

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO DE  
LA CANTERA CONDORIRE EN EL DISEÑO DE MEZCLAS  
ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA LA CARRETERA PUNO –  
TIQUILLACA - 2014”**

**T E S I S**

**PRESENTADO POR:**

**Ramos Mamani Uber**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO - PERÚ  
2015**

## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## T E S I S

"INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA  
CONDORIRE EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA LA  
CARRETERA PUNO-TIQUILLACA-2014"

PRESENTADO POR:

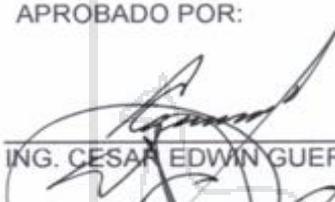
BACH. UBER RAMOS MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR:

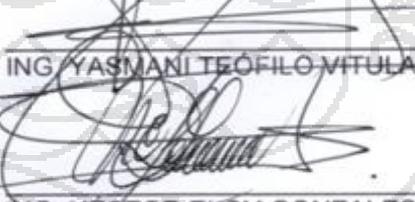
Presidente:

  
ING. CESAR EDWIN GUERRA RAMOS

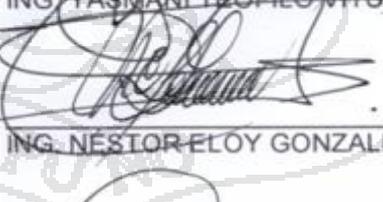
Primer Miembro:

  
ING. JOSÉ LUIS CUTIPA ARAPA

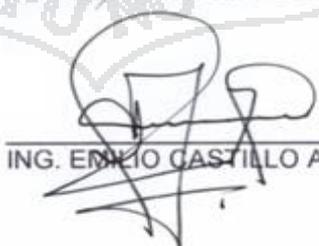
Segundo Miembro:

  
ING. YASMÁN TEÓFILO VITULAC QUILLE

Director de Tesis:

  
ING. NÉSTOR ELOY GONZALES SUCASAIRE

Asesor de Tesis:

  
ING. EMILIO CASTILLO ARONI

Área: Transportes

Tema: Tecnología del Asfalto

## AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a Dios que me ha dado la vida, sabiduría y así poder haber concluido este trabajo de graduación.

A los ingenieros Emilio Castillo Aroni, Néstor Eloy Gonzales Sucasaire quienes atendieron mis consultas, hicieron las correcciones necesarias y en general nos guiaron en el transcurso de este trabajo de graduación.

A los Ingenieros Cesar Edwin Guerra Ramos, José Luis Cutipa Arapa y Yasmani Teófilo Vítulas Quille quienes vertieron sus conocimientos para enriquecer esta tesis.

Al Ing. Mariano Roberto García Loayza por su apoyo durante la formación en pre grado de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional del Altiplano.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que en un momento me apoyaron de una u otra manera en el desarrollo de la Tesis.

## DEDICATORIA

**A DIOS TODO PODEROSO Y A LA SANTÍSIMA VIRGEN:** Por bendecirme y guiarme en todo momento, por brindarme sabiduría y por ayudarme a levantarme en los momentos duros, por permitirme concluir esta parte de mi vida.

**A MIS PADRES:** Por inculcarme los valores que me han permitido llegar a esta meta. Por apoyarme incondicionalmente y darme sus consejos, este logro es gracias a ustedes, gracias por la confianza que siempre han tenido y depositado en mí.

**A MIS HERMANOS:** Por brindarme su apoyo incondicional, los momentos que hemos compartido, y estar a mi lado siempre.

**A MI ESPOSA E HIJO:** Por entenderme y darme apoyo para la conclusión de la etapa universitaria.

**A MI FAMILIA Y AMIGOS:** Que en un momento u otro me apoyaron y animaron a seguir adelante.

Uber R.M.

## CONTENIDO

	PÁG.
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. ANTECEDENTES.....	19
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL .....	22
1.3.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS .....	22
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5. OBJETIVOS.....	23
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	23
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>25</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	26
2.2. MARCO TEÓRICO .....	26
2.2.1. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA .....	26
2.2.1.1. ASFALTO .....	26
2.2.1.1.1. CEMENTO ASFÁLTICO (CA) () .....	29
2.2.1.1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO () .....	32
2.2.1.2. AGREGADO PÉTREOS () .....	33
2.2.1.3. FILLER () .....	42
2.2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS ().....	44
2.2.2.1. FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	44
2.2.2.2. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS () .....	46
2.2.2.3. GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA () .....	51
2.2.3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL .....	53
2.2.3.1. METODOLOGÍA .....	53
2.2.3.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE. 54	
2.2.3.2.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL .....	54
2.2.3.2.2. Preparación de las muestras (briqueta) .....	68
2.2.3.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL .....	74
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>77</b>
3.1. METODOLOGÍA .....	78
3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	78
3.2.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	78

3.2.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	78
3.3.	VARIABLES COMO INDICADORES DE CONTROL .....	78
3.4.	UNIDAD DE ANÁLISIS PARA LA INVESTIGACIÓN().....	79
3.4.1.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	79
3.4.1.1.	POBLACIÓN	79
3.4.1.2.	MUESTRA	80
3.5.	TIPO DE MATERIAL EXPERIMENTAL PARA LA INVESTIGACIÓN .....	80
3.6.	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....	81
3.6.1.	DETERMINACIÓN ESTABILIDAD / FLUENCIA MARSHALL .....	81
3.6.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD	81
3.6.1.2.	DETERMINACIÓN DE LA FLUENCIA	84
3.6.2.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.....	86
3.6.3.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS .....	86
3.7.	PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	87
	<b>CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>88</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	90
4.2.	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	90
4.2.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO .....	90
4.2.2.	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....	92
4.2.3.1.	PRECIPITACIÓN	92
4.2.3.2.	TEMPERATURA	92
4.2.3.3.	VIENTOS	92
4.2.3.4.	RELIEVE	93
4.3.	POTENCIA DE LA CANTERA DE CONDORIRE .....	93
4.3.1.	UBICACIÓN Y ACCESO.....	93
4.3.2.	APLICACIÓN .....	94
4.4.	MÉTODO EXPERIMENTAL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	95
4.4.1.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	95
4.4.2.	SELECCIÓN, EXTRACCIÓN Y ABASTECIMIENTO DE MATERIALES...95	
4.5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MÉTODO MARSHALL CON DIFERENTE TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADO.....	95
	<b>CAPÍTULO V ANÁLISIS, COMBINACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>106</b>

5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204) Y MÉTODO DE LAS PROPORCIONES.....	107
5.1.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1" (GRADACIÓN MAC-1) .....	107
5.1.1.1. PORCENTAJES RETENIDO DE AGREGADO GRUESO	107
5.1.1.2. PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL EN TAMIZ 3/4"	107
5.1.2. PORCENTAJES RETENIDO DE AGREGADO FINO (PIEDRA CHANCADA, ARENA NATURAL Y FILLER).....	108
5.1.2.1. MÉTODO DE PROPORCIONES	108
5.1.2.2. PORCENTAJE AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)	109
5.1.2.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO (PIEDRA CHANCADA)	109
5.1.3. CÁLCULO DE INCREMENTO DE FILLER .....	110
5.1.4. CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTAJE DE ASFALTO .....	111
Porcentaje de asfalto = 5%.....	111
5.2. DISEÑO MARSHALL (MTC E 504) .....	112
5.2.1. DETERMINANDO LA ESTABILIDAD / FLUJO – MARSHALL.....	112
5.2.1.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1" .....	112
5.2.1.1.1. PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	112
5.2.1.1.2. PORCENTAJE DE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	113
5.2.1.1.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA	113
5.2.1.1.4. PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	114
5.2.1.1.5. PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):	114
5.2.1.1.6. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)	115
5.2.1.1.7. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	115
5.2.1.1.8. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	116
5.2.1.1.9. VACÍOS DE AIRE (Va)	116
5.2.1.1.10. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	117
5.2.1.1.11. ESTABILIDAD MARSHALL "E"	117
5.2.1.1.12. FLUJO MARSHALL "F"	118
5.2.1.1.13. ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)	118
5.2.1.2. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/4 "	119
5.2.1.2.1. PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	119

5.2.1.2.2.	PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	119
5.2.1.2.3.	PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA	119
5.2.1.2.4.	PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	120
5.2.1.2.5.	PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):	120
5.2.1.2.6.	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)	121
5.2.1.2.7.	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	122
5.2.1.2.8.	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	122
5.2.1.2.9.	VACÍOS DE AIRE (Va)	123
5.2.1.2.10.	VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	123
5.2.1.2.11.	ESTABILIDAD MARSHALL "E"	123
5.2.1.2.12.	FLUJO MARSHALL "F"	124
5.2.1.2.13.	ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)	124
5.2.1.3.	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1/2 "	125
5.2.1.3.1.	PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	125
5.2.1.3.2.	PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	126
5.2.1.3.3.	PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA	126
5.2.1.3.4.	PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	126
5.2.1.3.5.	PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):	127
5.2.1.3.6.	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)	128
5.2.1.3.7.	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	128
5.2.1.3.8.	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	129
5.2.1.3.9.	VACÍOS DE AIRE (Va)	129
5.2.1.3.10.	VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	130
5.2.1.3.11.	ESTABILIDAD MARSHALL "E"	130
5.2.1.3.12.	FLUJO MARSHALL "F"	131
5.2.1.3.13.	ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)	131
5.2.1.4.	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/8 "	132
5.2.1.4.1.	PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	132

5.2.1.4.2.	PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	132
5.2.1.4.3.	PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA	132
5.2.1.4.4.	PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	133
5.2.1.4.5.	PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):	133
5.2.1.4.6.	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)	134
5.2.1.4.7.	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	135
5.2.1.4.8.	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	135
5.2.1.4.9.	VACÍOS DE AIRE (Va)	136
5.2.1.4.10.	VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	136
5.2.1.4.11.	ESTABILIDAD MARSHALL "E"	136
5.2.1.4.12.	FLUJO MARSHALL "F"	137
5.2.1.4.13.	ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)	137
5.3.	PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO .....	138
5.3.1.	DETERMINANDO EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1" .....	138
5.3.2.	CRITERIO UTILIZADO EN LA PRESENTE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO .....	140
5.4.	PORCENTAJE DE VACÍOS .....	142
5.4.1.	EVALUAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON DIFERENTE TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO .....	142
	<b>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....</b>	<b>146</b>
	CONCLUSIONES:.....	147
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>150</b>
	BIBLIOGRAFÍA: .....	151
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>152</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		PÁG.
<b>TABLA N° 02-01</b>	UTILIZACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO SEGÚN LA TEMPERATURA	30
<b>TABLA N° 02-02</b>	USO DE CEMENTOS ASFÁLTICOS EN FUNCIÓN AL CLIMA	30
<b>TABLA N° 02-03</b>	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA Y FACTORES DE CONVERSIÓN K PARA DIFERENTES TEMPERATURAS	48
<b>TABLA N° 02-04</b>	GRADACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE M.A.C.	52
<b>TABLA N° 02-05</b>	PESO DE LA MUESTRA POR TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, PARA ENSAYO GRANULOMÉTRICO.	55
<b>TABLA N° 02-06</b>	PESO DE LA MUESTRA POR TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA	57
<b>TABLA N° 02-07</b>	PESO DE LA MUESTRA POR TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, PARA ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS	59
<b>TABLA N° 02-08</b>	REQUERIMIENTO PARA AGREGADOS GRUESOS	67
<b>TABLA N° 02-09</b>	REQUERIMIENTO PARA AGREGADOS FINOS	67
<b>TABLA N° 02-10</b>	REQUISITOS PARA MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO	76
<b>TABLA N° 02-11</b>	VACÍOS MÍNIMOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	76
<b>TABLA N° 03-01</b>	ANÁLISIS DE DATOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	81
<b>TABLA N° 03-02</b>	ANÁLISIS DE DATOS DE FLUENCIA MARSHALL	84
<b>TABLA N° 03-03</b>	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS PARA ESTABILIDAD MARSHALL	85
<b>TABLA N° 03-04</b>	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS PARA FLUENCIA MARSHALL	85
<b>TABLA N° 03-05</b>	RESUMEN DE VALORES DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO	86
<b>TABLA N° 03-06</b>	CUADRO RESUMEN MÉTODO MARSHALL	87
<b>TABLA N° 04-01</b>	COORDENADAS GEOGRÁFICAS CANTERA CONDORIRE	94
<b>TABLA N° 04-02</b>	COORDENADAS UTM CANTERA CONDORIRE	94
<b>TABLA N° 05-01</b>	GRANULOMETRÍA IDEAL	107
<b>TABLA N° 05-02</b>	GRANULOMETRÍA IDEAL (AGREGADO FINO)	108
<b>TABLA N° 05-03</b>	GRANULOMETRÍA ARENA NATURAL	108
<b>TABLA N° 05-04</b>	GRANULOMETRÍA PIEDRA CHANCADA	108
<b>TABLA N° 05-05</b>	GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO POR EL MÉTODO DE PROPORCIONES	110
<b>TABLA N° 05-06</b>	GRANULOMETRÍA ÓPTIMA MÁS FILLER	111
<b>TABLA N° 05-07</b>	GRANULOMETRÍA ÓPTIMA MÁS PORCENTAJE DE ASFALTO	111

<b>TABLA N° 05-08</b>	REQUISITOS PARA MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO	112
<b>TABLA N° 05-09</b>	DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1”	.....118
<b>TABLA N° 05-10</b>	DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/4”	.....125
<b>TABLA N° 05-11</b>	DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1/2”	.....131
<b>TABLA N° 05-12</b>	DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/8”	.....138
<b>TABLA N° 05-13</b>	RESUMEN DE VALORES NECESARIOS PARA EL TRAZO DE LAS GRÁFICAS	.....139
<b>TABLA N° 05-14</b>	VALORES DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO	.....142
<b>TABLA N° 05-15</b>	CUADRO RESUMEN MÉTODO MARSHALL	.....145



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	<b>PÁG.</b>
<b>GRÁFICO N° 02-01</b> DESTILACIÓN DEL CRUDO DE PETRÓLEO	29
<b>GRÁFICO N° 02-02</b> GRÁFICAS DEL ENSAYO MARSHALL	75
<b>GRÁFICO N° 03-01</b> DISPERSIÓN DE DATOS DE ESTABILIDAD MARSHALL	81
<b>GRÁFICO N° 03-02</b> ANÁLISIS DE DATOS DE ESTABILIDAD MARSHALL (DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT)	84
<b>GRÁFICO N° 05-01</b> DISEÑO DE MEZCLAS TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO - 1"	139
<b>GRÁFICO N° 05-02</b> PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO	142
<b>GRÁFICO N° 05-03</b> GRÁFICAS DE PORCENTAJES DE VACÍOS (1", 3/4", 1/2", 3/8")	143
<b>GRÁFICO N° 05-04</b> PORCENTAJE DE VACÍOS RELACIONADO CON PORCENTAJE DE ASFALTO	144
<b>GRÁFICO N° 05-05</b> RELACIÓN DE PORCENTAJES DE VACÍOS Y DENSIDADES	144





## RESUMEN

La presente investigación tiene como fundamento la elección del tamaño máximo del agregado grueso, un porcentaje óptimo de asfalto y un adecuado diseño de mezcla asfáltica en caliente; Planteando un diseño que brindará una durabilidad, permeabilidad, resistencia a las cargas de tráfico y a la climatología de la zona, de esta forma la carretera será un eje de desarrollo para el departamento.

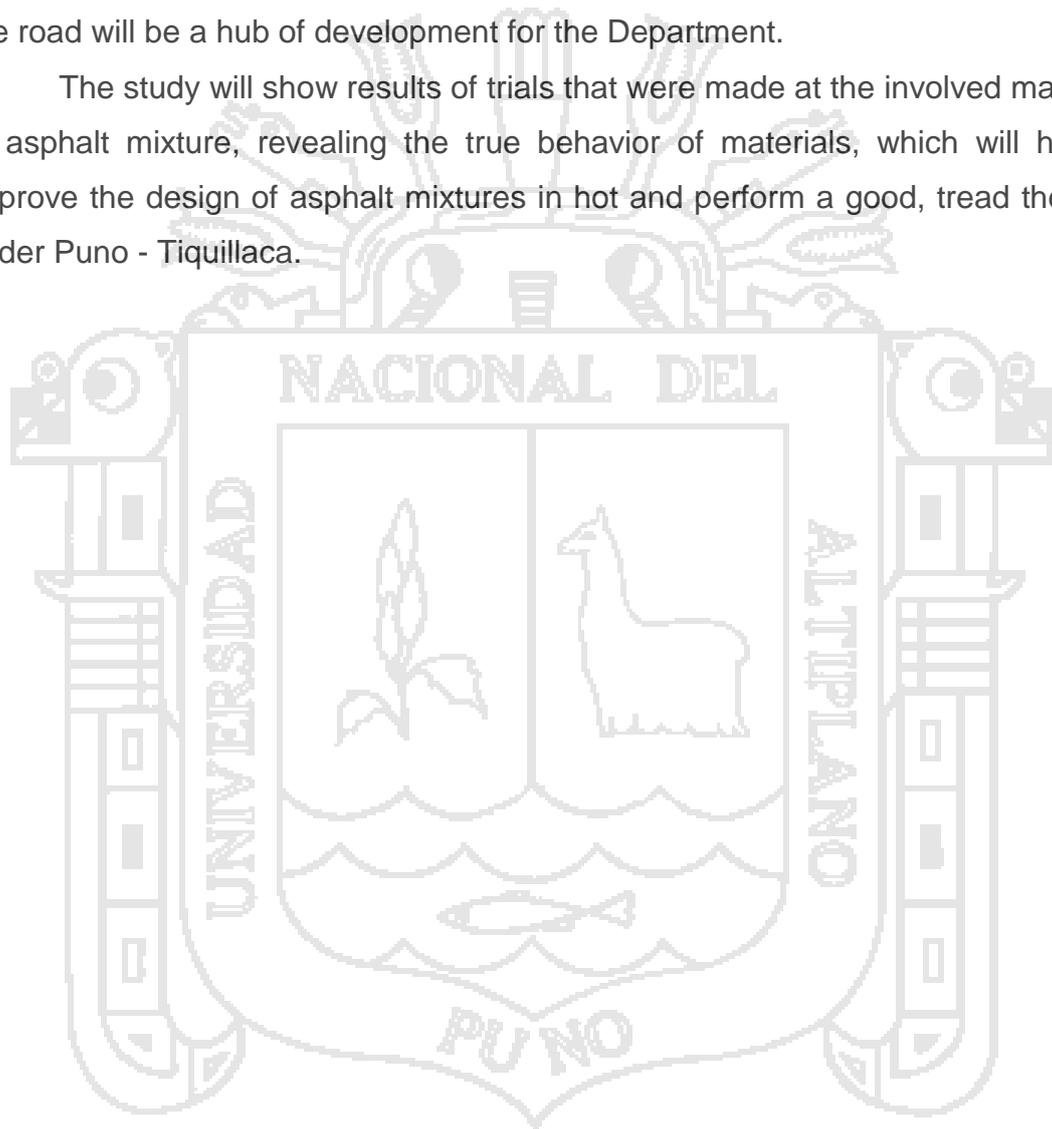
El estudio mostrará resultados de los ensayos que se efectuaron a los materiales intervinientes en una mezcla asfáltica, revelando el verdadero comportamiento de los materiales, el cual ayudarán a mejorar el diseño de mezclas asfálticas en caliente y realizar una buena carpeta de rodadura para la carretera Puno - Tiquillaca.



## ABSTRACT

This research has as a basis the choice of the maximum size of the aggregate thickness, an optimal percentage of asphalt and a proper design of asphalt mixture in hot; Considering a design that will provide durability, permeability, resistance to traffic loads and the climatology of the area, in this way the road will be a hub of development for the Department.

The study will show results of trials that were made at the involved materials in asphalt mixture, revealing the true behavior of materials, which will help to improve the design of asphalt mixtures in hot and perform a good, tread the road folder Puno - Tiquillaca.



## INTRODUCCIÓN

El departamento de Puno se encuentra en un proceso de asfaltado de sus carreteras que unen distritos y provincias, es por eso que se requiere un diseño de mezclas asfálticas en caliente con un tamaño máximo nominal de agregado grueso adecuado para la zona.

Se observa que la carretera Puno - Tiquillaca no cuenta con una carpeta de rodadura y solo cuenta con un tratamiento superficial bicapa que cada vez será menos transitable debido al incremento de tránsito vehicular existente. Los principales factores que han dado origen a esta situación en la vía es el climatológico, incremento de circulación de vehículos de carga pesada y la falta de una carpeta asfáltica acorde al tránsito vehicular.

Para evitar el deterioro de esta vía, es que se propone el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando el mejor tamaño máximo nominal del agregado grueso con un porcentaje óptimo de asfalto para garantizar la dosificación, trabajabilidad, serviciabilidad, durabilidad y economía de la carpeta de rodadura.

Por lo tanto el presente documento se referirá a la mezcla asfáltica en caliente en cuanto a su diseño con la elección de un tamaño máximo de agregado grueso, sin ahondar en los procesos constructivos de la base, sub base y los tratamientos que se realizan a la sub rasante. Este trabajo nos permite ser la base de estudios posteriores que ayuden a mejorar el uso de mezclas asfálticas en caliente en la región de Puno.



# **CAPÍTULO I**

# **GENERALIDADES**

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento de Puno se encuentra en un proceso de asfaltado de sus carreteras que unen distritos y provincias, es por eso que se requiere un diseño de mezclas asfálticas en caliente con un tamaño máximo nominal de agregado grueso adecuado para la zona.

Se observa que la carretera Puno - Tiquillaca no cuenta con una carpeta de rodadura y solo cuenta con un tratamiento superficial bicapa que cada vez será menos transitable debido al incremento de tránsito vehicular existente. Los principales factores que han dado origen a esta situación en la vía es el climatológico, incremento de circulación de vehículos de carga pesada y la falta de una carpeta asfáltica acorde al tránsito vehicular.

