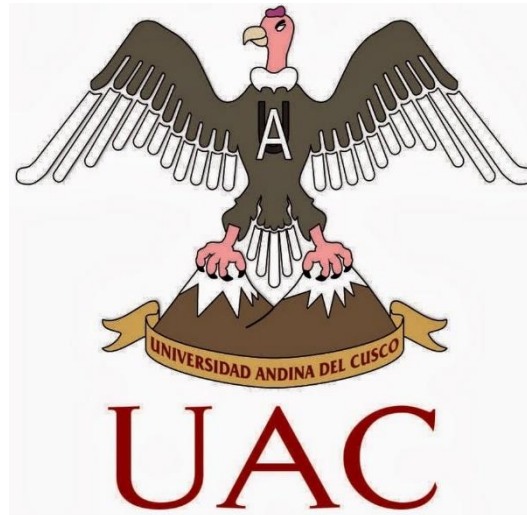




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

## FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



#### TESIS

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC  
COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO”**

---

PRESENTADO POR:

Bach. Luis Mario Quispe Chacon

Para optar el título profesional de Ingeniero  
Civil.

ASESOR:

Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO-PERU

2021



## **DEDICATORIA**

A Dios, por su infinita misericordia, por haberme permitido llegar a este punto con salud para poder cumplir con mis metas y objetivos, por no desampararme y guiarme bien.

A mi madre, Gloria Chacon Ordoñez, por su inagotable e inmenso amor y quien fue mi apoyo constante e incondicional, motivándome constantemente durante la realización de la investigación.

A mis abuelos, Gloria Ordoñez de Chacon y Juan Chacon Vargas, quienes me apoyaron siempre para poder desarrollar mi tesis y darme ejemplos de constancia y dedicación.

A mis hermanos, Jhair y Luiggi, por alegrar mis días y motivarme siempre a cumplir con mis metas y objetivos.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su infinito amor, por encontrar en Él fortaleza en momentos complicado, por darme oportunidades para adquirir aprendizajes, experiencias y felicidad y por permitirme haber concluido la investigación.

A mi familia, que hizo posible que llegue a culminar la investigación acompañándome y aconsejándome en todo momento.

A mi asesor Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez por su predisposición y colaboración para poder llevar a cabo la presente investigación.

Al laboratorio Ingeolab por permitirme llevar a cabo ensayos en sus instalaciones para el correcto desarrollo de la investigación.

A mi alma máter la Universidad Andina del Cusco, la cual me formó en conocimientos en sus aulas durante mis años de formación profesional, por prepararme adecuadamente para poder desenvolverme en la vida profesional.

A mis amigos por su colaboración, respaldo y apoyo, lo cual fue de mucha utilidad para poder concluir con la investigación.



## RESUMEN

En la presente tesis “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC como filler en un porcentaje óptimo” se realizó el análisis comparativo de las propiedades mecánicas (estabilidad y flujo) de un concreto asfáltico patrón frente a un concreto asfáltico modificado con incorporación de residuos de PVC como filler, realizando ensayos físico-mecánicos como la resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. En la presente investigación, para los diseños tanto de mezclas asfálticas convencionales como mezclas asfálticas modificadas, se emplearon los mismos agregados (agregado proveniente de la cantera de Ccosco Aylo y utilizado en la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco), la misma gradación (MAC-2) y el mismo cemento asfáltico (BETUTEC PG 70-28), variando solamente la incorporación de residuos de PVC como filler en la mezcla asfáltica modificada.

Para el control de calidad del agregado y el diseño de mezclas asfálticas en caliente se siguió con los lineamientos establecidos en el Manual de Ensayo de Materiales, Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras E.G. 2013 y la Norma CE.010 de Pavimentos Urbanos, considerando siete porcentajes de cemento asfáltico (4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00%, 6.50% y 7.00%) para determinar el contenido óptimo de asfalto con el método del Instituto del Asfalto, para posteriormente comparar las propiedades mecánicas (estabilidad y flujo) de la mezcla patrón con las propiedades mecánicas de la mezcla modificada con incorporación de PVC (0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%).

Finalmente, luego de analizar comparativamente la mezcla asfáltica patrón con la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC, se llegó a la conclusión de que al incluir PVC como filler se incrementaron las propiedades mecánicas (estabilidad y flujo) de la mezcla asfáltica, sin embargo, el contenido óptimo de incorporación de PVC como filler fue de 0.50% debido a que porcentajes superiores excede el límite de flujo para mezclas asfálticas.

### **PALABRAS CLAVE**

Propiedades mecánicas, estabilidad, flujo, mezcla asfáltica, PVC, filler, incorporación.



## ABSTRACT

In the present thesis "Comparative analysis of the mechanical properties of asphalt mixtures with incorporation of PVC residues as filler in an optimal percentage", the comparative analysis of the mechanical properties (stability and flow) of a standard asphalt concrete against a modified asphalt concrete with the incorporation of PVC residues as filler, carrying out physical-mechanical tests such as the resistance of bituminous mixtures using the Marshall apparatus. In the present investigation, for the designs of both conventional asphalt mixtures and modified asphalt mixtures, the same aggregates were used (aggregate from the Ccosco Ayillo quarry and used in the asphalt plant of the Regional Government of Cusco), the same gradation (MAC-2) and the same asphalt cement (BETUTEC PG 70-28), only varying the incorporation of PVC residues as filler in the modified asphalt mix.

For the quality control of the aggregate and the design of hot asphalt mixtures, the guidelines established in the Materials Testing Manual, General Technical Specifications Manual for Highway Construction E.G. 2013 and regulation CE.010 for Urban Pavements, considering seven percentages of asphalt cement (4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00%, 6.50% and 7.00%) to determine the optimal asphalt content with the method of asphalt institute, to later compare the mechanical properties (stability and flow) of the standard mixture with the mechanical properties of the modified mixture with PVC incorporation (0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% and 1.50%).

Finally, after comparatively analyzing the standard asphalt mix with the modified asphalt mix with PVC residues, it was concluded that by including PVC as a filler, the mechanical properties (stability and flow) of the asphalt mix increased, however, the optimal content of incorporation of PVC as filler was 0.50% due to higher percentages exceeding the flow limit for asphalt mixes.

### Key Words

Mechanical properties, stability, flow, asphalt mix, PVC, filler, incorporation.



## INTRODUCCIÓN

En la ciudad del Cusco, una de las ciudades más importantes del sur del país, se puede percibir la mala calidad de los pavimentos flexibles, los cuales tienen una vida útil efectiva menor a la vida útil real; ya sea por deficiencias en la elaboración del diseño, por deficiencias en la elaboración de las mezclas asfálticas o por falta de mantenimiento.

El trabajo de investigación se realiza identificando el problema, definiendo los objetivos e hipótesis; habiendo concluido dicho proceso se recopilaron diversos datos como la granulometría de los agregados, el índice de alargamiento y achatamiento; para que habiendo obtenido esos datos se haga el diseño de la mezcla asfáltica cumpliendo con la normatividad vigente y al mismo tiempo comparar la incorporación de residuos de PVC como filler en los diseños de mezcla en diferentes porcentajes para hallar un porcentaje óptimo de incorporación. Con los resultados obtenidos podemos realizar las conclusiones para proponer a futuro que se utilice la mezcla asfáltica modificada en obra y así mejorar la calidad del pavimento flexible en la ciudad del Cusco.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xxi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema .....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema .....	2
1.2. Justificación e importancia de la investigación .....	2
1.2.1. Justificación técnica.....	2
1.2.2. Justificación social.....	3
1.2.3. Justificación por viabilidad.....	3
1.2.4. Justificación por relevancia .....	3
1.3. Limitaciones de la investigación .....	3
1.3.1. Limitaciones geográficas .....	3
1.3.2. Limitaciones de diseño .....	4
1.4. Objetivos de la investigación .....	4
1.4.1. Objetivos generales.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes de la tesis .....	6



2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	6
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional .....	11
2.2. Aspectos teóricos pertinentes.....	13
2.2.1. Agregado.....	13
2.2.2. Asfalto.....	15
2.2.3. Plásticos .....	23
2.2.4. Pavimentos.....	26
2.2.5. Mezcla asfáltica .....	26
2.2.6. Normativa para la calidad de la mezcla asfáltica.....	33
2.2.7. Ensayos de calidad de los agregados .....	40
2.2.8. Ensayos de calidad de las mezclas asfálticas .....	50
2.2.9. Propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.....	52
2.2.10. Datos atípicos.....	59
2.2.11. Como lidiar con datos atípicos.....	60
2.3. Hipótesis .....	60
2.3.1. Hipótesis general.....	60
2.3.2. Sub hipótesis .....	60
2.4. Definición de variables .....	61
2.4.1. Variables independientes .....	61
2.4.2. Variables dependientes .....	61
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables .....	62
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>63</b>
3.1. Metodología de la investigación.....	63
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	63
3.1.2. Nivel de la investigación .....	63
3.1.3. Método de la investigación.....	63
3.2. Diseño de la investigación.....	64





3.2.1.	Diseño metodológico .....	64
3.2.2.	Diseño de ingeniería .....	65
3.3.	Población y muestra .....	66
3.3.1.	Población .....	66
3.3.2.	Muestra .....	67
3.3.3.	Criterios de inclusión.....	69
3.4.	Instrumentos .....	69
3.4.1.	Instrumentos metodológicos.....	69
3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería .....	85
3.5.	Procedimientos de recolección de datos.....	87
3.5.1.	Análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E-204) .....	87
3.5.2.	Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E-204).....	91
3.5.3.	Resistencia a la abrasión de los agregados (MTC E_207) .....	96
3.5.4.	Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E-210) .....	99
3.5.5.	Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (MTC E-221) .....	103
3.5.6.	Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206).....	106
3.5.7.	Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205) .....	109
3.5.8.	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (MTC E-110 Y MTC E-111).....	116
3.5.9.	Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E-209).....	122
3.5.10.	Combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2 .....	129
3.5.11.	Dosificación de agregado y preparación de mezclas asfálticas en caliente....	131
3.5.12.	Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514).....	139
3.5.13.	Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (MTC E-508).....	143



3.5.14. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas compactadas.....	145
3.5.15. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.....	147
3.5.16. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes compactados (MTC E-207)	149
3.5.17. Elección del contenido óptimo de asfalto.....	154
3.5.18. Dosificación y preparación de la mezcla asfáltica patrón con el contenido óptimo de asfalto.....	155
3.5.19. Peso específico aparente y peso unitario de la mezcla asfáltica patrón compactada empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)	162
3.5.20. Peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica patrón para pavimentos (MTC E-508).....	165
3.5.21. Verificación de la gravedad específica efectiva de la mezcla asfáltica patrón compactadas.....	167
3.5.22. Determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica patrón compactada.....	168
3.5.23. Resistencia de la mezcla bituminosas patrón empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207).....	169
3.5.24. Resumen y gráficos de los resultados de los especímenes compactados.....	176
3.5.25. Análisis granulométrico de los residuos de PVC (MTC E-204).....	176
3.5.26. Incorporación de los residuos de PVC en la mezcla asfáltica.....	187
3.5.27. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas modificadas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514).....	193
3.5.28. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas modificadas para pavimentos (MTC E-508).....	198



