.0300	4.73	0.14
0254170008	PINTURA ESMALTE	gal		0.0013	35.00	0.05
						0.80
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.70	0.02
0349180052	MIRA TOPOGRAFICA	hm	1.0000	0.0114	5.00	0.06
0349190005	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	1.0000	0.0114	10.00	0.11
0349880020	ESTACION TOTAL	hm	1.0000	0.0114	20.00	0.23
						0.42

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO**
 Subpresupuesto **002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO** Fecha presupuesto **31/03/2016**

Partida **04.02.01 PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB RASANTE**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **1,400.0000** EQ. **1,400.0000** Costo unitario directo por : m2 **3.64**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0006	19.13	0.01
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0057	15.11	0.09
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0229	13.56	0.31
0.41						
Materiales						
0239050000	AGUA	m3		0.0350	5.00	0.18
0.18						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.41	0.01
0348120094	CAMION CISTERNA (AGUA) 2500 gln	hm	1.0000	0.0057	130.00	0.74
0349030001	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	hm	0.4000	0.0023	180.00	0.41
0349030046	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0057	180.00	1.03
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0057	150.00	0.86
3.05						

Partida **04.03.01 BASE GRANULAR DE E=0.20 M C/MAQUINARIA**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **2,000.0000** EQ. **2,000.0000** Costo unitario directo por : m2 **13.92**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0004	19.13	0.01
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0040	18.30	0.07
0147010004	PEON	hh	7.0000	0.0280	13.56	0.38
0.46						
Materiales						
0205010013	MATERIAL CLASIFICADO PARA BASE	m3		0.2500	45.00	11.25
0239050000	AGUA	m3		0.0700	5.00	0.35
11.60						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.46	0.02
0348120094	CAMION CISTERNA (AGUA) 2500 gln	hm	1.0000	0.0040	130.00	0.52
0349030046	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0040	180.00	0.72
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0040	150.00	0.60
1.86						

Partida **04.03.02 CAPA DE IMPRIMACION**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **2,500.0000** EQ. **2,500.0000** Costo unitario directo por : m2 **9.90**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0006	19.13	0.01
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0032	15.11	0.05
0147010004	PEON	hh	8.0000	0.0256	13.56	0.35
0.41						
Materiales						
0213000023	ASFALTO DILUIDO GRADO MC-30	gal		0.3900	23.00	8.97
8.97						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.41	0.01
0349020000	COMPRESORA NEUMATICA 150 HP 380-590 PCM	hm	0.0500	0.0002	130.00	0.03
0349130004	CAMION IMPRIMIDOR 6 X 2 178 - 210 HP 1,800 gal	hm	1.0000	0.0032	150.00	0.48
0.52						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO**
 Subpresupuesto **002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO** Fecha presupuesto **31/03/2016**

Partida **04.03.03 ARENADO MANUAL DESPUES DE IMPRIMACION**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **1,000.0000** EQ. **1,000.0000** Costo unitario directo por : m2 **0.83**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0016	19.13	0.03
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.0080	13.56	0.11
0.14						
Materiales						
0205010004	ARENA GRUESA	m3		0.0150	45.00	0.68
0.68						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.14	0.01
0.01						

Partida **04.03.04 LIMPIEZA DE VIAS CON EQUIPO**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **2,000.0000** EQ. **2,000.0000** Costo unitario directo por : m2 **0.72**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0008	19.13	0.02
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0040	15.11	0.06
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.0080	13.56	0.11
0.19						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.19	0.01
0349020000	COMPRESORA NEUMATICA 150 HP 380-590 PCM	hm	1.0000	0.0040	130.00	0.52
0.53						

Partida **04.03.05 CARPETA DE ASFALTO DE E= 2"**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **2,500.0000** EQ. **2,500.0000** Costo unitario directo por : m2 **43.33**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0032	19.13	0.06
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0032	18.30	0.06
0147010003	OFICIAL	hh	3.0000	0.0096	15.11	0.15
0147010004	PEON	hh	10.0000	0.0320	13.56	0.43
0.70						
Materiales						
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.0240	85.00	2.04
0205010004	ARENA GRUESA	m3		0.0430	45.00	1.94
0213000006	ASFALTO RC-250	gal		1.6500	20.00	33.00
36.98						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.70	0.04
0348040036	VOLQUETE DE 15 M3	hm	3.0000	0.0096	150.00	1.44
0349030001	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	hm	1.0000	0.0032	180.00	0.58
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO DOBLE ROLA 0.8-1.1 TON	hm	1.0000	0.0032	150.00	0.48
0349030046	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0032	180.00	0.58
0349260100	PAVIMENTADORA	hm	1.0000	0.0032	230.00	0.74
0349260101	PLANTA DE ASFALTO USC2 60/100 T/HH	hm	1.0000	0.0032	225.00	0.72
0349630002	CALENTADOR DE ASFALTO 5H9 500 GLN	hm	1.0000	0.0032	120.00	0.38
0349990005	CARGADOR FRONTAL 3.0 M3	hm	1.0000	0.0032	215.00	0.69
5.65						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0701011 TESIS: COMPARACION DE COSTOS ENTRE CONSTRUCCION DE PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO RECICLADO
 Subpresupuesto 002 TESIS: MEJORAMIENTO DE PISTAS EN LA AVENIDA BOLOGNESI, TRAMO AV. PATRICIO Fecha presupuesto 31/03/2016

Partida 04.04.01 CONTROL TOPOGRAFICO

Rendimiento m2/DIA MO. 850.0000 EQ. 850.0000 Costo unitario directo por : m2 **0.92**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0094	18.30	0.17
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0009	19.13	0.02
0147010004	PEON	hh	3.0000	0.0282	13.56	0.38
0.57						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.57	0.02
0349180052	MIRA TOPOGRAFICA	hm	1.0000	0.0094	5.00	0.05
0349190005	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	1.0000	0.0094	10.00	0.09
0349880020	ESTACION TOTAL	hm	1.0000	0.0094	20.00	0.19
0.35						

Partida 05.01.01 PINTADO DE MARCAS DE PAVIMENTO

Rendimiento m2/DIA MO. 30.0000 EQ. 30.0000 Costo unitario directo por : m2 **15.65**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0267	19.13	0.51
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.2667	18.30	4.88
0147010004	PEON	hh	0.5000	0.1333	13.56	1.81
7.20						
Materiales						
0253050006	DISOLVENTE XILOL	gal		0.0800	35.00	2.80
0254450003	PINTURA TRAFICO	gal		0.1550	35.00	5.43
8.23						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	7.20	0.22
0.22						

Partida 05.01.02 PINTADO LINEAL CONTINUO LATERAL

Rendimiento m/DIA MO. 150.0000 EQ. 150.0000 Costo unitario directo por : m **1.86**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0053	19.13	0.10
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0533	18.30	0.98
0147010004	PEON	hh	0.5000	0.0267	13.56	0.36
1.44						
Materiales						
0253050006	DISOLVENTE XILOL	gal		0.0075	35.00	0.26
0254450003	PINTURA TRAFICO	gal		0.0034	35.00	0.12
0.38						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.44	0.04
0.04						

Partida 06.01 RIEGO EN LA ZONA DE TRABAJO

Rendimiento m2/DIA MO. 800.0000 EQ. 800.0000 Costo unitario directo por : m2 **0.58**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0010	19.13	0.02
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0400	13.56	0.54
0.56						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.56	0.02
0.02						