Para evitar el deterioro de esta vía, es que se propone el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando el mejor tamaño máximo nominal del agregado grueso con un porcentaje óptimo de asfalto para garantizar la dosificación, trabajabilidad, serviciabilidad, durabilidad y economía de la carpeta de rodadura.

El diseño de una mezcla asfáltica en caliente se someterá a la determinación de la resistencia a la deformación plástica en el equipo Marshall, a los procedimientos establecidos en la norma "EM-2000 Manual de Ensayos de Materiales y EG-2013 Manual de Carreteras –Especificaciones Técnico Generales para la Construcción", que son especificaciones que rigen la construcción de carreteras a nivel de nuestro país.

## 1.2. ANTECEDENTES

En el Perú, la tecnología realizada en pavimentos se ha desarrollado a tal grado de constituir un campo de nueva especialidad. Puno no es ajeno a esa realidad y como resultado tenemos la construcción y mejora de diferentes carreteras en todo el departamento.

La mezcla asfáltica ha sido evaluada, analizada y utilizada en diversas partes del mundo, coincidiendo que esta mezcla es una de las mejores que se ha podido elaborar en EE.UU.

En la Universidad Nacional del Altiplano – Puno se han realizado tesis de investigaciones afines con el título planteado en ésta investigación:

Tesis: "DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON GRANULOMETRÍA DISCONTINUA Y ASFALTO MODIFICADO TIPO I EN LA CIUDAD DE PUNO" – Bach. Olga Mariela Vilca Romero-Bach. Dante Caleb Poma Aguilar – 2012, Que el diseño de una Mezcla Asfáltica en Caliente con Granulometría Discontinua y Asfalto Modificado con polímeros incrementa sus propiedades físico mecánicas en un 36% con respecto a la Mezcla asfáltica convencional la cual es apta para su uso en zonas ubicadas por encima de los 3000 m.s.n.m sin sufrir efectos de bajas temperaturas y desgaste prematuro.

Tesis: "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MATERIAL ROCOSO DE LA CANTERA DE TAPARACHI, PARA SU USO COMO AGREGADO GRUESO EN LOS DISEÑOS DE ASFALTO EN CALIENTE, EN LA CIUDAD DE JULIACA" – Bach. Percy David Laura Machaca-2013, donde se realizó ensayos físico

mecánico, al material rocoso de la cantera Taparachi – Juliaca dando como resultado que este material está apto para ser utilizado como agregado grueso en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Tesis: “GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE” José Mauricio Cortez García -Hugo Wilfredo Guzmán Henríquez-Amilcar Daniel Reyes Rodríguez/El Salvador, Agosto del 2007, realiza una guía básica para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, considerando de suma importancia la reducción de muestras del agregado a tamaño de ensayo, de igual manera realizar ensayos de todos los intervinientes para un diseño de mezclas ya que éstas tienen una gran influencia en la producción y colocación de una mezcla asfáltica en caliente; si el muestreo se realiza mal, al ejecutar el ensayo se tendrán valores no representativos del material por ende la mala calidad de la mezcla asfáltica.

Tesis: “METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE” XENIA CAROLINA LIZAMA ARGUETA - RENE EDUARDO LOVO, FEBRERO DE 2010. Establecer una metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente, basada en especificaciones y normas aplicadas en El Salvador. Donde se demuestra que las Partículas de agregado blandas se rompen bajo el impacto de los vehículos causando agrietamiento y vacíos en la superficie del pavimento, por el contrario agregados muy duros suelen dar pavimentos deslizantes. Los agregados que se utilicen en la producción de mezclas asfálticas en caliente debe cumplir con la

especificación técnica que define los valores máximos y mínimos para los ensayos requeridos, como son: Abrasión de los Ángeles, Sanidad, Caras Fracturadas, Índice de Durabilidad, Equivalente de Arena, Granulometría, Límites de Consistencia, Partículas Planas y Alargadas, Material que pasa la Malla N° 200, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos y Finos,

Tesis: “ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA SUPERPAVE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS” Carlos Alejandro Cáceres Morales - Cholula, Puebla, México 30 de noviembre de 2007, realizar una descripción paso a paso de un diseño de mezclas en caliente por medio del sistema Superpave aplicado a un caso en particular, determinando que el diseño Superpave no considera como prueba fundamental la estabilidad y flujo Marshall puesto que el método Superpave, método de compactación por amasado, reproduce las condiciones de compactación de campo durante el tendido de la mezcla.

Para realizar y obtener resultados confiables al momento de diseñar una mezcla asfáltica en caliente, deberá regirse en la norma EM-2000 y EG-2013 para el Método Marshall.

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo de investigación, se centra en la influencia de cuatro diferentes tamaños máximos del agregado grueso, para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Se trabajará con el cemento asfáltico PEN 120-150 elaborado por Petro - Perú, el agregado de piedra chancada se tomará de la cantera de Condorire que

se encuentra en el distrito de Tiquillaca, la arena natural a utilizar será de la cantera del río Vilque se encuentra en la carretera Tiquillaca-Vilque, el filler utilizado para la investigación será la cal hidratada.

### **1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL**

¿Cuál es la influencia del agregado grueso con un tamaño máximo de agregado en el diseño de mezclas asfálticas en caliente?

### **1.3.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS**

¿Cuál es el porcentaje óptimo de asfalto para realizar una mezcla de asfalto en caliente con un tamaño máximo de agregado grueso?

¿Cuál es el comportamiento de estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas en caliente con tamaño máximo de agregado en el equipo Marshall?

¿Cuál será el porcentaje de vacíos y densidad en las mezclas asfálticas en caliente con tamaño máximo de agregado?

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

En la red vial nacional y específicamente aquellos ubicados sobre los 3800 m.s.n.m., debido a las bajas temperaturas, gradiente térmico, precipitaciones pluviales intensas, la carpeta asfáltica de un pavimento flexible se deteriora y dificulta la fluidez del tránsito, en consecuencia surge la necesidad de encontrar una mezcla asfáltica cuyas propiedades respondan satisfactoriamente a los factores mencionados que originan su deterioro.

La presente investigación tiene como fundamento la elección del tamaño máximo del agregado grueso, un porcentaje óptimo de asfalto y un adecuado diseño de mezcla asfáltica en caliente; Planteando un diseño que brindará una durabilidad, permeabilidad, resistencia a las cargas de tráfico y a la climatología de la zona, de esta forma la carretera será un eje de desarrollo para el departamento.

El estudio mostrará resultados de los ensayos que se efectuaron a los materiales intervinientes en una mezcla asfáltica, revelando el verdadero comportamiento de los materiales, el cual ayudarán a mejorar el diseño de mezclas asfálticas en caliente y realizar una buena carpeta de rodadura para la carretera Puno - Tiquillaca.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una mezcla asfáltica en caliente con la variación del tamaño máximo del agregado grueso, de manera tal que se consiga economizar y optimizar la funcionalidad de la carpeta de rodadura.

### **1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con un tamaño máximo de agregado, para cada diseño planteado.

- Evaluar el comportamiento de estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas en caliente con un tamaño máximo de agregado grueso en el equipo Marshall.
- Evaluar los porcentajes de vacíos y densidad de la mezcla de asfalto en caliente con un tamaño máximo de agregado grueso.





**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**  
**Y CONCEPTUAL**

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Este capítulo es muy importante para el desarrollo de la investigación, para tener un mejor entendimiento de nuestro estudio y prevenir errores que podría cometerse.

Así como también orientar sobre cómo se llevará a cabo el estudio ampliando firmemente el horizonte de nuestro estudio y guía de nuestra investigación para centrarnos fundamentalmente en el problema planteado.

Nuestra investigación toma en cuenta los conocimientos previos de teorías ya existentes, el cual se hizo mediante una revisión y contrastación bibliográfica para la mejor utilización del agregado, y porcentaje de asfalto en un diseño de mezcla asfáltica en caliente.

### **2.2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.2.1. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA**

##### **2.2.1.1. ASFALTO**

El asfalto es un producto milenario y que gracias a la tecnología y al desarrollo de la humanidad ha variado su forma, su manejo e inclusive sus características; haciéndolo más maleable en su uso para el hombre.

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, está presente en el petróleo crudo y está compuesto en su mayoría por bitumen.

El asfalto es un constituyente del petróleo, la mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces pueden ser en su totalidad de asfalto.

En base a la proporción de asfalto los petróleos se clasifican en:

- a) Petróleos crudos en base asfálticas
- b) Petróleos crudos en base parafina (son cristales obtenidos de aceites pesados pero no asfalto)<sup>(1)</sup>
- c) Petróleos crudos en base mixta (contiene parafina y asfalto)

El petróleo crudo es extraído de los pozos y es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación.

Después de la separación los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos, de esta manera es como el asfalto, parafina, aceites, lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que se ha procesado.

Debido a que el asfalto es la base o el contribuyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. En consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual y es valioso para usos como: aglomerante entre los agregados en el asfaltado de vías y principalmente como impermeabilizante a la humedad.

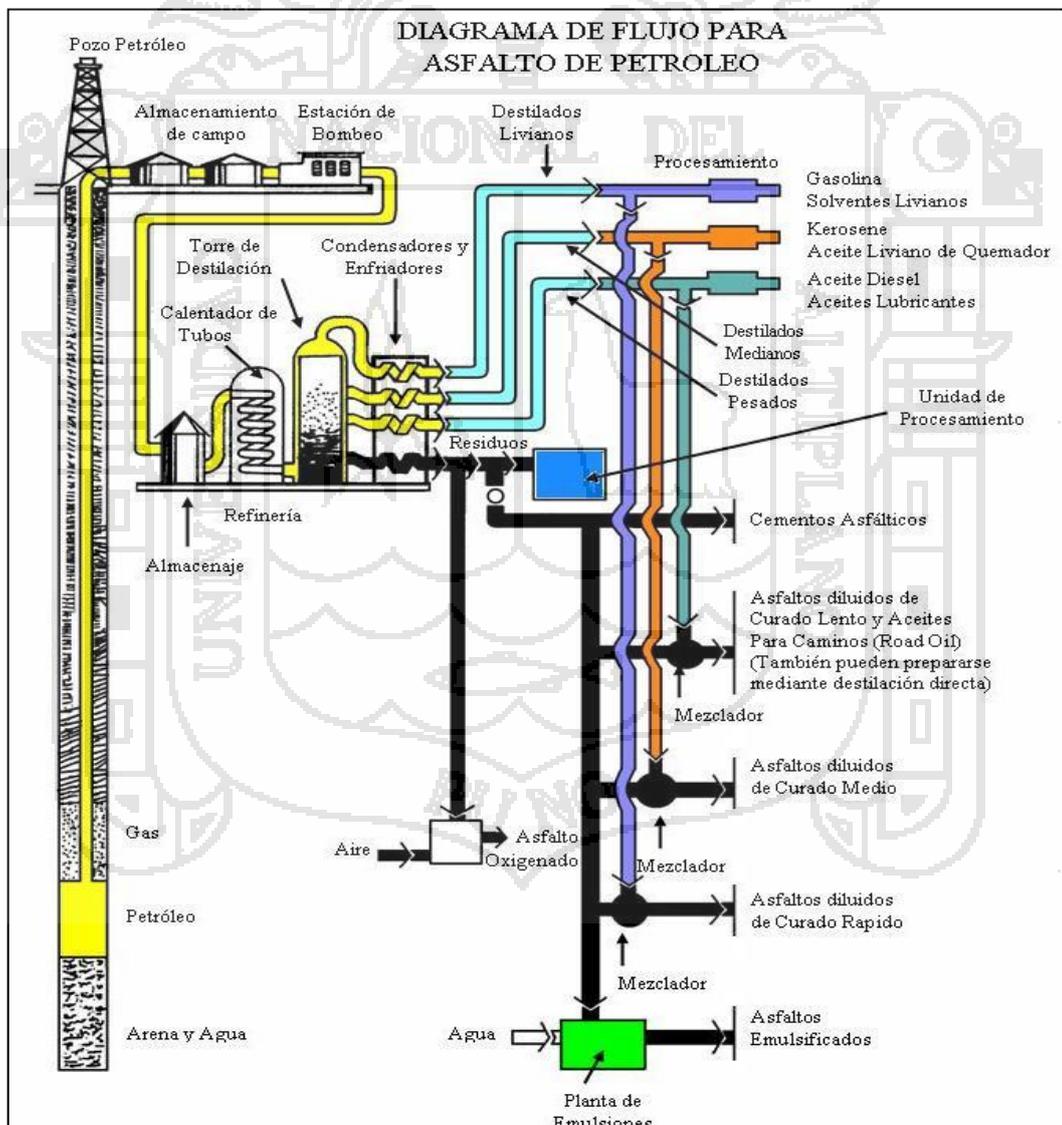
---

<sup>1</sup> Valle Rodas Raúl -Carreteras, Calles y Aeropistas – Universidad de Texas – 6ta edición – 2008 – pag.193

**Gráfico N°02-01**  
Destilación del crudo de petróleo



Fuente: instituto del asfalto



**Figura N° 02-01**  
Diagrama de flujo para asfalto de petróleo  
Fuente: Instituto de Asfalto

### 2.2.1.1.1. CEMENTO ASFÁLTICO (CA) <sup>(2)</sup>

Son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceites fluidicantes de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

Es llamado material termoplástico porque se ablanda con el calor y se endurece si es enfriado. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental de por qué el asfalto es un material importante en el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

El cemento asfáltico debe alcanzar altas temperaturas al igual que los agregados para hacer la mezcla asfáltica y de esta forma obtener una consistencia y calidad necesaria para su uso en pavimentos asfálticos.

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación pluvial.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura permitiendo disminuir su espesor.

---

<sup>2</sup>Carreteras, Calles y Aeropistas – Raúl Valle Rodas – Universidad de Texas – 6ta edición – 2008 – pag.193

**Tabla N° 02-01**  
**Utilización del Concreto Asfáltico Según la Temperatura**

GRADO DE PENETRACIÓN										
	40 –50		60 –70		85 – 100		120 – 150		200 – 300	
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, cleveland, °C	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
Solubilidad de triclorotileno, por ciento	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
TFO 3.2 mm, 63° C, 5 horas										
Perdida por calentamiento, Por ciento	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
Penetración del residuo, Por ciento del original	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Ductilidad del residuo a 25° C. 5 cm por min., cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Prueba del mancha (cuando y como se especifica) (ver nota):										
Solvente normal del nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados									

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en Caliente del Asphalt Institute.

**Tabla N° 02-02**  
**Uso de Cementos Asfálticos en Función al clima**

Pavimentación	CLIMA				
	Muy cálido	Cálido	Moderado	Frío	Frígido
<b>AEROPUERTOS</b>					
Pistas de despegue	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Caminos auxiliares	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Aparcamientos	60-70	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>CARRETERAS</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150
<b>CALLES</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	85-100	85-100	120-150

Fuente: Tesis “Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas y los Asfaltos Diluidos en mezclas Asfálticas en frío Utilizando agregados del Río Aguaytía-Ucayali”. UNI. Medina Ramírez Víctor.

Las dos cifras indican los límites máximos - mínimos de dureza y/o consistencia del betún asfáltico o la penetración.

## A.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN

### ❖ NORMA DE CONSULTA

MTC E 304 – 2000 (ASTM D 5)

### ❖ OBJETIVO DEL ENSAYO

- Determinar el grado de dureza del cemento asfáltico.
- Determinar la penetración en un tiempo de cinco segundos.

### ❖ FUNDAMENTO TEÓRICO<sup>(3)</sup>

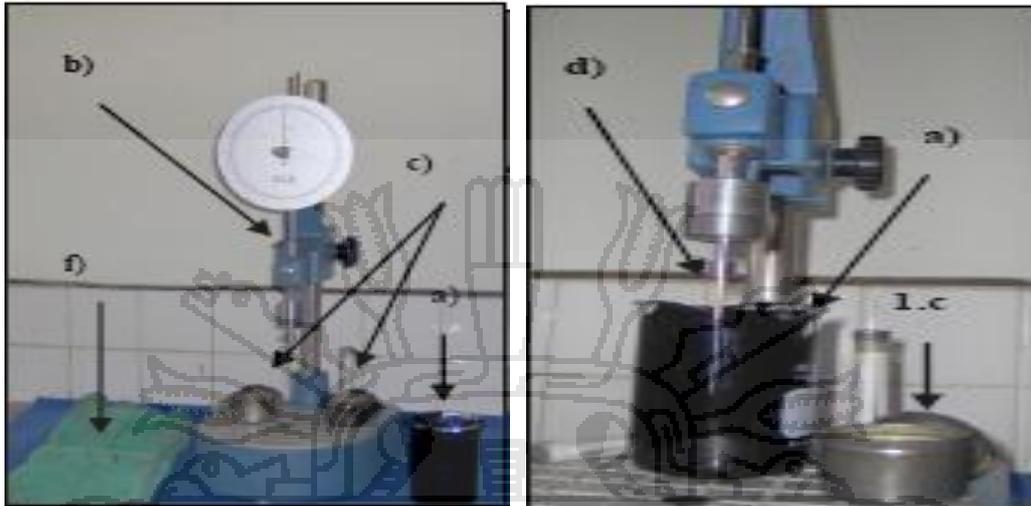
El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencione otra especificación, se entiende que la medida de penetración se hace a los 25 °C, la aguja está cargada con 100 gr. y la carga se aplica durante 5 seg. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro.

El betún asfáltico se clasifica en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación, comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60–70; 85–100; 120–150. Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40 – 50, que se

---

<sup>3</sup>Tecnología del asfalto y prácticas de construcción agregados minerales. Instituto del Asfalto, 1983, p.B10

usa en aplicaciones especiales e industriales, los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método MTC E 304 -2000.



**Figura N° 02-02**

Penetrómetro de Asfalto

**Fuente:** tesis: "guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente"

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| a) Muestra de asfalto      | d) Aguja de penetración |
| b) Penetrometro            | f) Guantes              |
| c) Recipiente para muestra | g) Cápsula              |

### 2.2.1.1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO <sup>(4)</sup>

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

#### ➤ Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través

<sup>4</sup>tesis" Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente" Universidad de el salvador /EIC –agosto 2007

del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Esta es la Prueba de Película Delgada al asfalto.

➤ **Adhesión y cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos, como la relacionada con y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica-no califica”, y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

**2.2.1.2. AGREGADO PÉTREOS <sup>(5)</sup>**

Agregado, también conocido como roca, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los

---

<sup>5</sup>Mezclas Asfálticas – Alejandro Padilla Rodríguez – 2012 – cap. 2 – pag. 05

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

## **A. TIPOS DE AGREGADOS PÉTREOS**

El tipo de agregado pétreo se puede determinar de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

### **A.1. AGREGADOS NATURALES**

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua y los químicos.

La forma de las partículas individuales es un producto de los agentes que actúan sobre ellas por ejemplo. Los glaciares, el movimiento del hielo usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismos, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4 pulgada). La arena se

define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4 pulgada) pero mayor que 0.075 mm (N° 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (N° 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

## **A.2. AGREGADOS DE TRITURACIÓN**

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lechos de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

## **B. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS**

El agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se

aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación.

Las propiedades de los agregados se pueden conceptualizar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados o individuales y otro como conjunto.

### **B.1. PROPIEDADES INDIVIDUALES**

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

### **B.2. PROPIEDADES DE CONJUNTO**

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

## **C. CONSIDERACIONES ACERCA DEL EMPLEO DE LOS AGREGADOS**

### **C.1. NATURALEZA E IDENTIFICACIÓN**

Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

## C.2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

Principalmente la forma y angularidad de las partículas con relación al conjunto del esqueleto mineral, se estudia la distribución granulométrica.

- La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente al esqueleto mineral. Según su forma las partículas pueden clasificarse en: redondeadas, irregulares, angulares, lajosas, alargadas y alargadas - lajosas.
- Los agregados con formas lajosas y alargadas-lajosos (agujas), pueden romperse con facilidad durante la compactación o por la acción del tráfico.
- Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales.

## C.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme, después de su puesta en servicio.

La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste de forma indirecta, ello proporciona una información de la resistencia mecánica del material. La prueba de Los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos.

#### **C.4. AUSENCIA DE IMPUREZAS**

Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción de pavimentos estén libres de impurezas, capaz de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento puede ser una causa para provocar la degradación.

#### **C.5. ADHESIVIDAD**

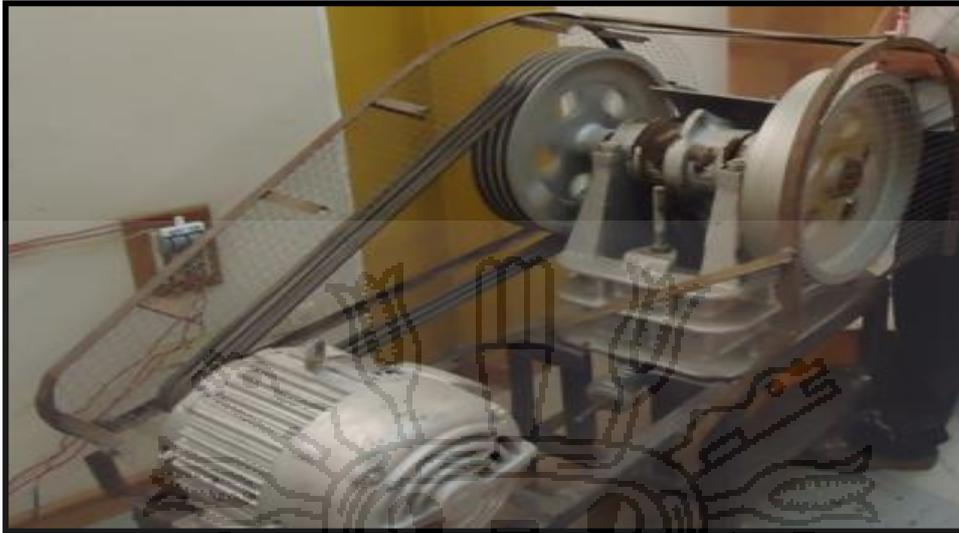
Los agregados pétreos han de ser afines con los aglomerantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento y en caso de problemas de afinidad será necesario el uso de materiales de adherencia, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

#### **D. REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑO DE MUESTRAS DE ENSAYO**

El modo operativo que establece el método de preparación de muestras de campo a tamaños apropiados para los ensayos, son los equipos para minimizar el material pétreo.