3.5.29. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas modificadas compactadas .....	203
3.5.30. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas modificadas compactadas .....	205
3.5.31. Resistencia de mezclas bituminosas modificadas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207) .....	207
3.6. Procedimientos de análisis de datos .....	213
3.6.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E-204) .....	213
3.6.2. Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E-204).....	215
3.6.3. Resistencia a la abrasión de los agregados (MTC E-207) .....	218
3.6.4. Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E-210) .....	219
3.6.5. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (MTC E-221) .....	223
3.6.6. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206).....	225
3.6.7. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205) .....	226
3.6.8. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (MTC E-110 y MTC E-111).....	229
3.6.9. Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E-209).....	233
3.6.10. Combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2 .....	236
3.6.11. Dosificación de agregado y preparación de mezclas asfálticas en caliente....	240
3.6.12. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514).....	251
3.6.13. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (MTC E-508).....	253
3.6.14. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas compactadas.....	257



3.6.15. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.....	263
3.6.16. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes compactados (MTC E-207) 268	
3.6.17. Elección del contenido óptimo de asfalto.....	270
3.6.18. Dosificación y preparación de la mezcla asfáltica patrón con el contenido óptimo de asfalto.....	271
3.6.19. Peso específico aparente y peso unitario de la mezcla asfáltica patrón compactada empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514) 276	
3.6.20. Peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica patrón para pavimentos (MTC E-508).....	277
3.6.21. Verificación de la gravedad específica efectiva de la mezcla asfáltica patrón compactadas.....	280
3.6.22. Determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica patrón compactada.....	282
3.6.23. Resistencia de la mezcla bituminosas patrón empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207).....	284
3.6.24. Resumen y gráficos de los resultados de los especímenes compactados .....	285
3.6.25. Análisis granulométrico de los residuos de PVC (MTC E-204).....	291
3.6.26. Incorporación de los residuos de PVC en la mezcla asfáltica .....	294
3.6.27. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas modificadas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514).....	295
3.6.28. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas modificadas para pavimentos (MTC E-508).....	297
3.6.29. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas modificadas compactadas .....	305



3.6.30. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas modificadas compactadas .....	310
3.6.31. Resistencia de mezclas bituminosas modificadas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207) .....	314
3.6.32. Elección del contenido óptimo de PVC.....	316
3.6.33. Análisis de variación de costos.....	322
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS .....</b>	<b>324</b>
4.1. Resultados del diseño de mezcla .....	324
4.2. Resultados de la mezcla modificada.....	324
4.3. Resultados de la comparación de estabilidad de las mezclas asfálticas .....	324
4.4. Resultados de la comparación de flujo de las mezclas asfálticas .....	325
4.5. Resultados de la comparación del peso específico de las mezclas asfálticas .....	326
4.6. Resultados de la comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas .....	326
<b>CAPÍTULO V DISCUSIÓN .....</b>	<b>328</b>
Discusión N° 1:.....	328
Discusión N° 2:.....	328
Discusión N° 3:.....	328
Discusión N° 4:.....	328
Discusión N° 5:.....	329
Discusión N° 6:.....	329
Discusión N° 7:.....	329
Discusión N° 8:.....	329
Discusión N° 9:.....	330
Discusión N° 10:.....	330
Discusión N° 11:.....	330
Discusión N° 12:.....	330



Discusión N° 13:.....	331
Discusión N° 14:.....	331
Discusión N° 15:.....	331
CAPITULO VI GLOSARIO .....	333
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES.....	335
CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES .....	337
REFERENCIAS.....	339
ANEXOS .....	340



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación según la temperatura media anual.....	17
Tabla 2: Clasificación según la penetración.....	18
Tabla 3: Clasificación según sus viscosidad .....	19
Tabla 4: Especificaciones del cemento asfáltico según performance grade (PG).....	20
Tabla 5: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28 .....	22
Tabla 6: Clasificación de las mezclas asfálticas.....	29
Tabla 7: Temperaturas de mezcla y compactación de mezclas asfálticas con cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28 .....	33
Tabla 8: Requerimientos de los agregados gruesos .....	34
Tabla 9: Requerimientos de los agregados finos.....	35
Tabla 10: Gradación para mezclas asfálticas en caliente .....	35
Tabla 11: Especificaciones del cemento asfáltico.....	36
Tabla 12: Especificaciones de la mezcla asfáltica .....	37
Tabla 13: Requerimientos para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente .....	38
Tabla 14: Requerimientos de agregados finos para mezclas asfálticas en caliente .....	38
Tabla 15: Requerimientos de gradación para mezclas asfálticas en caliente.....	39
Tabla 16: Requerimientos para las mezclas asfálticas en caliente .....	39
Tabla 17: Cantidad de material para granulometría .....	40
Tabla 18: Límites granulométricos de mezclas asfálticas en caliente.....	41
Tabla 19: Número de esferas para el ensayo de abrasión .....	42
Tabla 20: Especificaciones para el ensayo de abrasión .....	42
Tabla 21: Especificaciones para el ensayo de partículas aplanadas y alargadas.....	43
Tabla 22: Requisitos de las propiedades de los agregados .....	45
Tabla 23: Muestras para ensayo de caras fracturadas .....	46
Tabla 24: Peso de la muestra para el ensayo .....	47
Tabla 25: Tamices para el ensayo de durabilidad de agregados finos .....	49
Tabla 26: Muestra para el ensayo de durabilidad del agregado grueso .....	50
Tabla 27: Factores de corrección de estabilidad .....	52
Tabla 28: VMA máximo en porcentaje.....	53
Tabla 29: Causas y efectos de inestabilidad en los pavimentos.....	59
Tabla 30: Cuadro de Operacionalización de variables.....	62



Tabla 31: Cuantificación de la población.....	66
Tabla 32: Cuantificación de muestras para el contenido óptimo de asfalto.....	67
Tabla 33: Cuantificación de muestras modificadas .....	68
Tabla 34: Ficha para realizar el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos ...	70
Tabla 35: Ficha para el análisis granulométrico de los residuos de PVC .....	71
Tabla 36: Ficha para determinar la resistencia a la abrasión de los agregados.....	72
Tabla 37: Ficha para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en los agregados .....	73
Tabla 38: Ficha para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento del agregado	74
Tabla 39: Ficha para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso .....	75
Tabla 40: Ficha para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.....	76
Tabla 41: Ficha para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	77
Tabla 42: Ficha para recolectar datos de la durabilidad del agregado al sulfato de sodio o magnesio.....	78
Tabla 43: Ficha para realizar la combinación de agregados .....	79
Tabla 44: Ficha para la dosificación de agregado para preparación de mezclas asfálticas en caliente.....	80
Tabla 45: Ficha para la determinación del peso específico de mezclas asfálticas compactadas.....	81
Tabla 46: Ficha para la determinación del peso específico teórico máximo .....	82
Tabla 47: Ficha para la determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.....	83
Tabla 48: Ficha para la verificación de la gravedad específica efectiva.....	84
Tabla 49: Ficha para la determinación de la resistencia de las mezclas asfálticas.....	85
Tabla 50: Datos para el análisis granulométrico del agregado grueso .....	90
Tabla 51: Datos para el análisis granulométrico de la arena triturada .....	94
Tabla 52: Datos para el análisis granulométrico de la arena natural.....	95
Tabla 53: Gradación de muestras para el ensayo de abrasión.....	96
Tabla 54: Carga abrasiva del ensayo de los ángeles .....	96
Tabla 55: Datos para determinar la resistencia a la abrasión del agregado.....	99
Tabla 56: Muestra para ensayar el porcentaje de partículas fracturadas.....	100
Tabla 57: Datos para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado.....	102





Tabla 58: Muestra para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento del agregado .....	103
Tabla 59: Datos para la determinación del índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados .....	106
Tabla 60: Peso mínimo de la muestra para peso específico de agregado grueso.....	107
Tabla 61: Datos para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso .....	109
Tabla 62: Datos para determinar la gravedad específica y absorción de la arena triturada .....	115
Tabla 63: Datos para determinar la gravedad específica y absorción de la arena natural .....	115
Tabla 64: Datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena triturada .....	120
Tabla 65: Datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena natural.....	121
Tabla 66: Tamices y pesos requeridos para ensayar el agregado grueso .....	122
Tabla 67: Tamices requeridos para ensayar el agregado fino .....	122
Tabla 68: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso .....	127
Tabla 69: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural .....	128
Tabla 70: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena triturada .....	128
Tabla 71: Datos para realizar la combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2.....	130
Tabla 72: Datos para la dosificación de agregados para mezclas asfálticas en caliente .	138
Tabla 73: Datos para determinar el peso específico de los especímenes compactados ..	142
Tabla 74: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados .....	144
Tabla 75: Datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes compactados .....	146
Tabla 76: Datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes compactados .....	148
Tabla 77: Factores de corrección de estabilidad .....	150



Tabla 78: Datos para determinar la resistencia de los especímenes compactados.....	154
Tabla 79: Datos para determinar el contenido óptimo de asfalto.....	155
Tabla 80: Datos de la dosificación para los especímenes patrón con % óptimo de asfalto .....	161
Tabla 81: Datos para calcular el peso específico teórico máximo de los especímenes patrón compactados .....	166
Tabla 82: Datos para la verificación de la gravedad específica efectiva de los especímenes patrón compactados .....	167
Tabla 83: Datos para la determinación de los parámetros volumétricos de los especímenes patrón compactados .....	168
Tabla 84: Factores de corrección de estabilidad .....	170
Tabla 85: Datos para determinar la resistencia y la altura de los especímenes patrón compactados .....	175
Tabla 86: Datos para graficar los resultados de los ensayos realizados a los especímenes compactados .....	176
Tabla 87: Datos para realizar el análisis granulométrico de los residuos de PVC.....	186
Tabla 88: Datos para la incorporación de los residuos de PVC.....	193
Tabla 89: Datos para la determinación del peso específico de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas .....	197
Tabla 90: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 0.50% de PVC.....	199
Tabla 91: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 0.75% de PVC.....	200
Tabla 92: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.00% de PVC.....	201
Tabla 93: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.25% de PVC.....	202
Tabla 94: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.50% de PVC.....	203
Tabla 95: Datos para la verificación de la gravedad específica efectiva de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas .....	204
Tabla 96: Datos para el cálculo de los parámetros volumétricos de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas .....	206
Tabla 97: Factores de corrección de estabilidad .....	209



Tabla 98: Datos para determinar la resistencia y la altura de los especímenes de mezclas asfálticas compactadas.....	212
Tabla 99: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	214
Tabla 100: Análisis granulométrico de la arena triturada.....	216
Tabla 101: Análisis granulométrico de la arena natural.....	217
Tabla 102: Análisis de datos para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	219
Tabla 103: Análisis de datos para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.....	222
Tabla 104: Análisis de datos para determinar el índice de alargamiento y aplanamiento del agregado.....	224
Tabla 105: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.....	226
Tabla 106: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción de la arena triturada.....	227
Tabla 107: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción de la arena natural.....	228
Tabla 108: Análisis de datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena triturada.....	231
Tabla 109: Análisis de datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena natural.....	232
Tabla 110: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso.....	234
Tabla 111: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural.....	235
Tabla 112: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena.....	235
Tabla 113: Análisis de datos para realizar la combinación de agregados para elaborar mezclas asfálticas.....	239
Tabla 114: Análisis de datos para calcular la dosificación de agregado y asfalto para preparar mezclas asfálticas.....	250
Tabla 115: Análisis de datos para calcular el peso específico de los especímenes compactados.....	252