##### **D.1. MÁQUINA CHANCADORA**

Esta máquina se usa para la reducción del agregado grueso con tamaños mayores a 1", para obtener agregados menores a 1" y puedan ser usados en la granulometría de la investigación.



**Figura N° 02-03**

Máquina chancadora,

Fuente: Ubicada en le Escuela Profesional de Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano -Puno

## **E. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS SEGÚN SU TAMAÑO**

### **E.1. AGREGADO GRUESO**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4.

#### **❖ GRANULOMETRÍA**

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tienen aberturas de un tamaño específico. Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los

tamices medianos, y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores. La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.



**Figura N° 02-04**

Juego de Tamices

Fuente: tesis: "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente"

#### ❖ **ANGULARIDAD DEL AGREGADO**

La angularidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos.



**Figura N° 02-05**

Agregado chancado en cantera

Fuente: fotografía tomada en la cantera Condorire- Tiquillaca

### ❖ FORMA DEL AGREGADO

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente con un tráfico diferente para las mezclas asfálticas. Lo ideal será que las partículas presenten formas cuboides, evitando las formas planas, alargadas y en forma de lascas, sabiendo que este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico.

### ❖ RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio al tráfico vehicular.

## **E.2. AGREGADO FINO**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200.

### ❖ PROCEDENCIA DEL AGREGADO

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas. Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con una baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas.

### ❖ ADHESIVIDAD DEL AGREGADO

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino–aglomerante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico–físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas.

#### **2.2.1.3. FILLER <sup>(6)</sup>**

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200. El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta especialmente preparado para utilizarlo en mezclas asfálticas.

#### **a. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DEL FILLER**

##### **a.1. FINURA**

Ocupa parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de

---

<sup>6</sup>Mezclas Asfálticas – Alejandro padilla Rodríguez – 2012 – cap. 2 – pag. 14

vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de aglomerante asfáltico.

El polvo mineral consigue cumplir con su función rellenadora, dependiendo del volumen de vacíos existentes, una vez que se haya compactado la estructura granular en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

### **a.2. MODIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO**

El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del aglomerante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.

### **a.3. ACCIÓN ESTABILIZANTE FRENTE AL AGUA**

Incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular, evitando el acceso del agua al interior y por otro lado algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el aglomerante asfáltico.

La acción estabilizante frente al agua depende además del tamaño, forma de las partículas y el comportamiento reológico de la misma.

## **b. PROPIEDADES DEL POLVO MINERAL**

En la interface filler-asfalto y en el comportamiento de la mezcla asfáltica tienen que ver las propiedades físicas y químicas tanto como las características geométricas, absorción, adherencia, etc.

La irregularidad geométrica (forma, angulosidad y textura de superficie), es uno de los aspectos más importantes en el papel del filler dentro de la mezcla. La irregularidad geométrica afecta directamente al contenido óptimo de asfalto, las características de interface del mastico y su comportamiento reológico. Todos estos aspectos influyen directamente en el comportamiento estructural y mecánico de las mezclas asfálticas.

### **2.2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS <sup>(7)</sup>**

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de capas de rodadura y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica para los usuarios, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño de mezclas asfálticas:

- La Función, que determina la resistencia de los materiales y el espesor de la capa que emplearemos en la construcción.
- La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir en la capa de rodadura, para que resulten seguras y confortables. A esta capa se le denomina pavimento.

#### **2.2.2.1. FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Las mezclas asfálticas sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales.

---

<sup>7</sup>Mezclas Asfálticas – Alejandro Padilla Rodríguez – 2012 – cap. 3 – pag. 40

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, como son temperatura y duración de la carga.

Las cualidades residen fundamentalmente en su superficie de su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción como:

1. La adherencia del neumático al pavimento.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura.
8. El envejecimiento de los vehículos.

Actualmente la geología de las mezclas están bien estudiadas tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, como una consecuencia práctica inmediata; la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento.

Como resumen se puede decir que en una mezcla asfáltica hay que optimizar las propiedades siguientes:

### **A. ESTABILIDAD**

Capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos inducidos por el tránsito que producen las deformaciones.

### **B. DURABILIDAD**

Capacidad para resistir factores como desintegración de agregados, cambios en las propiedades del asfalto a consecuencia de tránsito y clima.

### **C. RESISTENCIA A LA FATIGA**

Capacidad de soportar los esfuerzos provocados por el tránsito.

### **D. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

Capacidad de la superficie del pavimento cuando se encuentra mojado, para ofrecer resistencia al deslizamiento.

### **E. PERMEABILIDAD ADECUADA**

Resistencia que ofrece al paso del agua.

## **2.2.2.2. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LAS MEZCLAS**

### **ASFÁLTICAS <sup>(8)</sup>**

Una mezcla de concreto asfáltico compactado está compuesta principalmente de agregado asfalto y aire. Las propiedades volumétricas asociadas a la combinación de estos tres componentes son utilizadas para el diseño de mezclas y control de producción. Dado que es poco práctico medir el

---

<sup>8</sup> Ingeniería de Pavimentos - Ing. Menéndez Acurio, José Rafael-ICG

volumen de los elementos que constituyen la mezcla de HMA en el laboratorio o en el campo, las relaciones masa volumen se utiliza para convertir las masas medibles en sus volúmenes correspondientes. La masa de un componente es directamente proporcional a su volumen, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$M = VGP_w$$

Donde:

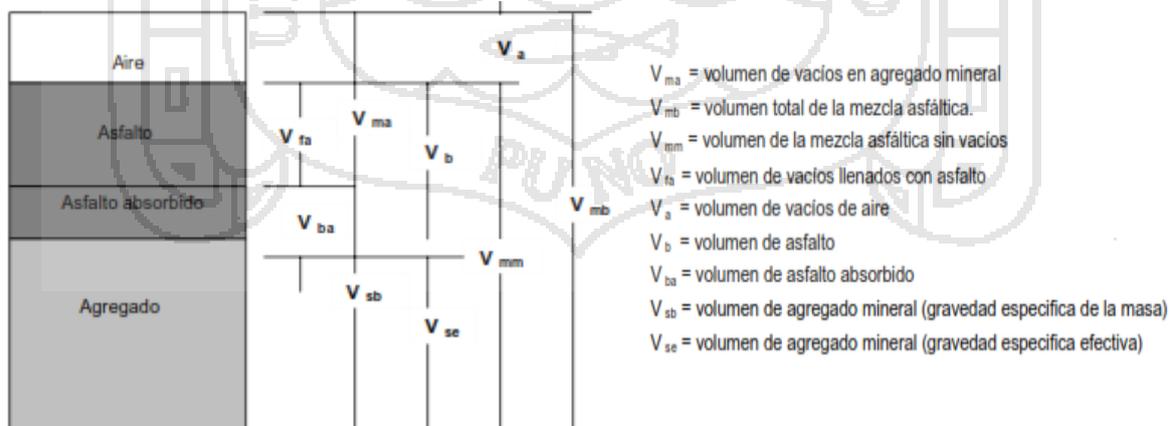
M= masa del componente

V=volumen del componente

G=peso específico del componente

P<sub>w</sub>=densidad del agua(1.0 g/cm<sup>3</sup>)

La relación masa volumen se ilustra en la siguiente figura este diagrama es similar al utilizado en mecánica de suelos salvo que el liquido utilizado en el HMA es cemento asfáltico en lugar de agua. Muestra el componente de aire seguido del asfalto efectivo o disponible del asfalto, luego se tiene el asfalto absorbido por los agregados y finalmente los agregados, el asfalto total de HMA es la suma del efectivo y absorbido.(HMA = mezcla asfáltica en caliente)



**Figura N° 02-06**

Componente del diagrama de compactación de una HMA

Fuente: Ingeniería de Pavimentos - Ing. Menéndez Acurio, José Rafael-ICG

### A. PESO ESPECÍFICO APARENTE (BULK)

La determinación del peso específico aparente es únicamente con mezclas asfálticas compactadas de granulometría densa o que prácticamente no sean absorbentes. (MTC E 514-2000) (ASTM D 2726)

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

A = Peso del espécimen seco en el aire, g.

B-C = Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25 °C.

B = Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca, g.

C = Peso del espécimen en agua, g

**Tabla N° 02-03**  
**Peso específico del agua y factores de conversión K para diferentes**  
**Temperaturas**

Temperatura (°C)	Peso específico de agua	Factor de corrección K
10	0.999728	1.002661
11	0.999634	1.002567
12	0.999526	1.002458
13	0.999406	1.002338
14	0.999273	1.002204
15	0.999129	1.002060
16	0.998972	1.001903
17	0.998804	1.001734
18	0.998625	1.001555
19	0.998435	1.001364
20	0.998234	1.001162
21	0.998022	1.000950
22	0.997801	1.000728
23	0.997569	1.000495
24	0.997327	1.000253
25	0.997075	1.000000

Fuente: MTC E 514-2000

## B. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)

Este método se refiere a la determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimento sin compactar, no incluye vacíos de aire. El método incluye también una versión de ensayo rápido para determinar el peso específico relativo, que puede emplearse en un laboratorio de terreno o de planta. (MTC E 508-2000)(ASTM D 2041)

$$\text{Peso Específico Teórico Máximo} = \frac{A}{(A+D-E)}$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, g.

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C (77° F), g.

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25° C (77° F), g.

## C. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y filler todos tienen diferentes gravedades específicas y para el agregado total se calcula usando:<sup>9)</sup>

$$A = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{\frac{P_1}{Pe_1} + \frac{P_2}{Pe_2} + \frac{P_3}{Pe_3} + \frac{P_4}{Pe_4}}$$

Donde:

A= peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

P1,P2,P3,P4= porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

Pe1,Pe2,Pe3,Pe4= peso específico individual del agregado (kg/cm<sup>3</sup>)

<sup>9</sup> Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas- Paul Garnica-public.tec.n°246-Sanfandila-2004-pag.20

#### D. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL(VMA)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA), se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada que incluyen los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. <sup>(10)</sup> (ICG-ingeniería de pavimentos- pág. 160)

$$VMA = 100 - \frac{((P1 + P2 + P3 + P4) * B)}{A}$$

Donde:

VMA = vacíos en el agregado mineral (%)

P1,P2,P3,P4= porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

B = peso específico bulk de la briqueta (gr/cm<sup>3</sup>)

A = peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

#### E. VACÍOS DE AIRE (Va)

Los vacíos de aire (Va), en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada puede determinarse usando. <sup>(11)</sup> (ASTM D 3203, MTC E 505 – 2000) Ver en el anexo 01.

$$Va = 100 - \left( \frac{1 - B}{C} \right)$$

Donde:

Va= vacíos de aire (%)

B= peso específico bulk de la briqueta (gr/cm<sup>3</sup>)

C= peso específico Teórico máximo - RICE (gr/cm<sup>3</sup>)

<sup>10</sup> Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas- Paul Garnica-public.tec.n°246-Sanfandila-2004-pag.22

<sup>11</sup> Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas- Paul Garnica-public.tec.n°246-Sanfandila-2004-pag.22

## F. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)<sup>(12)</sup>

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto (VFA), no incluyendo el asfalto absorbido, se determina usando: (ICG-ingeniería de pavimentos-pág. 160)

$$VFA = \frac{(100 * (V.M.A. - V.a.))}{(V.M.A.)}$$

Donde:

VFA= vacíos llenos con asfalto (%)

VMA= vacíos en el agregado mineral (%)

Va= vacíos de aire (%)

El diseño de mezclas Marshall requiere del cálculo de los vacíos en el agregado mineral para mezclas compactadas en función de la gravedad específica bulk del agregado. La gravedad específica efectiva es la base para el cálculo de los vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas. Los vacíos en el agregado mineral (VMA) y los vacíos de aire (Va) se expresan como porcentaje por volumen de mezcla. Los vacíos llenos con asfalto (VFA) es el porcentaje de VMA llenos con asfalto efectivo. El contenido de asfalto puede expresarse como porcentaje del peso total de la mezcla o por peso del agregado de la mezcla.

### 2.2.2.3. GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA <sup>(13)</sup>

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente se ajusta a la gradación MAC.

<sup>12</sup> Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas- Paul Garnica-public.tec.n°246-Sanfandila-2004-pag.24

<sup>13</sup> Manual de Carreteras (EG-2013)sección 423

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido anteriormente, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas desmenuzables según ensayo MTC E- 212 (ASTM C 142). Tampoco deberá contener materia orgánica u otro material.

### A. GRADACIÓN PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la Tabla N° 02-04. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la EG-2013 sección 423.

Tabla N° 02-04  
GRADACIÓN M.A.C.

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

FUENTE: EG-2013 sección 423

### 2.2.3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL

#### MÉTODO MARSHALL

##### 2.2.3.1. METODOLOGÍA

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi en 1943. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos a través de una extensiva investigación y estudios de correlación; mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.<sup>(14)</sup>

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Este método es para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (MTC E 504 - 2000) (ASTM D 1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son: la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.<sup>(15)</sup>

---

<sup>14</sup>Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción Agregados Minerales 2º edición tema c-lección 3 (30) 1983, p.b10

<sup>15</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Mezclas Bituminosas – MTC E - 504

La finalidad del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente como densidad y contenido de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

#### **2.2.3.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

Los agregados, el asfalto y filler presentan diferentes características, estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer caso en el método de diseño Marshall, es determinar las cualidades como son: estabilidad, fluencia que debe tener la mezcla de asfalto en caliente.

##### **2.2.3.2.1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL**

La selección de material para los ensayos consta de reunir muestras del agregado, grado de asfalto y tipo de filler que van a ser usados en la mezcla asfáltica en caliente. Es importante que la muestra de asfalto utilizado en laboratorio tenga características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en campo, lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado y filler, la razón es simple; los datos extraídos de los procedimientos de ensayo en laboratorio determinan la fórmula de diseño para la mezcla de un pavimento y no tenga una falla prematura antes de su vida útil.

## A. GRANULOMETRÍA<sup>(16)</sup>

El objetivo de la granulometría es obtener cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos, finos y filler de un material por medio de tamices de abertura cuadrada.

Se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

- **MUESTRA**

La muestra para el ensayo se obtendrá por medio de cuarteo, manual o mecánico. La muestra para el ensayo debe tener la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. La cantidad de muestra para el agregado fino será como mínimo 300gr. después de ser secado. La cantidad de muestra para el agregado grueso después de ser secado, será aproximadamente como sigue en la siguiente tabla.

**Tabla N° 02 – 05**  
**Peso de la muestra por tamaño máximo nominal, para ensayo granulométrico.**

Tamaño máximo nominal de abertura cuadrada		Peso mínimo de la muestra de ensayo
Mm	pulg.	kg.
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19	(3/4)	5
25	(1)	10
37.5	(1 1/2)	15
50	(2)	20
63	(2 1/2)	35
75	(3)	60

Fuente: EM-2000, MTC E – 204

<sup>16</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTC E– 204

- **PROCEDIMIENTO**

Se selecciona un grupo de tamices adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquese los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano.

Limítese la cantidad de material en un tamiz de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

Continúese el tamizado por un periodo suficiente de la forma que después de terminado no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un minuto de tamizado continuo a mano tórmese individualmente cada tamiz con su tapa y fondo que ajuste sin holgura.

Se golpea secamente el lado del tamiz con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considera satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4.75 mm (N° 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una sola capa.

El peso total después del tamizado debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3% basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

## B. GRAVEDAD ESPECÍFICA <sup>(17)</sup>

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de las 24 horas de sumergidos en agua de los agregados con tamaño igual a 4.75 mm (tamiz N° 4)

### • MUESTRA

Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la Tabla 02-06, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

**Tabla N° 02 – 06**  
**Peso de la muestra por tamaño máximo nominal, para gravedad específica.**

Tamaño máximo nominal de abertura cuadrada		Peso mínimo de la muestra de ensayo
mm	pulg.	kg.
Hasta 12.5	(1/2)	2
19	(3/4)	3
25	(1)	4
37.5	(1 1/2)	5
50	(2)	8
63	(2 1/2)	12
75	(3)	18
90	(3 1/2)	25

Fuente: EM-2000, MTC E 206

### • PROCEDIMIENTO

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas, se

<sup>17</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 206

seca a continuación en un horno eléctrico de 100°C- 110°C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas.

Una vez fría se pesa repitiendo el secado hasta lograr peso constante y se sumerge en agua también a temperatura ambiente, durante  $24 \pm 4$  horas.

Después del proceso de inmersión se saca la muestra del agua y se seca las partículas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible secando individualmente los fragmentos mayores.

Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados, determinando el peso de la muestra en el estado de saturado con superficie seca (S.S.S.).

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergido en el agua a una temperatura entre 21° y 25°C y un peso unitario de  $0.997 \pm 0.002$  gr/cm<sup>3</sup>. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente.

La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.

Se seca la muestra en horno de 100°C - 110°C, se retira al aire libre a una temperatura ambiente durante 3 horas y se determina su peso seco hasta obtener un peso constante.

### C. PARTÍCULAS DE CARAS FRACTURADAS <sup>(18)</sup>

Describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso de material que presenta una, dos o máscaras fracturadas de las muestras de agregado pétreo.

- **MUESTRA**

La muestra para el ensayo deberá ser representativa y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra.

Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada, separándose por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamices 3.75 mm y 9.5 mm (1 1/2" y 3/8")

El peso de la muestra dependerá del tamaño del agregado:

**Tabla N° 02-07**  
**Peso de la muestra por tamaño máximo nominal, para ensayo de caras fracturadas.**

Tamaño del agregado		Peso (gr)
37.5 a 25.0 mm	(1 1/2" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm	(1" a 3/4")	1500
19.0 a 12.5 mm	(3/4" a 1/2")	1200
12.5 a 9.5 mm	(1/2" a 3/8")	300

Fuente: EM-2000, MTC E - 210

- **PROCEDIMIENTO**

Extiéndase la muestra en un área amplia para inspeccionar cada partícula, si es necesario lávese el agregado sucio. Esto facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.

<sup>18</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM- 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 210

Prepare tres recipientes para separar las partículas redondeadas, las que tengan una cara y más de dos caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña no se clasificará como “partícula fracturada”.

Una partícula se considera como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparente esta fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza sino por procedimientos mecánicos.

#### **D. PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS** <sup>(19)</sup>

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.

De acuerdo con este método se define como índice de aplanamiento de una fracción de agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima es inferior a  $3/5$  de la dimensión media de la fracción.

Se define índice de alargamiento de una fracción de agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a  $9/5$  de la dimensión media de la fracción. Este método no es aplicable a las fracciones del agregado con tamaño inferior a 6.3 mm ( $1/4$ ”).

---

<sup>19</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 221

- **PROCEDIMIENTO**

Para separar el material con forma aplanada de cada fracción de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponde a la fracción que se ensayó.

La cantidad total de las partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente se pesa (P) con aproximación del 0.1% del peso total de la muestra en ensayo.

#### **E. SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES <sup>(20)</sup>**

Establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en mezclas bituminosas. Este método sirve para efectuar controles en obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación de la existencia de sales.

- **PROCEDIMIENTO**

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

Del agua total de lavado se toma una alícuota y la cual se cristaliza para determinar la cantidad de sales presentes.

---

<sup>20</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 219

## F. ABRASIÓN LOS ÁNGELES <sup>(21)</sup>

Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

### • PROCEDIMIENTO

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante.

Una vez cumplido el número de vueltas prescrito se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12).

El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca al horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1gr.

---

<sup>21</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 2221

Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo.

La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida, medida en más del 0.2% del peso de la muestra original.

### **G. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS <sup>(22)</sup>**

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del peso específico aparente y real a 23 °C (73.4°F) así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm (tamiz No. 4).

- **PROCEDIMIENTO**

Después de homogenizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No. 4), se selecciona por cuarteo, una cantidad aproximada de 1 Kg, que se seca en el horno a 100 - 110 °C, se enfría luego al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 ±4 horas. Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente

---

<sup>22</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM- 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 205

para que el secado sea uniforme y continuando con el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

Al observar visualmente que el agregado se está aproximando a una condición de secado, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará con el secado de la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca. El procedimiento descrito anteriormente solamente es válido cuando el desmoronamiento superficial no se produce en la primera prueba, por la falta de seguridad en el estado de humedad superficial que ello comportaría. En este caso, deberán añadirse al agregado algunos centímetros cúbicos de agua, mezclar completamente toda la muestra y dejarla tapada para evitar la evaporación durante una media hora. A continuación se repiten de nuevo los procesos de secado y pruebas del cono, explicados anteriormente, hasta determinar el estado correcto de saturado con superficie seca.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500 gr del agregado fino, preparado como se ha descrito anteriormente, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 % de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o

invirtiéndolo si es preciso, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura entre 21° y 25°C durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua), con una aproximación de 0.1 g.

Pueden emplearse cantidades de muestra inferiores a los 500 gr especificados en el procedimiento general (aunque nunca menos de 50 gr). En los casos en que se utilice una cantidad inferior a 500 g, los límites de exactitud para las pesadas y medidas deberán reducirse en las proporciones correspondientes.

Si se desea, el peso de agua necesaria para el enrase final del picnómetro aforado puede determinarse volumétricamente con una bureta que aproxime 0.1 cm<sup>3</sup>. En estos casos, el peso total del picnómetro enrasado será:

$$C = 0.9975.Va + S + M$$

En la cual:

C = Peso total del picnómetro con muestra y agua hasta el enrase, en gramos.

S = Peso de la muestra saturada, con superficie seca, en gramos.

Va = Volumen de agua añadida, en cm<sup>3</sup>.

M = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

Tomándose el valor 0.9975 como promedio del peso específico del agua en el intervalo de temperaturas utilizado.

Se saca el agregado fino del matraz y se hace secar en el horno a 100 - 110 °C, hasta peso constante; se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 1-½ horas y se determina finalmente su peso seco.

#### **H. EQUIVALENTE DE ARENA** <sup>(23)</sup>

Determina la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso, en los suelos o agregados finos.

- **PROCEDIMIENTO**

Viértase la solución de cloruro de calcio en el cilindro de plástico graduado a una altura de  $101.6 \pm 2.54$  mm ( $4 \pm 1$ " ) con ayuda del embudo, viértase la muestra del ensayo en el cilindro graduado. Golpéese varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente y déjese en reposo durante  $10 \pm 1$  minuto.

Al finalizar los 10 minutos (Periodo de humedecimiento) tápese el cilindro con un tapón y suéltese el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.

Inmediatamente después de la operación de agitación, colóquese el cilindro verticalmente sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese el cilindro y el contenido en reposo por 20 min. Al final de los 20 min. Del periodo de sedimentación, léase y anótese el nivel de la parte superior de la suspensión.

Cuando el nivel de las lecturas, de arcilla o arena, esté entre líneas de graduación, se anotará la lectura correspondiente a la graduación inmediatamente superior.

---

<sup>23</sup>Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Agregados – MTCE – 114

**I. RESUMEN DE REQUERIMIENTOS PARA AGREGADOS GRUESO Y FINO SEGÚN NORMA MTC – EG 2013**

**Tabla N° 02 – 08  
Requerimiento para agregados gruesos**

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (M.S.N.M.)	
		< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18 máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Peso Específico - Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: E.G -2013

\*la notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50 % tiene dos caras fracturadas

**Tabla N° 02 – 09  
Requerimiento para agregados finos**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angulosidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Gravedad Específica - Absorción	MTC E 205	0.50%max.	0.50%max

Fuente: E.G -2013

### 2.2.3.2.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS (BRIQUETA)

Las briquetas de ensayo de las mezclas asfálticas son preparadas haciendo que cada uno contenga un diferente porcentaje de asfalto y incrementándose cada vez más en un 0.5 % de mismo.

Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico.



**Figura N° 02 – 07**

Preparación mezcla de una muestra de asfalto

Fuente: tesis: "GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE"

#### A. PREPARADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO<sup>(24)</sup>

El cemento asfáltico se calienta hasta alcanzar una viscosidad de  $170 \pm 20$  centistokes y el agregado hasta alcanzar una temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$ , para que finalmente se mezclen hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas.

El porcentaje de asfalto se determina haciendo pruebas como por ejemplo: Un punto nos representa el promedio de 3 briquetas elaboradas con un 5 % de

<sup>24</sup> Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000, - sección 05 Mezclas Bituminosas –MTC E - 504

cemento asfáltico (con referencia al peso de la mezcla) y de ahí se va aumentando en 0.5 % el porcentaje de asfalto. De esta manera obtener nuestros 7 puntos como mínimo para representarlos en las diferentes gráficas de porcentaje de asfalto.

## B. COMPACTACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas en calientes se colocan en los moldes Marshall pre-calentados, como preparación para la compactación.

Las muestras son compactadas mediante golpes con el martillo Marshall de compactación, el número de golpes a aplicarse será de 35,50 o 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsense 50 golpes, (MTC E 504), para nuestra investigación (estudio) se hizo 50 golpes, en ambas caras de la briqueta. Así una briqueta recibe realmente 100 golpes y por último después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes. Ver anexo 02.



**Figura N° 02 – 08**

Compactación con martillo Marshall

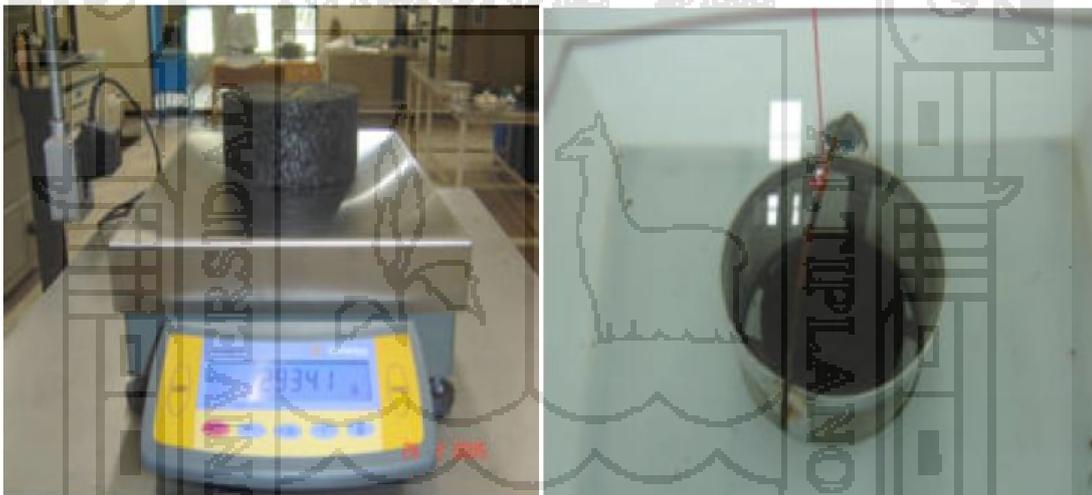
Fuente: tesis: "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente"

## C. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO MARSHALL

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

### C.1. PESO ESPECÍFICO APARENTE (BULK)

Se determina cuando las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, esta medición de peso específico total se determina usando el procedimiento discreto en la norma. MTC E 514 ya descrito y explicado en la parte delante de Ensayos de controles de calidad en la planta de asfalto.



**Figura N° 02 – 09**

Determinación peso específico aparente Bulk

Fuente: tesis: "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente"

### C.2. ENSAYOS DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla, la fluencia mide la deformación bajo la carga que ocurre en la mezcla. El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

Las probetas son sumergidas en baño maría de agua a 60 °C, a un tiempo de 30 a 40 minutos. Las probetas son removidas del baño, secadas y colocadas rápidamente en el equipo Marshall, el aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y diales de carga y deformación (fluencia).



**Figura N° 02 – 10**

Aparato MARSHALL

Fuente: Escuela Profesional de Ingeniería Civil-UNA-Puno

La carga es aplicada a la briqueta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle, la falla está definida como la carga máxima que la briqueta va a resistir.

La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura de la deformación se registra como la fluencia Marshall, que no es otra cosa que la deformación diametral vertical de la muestra.

### ❖ VALOR DE ESTABILIDAD MARSHALL

El valor de estabilidad Marshall es una medida bajo carga y por lo que una briqueta cede o falla totalmente. Durante un ensayo la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior o inferior del aparato se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura del dial.

Luego se debe suspender la carga una vez obtenida la carga máxima, la carga máxima indicada mediante el dial es el valor de estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto sería mucho mejor.

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

### ❖ VALOR DE FLUENCIA MARSHALL

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación diametral de la briqueta. La deformación está medida por un dial que nos indica la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son considerados demasiados frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquéllas que tienen valores altos de fluencia son

consideradas prácticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas de tránsito.

### **C.3. ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS**

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

#### **❖ ANÁLISIS DE VACÍOS**

Los vacíos son pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas del agregado revestidas de asfalto, el porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada briqueta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de pesos específicos de asfalto y agregado de la mezcla con un margen apropiado, para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado o directamente mediante el ensayo de densidad teórica máxima (RICE), efectuado sobre mezclas sin compactar, las cuales son pesadas al aire y al agua.

#### **❖ ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO**

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

#### ❖ ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral VMA, están definidos por los espacios intergranulares de vacíos que se encuentran entre las partículas de los agregados de la mezcla compactada, incluyendo los vacíos de aire, el contenido efectivo de asfalto y se expresan como porcentaje del volumen total de la mezcla. Por lo tanto el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

#### ❖ ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)

Los vacíos llenos de asfalto VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado VMA, que se encuentran llenos de asfalto, el VMA abarca asfalto y aire.

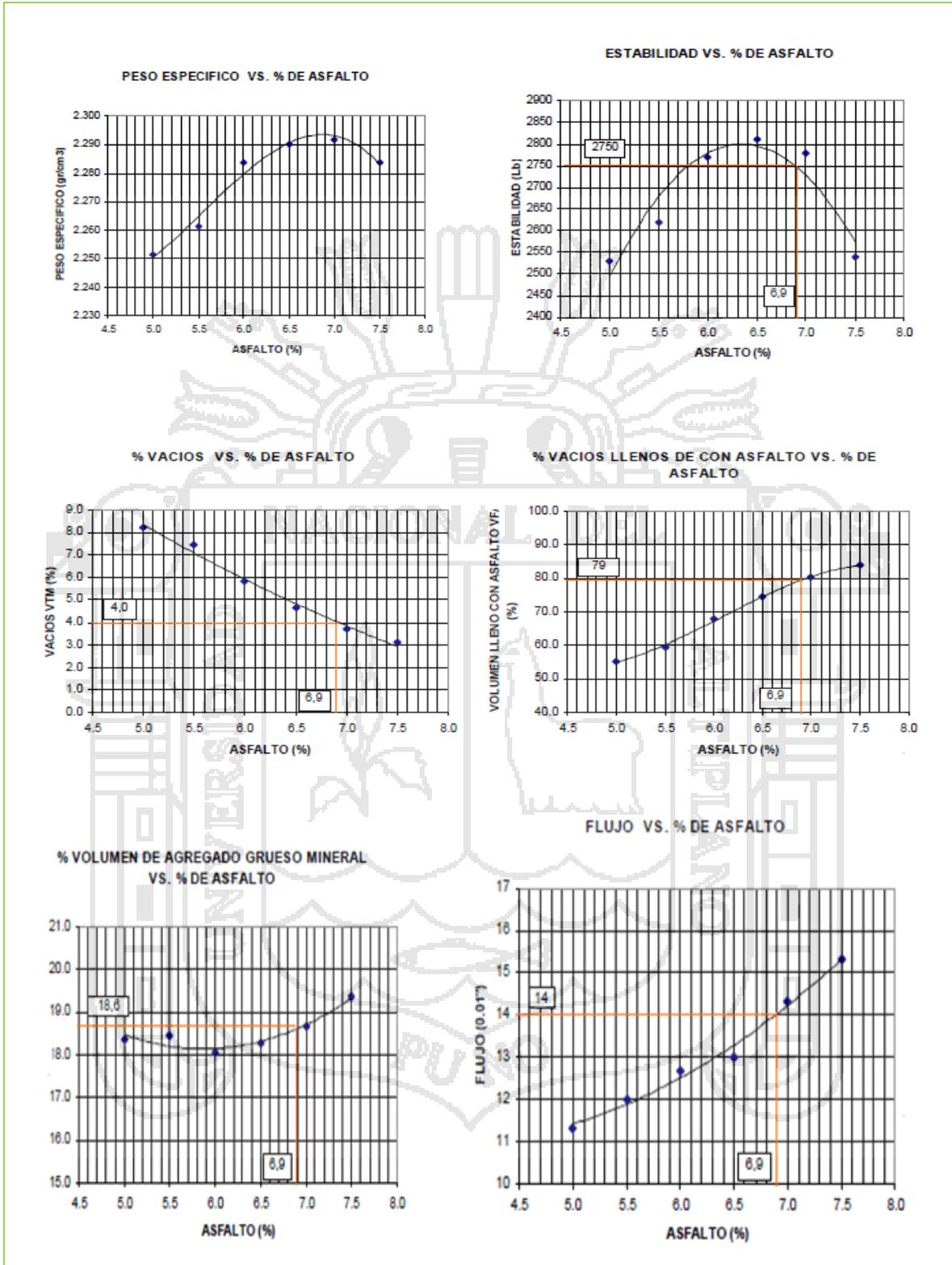
#### 2.2.3.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL

Los técnicos de laboratorio elaboran gráficos de los resultados del ensayo Marshall, para poder entender las características particulares de cada briqueta usada en la serie. Mediante el estudio de todas las gráficas ellos pueden determinar qué porcentaje de asfalto sería el más adecuado para las condiciones y criterios para el pavimento terminado.

Las proporciones de asfalto y agregado se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final, las gráficas del ensayo Marshall reflejan los resultados.

Cada gráfico tienen los resultados de las diferentes pruebas. Los valores de estos resultados están representados por puntos.

Gráficas de resultados del ensayo Marshall



**Gráfico N° 02 – 02**  
 Gráficas del ensayo Marshall  
 Fuente: Ingeniería de Pavimentos-ICG-pag.163

❖ **RESUMEN DE ESPECIFICACIONES** <sup>(25)</sup>

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias de mezclas de concreto bituminoso que se indican.

**Tabla N° 02 – 10**  
**Requisitos para mezcla de concreto bituminoso**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla según ESAL		
	Pesado (A)	Intermedio (B)	Ligero (C)
Marshall(MTC E 504)			
Compactación numero de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (min)	8,15 KN	5,44KN	4,53KN
Flujo 0,01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505) (*)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	(Ver Tabla 02 - 11)		
Relación Estabilidad / Flujo (**)	1700 – 4000		

(\*) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3 000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(\*\*) Para zonas con climas fríos es deseable que la relación Estabilidad / Flujo sea de la menor magnitud posible, tendiéndose hacia el límite inferior.

**Tabla N° 02 – 11**  
**Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)**

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm. (N° 8)	21	-
4,75 mm. (N° 4)	18	-
9,5 mm. (3/8")	16	15
12,5 mm. (1/2")	15	14
19 mm. (3/4")	14	13
25 mm. (1")	13	12
7,5 mm. (1 1/2")	12	11
50 mm. (2")	11.5	10.5

○ Los valores de esta Tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo nominal.

<sup>25</sup>Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras EG – 2013, Cap 4 suelos y pavimentos – sección 423– pag. 11



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. METODOLOGÍA**

El tipo de investigación a realizar será una investigación DESCRIPTIVA – EXPERIMENTAL, puesto que se desea conocer las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, el cual busca optimizar el porcentaje de asfalto para una mezcla de agregados con tamaño nominal diferente.

### **3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. HIPÓTESIS GENERAL**

El tamaño máximo del agregado grueso influye en el diseño una mezcla asfáltica en caliente.

#### **3.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El porcentaje óptimo de asfalto en los diseños de mezclas asfálticas en caliente varía con el tamaño máximo del agregado grueso.
- La estabilidad y fluencia de cada diseño de mezcla asfáltica en caliente depende del tamaño máximo del agregado grueso.
- Los porcentajes de vacío y densidad de las mezclas asfálticas en caliente varían con el tamaño máximo de agregado grueso.

### **3.3. VARIABLES COMO INDICADORES DE CONTROL**

➤ Variable Independiente :

A. Tamaño máximo del agregado grueso

B. Porcentaje de asfalto

➤ Variable Dependiente :

Estabilidad y Fluencia Marshall

### 3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS PARA LA INVESTIGACIÓN<sup>(26)</sup>

#### 3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

En la investigación científica es habitual que se empleen muestras como medio de acercarse al conocimiento de la realidad sin embargo, para que esto sea posible y para que a través de las muestras sea posible reproducir el universo con la precisión que se requiera en cada caso es necesario que el diseño muestral se atenga a los principios establecidos en las técnicas del muestreo. Antes de pasar a describir algunos de los métodos de muestreo más habituales es necesario presentar algunos conceptos importantes previos que permitan una mejor comprensión del tema.

##### 3.4.1.1. POBLACIÓN

Es el conjunto de elementos o individuos que reúnen las características que se pretenden estudiar. La población considerada en muestra investigación son las canteras propias del lugar y están en la zona de influencia de la carretera Puno - Tiquillaca.

La cantera Condorire para los agregados gruesos triturados, fino triturado, la cantera del río Vilque para fino arena natural y filler (cal hidratada) son materiales utilizados para cumplir con las especificaciones y criterios para la producción de mezclas asfáltica en caliente.

---

<sup>26</sup>Roberto Hernández Sampieri, Metodología de la Investigación

### 3.4.1.2. MUESTRA

Es el grupo de individuos que realmente se estudiarán, es un subconjunto de la población. Para que se puedan generalizar a la población los resultados obtenidos en la muestra, ésta ha de ser «representativa» de dicha población. Para ello, se han de definir con claridad los criterios de inclusión e exclusión y sobre todo, se han de utilizar las técnicas de muestreo apropiadas para garantizar dicha representatividad.

Muestreo Aleatorio Simple: Es un procedimiento de toma de muestra, en el que todas las muestras tienen igual probabilidad de ser seleccionadas, empleando algún procedimiento del azar: sorteo, extracción al azar, números aleatorios, etc. para formar parte de la muestra. Para muestra de investigación tomamos muestras de cantera de agregado pétreo y arena natural por estar a menor distancia a la carretera Puno-Tiquillaca.

### 3.5. TIPO DE MATERIAL EXPERIMENTAL PARA LA INVESTIGACIÓN

La unidad experimental para este es el espécimen o briqueta, que son los objetos a los cuales se van aplicando los experimentos y tratamientos.

Los especímenes han sido preparados a través de una combinación de agregados minerales, de acuerdo a las proporciones que se especifican en los diseño, con cemento asfáltico PEN 120-150, conforme al diseño experimental planeado que se describe en adelante.

**3.6. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

**3.6.1. DETERMINACIÓN ESTABILIDAD / FLUENCIA MARSHALL**

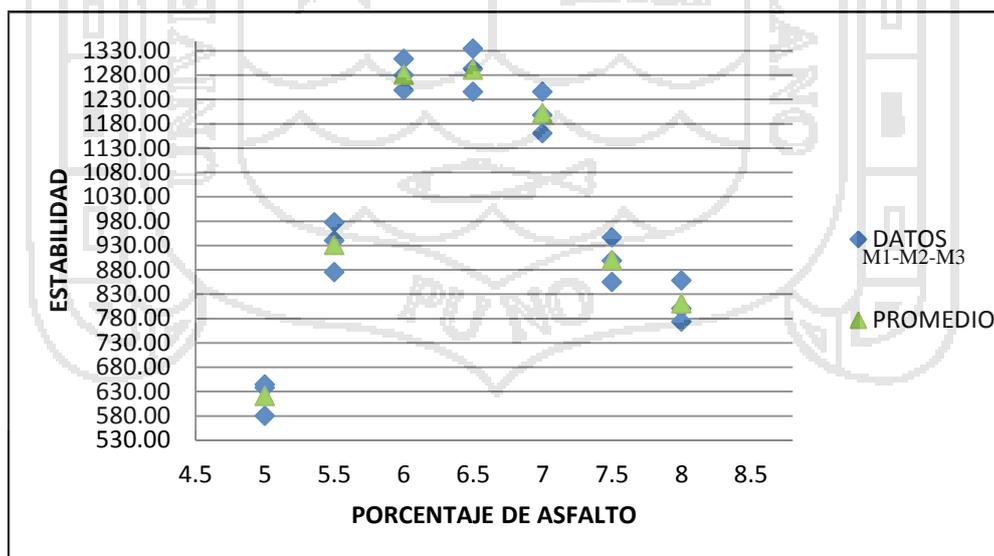
**3.6.1.1. DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD**

Se hallará la distribución por el método “t” Student para el ensayo de estabilidad y fluencia Marshall tomando en cuenta tres muestras con un mismo porcentaje de asfalto(método Marshall), considerando la tabla de Distribución “t” de Student (anexo 2) y poder validar las hipótesis planteadas en la tesis.

**Tabla N° 03-01  
ANÁLISIS DE DATOS DE ESTABILIDAD MARSHALL  
Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”**

% Asfalto	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
M-1	579.13	976.61	1312.94	1292.55	1197.43	854.31	799.95
M-2	636.89	874.69	1278.97	1333.32	1160.06	898.47	772.78
M-3	643.68	939.24	1248.39	1244.99	1244.99	946.04	857.71
Promedio	620	930	1280	1290	1201	900	810

**FUENTE:** Los datos presentados son resultados obtenidos de los ensayos, los cuales se presentan en los anexos.



\*El cálculo ver en el anexo 08

**Gráfico N° 03-01**

Dispersión de datos de Estabilidad - Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”  
Fuente: de los datos obtenidos en laboratorio

**Procesamiento de datos:**

- **Número de Muestras :**

$$N = 3$$

- **La Media Aritmética :**

$$\bar{x} = \frac{579.13 + 636.89 + 643.68}{3}$$

$$\bar{x} = 620$$

- **La Varianza :**

$$\sigma^2 = \frac{(579.13 - 620)^2 + (636.89 - 620)^2 + (643.68 - 620)^2}{2}$$

$$\sigma^2 = 1258.18$$

- **La Desviación Muestral :**

$$s = \sqrt{\sigma^2}$$

$$s = \sqrt{1258.18}$$

$$s = 35.47$$

- **Nivel de Confianza**

$$=95\% \Leftrightarrow \alpha = 5\%$$

$$t_{\frac{\alpha}{2}}; n-1 = t_{2.5; 2} = 4.303$$

- **Intervalo de Confianza**

El objetivo del intervalo de confianza es para estimar media poblacional con una confianza del 95 %.

$$IC = \bar{x} \pm t(\alpha/2, v) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

IC = intervalo de confianza

$\bar{x}$  = media muestral

$t(\alpha/2, v)$  = valor obtenido de la tabla de distribución "t" (anexo 02)

s = desviación muestral "t"

n = tamaño de la muestra

$\alpha$  = nivel de significancia

$1 - \alpha$  = nivel de confianza

v = grados de libertad

$\mu, \bar{x}$  = media poblacional o media muestral

Se tiene que:

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$\bar{x} - t\left(\frac{\alpha}{2}, v\right) * \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t\left(\frac{\alpha}{2}, v\right) * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$620 - 4.303 * \frac{35.47}{\sqrt{3}} < \mu < 620 + 4.303 * \frac{35.47}{\sqrt{3}}$$

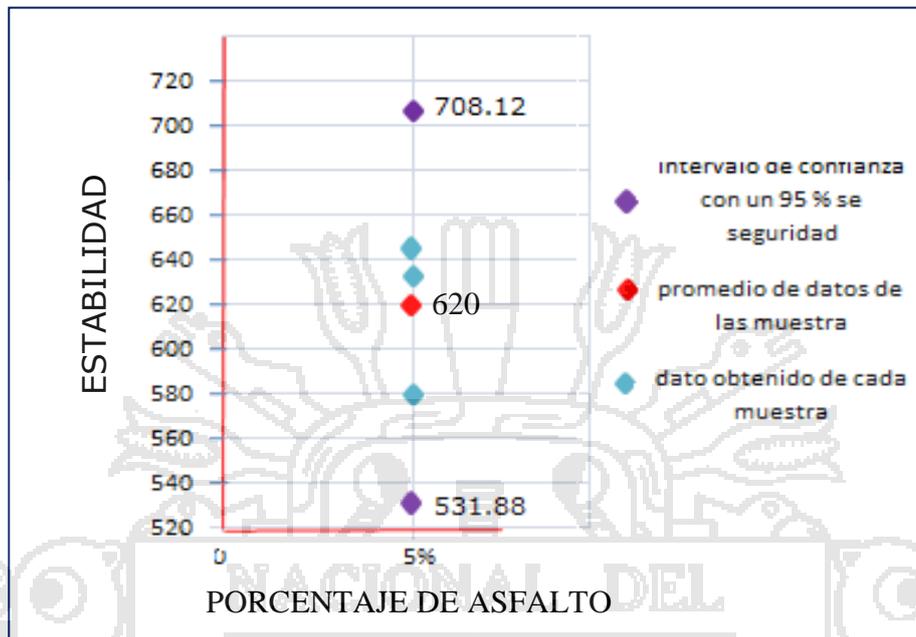
$$\mu = 620 \pm 88.11$$

$$531.88 < \mu < 708.12$$

### INTERPRETACIÓN:

Que la Estabilidad en las briquetas de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1" y con porcentaje de asfalto del 5%, van estar entre (531.88 - 708.12), con un 95% de seguridad. Tabla de Distribución t de Student, ver anexo 02

**ANÁLISIS DE DATOS DE ESTABILIDAD MARSHALL  
Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”**



**Gráfico N° 03-02**  
Análisis de datos de estabilidad Marshall (Distribución t de Student)  
Fuente: de los datos obtenidos en laboratorio

**3.6.1.2. DETERMINACIÓN DE LA FLUENCIA**

**Tabla N° 03-02**  
**ANÁLISIS DE DATOS DE FLUENCIA MARSHALL**  
**Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”**

% Asfalto	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
M-1	3.27	3.75	3.75	4.00	4.00	4.25	4.50
M-2	3.25	3.75	3.75	4.00	4.25	4.25	4.50
M-3	3.23	3.50	3.75	3.75	4.00	4.50	4.50
Promedio	3.25	3.67	3.75	3.92	4.08	4.33	4.50

**FUENTE:** Los datos presentados son resultados obtenidos de los ensayos, los cuales se presentan en los anexos.

**INTERPRETACIÓN:**

Que la fluencia en las briquetas de mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1” y con porcentaje de asfalto del 5%, van estar

entre (3.2 – 3.3), con un 95% de seguridad. Tabla de Distribución t de Student, ver anexo 02

**Tabla N° 03-03**  
**VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS PARA ESTABILIDAD MARSHALL**  
**Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”**

Variables	Grupo de Control	Grupo Experimental	PRUEBA DE HIPOTESIS
Prueba			
<b>ESTABILIDAD</b>	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 5.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 6 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 6.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 7 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 7.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 8 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1

**Tabla N° 03-04**  
**VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS PARA FLUENCIA MARSHALL**  
**Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso de 1”**

Variables	Grupo de Control	Grupo Experimental	PRUEBA DE HIPOTESIS
Prueba			
<b>FLUENCIA</b>	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 5.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 6 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 6.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 7 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 7.5 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1
	AGREGADO MÁXIMO NOMINAL 1"	PORCENTAJE DE ASFALTO 8 %	SE ACEPTA LA HIPÓTESIS H1

### 3.6.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

El porcentaje óptimo de asfalto se determina observando las gráficas que se trazaron con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos para cada tamaño máximo de agregado grueso, a continuación se presenta un resumen de valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto, los cuales demuestran que, para cada tamaño máximo de agregado se tiene diferente porcentaje óptimo de asfalto, los datos para obtener la tabla 03-05 se ven en los anexos 05,07,08.

**Tabla N° 03-05**  
**Resumen de Valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto**

CUADRO RESUMEN DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO (% OPT. ASF.)						
N°	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	CANTERA CONDORIRE		CANTERA VILQUE	FILLER	PEN 120 - 150
		AGR. GRUESO	AGR. FINO CH.	AGR. FINO NAT.	CAL. HIDR.	% OPT. ASF.
1	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1"	45.96%	27.27%	16.01%	4.36%	6.40%
2	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"	36.09%	34.46%	18.55%	4.00%	6.90%
3	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1/2"	36.02%	34.38%	18.51%	3.99%	7.10%
4	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/8"	21.18%	57.66%	9.39%	4.37%	7.40%

### 3.6.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS

Para poder evaluar el porcentaje de vacíos de cada mezcla asfáltica con diferente tamaño máximo de agregado grueso, se tomará en cuenta las gráficas de porcentaje de vacíos obtenidas mediante el método Marshall, el rango de porcentajes de vacíos con aire (3 a 5 %) indicado por el Manual de Carreteras EG-2013 Sección 423,a continuación se presenta un resumen de valores de porcentaje de vacíos en relación con la Densidad, Porcentaje Óptimo de Asfalto, la Estabilidad, la fluencia, obtenida mediante el método Marshall, los datos para obtener la tabla 03-06 se ven en los anexos 05,07,08.

**Tabla N° 03-06**  
**Cuadro resumen método Marshall**

CUADRO RESUMEN - MÉTODO MARSHALL								
N°	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	% OPT. ASF.	ESTABIL. (E)	FLUENCIA (F)	P. E. A. BULK	(Va)	V. M. A.	V. F. A.
1	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1"	6.40%	1300	4.85	2.2	4.65	14.55	69.3
2	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"	6.90%	1230	4.65	2.195	3.4	15.1	77.8
3	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1/2"	7.10%	1110	4.80	2.19	3.35	15.38	80.6
4	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/8"	7.40%	995	4.30	2.185	2.65	18.88	83.3

### 3.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se entiende por hipótesis a la propuesta de justificación ante determinado fenómeno, elemento o proceso que tome lugar en cualquier ámbito de la existencia (es decir, tanto natural como social). La hipótesis es una de las partes más importantes del proceso de análisis y estudio científico, ya que es a través suyo cuando la teoría comienza a tomar forma, aun si la hipótesis es refutada y anulada. La hipótesis es lo que permite al ser humano dar inicio al proceso de pensamiento mediante el cual se obtendrá cierto tipo de conocimiento.

Donde:

- $H^0$  = hipótesis nula
- $H^1$  = hipótesis alterna

#### **HIPÓTESIS 1**

- $H^0$  = El porcentaje óptimo de asfalto en los diseños de mezclas asfálticas en caliente no varía con el tamaño máximo de agregado grueso.
- $H^1$  = El porcentaje óptimo de asfalto en los diseños de mezclas asfálticas en caliente varía con el tamaño máximo de agregado grueso.

De la tabla 03-05 Resumen de Valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto podemos decir que se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H^1$ )

### **HIPÓTESIS 2**

- $H^0$  = La estabilidad y fluencia no depende del tamaño máximo de agregado grueso
- $H^1$  = La estabilidad y fluencia depende del tamaño máximo de agregado grueso

Como se puede observar las tablas:03-03 y 03-04 de estabilidad y fluencia, podemos decir que se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H^1$ )

### **HIPÓTESIS 3**

- $H^0$  = Los porcentajes de vacíos y densidad de las mezclas asfálticas en caliente no varían con el tamaño máximo de agregado grueso.
- $H^1$  = Los porcentajes de vacíos y densidad de las mezclas asfálticas en caliente varían con el tamaño máximo de agregado grueso.

Como se puede observar la tabla 03-06, resumen de datos método Marshall, podemos decir que se rechaza la hipótesis nula ( $H^0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H^1$ )



**CAPÍTULO IV**  
**DESARROLLO DE**  
**LA INVESTIGACIÓN**

## **CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de nuestro trabajo de investigación está basado en la metodología de investigación que se plantea en el Capítulo III. El cual nos dirige a la realización de ensayos de laboratorio, para obtener datos que serán relacionados directamente con nuestras hipótesis de estudio; para lo cual será necesario recopilar información adicional de evaluación y diagnóstico de conceptos.

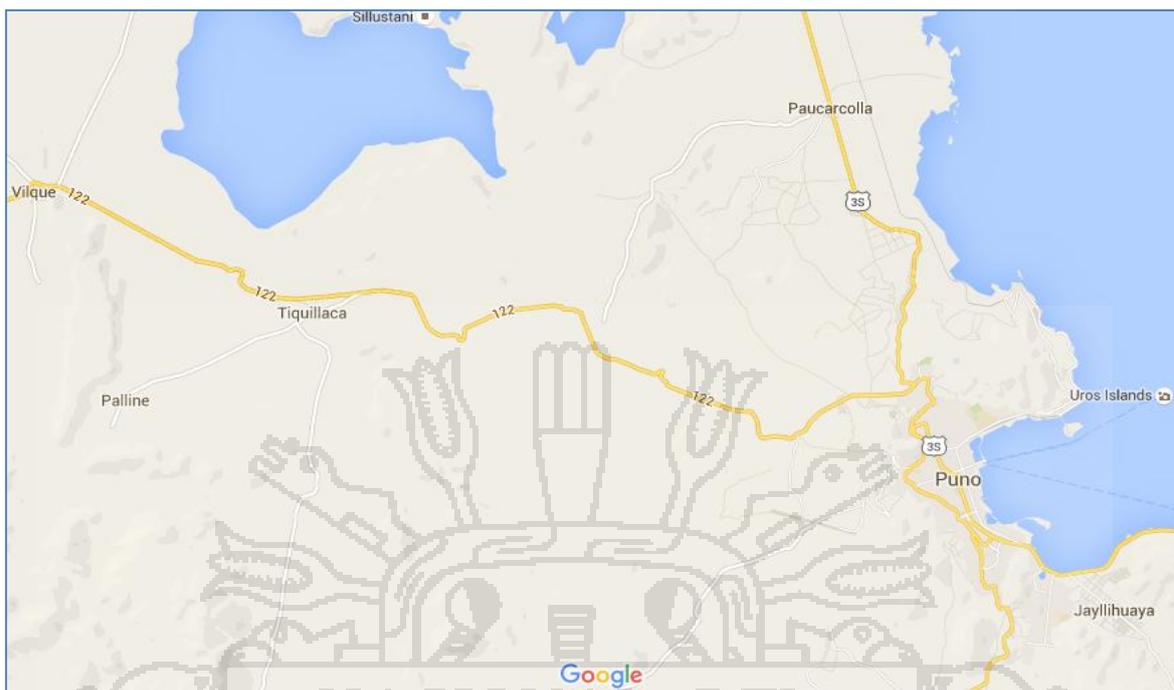
### **4.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

El área de estudio es la carretera Puno - Tiquillaca, debido a que no cuenta con carpeta de rodadura y presenta tratamiento superficial bicapa deteriorada, después de un año de su funcionamiento la carretera Puno –Tiquillaca presenta Problemas como grietas de borde, grietas longitudinales, grietas transversales, baches y pérdida de áridos esto se debió a la falta de parámetros de control de producción y en la parte de diseño de la mezcla asfáltica.

Partiendo desde ese punto de vista, la investigación y estudios se centrarán en el mencionado sector. Realizando un nuevo diseño de mezcla asfáltica en caliente para las condiciones de clima, tráfico y suelo de la mencionada carretera.

#### **4.2.1. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El tramo inicia en el distrito de Puno – sector alto Puno y finaliza con dirección al Nor-Este en el centro poblado de Tiquillaca. Geográficamente se encuentra ubicada en el departamento de Puno, provincia de Puno, con altitudes que varían desde los 3847 m.s.n.m a los 3889 m.s.n.m.



**Figura N° 04 – 01**  
 Carretera Puno - Tiquillaca  
 Fuente: Google Maps



**Figura N° 04 – 02**  
 Carretera Puno –Tiquillaca (actualidad)  
 Fuente: fotos recientes del estado de la carretera

## **4.2.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA**

### **4.2.3.1. PRECIPITACIÓN**

Son todas las formas de humedad que se condensan masivamente en la atmósfera y a consecuencia del enfriamiento de las masas adoptan formas como granizo, nieve, lluvia para finalmente caer en la superficie terrestre y adoptar su forma original de líquido.

### **4.2.3.2. TEMPERATURA**

Este fenómeno se denomina como el grado mayor o menor de calor que presentó un punto específico de la atmósfera, es uno de los elementos más importantes del tiempo y del clima, como son los cambios de presión atmosférica, vientos, contenido de humedad en el aire, formación de las nubes y precipitaciones. La temperatura media anual será de 12°C según Senamhi.

La temperatura no es uniforme en toda la superficie terrestre, sus múltiples variaciones se debe entre muchas causas, latitud, distribución de los continentes, naturaleza del terreno, la razón de temperatura disminuye a 5.5 °C por mil metros de altitud.

### **4.2.3.3. VIENTOS**

Los vientos que se encontraron en la zona del altiplano son considerados suaves con velocidades entre 2.1 m/s a 3.1 m/s, presentándose máximas de hasta 6.6 m/s que se clasifican como brisa fuerte, según la escala BEAUFORT.

#### 4.2.3.4. RELIEVE

El relieve topográfico es empinado por tramos y cuenta con colinas en las partes bajas presentando gradientes moderadas, ocupa las laderas y paredes de los valles interandinos. Cuenta con una Orografía accidentada y en su mayor parte llana, por encontrarse en pleno altiplano.

### 4.3. POTENCIA DE LA CANTERA DE CONDORIRE

#### 4.3.1. UBICACIÓN Y ACCESO

Se encuentra ubicado en el sector denominado Condorire a una distancia de 08+100 km al sur del distrito de Tiquillaca, su acceso es por el pueblo de Tiquillaca por carretera afirmada, la cantera está al margen izquierdo de la carretera Tiquillaca - Condorire.



**Figura N° 04 – 03**  
Ubicación de la cantera Condorire  
Fuente: Google earth

**Tabla N°04-01**  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS CANTERA CONDORIRE**

P	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
P1	15° 50'06.51"	70° 11'01.39"	3877
P2	15° 50'59.84"	70° 11'26.77"	3889
P3	15° 51'52.63"	70° 11'33.06"	3905
P4	15° 52'46.16"	70° 11'46.80"	3932

Fuente: Google Earth

**Tabla N° 04-02**  
**COORDENADAS UTM CANTERA CONDORIRE**

P	X	Y	ALTITUD
P1	373049.00	8248557.87	3877
P4	372061.46	8244416.86	3932

Fuente: Google Earth

#### **Tramo: Puente Foncodes-Condorire**

Longitud aproximada = 5267.16 m

Perímetro aproximado = 11.728.31 m

Área aproximada = 303,089.23 m<sup>2</sup>

Volumen del agregado aproximado = 63,205.92 m<sup>3</sup>

#### **4.3.2. APLICACIÓN**

Los agregados pétreos son materiales triturados de diferente caracterización, provenientes de canteras propias, óptimas para su uso, y las cuales cumplen todos los estándares de calidad. Tienen varios usos, entre los principales encontramos el uso en la Industria de la Construcción, en donde son

un producto básico tanto en obras como: en carreteras, caminos, obras portuarias, de infraestructura, etc.

#### **4.4. MÉTODO EXPERIMENTAL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

##### **4.4.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Principalmente está basado en las variables de estudio que se ha planteado anteriormente, para la cual será muy necesario considerar la operabilidad de las mismas, pues estratégicamente serán utilizadas en nuestra investigación.

Para el desarrollo de esta metodología será necesario seguir una secuencia adecuada, el cual permita su buena aplicación.

##### **4.4.2. SELECCIÓN, EXTRACCIÓN Y ABASTECIMIENTO DE MATERIALES**

El abastecimiento de materiales se realizó de acuerdo al requerimiento de la investigación, ya que se toma como referencia principal los trabajos de pavimentación en caliente de vías en las que se usan estos materiales.

#### **4.5. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MÉTODO MARSHALL CON DIFERENTE TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADO**

Se presenta los trabajos de laboratorio, donde en una primera etapa se verificó las propiedades y características de materiales (asfalto, agregado y filler) realizándose ensayos de laboratorio donde se realizó un diseño patrón de mezclas asfáltica en caliente en el cual varía el tamaño máximo del agregado grueso.

## A. GRADUACIÓN Y TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

### ❖ **Tamaño Máximo de Partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- **Tamaño máximo nominal de partícula**, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- **Tamaño máximo de partícula**, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

## B. CRITERIOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

Es muy común tener que combinar dos o más agregados de distintas granulometrías para lograr una combinación de los mismos, que cumpla con las

especificaciones granulométricas que cumpla con una mezcla asfáltica en particular. Determinar las cantidades relativas de distintos agregados para obtener la graduación deseada, pudiéndose resolver de distintos métodos. <sup>(27)</sup>

Método de proporciones:

$$P=A*a+B*b \quad (1)$$

P= porcentaje de material que pasa por un tamiz dado, para los agregados A,B,C etc. Combinados.

A,B,C etc. =porcentaje de material que pasa por un tamiz dado

a,b,c etc. = proporciones de agregados A,B,C, etc. Usado en la combinación y en donde el total es =1,00

De la fórmula (1)

$$P=Aa+Bb \quad (2)$$

Como  $a+b=1$ ,  $a= 1-b$ , sustituyendo esto en (2) y despejando b:

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

Se puede encontrar para una expresión similar

$$a = \frac{P - B}{A - B}$$

Una vez obtenida la cantidad de agregados se identifica el porcentaje de cemento asfáltico que será usado en el diseño de mezclas, según el método de proporciones antes descrito.

Para la mezcla asfáltica se usa diferentes contenidos de asfalto, se partió desde 5 % de asfalto con incrementos 0.5 % en peso de asfalto, requiriéndose al

<sup>27</sup>Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción-Agregados Minerales-tema C-lección 3

menos dos contenidos de asfalto por encima y por debajo del contenido óptimo de asfalto de ese orden específico.

### **C. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL DISEÑO PATRÓN DE MEZCLA EN CALIENTE**

Se prepararon 03 briquetas para cada grupo de un mismo contenido de asfalto, incrementándose 0.5 % en peso el cemento asfáltico, empezando la dosificación con 5 % de cemento asfáltico; haciendo un total de 21 briquetas.

Las briquetas cilíndricas fueron de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½") de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y fluencia.

Se elaboró briquetas con distinto tamaño nominal de agregado grueso (1", 3/4", 1/2", 3/8"), haciendo un total de 84 probetas.

El procedimiento se inicia con la preparación de briquetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría fijadas para la investigación.

### **D. EQUIPOS REQUERIDOS**

#### **○ RECIPIENTE PARA MEZCLAS**

Consiste en un recipiente para poder realizar la mezcla asfáltica de los agregados (gruesos, Fino, filler, cemento asfáltico) este recipiente deberá tener una base redondeada para que no cause obstrucciones durante el mezclado.



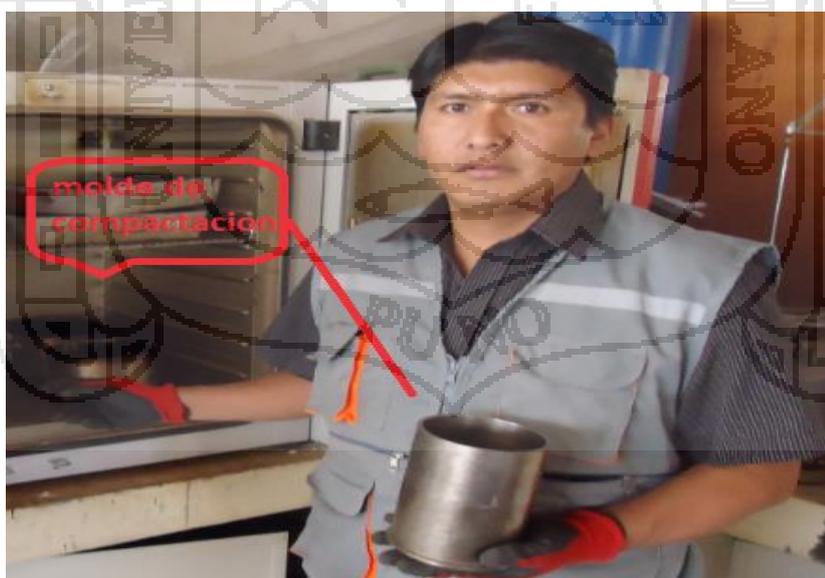
**Figura N° 04-04**

Recipiente para la mezcla de agregados (grueso, fino, filler)

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

○ **MOLDE DE COMPACTACIÓN**

Consiste en una placa base, molde y collar de extensiones cilíndricas. El molde debe tener un diámetro inferior de 101.6 mm (4 pulgadas) y una altura de 76.2 mm (3 pulgadas). La placa base y el collar se ajustan a cualquier extremo del molde.



**Figura N° 04-05**

Molde de compactación Marshall para mezclas

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- **EXTRACTOR DE BRIQUETA**

Este elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm y de 13 mm de espesor, es utilizado para extraer la probeta compactada del molde con ayuda del collar de extensión.



**Figura N° 04-06**

Equipo extractor de briquetas.

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- **MARTILLO DE COMPACTACIÓN**

Consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm de diámetro y un pisón de 4.53 kg (10 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 mm (18")

- **PEDESTAL DE COMPACTACIÓN**

Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista de en su cara superior de

una plantilla cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor  
(12" x 12" x 1")



**Figura N° 04-07**

Martillo de compactación Marshall

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

○ **HORNO**

Para calentar los agregados y materiales asfálticos, se utilizará el horno eléctrico, provisto de controles termostáticos, capaz de mantener la temperatura requerida.