Tabla 116: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados .....	256
Tabla 117: Análisis de datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes compactados .....	262
Tabla 118: Análisis de datos para calcular los parámetros volumétricos de los especímenes compactados .....	267
Tabla 119: Análisis de datos para determinar la resistencia de los especímenes compactados .....	269
Tabla 120: Análisis de datos para calcular el contenido óptimo de asfalto .....	270
Tabla 121: Análisis de datos para determinar la dosificación de la mezcla asfáltica patrón .....	275
Tabla 122: Análisis de datos para determinar el peso específico de los especímenes patrón compactados .....	277
Tabla 123: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes patrón compactados .....	279
Tabla 124: Análisis de datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes patrón compactados .....	282
Tabla 125: Análisis de datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes patrón compactados .....	284
Tabla 126: Análisis de datos para determinar la resistencia de los especímenes patrón compactados .....	285
Tabla 127: Resumen de los resultados para cada contenido de asfalto.....	286
Tabla 128: Gráficos de los resultados obtenidos de estabilidad (KN) y flujo (mm).....	287
Tabla 129: Gráficos para los resultados obtenidos de flujo (0.01") y peso específico (gr/cm <sup>3</sup> ) .....	288
Tabla 130: Gráficos para los resultados obtenidos de vacíos totales de la mezcla y vacíos del agregado mineral .....	289
Tabla 131: Gráficos para los resultados obtenidos de vacíos llenos de asfalto y relación estabilidad/flujo .....	290
Tabla 132: Análisis de datos para determinar la granulometría de los residuos de PVC	293
Tabla 133: Análisis de datos para determinar el peso de PVC a incorporar .....	294
Tabla 134: Análisis de datos para determinar el peso específico de los especímenes modificados compactados.....	296



Tabla 135: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 0.50% de PVC.....	300
Tabla 136: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 0.75% de PVC.....	301
Tabla 137: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.00% de PVC.....	302
Tabla 138: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.25% de PVC.....	303
Tabla 139: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.50% de PVC.....	304
Tabla 140: Análisis de datos para verificar el peso específico efectivo de los especímenes modificados con PVC compactados .....	309
Tabla 141: Análisis de datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas con PVC .....	313
Tabla 142: Análisis de datos para determinar la resistencia de los especímenes modificados con PVC compactados .....	315
Tabla 143: Análisis de datos para determinar el contenido óptimo de PVC .....	317
Tabla 144: Gráficos de los resultados de estabilidad (KN) y flujo (mm) de las mezclas asfálticas modificadas .....	318
Tabla 145: Gráficos del flujo (0.01") y peso específico (gr/cm <sup>3</sup> ) de las mezclas asfálticas modificadas.....	319
Tabla 146: Gráficos de los resultados de VTM y VMA de las mezclas modificadas.....	320
Tabla 147: Gráfico del resultado de VFA para las mezclas modificadas .....	321
Tabla 148: Costos de producción de mezcla asfáltica convencional .....	322
Tabla 149: Costos de producción de mezcla asfáltica modificada.....	323
Tabla 150: Resultados del diseño de mezcla asfáltica .....	324
Tabla 151: Resultados de la mezcla asfáltica modificada.....	324
Tabla 152: Comparación de los valores de estabilidad.....	324
Tabla 153: Comparación de los valores de flujo.....	325
Tabla 154: Comparación de los valores de peso específico.....	326
Tabla 155: Comparación de los valores de parámetros volumétricos.....	327
Tabla 156: Matriz de consistencia.....	340



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Volumen vehicular en la Av. El Sol.....	1
Figura 2: Piel de cocodrilo.....	1
Figura 3: Agregado grueso .....	14
Figura 4: Agregado fino.....	14
Figura 5: Diagrama de emulsión asfáltica .....	23
Figura 6: Plásticos.....	24
Figura 7: PVC .....	25
Figura 8: Máquina de los Ángeles .....	42
Figura 9: Calibrador de partículas aplanadas.....	44
Figura 10: Calibrador de partículas alargadas .....	44
Figura 11: Esquema de una partícula fracturada .....	46
Figura 12: Estados de saturación del agregado.....	47
Figura 13: Ilustración del VMA en una probeta de mezcla asfáltica en caliente compactada .....	53
Figura 14: Representación de los parámetros volumétricos en una probeta.....	54
Figura 15: Relacion de parámetros volumétricos .....	55
Figura 16: Esquema del agregado seco.....	56
Figura 17: Esquema del agregado para gravedad específica bulk .....	56
Figura 18: Esquema para la gravedad específica saturada superficialmente seca .....	57
Figura 19: Diagrama de flujo del diseño de ingeniería.....	65
Figura 20: Cuarteo del agregado.....	87
Figura 21: Serie de tamices para el agregado grueso ensamblada con agregado dentro	88
Figura 22: Tamizado del agregado grueso.....	88
Figura 23: Peso del agregado retenido en el tamiz .....	89
Figura 24: Cuarteo del agregado fino .....	91
Figura 25: Serie de tamices para el agregado fino ensamblada con agregado dentro ....	92
Figura 26: Tamizado del agregado fino .....	92
Figura 27: Agregado fino retenido en cada tamiz.....	93
Figura 28: Colocación del agregado dentro de la máquina de abrasión los angeles .....	97
Figura 29: Agregado grueso dentro de la máquina de abrasión con la carga abrasiva...	97
Figura 30: Tamizaje en el tamiz N° 10 del material .....	98



Figura 31: Tamizado de agregado grueso para determinar el porcentaje de partículas fracturadas .....	100
Figura 32: Verificación de las caras fracturadas de los agregados .....	101
Figura 33: Agrupación de las porciones de agregado retenido por tamices .....	104
Figura 34: Utilización del calibrador para partículas alargadas .....	104
Figura 35: Utilización del calibrador para partículas achatadas .....	105
Figura 36: Peso del agregado sumergido .....	107
Figura 37: Secado con franela del agregado grueso .....	108
Figura 38: Secado del agregado en el horno .....	108
Figura 39: Peso del agregado grueso seco .....	109
Figura 40: Secado del agregado con aire caliente.....	110
Figura 41: Compactación del agregado con el molde cónico .....	111
Figura 42: Peso del matraz con agua .....	111
Figura 43: Colocando el agregado dentro del matraz aforado .....	112
Figura 44: Llenado del matraz con agua.....	112
Figura 45: Extracción de las burbujas de aire con la bomba de vacíos .....	113
Figura 46: Peso del matraz con agregado y agua.....	113
Figura 47: Secado del agregado fino en el horno .....	114
Figura 48: Peso seco del agregado fino .....	114
Figura 49: Colocación del agregado en la cuchara de casagrande .....	116
Figura 50: División de la muestra con el ranurador.....	117
Figura 51: Registro del número de golpes de la cuchara de Casagrande .....	117
Figura 52: Toma de muestra para determinar su contenido de humedad .....	118
Figura 53: Muestra para el límite plástico humedecida .....	118
Figura 54: Muestra no presenta límite plástico.....	119
Figura 55: Arena triturada sumergida en la solución de sulfato de magnesio .....	123
Figura 56: Arena natural sumergida en la solución de sulfato de magnesio .....	123
Figura 57: Agregado grueso sumergido en la solución de sulfato de magnesio.....	124
Figura 58: Agregado grueso y fino sumergidos en la solución de sulfato de magnesio para el ensayo de durabilidad .....	124
Figura 59: Agregado grueso escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio .....	125
Figura 60: Arena triturada escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio.....	125
Figura 61: Arena natural escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio .....	126
Figura 62: Colocación de muestras para secarse en el horno a 110 °C .....	126



Figura 63: Registro del peso final de las muestras .....	127
Figura 64: Tamizado del agregado .....	131
Figura 65: Separación por fracciones de retenido del agregado fino .....	132
Figura 66: Dosificación del agregado grueso .....	132
Figura 67: Dosificación del agregado fino .....	133
Figura 68: Dosificación de los agregadas .....	133
Figura 69: Calentado de agregados y molde de compactación a temperatura de la mezcla .....	134
Figura 70: Calentado de materiales necesarios para la mezcla asfáltica a temperatura de mezclado .....	134
Figura 71: Mezclado del asfalto con los agregados .....	135
Figura 72: Control de la temperatura de la mezcla .....	135
Figura 73: Molde de compactación ensamblado sobre el pedestal del compactador ...	136
Figura 74: Vertido de la mezcla asfáltica dentro del molde de compactación .....	136
Figura 75: Eyección de las mezclas asfálticas compactadas .....	137
Figura 76: Determinación del peso seco de los especímenes .....	139
Figura 77: Inmersión de los especímenes en baño maría a 25 °C .....	140
Figura 78: Determinación del peso sumergido de los especímenes .....	140
Figura 79: Espécimen sumergido .....	141
Figura 80: Secado de los especímenes con la franela .....	141
Figura 81: Medición del diámetro del espécimen compactado .....	149
Figura 82: Medición de la altura del espécimen compactado.....	150
Figura 83: Especímenes colocados en el horno a 60 °C .....	151
Figura 84: Verificación de la temperatura de los especímenes compactados.....	151
Figura 85: Colocado de los especímenes compactados en el cabezal de rotura .....	152
Figura 86: Muestra dentro del cabezal de rotura lista para ser ensayada .....	152
Figura 87: Configuración de los parámetros para la ejecución de la prueba .....	153
Figura 88: Tamizado de los agregados para preparación de la mezcla asfáltica patrón	156
Figura 89: Pesado de agregado dosificado en bolsas para preparación de mezcla asfáltica patrón .....	157
Figura 90: Agregado combinado necesario para elaborar la mezcla asfáltica patrón ..	157
Figura 91: Incorporación del agregado combinado a la mezcla .....	158
Figura 92: Mezclado del agregado y asfalto de la mezcla asfáltica patrón .....	158





Figura 93: Vertido de la mezcla asfáltica patrón en el molde de compactación ensamblado .....	159
Figura 94: Compactado de la mezcla asfáltica patrón .....	160
Figura 95: Eyección de la mezcla asfáltica patrón compactada .....	160
Figura 96: Peso del espécimen patrón seco .....	162
Figura 97: Especímenes patrones sumergidos en baño maría a 25 °C .....	163
Figura 98: Determinación del peso sumergido de los especímenes patrones.....	163
Figura 99: Secado de los especímenes de mezclas asfálticas patrón.....	164
Figura 100: Medición del espesor de los especímenes patrón.....	169
Figura 101: Medición del diámetro de los especímenes patrón.....	170
Figura 102: Especímenes patrón calentando en horno a 60 °C por 120 minutos .....	171
Figura 103: Especímenes patrón calentados en baño maría a 60 °C por 30 minutos ...	171
Figura 104: Cabezal de rotura listo para ser lubricado .....	172
Figura 105: Extracción de los especímenes del horno para ensayarlos .....	172
Figura 106: Extracción del espécimen patrón del baño maría para ensayar su resistencia .....	173
Figura 107: Secado del espécimen patrón para ensayar su resistencia.....	173
Figura 108: colocación del espécimen patrón en el cabezal de rotura.....	174
Figura 109: Configuración de la velocidad de carga para ensayar la resistencia del espécimen patrón .....	174
Figura 110: Espécimen listo para ser ensayado en la máquina Marshall .....	175
Figura 111: Motor necesario para triturar el PVC .....	177
Figura 112: Motor listo para triturar PVC .....	178
Figura 113: Raspado de tubo de PVC.....	178
Figura 114: Introducción del tubo de PVC dentro de la caja para rasparlo con la piedra porosa .....	179
Figura 115: Partículas de PVC atrapadas en la caja luego del raspado con la piedra porosa .....	179
Figura 116: PVC triturado contenido en la caja .....	180
Figura 117: PVC triturado dentro de la serie de tamices listo para el tamizado.....	180
Figura 118: Serie de tamices con los residuos de PVC colocadas dentro de la tamizadora .....	181
Figura 119: PVC triturado retenido en el tamiz #4.....	181
Figura 120: PVC triturado retenido en el tamiz #10.....	182