**Figura N°04-08**

Horno eléctrico para calentar los materiales

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- **PRENSA MARSHALL**

Aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las briquetas durante el ensayo a una velocidad de deformación de  $50 \pm 1$  mm por minuto. Está equipado con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada de una capacidad superior a 25 KN y una sensibilidad de 45 KN con un dial graduado de 0.0025 mm para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear este equipo con sensor y registrador de Estabilidad v/s fluencia.



**Figura N° 04-09**

Aparato Marshall EPIC-UNA-PUNO

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- **BAÑO MARIA**

Calentamiento indirecto de la sustancia (briqueta) desde el medio líquido con una profundidad de 150 mm, termostáticamente a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ . El estanque debe tener un fondo perforado y un termómetro centrado y fijo.



**Figura N°04-10**  
**Equipo Baño María**

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

○ **EQUIPOS VARIOS**

- ✓ Bandejas para la mezcla de los agregados



**Figura N°04-11**  
Bandeja y Taras utilizadas.

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- ✓ Termómetro de  $200 \pm 10$  °C, para determinar la temperatura



**Figura N°04-12**

Termómetro para medir la temperatura del agua

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

- ✓ Balanzas con una capacidad de 5 kg  $\pm$  1gr



**Figura N° 04-13**

Balanza para pesar los materiales.

Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO

### **E. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA MARSHALL.**

Antes de hacer el ensayo se limpia completamente la mordaza del equipo Marshall y las briquetas elaboradas se colocan en baño maría con agua a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 30 a 40 minutos.

Se retira la briqueta del agua y cuidadosamente se seca la superficie, luego la briqueta se coloca y se centra en la mordaza del equipo de carga Marshall.

Se aplica la carga a la briqueta a una velocidad constante de  $50 \pm 1$  mm por minuto, hasta que se produzca la falla. La falla máxima queda definida por la carga máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número total de newton (N) necesarios para producir la falla de la briqueta.

A medida que avanza el ensayo de estabilidad se sujeta firmemente el medidor sobre la barra guía y se retira cuando se produzca la carga máxima, se toma la lectura y se anota. Esta lectura es el valor de fluidez de la probeta expresada en unidades de 0.25 mm (1/100”).

El procedimiento completo para la estabilidad y fluencia, comienza desde el momento en que se retira la briqueta del baño de agua a 60°C hacia el equipo Marshall y no debe durar más de 30 segundos.



**Figura N° 04-14**

Equipo Marshall, Equipo Baño María, Equipo RICE del laboratorio de asfalto.  
Fuente: foto tomado en laboratorio EPIC-UNA-PUNO



**CAPÍTULO V**  
**ANÁLISIS, COMBINACIÓN**  
**Y COMPARACIÓN DE**  
**RESULTADOS**

## 5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204) Y MÉTODO DE LAS PROPORCIONES

En el desarrollo del presente capítulo, se hará referencia con frecuencia parámetros contenidos en la norma Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG - 2013) y Manual de Ensayo de Materiales – Sección 5. Ver anexo 03

### 5.1.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1" (GRADACIÓN MAC-1)

Para calcular los resultados se siguieron los siguientes pasos:

**Peso de la muestra = 1500gr**

#### 5.1.1.1. PORCENTAJES RETENIDO DE AGREGADO GRUESO

Tabla N°05-01  
Granulometría Ideal

GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA			TAM.MAX.NOM. DE 1"	
TAMICES - ASTM	ESPECIF. % PASA	PROMEDIO ESPECIF.	PORCENTAJE RETENIDO	PARA (gr) 1050.00
1"	100	100.0	0.0	0.0
3/4"	80 - 100	90.0	10.0	105.0
1/2"	67 - 85	76.0	14.0	147.0
3/8"	60 - 77	68.5	7.5	78.8
N° 4	43 - 54	48.5	20.0	210.0
N° 10	29 - 45	37.0	11.5	120.8
N° 40	14 - 25	19.5	17.5	183.8
N° 80	8 - 17	12.5	7.0	73.5
N° 200	4 - 8	6.0	6.5	68.3
FONDO			6.0	63.0
		TOTAL	100.0	1050.0

Agregado grueso 

Agregado fino 

Filler 

#### 5.1.1.2. PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL EN TAMIZ 3/4"

Peso total = 1050.0 gr

Peso retenido =  $10 \cdot 1050 / 100$

Peso retenido en tamiz 3/4" = 105.0 gr.

\* Para los demás tamices es de forma similar

### 5.1.2. PORCENTAJES RETENIDO DE AGREGADO FINO (PIEDRA CHANCADA, ARENA NATURAL Y FILLER)

**Tabla N°05-02  
Granulometría Ideal (agregado fino)**

GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA			TAM.MAX.NOM. DE. 1"	
TAMICES - ASTM	ESPECIF. % PASA	PROMEDIO ESPECIF.	PORCENTAJE RETENIDO	PARA (gr) 1050.00
N° 10	29 - 45	37.0	11.5	120.8
N° 40	14 - 25	19.5	17.5	183.8
N° 80	8 - 17	12.5	7.0	73.5
N° 200	4 - 8	6.0	6.5	68.3
FONDO			6.0	63.0
		TOTAL		509.25

#### 5.1.2.1. MÉTODO DE PROPORCIONES

Por el método de las proporciones (combinación agregado fino natural, agregado fino chancado y filler)

**Tabla N° 05-03  
Granulometría Arena Natural**

ARENA NATURAL			
TAMIZ	% RET.	PARA (gr.) 509.25	37 % DE 509.25
N° 10	2.17	11.05	4.09
N° 40	74.61	379.95	140.58
N° 80	21.60	110.00	40.70
N° 200	1.33	6.77	2.51
FONDO	0.29	1.48	0.55
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>509.25</b>	<b>188.42</b>

**Tabla N° 05-04  
Granulometría Piedra Chancada**

PIEDRA CHANCADA			
TAMIZ	% RET.	PARA (gr.) 509.25	63 % DE 509.25
N° 10	36.49	185.83	117.07
N° 40	39.98	203.60	128.27
N° 80	9.82	50.01	31.51
N° 200	9.29	47.31	29.80
FONDO	4.42	22.51	14.18
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>509.25</b>	<b>320.83</b>

De la formula:

$$P=Aa+Bb$$

Como a+b=1, a= 1-b, sustituyendo y despejando b:

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

Se puede encontrar para una expresión similar

$$a = \frac{P - B}{A - B}$$

### 5.1.2.2. PORCENTAJE AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)

Peso del agregado = 509.25 gr

Para el Tamiz N°10

Peso retenido =  $2.17 \cdot 509.25 / 100$

Peso retenido en tamiz N°10 = 11.05 gr.

\* Para los demás tamices es de forma similar

#### ❖ Proporción en Porcentaje agregado fino (arena natural)

Peso del agregado = 509.25 gr

Para el Tamiz N°10

Peso retenido =  $11.05 \cdot 37\% / 100$

Peso retenido en tamiz N°10 = 4.09 gr.

\* Para los demás tamices es de forma similar

### 5.1.2.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO (PIEDRA CHANCADA)

Peso del agregado = 509.25 gr

Para el Tamiz N°10

Peso retenido =  $36.49 \cdot 509.25 / 100$

Peso retenido en tamiz N°10 = 185.83 gr.

\* Para los demás tamices es de forma similar

#### ❖ Proporción en porcentaje agregado fino (piedra chancada)

Peso del agregado = 509.25 gr

Para el Tamiz N°10

Peso retenido =  $185.83 \cdot 63\% / 100$

Peso retenido en tamiz N°10 = 117.07 gr

\* Para los demás tamices es de forma similar

**Tabla N°05-05**  
**Granulometría del agregado por el método de proporciones**

GRANULOMETRÍA SEGÚN GRADACIÓN DE MEZCLA				MAC - 1
TAMICES - ASTM	% AGR. x TAMIZ (gr)	% RETENIDO	% ACUM.	% PASA - SEGÚN ESP. MAC - 1
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	105.00	10.00	10.00	90.00
1/2"	147.00	14.00	24.00	76.00
3/8"	78.75	7.50	31.50	68.50
N° 4	210.00	20.00	51.50	48.50
N° 10	121.16	11.54	63.04	36.96
N° 40	268.85	25.60	88.64	11.36
N° 80	72.20	6.88	95.52	4.48
N° 200	32.31	3.08	98.60	1.40
FONDO	14.73	1.40	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1050.00</b>	<b>100.00</b>		

### 5.1.3. CÁLCULO DE INCREMENTO DE FILLER

El filler se considera todo lo pasante el tamiz N° 200. Para nuestro caso, en el fondo tenemos un porcentaje retenido de 1.4 % de filler, el cual es muy bajo por ende incrementamos filler (cal hidratada) debiendo llegar al filler ideal que es del 6%.

**Cálculo:**

a.- % de filler que falta = 4.6 % (para alcanzar a la granulometría ideal)

b.- El porcentaje 4.66% se disminuye por cada tamiz

Peso del agregado total = 1050.00 gr

Para el Tamiz 3/4 "

Peso agregado = 105.00 gr

Peso agregado + % de filler =  $\frac{(100-4.66)*105.00}{100}$

Peso de agregado = 100.11 gr

Peso de filler total a incrementar = 48.93gr

\* Para los demás tamices es similar el incremento de filler

**5.1.4. CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTAJE DE ASFALTO**

Porcentaje de asfalto = 5%

Peso del agregado total = 1050.00 gr,

Para el Tamiz 3/4 "

Peso agregado = 100.11 gr

Peso agregado más % de asfalto =  $\frac{(100-5.00)*100.11}{100}$

Peso de agregado = 95.10 gr

Peso total de asfalto a incrementar = 52.50 gr

\* Para los demás tamices es similar el incremento de asfalto

**Tabla N° 05-06  
Granulometría óptima más filler**

GRANULOMETRIA OPTIMA MAS FILLER	
% OPT.POR TAMIZ (gr)	% OPT. (gr) al
	4.66 % FILLER
0.00	0.00
105.00	100.11
147.00	140.15
78.75	75.08
210.00	200.21
121.16	115.51
268.85	256.32
72.20	68.84
32.31	30.81
14.73	14.04
<b>FILLER 4.66</b>	<b>48.93</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1050.00</b>

**Tabla N° 05-07  
Granulometría óptima más % asfalto**

TAMIZ	% AGREG.	FILLER 4.66 %	% ASFALTO (gr)
			5.0
1"	0.00	0.00	0.00
3/4"	105.00	100.11	95.10
1/2"	147.00	140.15	133.14
3/8"	78.75	75.08	71.33
N° 4	210.00	200.21	190.20
N° 10	121.16	115.51	109.74
N° 40	268.85	256.32	243.50
N° 80	72.20	68.84	65.40
N° 200	32.31	30.81	29.26
FONDO	14.73	14.04	13.34
FILLER		48.93	46.48
<b>ASFALTO</b>			<b>52.50</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1050.00</b>	<b>1050.00</b>	<b>1050.00</b>

## 5.2. DISEÑO MARSHALL (MTC E 504)

### 5.2.1. DETERMINANDO LA ESTABILIDAD / FLUJO – MARSHALL

Basados en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG - 2013)

**Tabla N° 05-08**  
**Requisitos para mezcla de concreto bituminoso**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla según ESAL		
	Pesado (A)	Intermedio (B)	Ligero (C)
Marshall(MTC E 504)			
Compactación numero de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (min)	8,15 KN	5,44KN	4,53KN
Flujo 0,01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505) (*)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	(Ver Tabla 02 - 13)		
Relación Estabilidad / Flujo (**)	1700 – 4000		

\*El diseño Marshall correspondiente se realizó considerando la granulometría MAC

\*\*La compactación de probetas Marshall con un total de 50 golpes por cara. Con fines de investigación se empleó Asfalto PEN 120 – 150. Ver anexo 08

#### 5.2.1.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1"

##### 5.2.1.1.1. PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Los datos se adjunta en el anexo 03

- % cemento Asfáltico = 5.0 %
- % piedra chancada = 49.10 % (De la mezcla de canteras)

$$\text{➤ \% agregado grueso} = \frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ piedra chancada}}{100}$$

$$\text{➤ \% agregado grueso} = \frac{(100 - 5) * 49.10}{100}$$

$$P1 = \% \text{ Agregado Grueso} = 46.65 \%$$

#### 5.2.1.1.2. PORCENTAJE DE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

$$\text{➤ \% cemento asfáltico} = 5.0 \%$$

$$\text{➤ \% fino chancado} = 29.13 \% \text{ (De la mezcla de canteras)}$$

$$\text{➤ \% agregado fino chancado} = \frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ fino chancado}}{100}$$

$$\text{➤ \% agregado fino chancado} = \frac{(100 - 5) * 29.13}{100}$$

$$P1 = \% \text{ Agregado fino chancado} = 27.67 \%$$

#### 5.2.1.1.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

$$\text{➤ \% cemento asfáltico} = 5.0 \%$$

$$\text{➤ \% fino natural} = 17.11 \% \text{ (De la mezcla de canteras)}$$

$$\text{➤ \% agregado fino natural} = \frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ fino natural}}{100}$$

$$\text{➤ \% agregado fino natural} = \frac{(100 - 5) * 17.11}{100}$$

$$P1 = \% \text{ Agregado fino natural} = 16.25 \%$$

#### 5.2.1.1.4. PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % Filler = 4.66 % (de la mezcla de canteras).

$$\text{➤ \% Filler} = \frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ filler}}{100}$$

$$\text{➤ \% Filler} = \frac{(100 - 5) * 4.66}{100}$$

$$P4 = \% \text{ Filler} = 4.43 \%$$

#### 5.2.1.1.5. PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):

\* Se toman los datos del anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso del espécimen seco en el aire = 1046.36 gr

B = Peso al aire del espécimen saturado con superficie seca = 1074.03 gr

C = Peso del espécimen en agua = 568.24 gr

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \textit{briqueta 01} = \frac{1046.36}{(1074.03 - 568.24)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.069$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \textit{briqueta 02} = \frac{1047.09}{(1068.72 - 559.37)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.056$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \textit{briqueta 03} = \frac{1046.73}{(1072.48 - 563.80)}$$

- Peso Específico Aparente =2.058
- Promedio de briquetas (01,02,03)= 2.061
- Factor de corrección a 15°C =1.00206

Promedio de briquetas \* factor de corrección a 15°C = 2.065 gr/cm<sup>3</sup>

#### 5.2.1.1.6. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)

\* Se toman los datos del Anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso de la muestra seca en el aire =1046.36 gr

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C =7546gr

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C = 8118 gr

- Peso específico teórico máximo (RICE) =  $\frac{A}{(A+D-E)}$
- Peso específico teórico máximo (RICE) =  $\frac{1046.36}{(1046.36 + 7546 - 8118)}$

Peso específico teórico máximo (RICE) = 2.206 gr/cm<sup>3</sup>

#### 5.2.1.1.7. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL

% cemento asfáltico = 5.0 %

A=peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

Pe1,Pe2,Pe3,Pe4=peso específico individual del agregado (kg/cm<sup>3</sup>)

$$A = \frac{P1+P2+P3+P4}{\frac{P1}{Pe1} + \frac{P2}{Pe2} + \frac{P3}{Pe3} + \frac{P4}{Pe4}}$$

$$A = \frac{46.65 + 27.67 + 16.25 + 4.43}{\frac{46.65}{2.514} + \frac{27.67}{2.464} + \frac{16.25}{2.346} + \frac{4.43}{1.6}}$$

Peso específico bulk del agregado total = 2.406 gr/cm<sup>3</sup>

#### 5.2.1.1.8. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)

% cemento asfáltico = 5.0 %

VMA = vacíos en el agregado mineral (%)

P1, P2, P3, P4 = porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

B = peso específico bulk de la briqueta (2.065 gr/cm<sup>3</sup>)

A = peso específico bulk del agregado total (2.406 gr/cm<sup>3</sup>)

$$VMA = 100 - \frac{((P1 + P2 + P3 + P4) * B)}{A}$$

$$VMA = 100 - \frac{(46.65 + 27.67 + 16.25 + 4.43) * 2.065}{2.406}$$

Vacíos en el agregado mineral (VMA) = 18.47 %

#### 5.2.1.1.9. VACÍOS DE AIRE (VA)

% cemento asfáltico = 5.0 %

Va = vacíos de aire (%)

B = peso específico bulk de la briqueta (2.065 gr/cm<sup>3</sup>)

C = peso específico Teórico máximo - RICE (2.206 gr/cm<sup>3</sup>)

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - B}{C} \right)$$

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - 2.065}{2.206} \right)$$

Vacíos de aire (Va) = 6.38 %

\* Todos los datos de Va, VMA, VFA, se encuentran en el anexo 07

\* Los datos de estabilidad y fluencia, se encuentran en el Anexo 08

#### 5.2.1.1.10. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)

% cemento asfáltico = 5.0 %

VFA= vacíos llenos con asfalto (%)

VMA=vacíos en el agregado mineral (18.47 %)

Va= vacíos de aire (6.38 %)

$$VFA = \frac{(100 * (V.M.A. - V.a.))}{(V.M.A.)}$$

$$VFA = \frac{(100*(18.47-6.38))}{(18.47)}$$

Vacíos llenos con asfalto (VFA) = 65.44%

#### 5.2.1.1.11. ESTABILIDAD MARSHALL “E”

% cemento asfáltico = 5.0 %

##### Briqueta 01

Carga (mm) **C** =1.67

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.67 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 579.13 \text{ kg}$$

##### Briqueta 02

Carga (mm) **C** =1.84

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.84 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 636.89 \text{ kg}$$

##### Briqueta 03

Carga (mm) **C** =1.86

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.86 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

E.C. = 643.68 kg

Promedio de estabilidad

E = 620 kg

**5.2.1.1.12. FLUJO MARSHALL “F”**

Promedio Flujo (mm) =3.25 mm

**5.2.1.1.13. ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

$$\frac{E}{F} = \left(\frac{E}{F}\right) * \left(\frac{10mm}{1cm}\right)$$

$$\frac{E}{F} = \left(\frac{620}{3.25}\right) * 10$$

Estabilidad /flujo =1907 kg/cm

**Tabla N° 05-09**  
**DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL**  
**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1”**

PRINCIPALES DATOS PARA GRÁFICAS - MÉTODO MARSHALL									
N°	DETALLE	UND	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	PESO ESP. APARENTE - BULK / PESO UNIT. DE LA BRIQUETA	gr/cm3	2.065	2.134	2.171	2.204	2.207	2.209	2.207
2	PORCENTAJE DE VACÍOS (VA)	%	6.38	5.53	5.24	4.46	4.08	4.03	3.90
3	VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (V. M. A.)	%	18.47	16.19	15.19	14.36	14.7	15.08	15.62
4	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (V. F. A.)	%	65.44	65.82	65.48	68.93	72.22	73.3	75.01
5	ESTABILIDAD DE LA BRIQUETA (E)	kg	620	930	1280	1290	1201	900	810
6	FLUENCIA DE LA BRIQUETA (F)	mm	3.25	3.75	4.42	5.00	5.25	5.25	5.42
7	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	<b>1907</b>	<b>2480</b>	<b>2898</b>	<b>2581</b>	<b>2287</b>	<b>1714</b>	<b>1496</b>

### 5.2.1.2. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/4 ”

#### 5.2.1.2.1. PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Los datos se adjunta en el anexo 03

➤ % cemento Asfáltico = 5.0 %

➤ % piedra chancada = 38.76 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{piedra chancada}}{100}$

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - 5) * 38.76}{100}$

P1 = % Agregado Grueso = 36.82 %

#### 5.2.1.2.2. PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % fino chancado = 37.01 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{fino chancado}}{100}$

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - 5) * 37.01}{100}$

P1 = % Agregado fino chancado = 35.16 %

#### 5.2.1.2.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

- % cemento asfáltico = 5.0 %
- % fino natural = 19.93 % (De la mezcla de canteras)
- % agregado fino natural =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ fino natural}}{100}$

- % agregado fino natural =  $\frac{(100 - 5) * 19.93}{100}$

P1 = % Agregado fino natural = 18.93 %

#### 5.2.1.2.4. PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

- % cemento asfáltico = 5.0 %
- % Filler = 4.30 % (de la mezcla de canteras).