Figura 121: PVC triturado retenido en el tamiz #40.....	182
Figura 122: PVC triturado retenido en el tamiz #100.....	183
Figura 123: PVC triturado retenido en el tamiz #200.....	183
Figura 124: PVC triturado pasante del tamiz #200.....	184
Figura 125: Extracción del PVC retenido en los tamices: .....	184
Figura 126: PVC retenido en los tamices ordenado según su tamaño.....	185
Figura 127: Peso del PVC en la balanza de precisión .....	185
Figura 128: Peso del residuo de PVC según porcentaje de incorporación .....	187
Figura 129: Dosificación de los residuos de PVC en bolsas para incorporar a la mezcla asfáltica.....	188
Figura 130: Agregado y filler dosificados listos para ser calentados en el horno a temperatura de la mezcla .....	188
Figura 131: Elaboración de la mezcla asfáltica .....	189
Figura 132: Incorporación de los residuos de PVC a la mezcla asfáltica.....	189
Figura 133: Mezcla asfáltica con los residuos de PVC .....	190
Figura 134: Preparación de los moldes de compactación para el vertido de la mezcla asfáltica modificada.....	190
Figura 135: Vertido de la mezcla asfáltica modificada .....	191
Figura 136: Eyección de la mezcla asfáltica modificada compactada.....	191
Figura 137: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas eyectadas .....	192
Figura 138: Peso seco del espécimen de mezcla asfáltica modificada.....	194
Figura 139: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas sumergidas en baño maría a 25 °C.....	195
Figura 140: Determinación del peso sumergido del espécimen de mezcla asfáltica modificada .....	195
Figura 141: Secado del espécimen de mezcla asfáltica modificada para determinar su peso saturado superficialmente seco.....	196
Figura 142: Determinación del espesor del espécimen de la mezcla asfáltica modificada .....	207
Figura 143: Determinación del diámetro del espécimen de la mezcla asfáltica modificada .....	208
Figura 144: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas sumergidas en baño maría a 60 °C.....	209



Figura 145: Preparación del cabezal de rotura para ensayar la resistencia de los especímenes de mezcla asfáltica modificada.....	210
Figura 146: Secado de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas con franela para ensayar su resistencia.....	210
Figura 147: Configuración de la máquina de compresión Marshall para ensayar la resistencia del espécimen de mezcla asfáltica modificada .....	211
Figura 148: Variación de costos de producción de mezclas asfálticas .....	323
Figura 149: Estabilidad de M.A.C. patrón vs. estabilidad de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC .....	325
Figura 150: Flujo de M.A.C. patrón vs. flujo de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC .....	325
Figura 151: Peso específico de M.A.C. patrón vs. peso específico de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC .....	326
Figura 152: Parámetros volumétricos de la M.A.C. patrón vs. parámetros volumétricos de la M.A.C. modificada .....	327
Figura 153: Elección del agregado fino de la planta de asfalto del Gobierno Regional .....	341
Figura 154: Elección del agregado grueso de la planta de asfalto del Gobierno Regional .....	341
Figura 155: Verificación de los agregados pétreos con el técnico encargado de la planta de asfalto.....	341
Figura 156: Recolección de agregados pétreos de la planta de asfalto del Gobierno Regional.....	342
Figura 157: Proceso de trituración del PVC .....	342
Figura 158: PVC triturado .....	343
Figura 159: Compactación de probetas de MAC con la encargada de laboratorio UAC .....	343
Figura 160: Probetas de MAC compactadas.....	343
Figura 161: Dosificación de agregados pétreos para prepara probetas MAC .....	344
Figura 162: Equipos para realizar el ensayo de resistencia de mezclas bituminosas en el laboratorio INGEOLAB .....	344
Figura 163: Configuración de los parámetros del ensayo en el aparato Marshall del laboratorio INGEOLAB .....	344



Figura 164: Programación y ejecución del ensayo de resistencia de mezclas bituminosas en el laboratorio INGEOLAB.....	345
Figura 165: Programación y ejecución del ensayo de resistencia de mezclas bituminosas en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco .....	345



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del problema

#### 1.1.1. Descripción del problema

La ciudad del Cusco es una de las ciudades más importantes del sur del país, en esta ciudad actualmente se observa un gran crecimiento demográfico, económico e industrial, por ende, se incrementa la demanda vehicular lo cual produce mayores volúmenes de tráfico que transitan por las vías de la ciudad.



*Figura 1: Volumen vehicular en la Av. El Sol  
Fuente: Diario Correo*

Lo mencionado anteriormente conlleva a la necesidad de mejorar la infraestructura vial de la ciudad ya que el incremento de cargas vehiculares supera a las cargas para las que fueron diseñadas provocando daños en el pavimento como la presencia de deformaciones permanentes, agrietamientos, fallas por fatiga y piel de cocodrilo.



*Figura 2: Piel de cocodrilo  
Fuente: Propia*



Por lo mencionado anteriormente se requiere incorporar un material a las mezclas asfálticas para mejorar su comportamiento mecánico, por ello la presente investigación se enfocará en evaluar y comparar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la incorporación de residuos de PVC (policloruro de vinilo) como filler en diferentes porcentajes respecto a una mezcla asfáltica patrón.

### **1.1.2. Formulación interrogativa del problema**

#### **1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general**

¿Cuál es el resultado del análisis comparativo de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de desechos de PVC como filler en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50% respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón?

#### **1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos**

##### **Problema Específico 1**

¿Cuánto varía el peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?

##### **Problema Específico 2**

¿Cómo influye la incorporación residuos de PVC como filler en los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas?

##### **Problema Específico 3**

¿Cuánto varía el flujo de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?

##### **Problema Específico 4**

¿Cuánto incrementa la estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?

### **1.2. Justificación e importancia de la investigación**

#### **1.2.1. Justificación técnica**

Los resultados de esta investigación al tratarse de la rama de pavimentos aportan datos técnicos procurando mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas ya que se va a identificar cuál de los diseños de las mezclas asfálticas, ya sea la mezcla patrón o la mezcla con incorporación de residuos de PVC nos ofrecerá un mayor desempeño.



Asimismo, se va a establecer un procedimiento secuencial y detallado de la elaboración de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler.

### **1.2.2. Justificación social**

Los resultados obtenidos a partir de este estudio benefician principalmente a toda la población, ya que al mejorar la calidad del pavimento mejora la infraestructura de transporte, asimismo este estudio es beneficioso para los estudiantes de Ingeniería Civil y a los ingenieros vinculados a la rama de pavimentos ya que los resultados de esta investigación pueden ser tomado como antecedente para la elaboración de mezclas asfálticas o con fines de investigación.

Un aporte social adicional de esta investigación es el reciclaje de los desechos de PVC, lo cual contribuye a la preservación del medio ambiente y por ende a elevar la calidad de vida y la salud pública.

### **1.2.3. Justificación por viabilidad**

La realización del trabajo de investigación propuesto es factible ya que se cuenta con los equipos y materiales necesarios para el desarrollo de la investigación como: juego de tamices moldes para los ensayos, horno, balanza, recipientes, molino, máquina compactadora, estufa.

Los ensayos se van a realizar en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco.

### **1.2.4. Justificación por relevancia**

La presente investigación justifica su importancia debido a que se tienen investigaciones sobre la reutilización de PVC, sin embargo, no se desarrollaron investigaciones sobre la utilización de residuos de PVC en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente en nuestra ciudad. Del mismo modo no se tienen investigaciones de mezclas asfálticas empleando el cemento asfáltico PG 70-28 y adicionando PVC a las mezclas.

## **1.3. Limitaciones de la investigación**

### **1.3.1. Limitaciones geográficas**

- a) El trabajo de investigación se limitó geográficamente al departamento de Cusco, provincia Cusco, distrito San Jerónimo, Urb. Larapa.
- b) Para el uso de agregados pétreos gruesos y finos se limitó geográficamente para la cantera de Ccoscco Aylo, ubicado en el distrito de San Salvador, provincia de Cusco y departamento de Cusco.



- c) Los ensayos que se necesitaron se limitaron al laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco, el laboratorio Allpa Kamachiq y el laboratorio Ingeolab.

### **1.3.2. Limitaciones de diseño**

- a) El tipo de asfalto a emplear será cemento asfáltico PG 70-28 producido por TDM Asfaltos, el cual es ideal para climas de la provincia del Cusco, garantizando las sus propiedades a temperaturas menores de 70°C y mayores a -28°C.
- b) La presente investigación se limitará al diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall, empleando el método del Instituto del Asfalto para determinar el contenido óptimo de asfalto.
- c) La presente investigación se limita a la evaluación de estabilidad y flujo como propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.
- d) La presente investigación está basada en las siguientes normas: Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Norma CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones y el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” sección: Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- e) La presente investigación limita la evaluación de mezclas asfálticas en caliente modificadas con PVC elaborado con el contenido óptimo de asfalto PG 70-28; al cual se le incorporan los residuos de PVC sustituyendo el filler de la mezcla en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%.
- f) Tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/4”.
- g) Se empleó la gradación de agregados correspondientes al huso granulométrico MAC-2.
- h) Para la elaboración de las probetas de la mezcla asfáltica se emplearon moldes metálicos de 2.5” de altura x 4” de diámetro.
- i) La presente investigación se limitó a una compactación de muestras de 75 golpes por cara.
- j) Se limitó al uso de los laboratorios de

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivos generales**

Analizar comparativamente las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50% respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón.





### **1.4.2. Objetivos específicos**

#### **Objetivo específico 1**

Determinar la variación del peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón.

#### **Objetivo específico 2**

Evaluar cómo influye la incorporación de residuos de PVC como filler en los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas.

#### **Objetivo específico 3**

Determinar cómo varía el flujo de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler en diferentes porcentajes respecto a una mezcla asfáltica patrón.

#### **Objetivo específico 4**

Determinar cuánto incrementa la estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la tesis

##### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

###### 2.1.1.1. Antecedente a nivel nacional 1

**Título:** “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero Tipo SBS PG 70 -28.”

**Autor:** Víctor Rafael Estrada Escalante

**Institución:** Universidad Andina del Cusco

**Año:** 2017

**Lugar:** Cusco, Perú

#### **Resumen:**

La investigación “Análisis y Estudio del desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28” realizó el análisis del comportamiento mecánico y el desempeño, que tienen ambos tipos de mezclas asfálticas teniendo como patrón de estudio a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.

Teniendo en consideración que en la región del Cusco se tiene por costumbre utilizar las mezclas asfálticas convencionales con asfalto PEN 85/100, se tomó como mezcla patrón la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, y en este trabajo se presenta una propuesta de mejora a través de una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, la misma que toma en consideración el uso de un ligante asfáltico modificado con polímero y clasificado por performance grade (PG) recomendada por la metodología Superpave para ser utilizada en climas fríos, como es el caso de la ciudad del Cusco.

Para efectos de investigación los diseños para ambos tipos de mezclas asfálticas, se realizó teniendo en cuenta las mismas consideraciones, utilizando los mismos agregados y la misma gradación para ambas mezclas asfálticas, teniendo como única variable el tipo de ligante asfáltico utilizado para los diseños de mezcla, posteriormente fueron moldeados los cuerpos de prueba para los ensayos de desempeño teniendo en consideración el contenido óptimo de las mezclas asfálticas estudiadas.



Los ensayos de desempeño realizados buscan determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas a los dos problemas más frecuentes que se presentan en las mezclas asfálticas como son la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fatiga, por lo que se realizaron ensayos de Hamburg Wheel Tracker con la finalidad de determinar la susceptibilidad a la deformación permanente o ahuellamiento y ensayos de fatiga de viga en flexión en 4 puntos que permitirá determinar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a sufrir problemas de fatiga debido a las aplicaciones de carga repetitiva generadas por el volumen de tráfico. Estos ensayos permitirán determinar el desempeño de las mezclas asfálticas y su comportamiento en servicio.

### **Conclusiones:**

- Se demostró la hipótesis general, “El uso de una mezcla asfáltica convencional, se ve afectada por distintos factores como son, el volumen de tránsito, exceso de cargas, factores climatológicos, etc. y el uso de una mezcla asfáltica modificada con polímero de tipo SBS nos ofrecerá mejor respuesta mecánica que una mezcla asfáltica convencional, mejorando el desempeño de la carpeta asfáltica e incrementando la vida útil del pavimento.” Debido a que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 demostró tener un mejor comportamiento mecánico y mucho mayor desempeño que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, lo que fue demostrado a través de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (estabilidad y flujo), donde la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, presenta una estabilidad superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus (tabla 4.1), con respecto a los resultados de desempeño se demostró que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 28 presenta un desempeño muy superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus tanto en los ensayos de deformación permanente donde presenta una resistencia 4 veces mayor, como en los ensayos de resistencia a la fatiga en viga de 4 puntos, donde presento una resistencia a la fatiga 17 veces superior, demostrando de esta manera el excelente desempeño que presentan la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28.
- Se demostró la primera sub hipótesis, “Ambos diseños de Mezcla cuentan con el mismo contenido de ligante asfáltico, independiente de su naturaleza”, ya que el contenido de ligante asfáltico para los dos tipos de mezclas asfálticas, son prácticamente similares, teniendo 6.3% (tabla 4.1) para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus y un valor de 6.2% (tabla 4.1) para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 28.
- Se demostró la segunda sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad”, ya que el valor de estabilidad que se



obtuvo en la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 (estabilidad igual a 2047 kgf, tabla 4.1) es mucho más elevado que el valor de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus (estabilidad igual a 1382 kgf, tabla 4.1), lo que demuestra una mayor cohesión y adhesividad de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, la cual influye posteriormente en el desempeño de la mezcla.

- Se demostró la tercera sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un menor nivel de flujo”, con respecto a esta propiedad la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 presento un flujo igual a 14.10mm (tabla 4.1), similar al resultado que se obtuvo para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 que presento un flujo igual a 14.00 mm (tabla 4.1), lo cual podría llevarnos a la conclusión de que ambas mezclas asfálticas presentan similares valores de flujo, sin embargo, es importante aclarar que debemos tener en cuenta que estos valores de flujo se obtienen a distintos niveles de estabilidad o de carga aplicada, por ende la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 tiene un mejor comportamiento mecánico que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.
- Se demostró la cuarta sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentará mejor desempeño en cuanto a la resistencia a la deformación permanente” ya que nuestra mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 logro pasar el ensayo de la rueda de Hamburgo, resistiendo los 20 000 ciclos o pasadas y presentando una profundidad ahuellamiento de 3.790 mm en promedio, muy superior a la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 donde no se llegó a culminar el ensayo, debido a que alcanzo la máxima profundidad de ahuellamiento de 12.50 mm (tabla 4.2) a las 15 631 pasadas o ciclos en promedio. Por lo tanto, por los resultados obtenidos se concluye que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta una mayor resistencia a la deformación permanente, garantizando de esta manera una resistencia a los problemas de deformación permanente o ahuellamiento que se generan en los pavimentos debido a la acción de volumen de tráfico pesado y cargas lentas.
- Se demostró la quinta sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presentara mejor resistencia a la fatiga” ya que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, presenta valores promedio de vida a la fatiga de 186 223 ciclos o aplicaciones de carga y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta valores promedio de vida a la fatiga de 3 244 490 ciclos a aplicaciones de carga, demostrando de esta manera una mayor resistencia a la fatiga (17 veces superior) garantizando de esta manera



el excelente comportamiento de la mezcla frente a la acción de cargas repetitivas que se presentan en un pavimento asfáltico.

- Tanto selección de nuestra materia prima (ligante y agregados), los ensayos de laboratorio, las producciones y compactación de las mezclas asfálticas de ambos tipos y como el análisis e interpretación de todos los resultados obtenidos fueron realizados en condiciones óptimas y con controles exhaustivos, por lo que los resultados obtenidos podrían variar ligeramente cuando estos sean realizados in situ o en obra, debido a las condiciones y características peculiares y diferentes para cada escenario u obra.

### **2.1.1.2. Antecedente a nivel nacional 2**

**Título:** Análisis comparativo de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y costos de una mezcla asfáltica tradicional con porcentajes de cal, respecto a una mezcla asfáltica modificada con polímero, fabricada con materiales de la planta de asfalto de la Municipalidad del Cusco

**Autor:** Franks Paucarmayta Olarte, Jose Antonio Santa Cruz Valverde

**Institución:** Universidad Andina del Cusco

**Año:** 2017

**Lugar:** Cusco, Perú

#### **Resumen:**

La presente tesis tuvo por finalidad, realizar un análisis comparativo de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos de aire (propiedades físico - mecánicas) y costos en recursos materiales, de una mezcla asfáltica en caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN y un porcentaje óptimo de cal, respecto a una mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto modificado con polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) marca (BETUTEC 60T), a esta mezcla asfáltica se le dio la nomenclatura: MAC. POLÍMERO.

Fue necesaria la fabricación de una tercera mezcla asfáltica, denominada mezcla asfáltica en caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN, ya que en función a las propiedades físico-mecánicas de esta mezcla asfáltica se pudo realizar un mejor análisis comparativo de los resultados obtenidos. Para la elaboración de estos tres tipos de mezclas asfálticas se utilizó la misma gradación y los mismos agregados pétreos, el agregado grueso provino de la cantera de Morro Blanco (Pisac), para el agregado fino se usó material de dos canteras, Morro Blanco y Piñipampa (Andahuaylillas), esta última comercializada por la empresa Súper Mix.



El trabajo de investigación buscó mejorar las propiedades físico - mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN, a través de la sustitución en peso de porcentajes de agregado por cal, en el cual se buscó obtener el porcentaje de sustitución que brinda mejores resultados a las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente tradicional, este porcentaje de sustitución que brindó mejores resultados a las propiedades físico - mecánicas, se denominó, porcentaje óptimo de cal. Este análisis comparativo de las propiedades físico- mecánicas se realizó mediante el método de diseño de mezclas asfálticas en caliente “Marshall”, cuyo objetivo es determinar el porcentaje óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados; para lo cual se fabricaron especímenes de mezcla asfáltica en caliente; los mismos que están compuestos por distintos porcentajes de asfalto (5, 5.5, 6, 6.5, 7%) y Cal (1, 1.5, 2, 2.5, 3%), estos especímenes fueron sometidos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas (porcentaje de vacíos de aire, densidad) y mecánicas (estabilidad, flujo).

En función a estos resultados y la normativa del manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, se obtuvo un porcentaje de sustitución en peso de agregado por cal óptima del 2.5% en una Mezcla Asfáltica en Caliente Tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN. Se logró comparar las propiedades físico-mecánicas estudiadas, llegando a la siguiente conclusión: La mezcla asfáltica en caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN y un porcentaje óptimo de cal del 2.5 % brinda mayores beneficios y menores costos en sus recursos materiales que la Mezcla Asfáltica en Caliente fabricada con asfalto modificado con polímero Estireno-ButadienoEstireno (SBS) marca (BETUTEC 60T).

### **Conclusiones**

- Se demostró la primera sub hipótesis, “Ambos diseños de Mezcla cuentan con el mismo contenido de ligante asfáltico, independiente de su naturaleza”, ya que el contenido de ligante asfáltico para los dos tipos de mezclas asfálticas, son prácticamente similares, teniendo 6.3% para la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 Plus y un valor de 6.2% para la mezcla asfáltica modificada.
- Se demostró la segunda sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad”, ya que el valor de estabilidad que se obtuvo en la mezcla asfáltica modificada (estabilidad igual a 2047 kgf) es mucho más elevado que el valor de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus (estabilidad igual a 1382



kgf), lo que demuestra una mayor cohesión y adhesividad de la mezcla asfáltica modificada, la cual influye posteriormente en el desempeño de la mezcla.

## **2.1.2. Antecedentes a nivel internacional**

### **2.1.2.1. Antecedente internacional 1**

**Título:** Influencia de las diatomeas como llenante mineral en el comportamiento de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19

**Autor:** Michelle Smeider Vargas Avendaño

**Institución:** Universidad Católica de Colombia

**Año:** 2017

**Lugar:** Bogotá, Colombia

#### **Resumen:**

Se evaluó la influencia de un filler compuesto por microfósiles unicelulares de algas sedimentadas denominadas diatomeas, de la especie *Aulocoseira granulata*, en una mezcla asfáltica en caliente de gradación tipo MDC-19, a través de ensayos de laboratorio que permitieron comparar los dos tipos de mezclas en cuanto a parámetros de estabilidad, flujo y resistencia conservada a la tracción indirecta.

#### **Conclusiones:**

- En la presente investigación se observa que el reemplazo de un 5.8% de filler de trituración de roca, por diatomeas, no genera cambios significativos en el comportamiento de la mezcla asfáltica.
- A pesar de que se han encontrado altos ángulos de fricción en el suelo con la presencia de diatomeas, se observa una disminución en la estabilidad y en el flujo en la mezcla asfáltica dosificada con diatomeas.
- La mayoría de los parámetros de diseño de las mezclas asfálticas cumplen con lo exigido por la norma INVIAS para mezclas usadas en niveles de tránsito NT3, exceptuando el ensayo de Resistencia Conservada a la Tracción Indirecta, lo cual se traduce en una alta susceptibilidad a la humedad de la mezcla con diatomeas.
- Se deben realizar más ensayos con adición de diatomeas de diferentes tipos y en diferentes proporciones para corroborar su uso en las mezclas asfálticas.



### 2.1.2.2. Antecedente internacional 2

**Título:** Estudio de una mezcla asfáltica mdc – 19 modificada con adición de polipropileno de baja densidad (pbd) por vía seca

**Autor:** Carlos Alberto Gómez Campillo

**Institución:** Universidad Católica de Colombia

**Año:** 2018

**Lugar:** Bogotá, Colombia

#### **Resumen:**

El objetivo del trabajo de investigación está destinado a mostrar el comportamiento de una mezcla tipo MDC – 19 en la cual se adiciona una fracción de polipropileno de baja densidad (de ahora en adelante llamado PBD) o comúnmente denominado pitillo por la vía seca, en unos porcentajes definidos del 1.0%, 2.0% y 3.0% sobre el total de los materiales de la mezcla asfáltica, a fin de evaluar el comportamiento mecánico y de adherencia con relación a una mezcla asfáltica de control. Para tal fin, fueron realizados ensayos que evalúan la acción de la carga monotónica (Marshall y Tracción Indirecta) y el desgaste a la abrasión cántabro.