- % Filler =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ filler}}{100}$

- % Filler =  $\frac{(100 - 5) * 4.30}{100}$

P4 = % Filler = 4.09 %

#### 5.2.1.2.5. PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):

\* Se toman los datos del anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso del espécimen seco en el aire = 1045.81 gr

B = Peso al aire del espécimen saturado con superficie seca = 1061.86 gr

C = Peso del espécimen en agua = 559.48 gr

- Peso Específico Aparente =  $\frac{A}{(B - C)}$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 01} = \frac{1045.81}{(1061.86 - 568.24)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.082$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 02} = \frac{1045.95}{(1056.51 - 550.92)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.069$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 03} = \frac{1045.88}{(1060.27 - 555.20)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.071$$

$$\text{➤ Promedio de briquetas (01,02,03)} = 2.074$$

$$\text{➤ Factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 1.00206$$

$$\text{Promedio de briquetas} * \text{factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 2.078 \text{ gr/cm}^3$$

#### 5.2.1.2.6. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)

\* Se toman los datos del Anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso de la muestra seca en el aire = 1045.81 gr

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C = 7546 gr

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C = 8113 gr

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{A}{(A+D-E)}$$

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{1045.81}{(1045.81 + 7546 - 8113)}$$

$$\text{Peso específico teórico máximo (RICE)} = 2.184 \text{ gr/cm}^3$$

**5.2.1.2.7. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL**

% cemento asfáltico = 5.0 %

A=peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado(gr)

Pe1,Pe2,Pe3,Pe4=peso específico individual del agregado(kg/cm<sup>3</sup>)

$$A = \frac{P1+P2+P3+P4}{\frac{P1}{Pe1} + \frac{P2}{Pe2} + \frac{P3}{Pe3} + \frac{P4}{Pe4}}$$

$$A = \frac{36.82+35.16+18.93+4.09}{\frac{36.82}{2.514} + \frac{35.16}{2.464} + \frac{18.93}{2.346} + \frac{4.09}{1.6}}$$

Peso específico bulk del agregado total = 2.403 gr/cm<sup>3</sup>

**5.2.1.2.8. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

V M A = vacíos en el agregado mineral (%)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

B = peso específico bulk de la briqueta (2.078 gr/cm<sup>3</sup>)

A = peso específico bulk del agregado total (2.403 gr/cm<sup>3</sup>)

$$VMA = 100 - \frac{((P1 + P2 + P3 + P4) * B)}{A}$$

$$VMA = 100 - \frac{(36.82+35.16+18.93+4.09)*2.078}{2.403}$$

Vacíos en el agregado mineral (VMA) =17.84 %

**5.2.1.2.9. VACÍOS DE AIRE (VA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Va= vacíos de aire (%)

B= peso específico bulk de la briqueta (2.078 gr/cm<sup>3</sup>)

C= peso específico Teórico máximo - RICE (2.184 gr/cm<sup>3</sup>)

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - B}{C} \right)$$

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - 2.078}{2.184} \right)$$

Vacíos de aire (Va) = 4.86 %

\* Todos los datos de Va, VMA, VFA, se encuentran en el anexo 07

\* Los datos de estabilidad y fluencia, se encuentran en el Anexo 08

**5.2.1.2.10. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

VFA= vacíos llenos con asfalto (%)

VMA=vacíos en el agregado mineral (17.84 %)

Va= vacíos de aire (4.86 %)

$$VFA = \frac{(100 * (V.M.A. - V.a.))}{(V.M.A.)}$$

$$VFA = \frac{(100 * (17.84 - 4.86))}{(17.84)}$$

Vacíos llenos con asfalto (VFA) = 72.74%

**5.2.1.2.11. ESTABILIDAD MARSHALL "E"**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Briqueta 01Carga (mm) **C** =1.76

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.76 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 609.71 \text{ kg}$$

Briqueta 02Carga (mm) **C** =1.58

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.58 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 548.56 \text{ kg}$$

Briqueta 03Carga (mm) **C** =1.59

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.59 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 551.95 \text{ kg}$$

Promedio de estabilidad

$$E = 570 \text{ kg}$$

**5.2.1.2.12. FLUJO MARSHALL "F"**

Promedio Flujo (mm) =3.42 mm

**5.2.1.2.13. ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

$$\frac{E}{F} = \left( \frac{E}{F} \right) * \left( \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right)$$

$$\frac{E}{F} = \left( \frac{570}{3.42} \right) * 10$$

Estabilidad /flujo =1669 kg/cm

**Tabla N° 05-10**  
DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL  
**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/4”**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/4 ”									
PRINCIPALES DATOS PARA GRÁFICAS - MÉTODO MARSHALL									
N°	DETALLE	UND	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	PESO ESP. APARENTE - BULK / PESO UNIT. DE LA BRIQUETA	gr/cm3	2.078	2.121	2.165	2.183	2.193	2.197	2.196
2	PORCENTAJE DE VACÍOS(Va)	%	4.86	4.52	4.01	3.69	3.31	3.04	2.98
3	VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (V. M. A.)	%	17.84	16.58	15.3	15.05	15.11	15.42	15.91
4	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (V. F. A.)	%	72.74	72.72	73.81	75.45	78.1	80.28	81.28
5	ESTABILIDAD DE LA BRIQUETA (E)	kg	570	925	1170	1310	1180	1150	900
6	FLUENCIA DE LA BRIQUETA (F)	mm	3.42	3.50	3.83	4.17	4.58	5.17	5.58
7	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	<b>1669</b>	<b>2641</b>	<b>3053</b>	<b>3143</b>	<b>2576</b>	<b>2226</b>	<b>1611</b>

**5.2.1.3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1/2 ”**

**5.2.1.3.1. PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA**

\* Los datos se adjunta en el anexo 03

➤ % cemento Asfáltico = 5.0 %

➤ % piedra chancada = 38.76 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{piedra chancada}}{100}$

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - 5) * 38.76}{100}$

P1 = % Agregado Grueso = 36.82 %

### 5.2.1.3.2. PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % fino chancado = 37.01 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ fino chancado}}{100}$

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - 5) * 37.01}{100}$

P1 = % Agregado fino chancado = 35.16 %

### 5.2.1.3.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % fino natural = 19.93 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado fino natural =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ fino natural}}{100}$

➤ % agregado fino natural =  $\frac{(100 - 5) * 19.93}{100}$

P1 = % Agregado fino natural = 18.93 %

### 5.2.1.3.4. PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % Filler = 4.30 % (de la mezcla de canteras).

$$\text{➤ \% Filler} = \frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ filler}}{100}$$

$$\text{➤ \% Filler} = \frac{(100 - 5) * 4.30}{100}$$

$$P4 = \% \text{ Filler} = 4.09 \%$$

### 5.2.1.3.5. PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):

\* Se toman los datos del anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso del espécimen seco en el aire = 1046.63 gr

B = Peso al aire del espécimen saturado con superficie seca = 1049.32 gr

C = Peso del espécimen en agua = 555.31 gr

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briquetas\ 01} = \frac{1046.63}{(1049.32 - 555.31)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.119$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briquetas\ 02} = \frac{1045.58}{(1047.47 - 550.91)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.108$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briquetas\ 03} = \frac{1046.11}{(1049.45 - 553.11)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.108$$

$$\text{➤ Promedio de briquetas (01,02,03)} = 2.111$$

$$\text{➤ Factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 1.00206$$

$$\text{Promedio de briquetas * factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 2.115 \text{ gr/cm}^3$$

### 5.2.1.3.6. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)

\* Se toman los datos del Anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso de la muestra seca en el aire = 1046.63 gr

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C = 7546gr

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C = 8117 gr

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{A}{(A+D-E)}$$

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{1046.63}{(1046.36 + 7546 - 8117)}$$

Peso específico teórico máximo (RICE) = 2.201 gr/cm<sup>3</sup>

### 5.2.1.3.7. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL

% cemento asfáltico = 5.0 %

A=peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado(gr)

Pe1,Pe2,Pe3,Pe4=peso específico individual del agregado (kg/cm<sup>3</sup>)

$$A = \frac{P1+P2+P3+P4}{\frac{P1}{Pe1} + \frac{P2}{Pe2} + \frac{P3}{Pe3} + \frac{P4}{Pe4}}$$

$$A = \frac{36.82+35.16+18.93+4.09}{\frac{36.82}{2.514} + \frac{35.16}{2.464} + \frac{18.93}{2.346} + \frac{4.09}{1.6}}$$

Peso específico bulk del agregado total = 2.403 gr/cm<sup>3</sup>

**5.2.1.3.8. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

V M A = vacíos en el agregado mineral (%)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

B = peso específico bulk de la briqueta (2.115 gr/cm<sup>3</sup>)

A = peso específico bulk del agregado total (2.403 gr/cm<sup>3</sup>)

$$VMA = 100 - \frac{((P1 + P2 + P3 + P4) * B)}{A}$$

$$VMA = 100 - \frac{(36.82+35.16+18.93+4.09)*2.115}{2.403}$$

Vacíos en el agregado mineral (VMA) =16.37 %

**5.2.1.3.9. VACÍOS DE AIRE (Va)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Va= vacíos de aire (%)

B= peso específico bulk de la briqueta (2.115 gr/cm<sup>3</sup>)

C= peso específico Teórico máximo - RICE (2.201 gr/cm<sup>3</sup>)

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - B}{C} \right)$$

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - 2.115}{2.201} \right)$$

Vacíos de aire (Va) = 3.89 %

\* Todos los datos de Va, VMA, VFA, se encuentran en el anexo 07

\* Los datos de estabilidad y fluencia, se encuentran en el Anexo 08

**5.2.1.3.10. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

VFA= vacíos llenos con asfalto (%)

VMA=vacíos en el agregado mineral (16.37 %)

Va= vacíos de aire (3.89 %)

$$VFA = \frac{(100 * (V. M. A. - V. a.))}{(V. M. A.)}$$

$$VFA = \frac{(100*(16.37-3.89))}{(16.37)}$$

Vacíos llenos con asfalto (VFA) = 76.27%

**5.2.1.3.11. ESTABILIDAD MARSHALL “E”**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Briqueta 01

Carga (mm) **C** =2.00

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 2.00 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 691.24 \text{ kg}$$

Briqueta 02

Carga (mm) **C** =2.26

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 2.26 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 779.57 \text{ kg}$$

Briqueta 03

Carga (mm) **C** =1.99

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 1.99 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 687.84 \text{ kg}$$

Promedio de estabilidad

$$E = 720 \text{ kg}$$

**5.2.1.3.12. FLUJO MARSHALL “F”**

Promedio Flujo (mm) = 3.67 mm

**5.2.1.3.13. ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

$$\frac{E}{F} = \left(\frac{E}{F}\right) * \left(\frac{10\text{mm}}{1\text{cm}}\right)$$

$$\frac{E}{F} = \left(\frac{720}{3.67}\right) * 10$$

Estabilidad /flujo = 1962 kg/cm

**Tabla N° 05-11**  
DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL  
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1/2”

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1/2 ”									
PRINCIPALES DATOS PARA GRÁFICAS - MÉTODO MARSHALL									
N°	DETALLE	UND	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	PESO ESP. APARENTE - BULK / PESO UNIT. DE LA BRIQUETA	gr/cm3	2.115	2.132	2.153	2.178	2.187	2.19	2.188
2	PORCENTAJE DE VACÍOS (Va)	%	3.89	3.79	3.40	3.14	3.04	2.97	2.82
3	VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (V. M. A.)	%	16.37	16.14	15.77	15.24	15.35	15.69	16.22
4	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (V. F. A.)	%	76.27	76.54	78.46	79.37	80.21	81.07	82.63
5	ESTABILIDAD DE LA BRIQUETA (E)	kg	720	951	1020	1110	1120	1000	940
6	FLUENCIA DE LA BRIQUETA (F)	mm	3.67	3.83	4.17	4.50	4.75	5.08	5.17
7	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	<b>1962</b>	<b>2480</b>	<b>2447</b>	<b>2467</b>	<b>2359</b>	<b>1968</b>	<b>1820</b>

#### 5.2.1.4. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/8 ”

##### 5.2.1.4.1. PORCENTAJE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Los datos se adjunta en el anexo 03

➤ % cemento Asfáltico = 5.0 %

➤ % piedra chancada = 22.87 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ piedra chancada}}{100}$

➤ % agregado grueso =  $\frac{(100 - 5) * 22.87}{100}$

P1 = % Agregado Grueso = 21.72 %

##### 5.2.1.4.2. PORCENTAJE AGREGADO FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

➤ % cemento asfáltico = 5.0 %

➤ % fino chancado = 62.28 % (De la mezcla de canteras)

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - \% \text{ asfalto}) * \% \text{ fino chancado}}{100}$

➤ % agregado fino chancado =  $\frac{(100 - 5) * 62.28}{100}$

P1 = % Agregado fino chancado = 59.16 %

##### 5.2.1.4.3. PORCENTAJE AGREGADO FINO ARENA NATURAL EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

- % cemento asfáltico = 5.0 %
- % fino natural = 10.14 % (De la mezcla de canteras)
- % agregado fino natural =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ fino natural}}{100}$

- % agregado fino natural =  $\frac{(100 - 5) * 10.14}{100}$

P1 = % Agregado fino natural = 9.63 %

#### 5.2.1.4.4. PORCENTAJE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA

\* Se toman los datos del anexo 03:

- % cemento asfáltico = 5.0 %
- % Filler = 4.72 % (de la mezcla de canteras).

- % Filler =  $\frac{(100 - \% \text{asfalto}) * \% \text{ filler}}{100}$

- % Filler =  $\frac{(100 - 5) * 4.72}{100}$

P4 = % Filler = 4.48 %

#### 5.2.1.4.5. PESO ESPECÍFICO APARENTE BULK (BRIQUETA):

\* Se toman los datos del anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso del espécimen seco en el aire = 1045.35 gr

B = Peso al aire del espécimen saturado con superficie seca = 1040.00 gr

C = Peso del espécimen en agua = 542.61 gr

- Peso Específico Aparente =  $\frac{A}{(B - C)}$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 01} = \frac{1045.35}{(1040.00 - 542.61)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.102$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 02} = \frac{1044.07}{(1032.78 - 532.91)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.089$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente } \mathbf{briqueta\ 03} = \frac{1044.71}{(1037.46 - 537.76)}$$

$$\text{➤ Peso Específico Aparente} = 2.091$$

$$\text{➤ Promedio de briquetas (01,02,03)} = 2.094$$

$$\text{➤ Factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 1.00206$$

$$\text{Promedio de briquetas} * \text{factor de corrección a } 15^{\circ}\text{C} = 2.098 \text{ gr/cm}^3$$

#### 5.2.1.4.6. PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO (RICE)

\* Se toman los datos del Anexo 07:

% cemento asfáltico = 5.0 %

A = Peso de la muestra seca en el aire = 1045.35 gr

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C = 7546gr

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C = 8112 gr

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{A}{(A+D-E)}$$

$$\text{➤ Peso específico teórico máximo (RICE)} = \frac{1045.35}{(1045.35 + 7546 - 8112)}$$

$$\text{Peso específico teórico máximo (RICE)} = 2.181 \text{ gr/cm}^3$$

**5.2.1.4.7. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL**

% cemento asfáltico = 5.0 %

A=peso específico bulk del agregado total (gr/cm<sup>3</sup>)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado(gr)

Pe1,Pe2,Pe3,Pe4=peso específico individual del agregado(kg/cm<sup>3</sup>)

$$A = \frac{P1+P2+P3+P4}{\frac{P1}{Pe1} + \frac{P2}{Pe2} + \frac{P3}{Pe3} + \frac{P4}{Pe4}}$$

$$A = \frac{21.72+59.16+9.63+4.48}{\frac{21.72}{2.514} + \frac{59.16}{2.464} + \frac{9.63}{2.346} + \frac{4.48}{1.6}}$$

Peso específico bulk del agregado total = 2.401 gr/cm<sup>3</sup>

**5.2.1.4.8. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

V M A = vacíos en el agregado mineral (%)

P1,P2,P3,P4=porcentaje individual de material por masa del agregado (gr)

B = peso específico bulk de la briqueta (2.098 gr/cm<sup>3</sup>)

A = peso específico bulk del agregado total (2.401 gr/cm<sup>3</sup>)

$$VMA = 100 - \frac{((P1 + P2 + P3 + P4) * B)}{A}$$

$$VMA = 100 - \frac{(21.72+59.16+9.63+4.48)*2.098}{2.401}$$

Vacíos en el agregado mineral (VMA) =17.00 %

**5.2.1.4.9. VACÍOS DE AIRE (Va)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Va= vacíos de aire (%)

B= peso específico bulk de la briqueta (2.098 gr/cm<sup>3</sup>)

C= peso específico Teórico máximo - RICE (2.181 gr/cm<sup>3</sup>)

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - B}{C} \right)$$

$$Va = 100 * \left( \frac{1 - 2.065}{2.206} \right)$$

Vacíos de aire (Va) = 3.8 %

\* Todos los datos de Va, VMA, VFA, se encuentran en el anexo 07

\* Los datos de estabilidad y fluencia, se encuentran en el Anexo 08

**5.2.1.4.10. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

VFA= vacíos llenos con asfalto (%)

VMA=vacíos en el agregado mineral (17.00 %)

Va= vacíos de aire (3.80 %)

$$VFA = \frac{(100 * (V. M. A. - V. a.))}{(V. M. A.)}$$

$$VFA = \frac{(100 * (17.00 - 3.80))}{(17.00)}$$

Vacíos llenos con asfalto (VFA) = 77.68%

**5.2.1.4.11. ESTABILIDAD MARSHALL "E"**

% cemento asfáltico = 5.0 %

Briqueta 01

Carga (mm) **C** =2.14

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 2.14 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 738.80 \text{ kg}$$

#### Briqueta 02

Carga (mm)  $C=2.35$

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 2.35 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 810.15 \text{ kg}$$

#### Briqueta 03

Carga (mm)  $C=2.21$

$$E.C. = (7.489521 * C * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = (7.489521 * 2.21 * 100 + 25.99685) / 2.2045855$$

$$E.C. = 762.58 \text{ kg}$$

Promedio de estabilidad

$$E = 771 \text{ kg}$$

#### **5.2.1.4.12. FLUJO MARSHALL "F"**

Promedio Flujo (mm) = 3.25 mm

#### **5.2.1.4.13. ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)**

% cemento asfáltico = 5.0 %

$$\frac{E}{F} = \left( \frac{E}{F} \right) * \left( \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right)$$

$$\frac{E}{F} = \left( \frac{771}{3.25} \right) * 10$$

Estabilidad /flujo = 2371 kg/cm

**Tabla N° 05-12**  
DATOS PARA GRÁFICAS – MÉTODO MARSHALL  
**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/8”**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 3/8 ”									
PRINCIPALES DATOS PARA GRÁFICAS - MÉTODO MARSHALL									
N°	DETALLE	UND	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	PESO ESP. APARENTE - BULK / PESO UNIT. DE LA BRIQUETA	gr/cm <sup>3</sup>	2.098	2.128	2.143	2.16	2.175	2.185	2.185
2	PORCENTAJE DE VACÍOS (Va)	%	3.80	3.27	3.14	3.02	2.70	2.59	2.68
3	VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (V. M. A.)	%	17	16.26	16.12	15.9	15.77	15.84	16.29
4	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (V. F. A.)	%	77.68	79.91	80.51	81.02	82.9	83.68	83.53
5	ESTABILIDAD DE LA BRIQUETA (E)	kg	771	901	945	1000	1050	951	831
6	FLUENCIA DE LA BRIQUETA (F)	mm	3.25	3.67	3.75	3.92	4.08	4.33	4.50
7	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	<b>2371</b>	<b>2457</b>	<b>2520</b>	<b>2554</b>	<b>2572</b>	<b>2194</b>	<b>1846</b>

### 5.3. PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

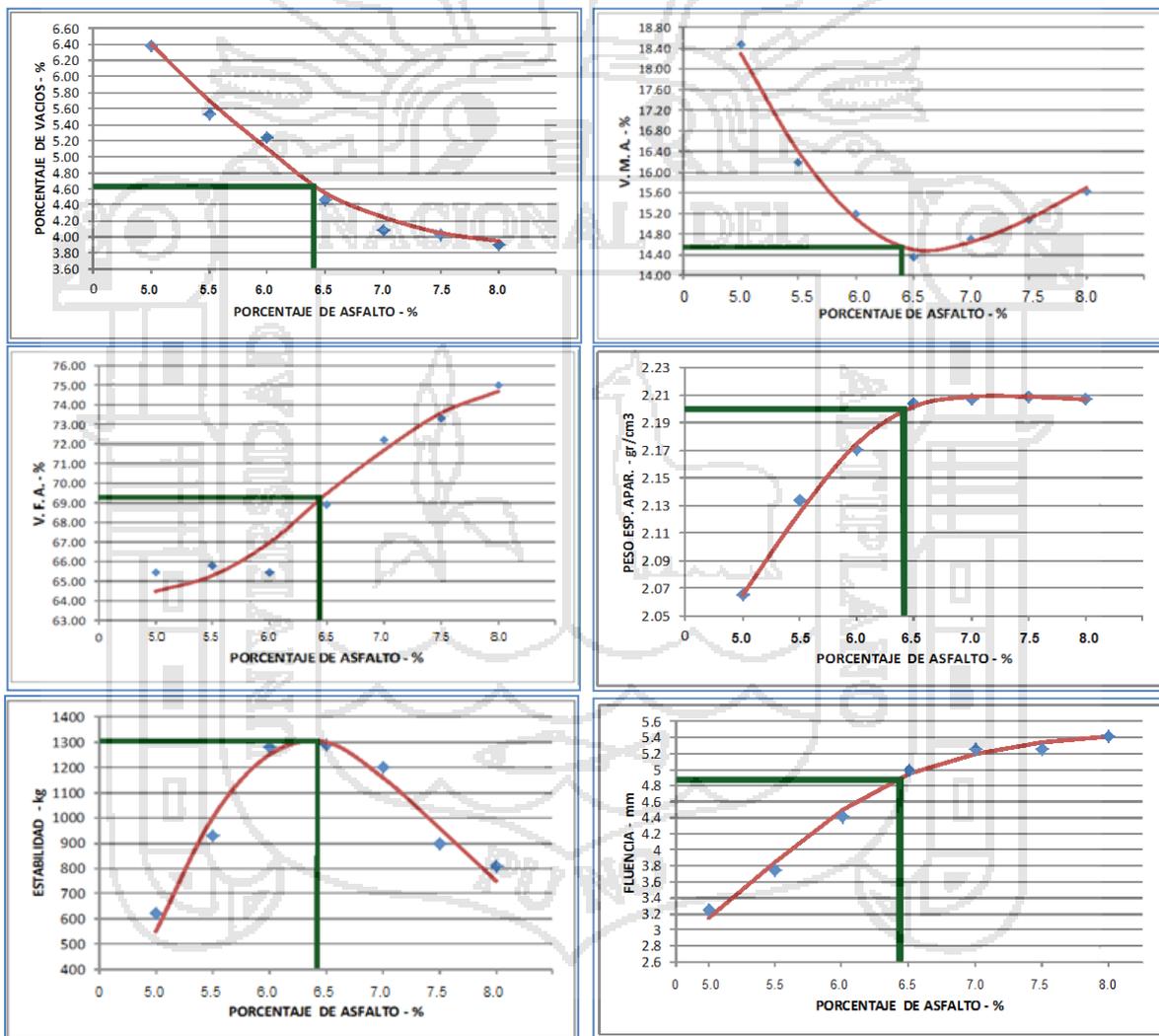
#### 5.3.1. DETERMINANDO EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA UN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO 1”

La Tabla 05-09 contiene un resumen de todos los datos necesarios para hacer las gráficas con las que se definirá el contenido óptimo de asfalto para el diseño, siguiendo un procedimiento de análisis de todas las gráficas establecidas por el método Marshall, tomando en cuenta la norma de Especificaciones Generales EG-2013, Sección 423 Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente como también la norma de Ensayo de Materiales EM-2000, Sección 05 Mezclas Bituminosas.