#### **Conclusiones:**

- El contenido óptimo de asfalto para la mezcla en caliente MDC – 19 por vía seca a través del ensayo Marshall es del 5.0%, el cual corresponde a un valor usual para las mezclas asfálticas para los materiales locales.
- La mezcla modificada en adición del 1.0% de polipropileno de baja densidad mostró un aumento en su capacidad portante respecto a los especímenes convencionales y los modificados con adición de PBD del 2.0 y 3.0%.
- La inclusión de polipropileno de baja densidad por vía seca no mostró mejoría ante el ensayo de desgaste puesto que, entre mayor inclusión de material, mayor era la desagregación de la mezcla. Lo anterior, puede entenderse por la falta de asfalto para recubrir los agregados y las partículas de PBD.
- La adición de polipropileno de baja densidad por vía seca no superó los resultados de las briquetas convencionales ante los ensayos de tracción indirecta. Lo cual también puede ser atribuido a la falta de adherencia por presencia del asfalto.





- Contenido de vacíos aumentó considerablemente porque al agregar el PBD el asfalto aumento la viscosidad y se compactó la mezcla con la misma temperatura de mezcla de control, perdiendo así manejabilidad y compactibilidad.
- Como gran conclusión, se puede reportar técnicamente que la adición de 1% PBD en la mezcla asfáltica aumenta la estabilidad Marshall, sin embargo, disminuye la adherencia (resistencia a la tracción y desgaste cantabro). En este sentido, es necesario realizar ensayos mecánicos con cargas dinámicas, a fin de observar la recuperación elástica del material y los fenómenos de deformación permanente y fatiga para validar su uso en la ingeniería de pavimentos.
- Desde el punto de vista ambiental, la técnica de incorporación del residuo de PDB se considera viable en las mezclas asfálticas para pavimentos, por permitir una forma de disposición final, ambientalmente correcta y permitir realizar prácticas de la ingeniería civil sostenible.

## **2.2. Aspectos teóricos pertinentes**

### **2.2.1. Agregado**

Es un conjunto de partículas granulares, formadas de manera natural o artificial, cuyas dimensiones están especificadas en la norma E.G. – 2013.

Se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75  $\mu$ m (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75  $\mu$ m (N.º 200). (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

#### **2.2.1.1. Clasificación de los agregados**

##### **2.2.1.1.1. Clasificación según su tamaño**

###### **➤ Agregados gruesos**

Deberá proceder de la trituración de roca o grava o por una combinación de ambas; deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)



*Figura 3: Agregado grueso  
Fuente: Propia*

### ➤ **Agregados finos**

El agregado fino está constituido por arena de trituración o una mezcla de la misma con arena natural. Las partículas del agregado fino deberán ser duras, limpias y de superficie rugosa y angular. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)



*Figura 4: Agregado fino  
Fuente: PCA PORTLAND CEMENT ASOCIATION*

### ➤ **Filler o relleno mineral**

El filler es un material empleado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, con la finalidad de incorporarse a la granulometría de agregados para poder cumplir con los requerimientos correspondientes. El filler puede provenir de procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Las principales funciones del filler son las siguientes:



- Debido a que es un llenante mineral, ocupa parcialmente los espacios libres de la mezcla asfáltica por lo que reduce el volumen de vacíos de la mezcla. (Valera Nuñez, 2018)
- El uso de filler origina un incremento de la resistencia a la deformación de la mezcla, debido a que al tener menor cantidad de vacíos en la mezcla se tiene una mezcla asfáltica mas rígida. (Valera Nuñez, 2018)
- El filler incrementa la resistencia de la mezcla asfáltica frente a la acción del agua debido a que reduce la porosidad de las mezclas. (Valera Nuñez, 2018)
- El filler al disminuir el porcentaje de vacíos en la mezcla evita el envejecimiento temprano del asfalto, evitando los fenómenos de oxidación en la mezcla que originan la susceptibilidad al envejecimiento del asfalto. (Asphalt Institute, 2001)

#### **2.2.1.1.2. Clasificación según su origen**

##### **➤ Agregados naturales**

Son aquellos agregados que son empleados en su forma natural, sin pasar por algún procesamiento, los cuales son provenientes generalmente de la erosión y degradación de rocas. (Asphalt Institute, 2001)

##### **➤ Agregados artificiales**

Son aquellos agregados que han sufrido por procesos de trituración antes de ser empleados en la elaboración de mezclas asfálticas, generalmente son triturados en chancadoras. (Asphalt Institute, 2001)

##### **➤ Agregados sintéticos**

Son aquellos agregados que no se encuentran de manera natural, sino que han sido producidos a través de procesamientos físicos o químicos de materiales. (Asphalt Institute, 2001)

#### **2.2.2. Asfalto**

Es un material de color negro, cuya consistencia varía entre sólido y semisólido a temperatura ambiente; sin embargo, al recibir suficiente calor adquiere una consistencia líquida, lo cual le permite aglomerar partículas de agregado conformando una mezcla asfáltica. Por ello el asfalto es empleado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente en proporciones variables.

Asfalto es un material impermeabilizante que no es afectado por sales, álcalis o ácidos; esto quiere decir que una mezcla asfáltica construida adecuadamente será impermeable y resistente al daño químico. Sin embargo, puede ser afectado al aplicársele temperaturas altas. (Asphalt Institute, 2001)



### 2.2.2.1. Propiedades

Las propiedades del asfalto la hacen un material muy versátil para ser utilizado en la construcción de carreteras. Generalmente sus propiedades dependen de su composición química. (Asphalt Institute, 2001)

Las propiedades fundamentales de los asfaltos para ser empleados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente son las siguientes:

➤ Durabilidad:

Esta propiedad indica su resistencia ante los efectos de degradación y envejecimiento. (Fajardo & Vergaray, 2014)

La durabilidad es la propiedad del asfalto de conservar sus características originales cuando es sometido a los procesos de degradación y envejecimiento. (Asphalt Institute, 2001)

➤ Viscosidad:

Es la resistencia a fluir que poseen los fluidos. El asfalto generalmente es sometido al calor para poder obtener la suficiente viscosidad para poder fluir y cubrir las partículas de agregado de la mezcla asfáltica. (Asphalt Institute, 2001)

La viscosidad ideal para la mezcla del cemento asfáltico PG 70-28 está entre los 300 a 400 Cp. (TDM Asfaltos, 2019)

➤ Adhesión:

Es la capacidad que tiene el asfalto de adherirse a las partículas del agregado que conforman la mezcla asfáltica. (Fajardo & Vergaray, 2014)

Es la capacidad del asfalto para pegarse al agregado de la mezcla asfáltica. (Asphalt Institute, 2001)

➤ Cohesión:

Es la capacidad del asfalto de conservar en su puesto a las partículas de agregado de la mezcla asfáltica. (Asphalt Institute, 2001)

➤ Susceptibilidad al envejecimiento:

El proceso de endurecimiento del asfalto es causado por la acción de oxidación y volatilización del asfalto; sin embargo, estos procesos son más severos durante el proceso de mezclado del asfalto con los agregados ya que el cemento asfáltico se encuentra a temperaturas elevadas. (Fajardo & Vergaray, 2014)

El envejecimiento del asfalto es un proceso que altera sus propiedades fisicoquímicas, comprometiendo la durabilidad de las mezclas asfálticas. Este fenómeno inicia durante



el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica, ya que el asfalto llega a oxidarse por acción del oxígeno presente en el aire y de las altas temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla. (Vargas & Freddy, 2010)

➤ Susceptibilidad a la temperatura:

El asfalto es susceptible a la temperatura debido a que, dependiendo de su temperatura, su consistencia varía. (Fajardo & Vergaray, 2014)

### 2.2.2.2. Tipos de asfalto utilizados en pavimentos

#### 2.2.2.2.1. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es obtenido a través de procesos de destilación del crudo de petróleo. A temperatura ambiente el cemento asfáltico tiene un color negro y una textura pegajosa semisólida, posee resistencia, durabilidad y una buena adhesividad, además de su resistencia a la acción de ácidos, álcalis y sales; es por ello que se le emplea para la producción de mezclas asfálticas en caliente. Su propiedad de adhesividad posibilita una adecuada unión con los agregados y al enfriarse y alcanzar temperatura ambiente conforman un material fuerte y resistente capaz de lograr soportar tráfico pesado. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El cemento asfáltico son asfaltos empleados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente para ser usados en la construcción de carreteras de pavimento asfáltico. Son ideales para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente por sus propiedades de impermeabilidad y adhesión ya que brinda de una adecuada flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de ácidos, sales y álcalis. (Petroperú, 2016)

Los cementos asfálticos se pueden sub-clasificar según:

a) Según la temperatura media anual

Se clasifican los cementos asfálticos según la temperatura de la región en la cual se van a utilizar, recomendando un tipo de cemento asfáltico para cada rango de temperatura media anual. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)

Tabla 1: Clasificación según la temperatura media anual

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)



b) Según su penetración

Esta clasificación fue desarrollada para poder identificar la consistencia de asfaltos semisólidos a inicios de los años 1900s. (Petroperú, 2016)

Cuantifica las siguientes características:

- Penetración (100 g, 25°C, 5 s)
- Punto de Inflamación
- Ductilidad a 25°C (77°F)
- Solubilidad en tricloroetano
- Ensayo de Película Delgada
- Oxidación y Envejecimiento
- Penetración Retenida
- Ductilidad a 25°C (77°F)
- Pérdida de masa, % peso
- Ensayo de la Mancha

Tabla 2: Clasificación según la penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(2)</sup>											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h</b>											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100	

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

c) Según su viscosidad

En los años 60s se hizo una mejora en el sistema de clasificación de los asfaltos donde se incorporó un ensayo de viscosidad rotacional el cuál reemplazó al ensayo de penetración. (Petroperú, 2016)

Se clasifica al ligante asfáltico según las siguientes características:

- Penetración (100 g, 25°C, 5 s)



- Punto de Inflamación
- Ductilidad a 25°C (77°F)
- Solubilidad en tricloroetano
- Viscosidad a 60°C (140°F)
- Viscosidad a 135°C (275°F)
- Ensayo de Película Delgada
- Oxidación y Envejecimiento
- Penetración Retenida
- Ductilidad a 25°C (77°F)
- Ensayo de la Mancha
- Xileno / n-Heptano o Nafta Estándar

Tabla 3: Clasificación según sus viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(1)</sup>					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

d) Según performance grade (PG)

El cemento asfáltico clasificado por performance grade (PG) o grado de desempeño son aquellos en los que su desempeño depende de un determinado rango de temperaturas máximas y mínimas, en cuyo rango se asegura un óptimo comportamiento del cemento asfáltico que le permita resistir deformaciones y daños del concreto asfáltico. (CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES, 2005)



Tabla 4: Especificaciones del cemento asfáltico según performance grade (PG)

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320																		
	PG 70						PG 76						PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34		
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<70						<76						<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34		
<b>Asfalto original</b>																		
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																	
Viscosidad, T 316 <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																	
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G <sup>+</sup> /senS <sup>+</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																		
Cambio de masa, máximo, %	1.00																	
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G <sup>+</sup> /senS <sup>+</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																		
Temperatura de curado PAV, °C <sup>d</sup>	100 (110)						100 (110)						100 (110)					
Esfuerzo cortante dinámico G <sup>+</sup> senS <sup>+</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	23	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Resistencia al deslizamiento, T 313: <sup>e</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tensión Directa, T 314: <sup>f</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

### 2.2.2.2.2. Cemento asfáltico modificado con polímero

El cemento asfáltico puede ser modificado con la adición de polímeros, siempre que se garantice su calidad con los ensayos correspondientes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)

El cemento asfáltico modificado con polímeros BETUTEC PG 70-28 es producido por TDM Asfaltos, el cual es obtenido con la incorporación de polímeros elastómeros SBS (estireno – butadieno – estireno) al cemento asfáltico en una dosificación apropiada.

Lo que se busca al modificar el cemento asfáltico con polímeros es mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales en temperaturas bajas y altas; reduciendo los problemas de deformación permanente (ahuellamiento) y dotando de una mayor vida útil al pavimento. (TDM Asfaltos, 2019)

### Performance Grade (PG):

El performance grade (PG) o grado de desempeño del cemento asfáltico indica el rango de temperaturas máximas y mínimas en las que el cemento asfáltico tiene un adecuado desempeño. Entonces el performance grade hace posible la elección del cemento asfáltico más adecuado





dependiendo de las temperaturas que se tengan de acuerdo al clima donde se vaya a llevar a cabo determinada obra.

Por ejemplo, un cemento asfáltico PG 70-28 poseerá un adecuado desempeño cuando trabaje a temperaturas máximas de 70 °C y a temperaturas mínimas de -28°C. (CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES, 2005)

El Programa de Investigación Estratégico de Carreteras (SHRP) estableció el criterio del Grado PG (Performance Grade), el cual mide las propiedades físicas en rangos de temperatura del cemento asfáltico, ya que los criterios tomados en cuenta previamente no guardaban relación alguna con la realidad a la que están expuestas las mezclas asfálticas, entonces se optó por clasificar los cementos asfálticos por PG de acuerdo a las condiciones del clima al cual serán expuestos en las carreteras; es por ello que un cemento asfáltico al obtener la clasificación por performance grade (PG) ofrece una mejor calidad que los cementos asfálticos empleados en el pasado, ya que, están clasificados para un determinado rango de temperatura y que guarda correlación con la zona de aplicación del cemento asfáltico. (Herencia, 2019)

Al realizar la clasificación por performance grade (PG) se dejó de lado la clasificación del cemento asfáltico por su penetración y por su viscosidad, ampliamente usado en Latinoamérica y Perú, debido a que la clasificación por penetración y viscosidad no guarda relación alguna con el desempeño de los pavimentos. Es por ello que se clasificó a los cementos asfálticos de acuerdo a las condiciones climáticas y al tipo de tráfico al cual será sometido, es por ello que para lograr la clasificación por performance grade (PG) se deben tomar en cuenta parámetros como la temperatura máxima (determinado a partir de las temperaturas de los siete días más calientes del año), la temperatura mínima del pavimento (determinado como el día más frío del año), la confiabilidad, el volumen del tráfico y el tiempo de carga. La clasificación por performance grade (PG) varía de acuerdo a niveles, cada nivel es de 6°C de temperatura, los cuales incrementan o decrecen tanto para las temperaturas máximas como para las temperaturas mínimas. (Grupo TDM, 2020)

#### **Ventajas del BETUTEC PG 70-28:**

(TDM Asfaltos, 2019)

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Incremento de elasticidad y flexibilidad en temperaturas bajas.
- Incremento de la resistencia a la deformación permanente.



- Mejor adhesividad del cemento asfáltico con los agregados.
- Incremento de la resistencia a la fatiga.
- Dota de una mayor vida útil del pavimento ya que logra mejorar la resistencia a la transmisión de grietas, al envejecimiento y a la formación de ahuellamiento.
- Debido a que tiene mejor comportamiento que un cemento asfáltico convencional reduce los costos de mantenimiento del pavimento.

Se escogió el uso del cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28 por las ventajas descritas previamente.

Tabla 5: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC PG 70 - 28	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Punto de ablandamiento, °C	D 36	60	75
Penetración, 25°C, 5 s, dmm	D 5	70	---
Punto de inflamación, °C	D 92	235	---
Recuperación Elástica Lineal, 25°C, 20 cm, %	D 6084	70	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	15	---
Viscosidad Brookfield, 135°C, cP	D 4402	---	3000
Viscosidad Brookfield, 145°C, cP	D 4402	---	1000
Viscosidad Brookfield, 175°C, cP	D 4402	---	---
<b>Estabilidad al almacenamiento, 163°C, 48 horas</b>	<b>D 7173</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Diferencia en punto de ablandamiento, °C	D 36	---	5
Diferencia en Penetración, dmm	D 5	---	10
<b>Sobre el residuo después de Película Fina Delgada</b>	<b>D 1754</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Variación de masa, %	D 1754	---	1
Penetración, 25°C, 5 s, % del original	D 5	65	---
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	D 113	8	---
Punto de Ablandamiento, diferencia del original	D 36	-5	10
Sobre el residuo después del Efecto de Aire y Calor	D 2872	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
Deformación Creep y Recuperación Elástica	D 7405	---	---
- Recuperación mínima @ 3,200 Pa, %	D 7405	15	---
- Pérdida máxima de recuperación, 100-3,200 Pa, %	D 7405	---	75

Fuente: TDM ASFALTOS (2019)

### 2.2.2.3. Asfaltos líquidos

Generalmente este tipo de asfaltos se emplean para mezclas asfálticas en frío, debido a que no necesitan ser calentados a altas temperaturas para ser trabajables. Los asfaltos líquidos pueden ser de curado rápido (RC) o de curado medio (MC).

Según Petroperú (2016) “Los asfaltos líquidos se producen diluyendo un cemento asfáltico con un solvente derivado del petróleo o con agua (mediante la inclusión de un emulsificante). Los



asfaltos líquidos permiten el mezclado con los agregados sin necesidad de recurrir al calentamiento, reduciéndose así los costos de producción, transporte y colocación de las mezclas”.

Son materiales asfálticos de consistencia fluida; están compuestos por asfalto y un fluidificante volátil, el cual se evapora generalmente durante el curado de la mezcla asfáltica produciendo el endurecimiento de la mezcla asfáltica. (Fajardo & Vergaray, 2014)

#### 2.2.2.2.4. Emulsiones asfálticas

Según Fajardo y Vergaray (2014) “Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificante, que con el agua forman una emulsión estable que permitirá tender las carpetas asfálticas “en frío”; es decir, a temperaturas que estarán por debajo de los 100 °C”.

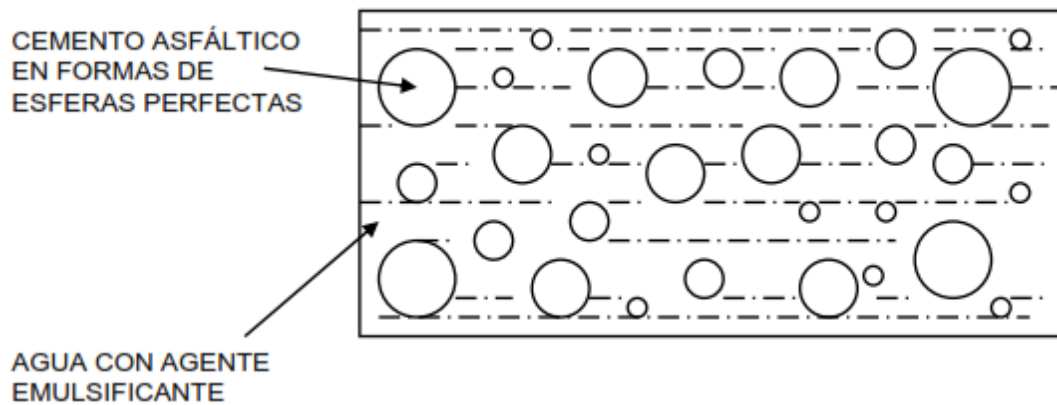


Figura 5: Diagrama de emulsión asfáltica

Fuente: MANUAL DE LABORATORIO DE ENSAYOS PARA PAVIMENTOS VOLUMEN I (2001)

#### 2.2.3. Plásticos

Es una palabra que deriva del griego “plastikos” que significa “capaz de ser moldeado”, sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macro-moleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Es posible emplearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión. Los plásticos son parte de la gran familia de los polímeros. (Hoescht, 1997)



Figura 6: Plásticos  
Fuente: Hidronor

### 2.2.3.1. Polímeros

La palabra polímero significa “muchas piezas”. Los polímeros son compuestos orgánicos con un alto peso molecular, formados por una repetición de grupos estructurales sencillos denominados monómeros. Los polímeros generalmente se dividen en dos grupos llamados plásticos y elastómeros. (Rondon, Rodríguez, & Moreno, 2007)

#### 2.2.3.1.1. Polímeros termoplásticos

Los polímeros termoplásticos son polímeros elaborados con calor, estos polímeros tienden a ablandarse cuando se calientan, por eso es posible moldearlos de nuevo; es decir, al ser sometidos al calor se ablandan y son moldeables y cuando se enfrían se endurecen y permanecen rígidos. (Escalante, 2007)

##### a) Polímeros elastómeros

Los polímeros elastómeros son empleados generalmente para modificar el cemento asfáltico como el SBS (estireno – butadieno – estireno); estos polímeros al añadirse al cemento asfáltico hacen que experimente un comportamiento elástico, es decir, mejora principalmente su comportamiento resiliente (recuperación elástica) al ser sometida la mezcla asfáltica a cargas producidas por el tráfico. (Castro López, Rondón Quintana, & Barrero Calixto, 2015)

##### b) Polímeros plastómeros

Generalmente son adicionados a las mezclas asfálticas, dentro de ellos se encuentran polímeros como el polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), etc.

Al adicionarse a las mezclas asfálticas los plastómeros incrementa la resistencia mecánica de las mezclas asfálticas, ya que tiende a volver la mezcla más rígida. (Castro López, Rondón Quintana, & Barrero Calixto, 2015)



### 2.2.3.1.2. Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC es un polímero termoplástico industrial, que puede tener una apariencia transparente, sin embargo, se encuentra generalmente pigmentado.