Los criterios utilizados para seleccionar el contenido óptimo de asfalto pueden variar dependiendo de cada organización. Se suele recomendar que el óptimo contenido asfáltico sea seleccionado en base al contenido asfáltico que proporciona la máxima estabilidad, el contenido asfáltico que presenta la densidad máxima, el contenido asfáltico en el punto medio del rango de vacíos (3% a 5%).

**Tabla N° 05-13**  
**Resumen de Valores Necesarios para el Trazo de las Gráficas**

N°	DETALLE	UND	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	PESO ESP. APARENTE - BULK / PESO UNIT. DE LA BRIQUETA	gr/cm <sup>3</sup>	2.065	2.134	2.171	2.204	2.207	2.209	2.207
2	PORCENTAJE DE VACÍOS (Va)	%	6.38	5.53	5.24	4.46	4.08	4.03	3.90
3	VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (V. M. A.)	%	18.47	16.19	15.19	14.36	14.7	15.08	15.62
4	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (V. F. A.)	%	65.44	65.82	65.48	68.93	72.22	73.3	75.01
5	ESTABILIDAD DE LA BRIQUETA (E)	kg	620	930	1280	1290	1201	900	810
6	FLUENCIA DE LA BRIQUETA (F)	mm	3.25	3.75	4.42	5.00	5.25	5.25	5.42



**Gráficas N° 05-01**

Diseño de Mezclas tamaño Máximo Nominal de Agregado - 1”

Fuente: De los Datos Obtenidos en Laboratorio

### **5.3.2. CRITERIO UTILIZADO EN LA PRESENTE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO**

El contenido óptimo de asfalto en el diseño de mezcla en caliente se determina a partir del análisis de las gráficas obtenidas con los datos de laboratorio según el método Marshall (MTC E 504) este método nos pide determinar la estabilidad, fluencia, la densidad, vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral, vacíos llenos con asfalto. Se calcula el porcentaje de vacíos en mezcla asfáltica quien deberá estar en un rango del 3 a 5% de vacíos (tabla 426-06 ,sección 423,EG-2013), considerando que se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos, para el cálculo porcentaje de vacíos se toma la norma (MTC E 505-2000).

Con este rango de vacíos serán comprobados todos los parámetros. Se traza líneas horizontal imaginarias desde el eje de las ordenadas de igual manera se traza líneas verticales desde el eje de las abscisas y que en algún momento se intercepten ambas líneas y ese dato se registre como el valor de porcentaje de cemento asfáltico en dicha intersección; el valor determinado de esta forma será tomado como el contenido óptimo de cemento asfáltico. Luego, con este contenido óptimo de cemento asfáltico evalúe todas las gráficas para encontrar todos los parámetros de control y luego compárelos con las especificaciones de diseño del método Marshall, para verificar si los valores encontrados cumplen. La manera para encontrar todos los parámetros es trazando una línea vertical desde el contenido óptimo de cemento asfáltico encontrado anteriormente, hasta que

esta línea intercepte la gráfica; luego a partir de esta intercepción trace una línea horizontal que intercepte el eje vertical.

De esta manera se pueden obtener cada uno de los parámetros de control que serán comparados con las especificaciones (tabla 426-06, sección 423, EG-2013). Si se cumplen todos los criterios de las especificaciones, el contenido de cemento asfáltico encontrado será considerado el contenido óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla. Con uno de los criterios que no cumpla será necesario hacer algunos ajustes sobre el diseño o volver a rediseñar la mezcla. (Ver anexo 05)

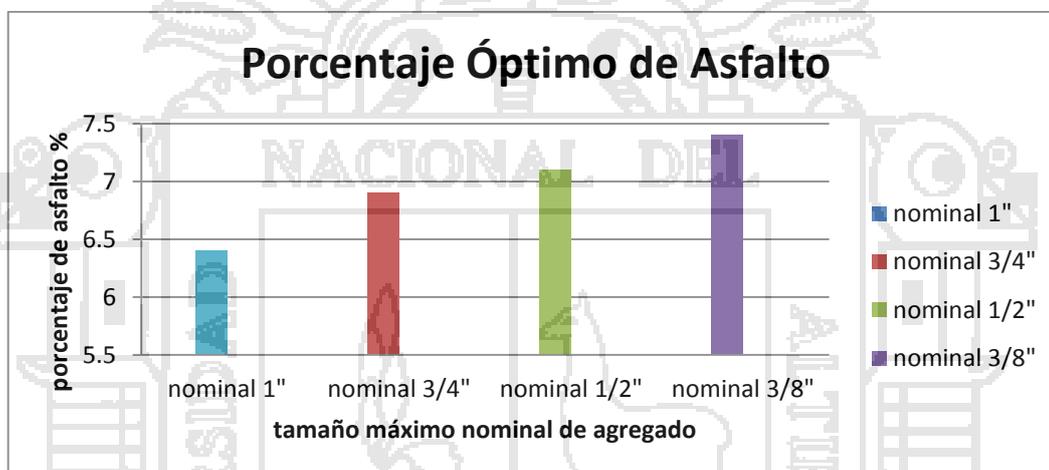
❖ **criterio de diseño utilizado.**

Del análisis de las gráficas, se toma un punto alto de la gráfica de Densidad vs Porcentaje de Asfalto el cual entra en el rango de vacíos que está entre 3 a 5 % de vacíos (tabla 426-06, sección-423, página 304, EG-2013) desde ese criterio tomado se empezará a evaluar las demás gráficas, determinando un 6.4 % de cemento asfáltico para una mezcla de asfalto con un tamaño máximo de agregado grueso de 3/4", se sigue el mismo procedimiento para las demás mezclas de asfalto con tamaño de agregado grueso diferente, siempre en cumplimiento de la norma EG-2013 (tabla 426-06, sección-423).

Ahora los valores determinados mediante el análisis de los Gráficos 05-01, son comparados con los valores recomendados por la EG-2013 y criterios de diseño Marshall. También se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto para los demás diseños de mezcla asfáltica en caliente con tamaño máximo nominal de agregado (3/4", 1/2", 3/8").

**Tabla N° 05-14**  
**Valores de Porcentaje Óptimo de Asfalto**

CUADRO RESUMEN DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO (% OPT. ASF.)						
N°	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	CANTERA CONDORIRE		CANTERA VILQUE	FILLER	PEN 120 - 150
		AGR. GRUESO	AGR. FINO CH.	AGR. FINO NAT.	CAL. HIDR.	% OPT. ASF.
1	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1"	45.96%	27.27%	16.01%	4.36%	6.40%
2	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"	36.09%	34.46%	18.55%	4.00%	6.90%
3	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1/2"	36.02%	34.38%	18.51%	3.99%	7.10%
4	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/8"	21.18%	57.66%	9.39%	4.37%	7.40%



**Grafica N° 05-02**  
Porcentaje Óptimo de Asfalto  
Fuente: De los Datos Obtenidos en Laboratorio

**5.4. PORCENTAJE DE VACÍOS**

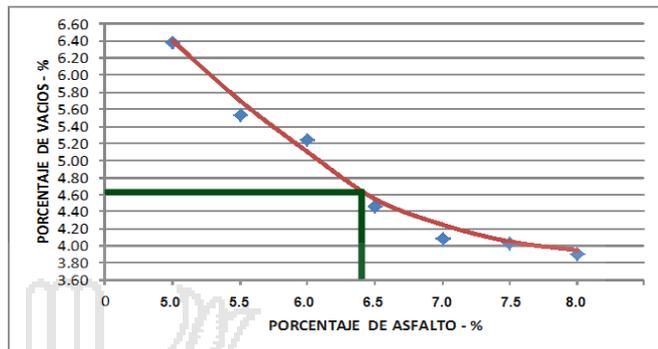
**5.4.1. EVALUAR EL PORCENTAJE DE VACÍOS PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON DIFERENTE TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO**

Para poder evaluar se tomará en cuenta las cuatro gráficas de porcentaje de vacíos (gráfica 05-03) obtenidas mediante el método Marshall, el rango de porcentajes de vacíos con aire (3 a 5 %) indicado por el Manual de Carreteras EG-2013 Sección 423.

Gráficas de Porcentajes de Vacíos

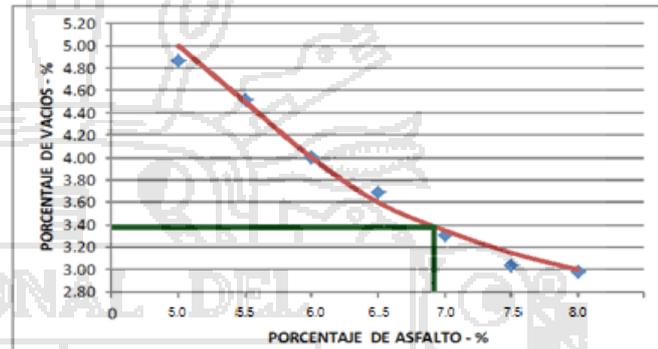
Tamaño Máximo Nominal de 1"

% ASF.	VACIOS (%)
5.0	6.38
5.5	5.53
6.0	5.24
6.5	4.46
7.0	4.08
7.5	4.03
8.0	3.90



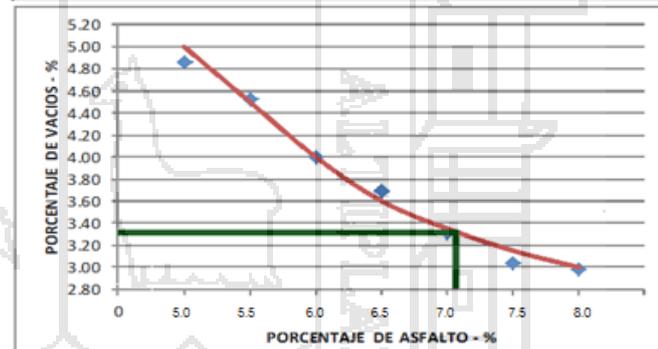
Tamaño Máximo Nominal de 3/4"

% ASF.	VACIOS (%)
5.0	4.86
5.5	4.52
6.0	4.01
6.5	3.69
7.0	3.31
7.5	3.05
8.0	2.98



Tamaño Máximo Nominal de 1/2"

% ASF.	VACIOS (%)
5.0	3.89
5.5	3.79
6.0	3.40
6.5	3.14
7.0	3.04
7.5	2.97
8.0	2.82



Tamaño Máximo Nominal de 3/8"

% ASF.	VACIOS (%)
5.0	3.81
5.5	3.27
6.0	3.16
6.5	3.01
7.0	2.68
7.5	2.59
8.0	2.67

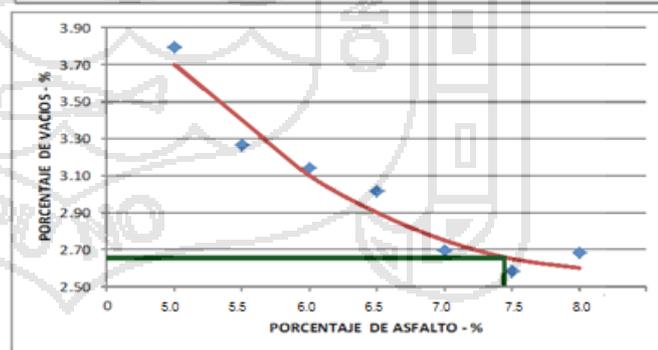
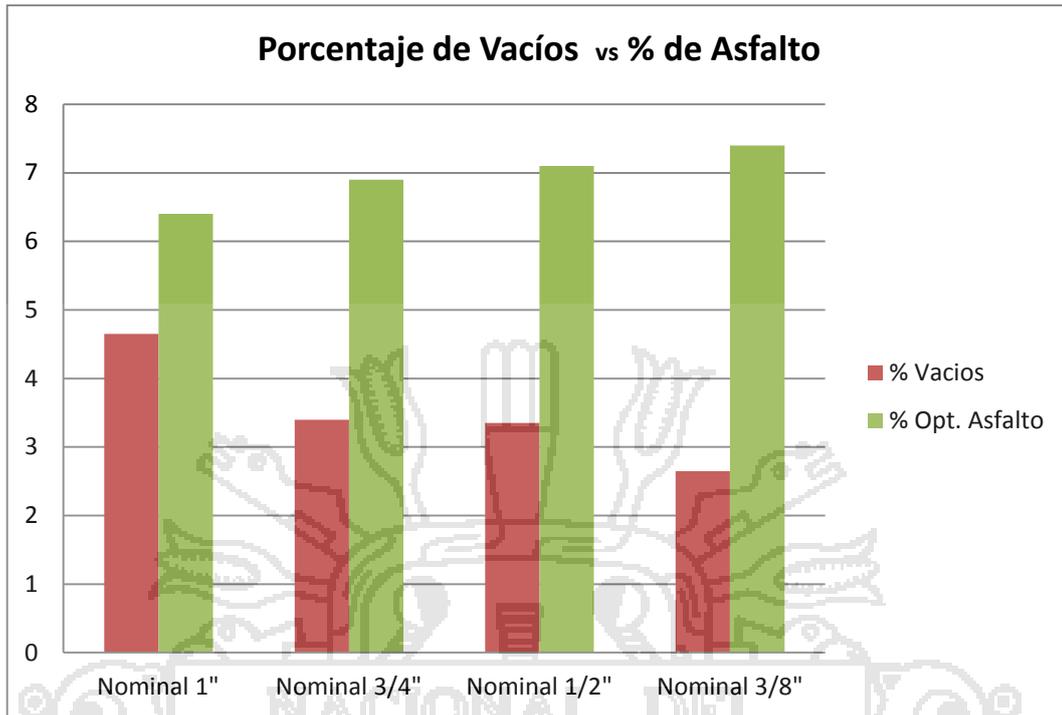


Gráfico N° 05-03

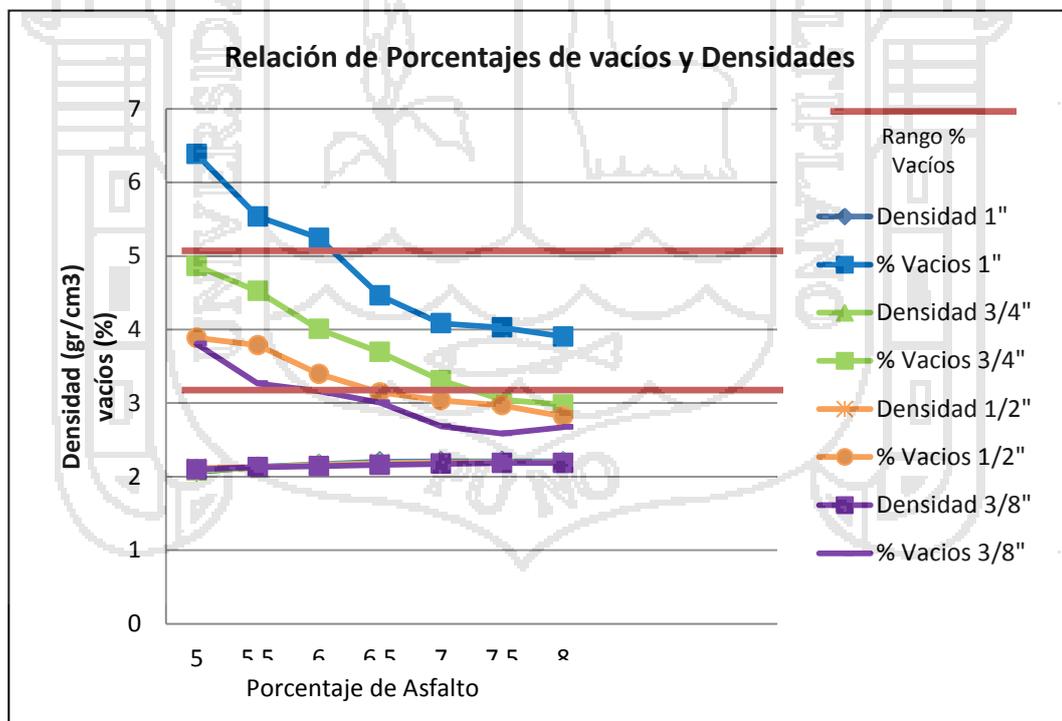
Gráficas de Porcentajes de Vacíos (1", 3/4", 1/2", 3/8")

Fuente: De los Datos Obtenidos en Laboratorio



**Gráfico N° 05-04**

Porcentaje de Vacíos relacionado con Porcentaje de Asfalto  
 Fuente: De los Datos Obtenidos en Laboratorio



**Gráfico N° 05-05**

Relación de Porcentajes de Vacíos y Densidades  
 Fuente: De los Datos Obtenidos en Laboratorio

Tabla N° 05-15  
Cuadro resumen método Marshall

CUADRO RESUMEN - MÉTODO MARSHALL								
N°	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	% OPT. ASF.	ESTABIL. (E)	FLUENCIA (F)	P. E. A. BULK	(Va)	V. M. A.	V. F. A.
1	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1"	6.40%	1300	4.85	2.2	4.65	14.55	69.3
2	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"	6.90%	1230	4.65	2.195	3.4	15.1	77.8
3	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1/2"	7.10%	1110	4.80	2.19	3.35	15.38	80.6
4	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/8"	7.40%	995	4.30	2.185	2.65	18.88	83.3





**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y**  
**SUGERENCIAS**

**CONCLUSIONES:**

- De los resultados obtenidos en laboratorio la Estabilidad, Fluencia, Porcentaje de Vacíos y Densidad, se puede afirmar que el tamaño máximo de agregado grueso si influye en el diseño de una mezclas asfáltica en caliente.
- El método Marshall el cual consiste en cuantificar el porcentaje óptimo de asfalto en una mezcla de asfalto en caliente, nos indica que el porcentaje óptimo de asfalto varía según al tamaño máximo del agregado de cada mezcla.(referencia capítulo III- Página 70)
- La Estabilidad y Fluencia de cada diseño de mezcla asfáltica en caliente depende del tamaño máximo de agregado grueso con respecto a deformación de la briqueta, medida en el equipo Marshall. (referencia Capítulo III-Páginas 65-69)
- La variación del porcentaje de vacíos y densidad de la mezcla asfáltica en caliente varía según tamaño máximo de agregado grueso.(referencia Capítulo III-Página 70)
- Las gráficas del método Marshall relacionan los parámetros de la mezcla de diseño versus el contenido de asfalto, determinando que a partir de estas graficas el contenido óptimo de asfalto y posteriormente expresando los parámetros de la mezcla asfáltica que serán la fórmula de trabajo que se utilizará en campo.
- El diseño de una mezcla asfáltica en caliente comienza con la selección del cemento asfaltico, la estructura del agregado, proporciones del agregado,

cemento asfáltico y mezclados de tal manera que el agregados pétreos queden cubiertos con una película delgado uniforme de asfalto para lograr una combinación óptima de los materiales a utilizar.

- Con la elaboración de la propuesta diseño se lograrán los niveles de seguridad, comodidad y de estética, necesarios para que la carretera Puno-Tiquillaca, tenga los niveles de serviabilidad, adecuados para los volúmenes de tránsito actuales, garantizando su funcionabilidad mientras



- SUGERENCIAS:
  - Que los agregados cumplan con las especificaciones establecidas en las normativas de ensayos para obtener mayores resultados al ser utilizados en la producción de la mezcla asfáltica.
  - Se debe realizar la calibración periódica del anillo de carga del Equipo Marshall que se utiliza para el control de la calidad de diseño de mezclas asfálticas en caliente.
  - Se sugiere la adquisición de equipos de laboratorio que mejorarán el aprendizaje y desarrollo de la rama de asfalto y pavimentos en la etapa de formación de pre grado.
    - ✓ Penetrómetro de Asfalto que se utilizará para medir la consistencia de muestras bituminosas.
    - ✓ Copa Cleveland que se utilizará para determinar el punto de inflamación del asfalto.
    - ✓ Bomba de vacíos y extractor de aire que se utilizará para la determinación del peso específico teórico máximo para mezclas asfálticas en caliente.



# **BIBLIOGRAFÍA**

**BIBLIOGRAFÍA:**

VALLE RODAS R. CARRETERAS, CALLES Y AEROPISTAS. 6TA EDICIÓN. UNIVERSIDAD DE TEXAS. 2008 (1-2)

INSTITUTO DEL ASFALTO. TECNOLOGÍA DEL ASFALTO Y PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN AGREGADOS MINERALES. 2º edición república de argentina 1983. TEMA C-LECCIÓN (3) P. B10(30)

SILVA LARICO W. TESIS" GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE" UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR /EIC -AGOSTO 2007(4)

PADILLA RODRIGUEZ P. MEZCLAS ASFÁLTICAS. SEXTA EDICIÓN 2012. CAP 2 .PAG. 14,40 (5)

MENÉNDEZ ACURIO J R. INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. CUARTA EDICIÓN. EDITORIAL ICG. 2013(8)

GARNICAANGUAS P. ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. PUBLIC. TEC. N°246. SANFANDILA- MÉXICO. 2004(9)

MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES. EM - 2000. SECCIÓN 05-MEZCLAS BITUMINOSAS (13)

MANUAL DE CARRETERAS. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES (EG-2013). R.D. N° 22-2013-MTC/14(25)

HERNÁNDEZ SAMPIERI R. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. TERCERA EDICIÓN. EDITORIAL MC GRAW. 2003 (26)

LUNA GARCÍA D. DISTRIBUCIÓN "T" DE ESTUDENT. UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL. Facultad de educación 2013  
<http://es.slideshare.net/torimatcordova/distribucion-t-de-student-28545004>