Las propiedades del PVC son la rigidez, la dureza, es retardante a la combustión y presenta una buena resistencia química. El PVC es la más versátil de la familia de los plásticos, ya que además de ser termoplástica es posible conseguir materiales flexibles y rígidos. (Rondon, Rodríguez, & Moreno, 2007)



*Figura 7: PVC*  
*Fuente: Dreamstime*

### 2.2.3.1.3. Propiedades físicas y mecánicas del Policloruro de Vinilo (PVC)

Las principales propiedades físicas y mecánicas del PVC son las siguientes:

- **Resistencia**  
El PVC posee una resistencia a la tracción de 48 MPa y una resistencia a la compresión de 29 MPa. (PAVCO WAVIN, 2019)
- **Peso específico**  
El PVC posee un valor de peso específico de  $1.41 \text{ gr/cm}^3$ . (PAVCO WAVIN, 2019)
- **Color**  
El PVC posee un color gris orgánico. (PAVCO WAVIN, 2019)
- **Resistencia a ácidos**  
El PVC posee una muy buena resistencia frente a ácidos débiles. (PAVCO WAVIN, 2019)
- **Resistencia a álcalis**  
El PVC posee una muy buena resistencia frente a álcalis. (PAVCO WAVIN, 2019)
- **Propiedades térmicas**



Al ser un material termoplástico es capaz de soportar altas temperaturas sin descomponerse. (PAVCO WAVIN, 2019)

#### **2.2.4. Pavimentos**

Está conformado por un conjunto de capas horizontales; diseñadas y construidas con materiales adecuados, los cuales han sido debidamente compactados. Dichas capas se apoyan sobre la subrasante de una vía, la cual debe ser capaz de resistir los esfuerzos producidos por las cargas producidas por el tránsito de vehículos. (Montejo Fonseca, 2002)

Un pavimento es una estructura conformada por un conjunto de capas apoyadas sobre el terreno preparado para soportar sus cargas por un determinado periodo de diseño. (SENCICO, 2010)

##### **2.2.4.1. Tipos de pavimento**

###### **2.2.4.1.1. Pavimentos flexibles**

Los pavimentos flexibles están compuestos por un conjunto de capas conformadas generalmente por una base, una sub base drenante y una capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente cuyo espesor puede variar dependiendo del diseño del pavimento. (Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

El pavimento flexible es una estructura compuesta por varias capas, cuya capa de rodadura está conformada por una mezcla bituminosa compuesta por cemento asfáltico como aglomerante, agregados y según se requiera se emplean aditivos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)

#### **2.2.5. Mezcla asfáltica**

Es una combinación de asfalto y agregados pétreos en diversas proporciones que se utilizan para construir pavimentos. La dosificación de los agregados pétreos que forman parte de la mezcla asfáltica determinan las propiedades físicas de la mezcla.

Generalmente las mezclas asfálticas están conformadas aproximadamente por 90% de agregados pétreos (grueso y fino), 5% de relleno mineral (filler) y el otro 5% de cemento asfáltico. (Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, 2001)

Debido a que los agregados pétreos conforman aproximadamente un 90% de la mezcla asfáltica es de gran importancia controlar la calidad de los agregados.



### 2.2.5.1. Tipos de mezcla asfáltica

#### 2.2.5.1.1. Por fracciones de agregado pétreo en la mezcla

- Masilla asfáltica:  
Está constituida por filler (relleno mineral) más el cemento asfáltico. (Padilla, 2004)
- Mortero asfáltico:  
Está constituida por agregado fino más masilla asfáltica. (Padilla, 2004)
- Concreto asfáltico:  
Está constituido por agregado grueso más mortero asfáltico. (Padilla, 2004)
- Macadam asfáltico:  
Está constituido por agregado grueso más cemento asfáltico. (Padilla, 2004)

#### 2.2.5.1.2. Por la temperatura de la mezcla en la puesta en obra

- Mezclas asfálticas en caliente:  
Es el tipo más popular de elaborar mezclas asfálticas; son producto de la combinación del cemento asfáltico, agregados pétreos incluyendo el filler y aditivos, de forma que todas las partículas mencionadas queden cubiertas por una película homogénea del cemento asfáltico.  
En el proceso de fabricación se calienta el cemento asfáltico a 150 grados centígrados, dependiendo de la viscosidad del cemento asfáltico, asimismo se calientan los agregados pétreos para que cuando el cemento asfáltico entre en contacto con ellos no se enfríe.  
En la puesta en obra la mezcla es colocada a temperaturas elevadas para posibilitar el extendido del material y compactar adecuadamente. (Padilla, 2004)
- Mezclas asfálticas en frío:  
Generalmente son elaboradas con emulsiones asfálticas, y se usan principalmente en la construcción y mantenimiento de vías. Su puesta en obra se hace a temperatura ambiente. (Padilla, 2004)  
Una de sus características más importantes es su trabajabilidad, ya que al emplearse una emulsión asfáltica permanece con una viscosidad baja hasta que se evapore el fluidificante. (Petroperú, 2016)  
Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele



llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

### **2.2.5.1.3. Por la proporción de vacíos en la mezcla**

Este parámetro es muy importante para que no se produzcan deformaciones plásticas con el paso de las cargas y/o por variaciones térmicas.

- Mezclas cerradas o densas:  
La proporción de vacíos no supera el 6 %. Aglomerados de un ligante con áridos de granulometría cerrada, que son aquellos uniformemente graduados desde el tamaño máximo hasta el polvo mineral, con un bajo contenido de vacíos una vez compactados. Estas mezclas son las más empleadas para capas de rodadura, y su porcentaje de huecos inferior al 6% hace que sean prácticamente impermeables, aunque en la práctica no lo son totalmente, incluso la infiltración de agua puede ser importante a través de fisuras y grietas. La impermeabilidad es una de las características que debe tener un pavimento para proteger a las capas inferiores de la estructura de pavimento y la explanada de la acción del agua. (Padilla, 2004)
- Mezclas semi-densas:  
La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10%. Estas mezclas son muy parecidas a las mezclas cerradas, con la única diferencia de que su granulometría se aleja de la máxima compacidad, y tiene menores contenidos en Fíller y, por lo tanto, en ligante. Estas capas no tienen la suficiente Permeabilidad para usarse en capas de rodadura, además de que su bajo contenido en betún las hace menos resistentes al envejecimiento. (Padilla, 2004)
- Mezclas abiertas:  
Son aquellas cuyo porcentaje de vacíos supera el 12 %. Estas mezclas tienen bajas proporciones de árido fino, estando formadas fundamentalmente por árido grueso y ligante.  
Comúnmente, son usadas como capa de alivio de fisuras, ya que este tipo de mezclas impide o atenúa la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a otro nuevo. La estructura típica para este tipo de aplicación es: pavimento agrietado, mezcla abierta, capa de rodadura. (Padilla, 2004)
- Mezclas porosas o drenantes:  
La proporción de vacíos es superior al 20 %. Estas mezclas son muy permeables; se suelen utilizar en capas de rodadura, combinadas con una capa inferior que garantice la





impermeabilidad que debe tener el firme. Espesores de unos 4 cm en capas de rodadura permiten que el agua de lluvia caída sobre la calzada se evacúa rápidamente por infiltración, siendo desaguada por la superficie de la capa inferior lo que mejora con lluvia el contacto rueda-pavimento y reduce las proyecciones de agua de los vehículos, lo que implica un aumento de seguridad. (Padilla, 2004)

#### 2.2.5.1.4. Por la granulometría

- Mezclas continuas:

Tiene como criterio la mezcla de todos los áridos de distinto tamaño, pero con mayor cantidad de árido de mayor diámetro. Tiene poca arena, por lo que es conveniente sobre dosificar el cemento para que este actúe como la arena. Esto tiene el inconveniente de ser más caro por tener más cantidad de cemento. (Padilla, 2004)

- Mezclas discontinuas:

Mezcla diámetros grandes y pequeños sin haber diámetros intermedios. (Padilla, 2004)

Tabla 6: Clasificación de las mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas ( $h < 6\%$ )
	Semicerradas ( $6\% < h < 12\%$ )
	Abiertas ( $h > 12\%$ )
	Porosas ( $h > 20\%$ )
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Fuente: Padilla (2004)

#### 2.2.5.2. Metodología de diseño de mezclas asfálticas

##### 2.2.5.2.1. Método Marshall

El método de diseño Marshall fue normado por la ASTM D-1559, llamado también resistencia al flujo plástico de mezclas asfálticas con el equipo Marshall. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El método Marshall está ideado para lograr un diseño de mezclas asfálticas en caliente en laboratorio y para controlar la calidad en campo de mezclas asfálticas en caliente con gradación densa. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, 2004)



Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El propósito de este método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una determinada combinación de agregados. Asimismo, este método provee información de las propiedades de la mezcla asfáltica como densidades y contenido de vacíos óptimos, los cuales deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

En el método Marshall se emplean probetas normalizadas de 2.5 pulgadas de altura y 4 pulgadas de diámetro. (Cáceres, 2007)

El método Marshall se empleó para el diseño de mezclas asfálticas en caliente y para el control de mezclas asfálticas para pavimentos en campo, ya que el método utilizaba un equipo portátil. Es entonces que por medio de extensas investigaciones de pruebas e investigaciones de correlación se desarrollaron criterios de diseño de mezclas asfálticas en caliente.

El propósito principal del método Marshall es el de determinar el contenido óptimo de asfalto para una determinada gradación de agregados. El método Marshall brinda información sobre propiedades de las mezclas asfálticas como resistencia, densidad, flujo y contenidos óptimos de vacío, los cuales deben ser cumplidos en la construcción del pavimento. El método Marshall solo es aplicable en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. (Asphalt Institute, 2001)

El procedimiento del método Marshall es el siguiente: (Asphalt Institute, 2001)

- Comprobar la calidad de agregados minerales.
- Dosificación del agregado, se debe realizar la dosificación de agregados (gruesos, finos y filler) para los porcentajes de asfalto que se tomarán en cuenta.
- Preparación del agregado; es importante que el agregado esté libre de humedad al momento de preparar la mezcla asfáltica, además de ello es importante que los agregados sean calentados aproximadamente a 110 °C para poder incorporar a la mezcla.
- Preparación de las probetas; el agregado y asfalto calientes se mezclan hasta que todas las partículas de agregado queden cubiertas por asfalto, luego la mezcla es colocada en moldes precalentados donde se realiza la compactación a ambas caras de acuerdo al diseño de mezclas con el martillo Marshall.



- Ensayo Marshall; se debe determinar el peso específico de las probetas y ensayar la estabilidad y flujo de las mismas con el aparato Marshall, para lo cual se tienen que precalentar las probetas a 60°C para poder ensayarlas.
- Se calculan los porcentajes de vacíos de la mezcla (VTM), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA) de las mezclas.
- Finalmente se grafican los resultados relacionando el porcentaje de asfalto con la estabilidad, flujo, peso específico, VTM, VMA y VFA. El contenido de asfalto óptimo usualmente corresponde al 4% de VTM.

### **2.2.5.3. Recomendaciones para el diseño de mezclas asfálticas en climas fríos y en altura**

Para diseñar mezclas asfálticas en caliente en zonas que presenten climas fríos y/o se encuentren en altura (zonas ubicadas a más de 3,000 m.s.n.m.), se debe considerar las condiciones que debe soportar el pavimento.

Para lograr un buen comportamiento del pavimento en climas fríos y altura se debe tomar en cuenta la calidad que debe reunir los agregados para conformar la mezcla asfáltica en caliente como gradación, limpieza, textura, dureza, peso específico, etc. Además de la calidad del agregado y del cemento asfáltico a emplear se recomienda lo siguiente:

- Emplear granulometrías continuas, procurando lograr un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) de la mezcla asfáltica superior al 15%, permitiendo el incremento de asfalto a incorporar en la mezcla. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)
- Cumpliendo la condición anterior se recomienda que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A.) sea próximo al 85% logrando mantener las propiedades físico mecánicas exigidas para el pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)
- El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica compactada deberá tender al valor mínimo especificado ya que esto posibilita la disminución de la alteración del asfalto por procesos de oxidación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)
- El mayor espesor de la película bituminosa que recubrirá a los agregados por el mayor porcentaje de asfalto junto con el empleo de un ligante de consistencia y susceptibilidad térmica adecuada, incrementará la durabilidad del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)



- La incorporación de porcentajes máximos de arena de trituración permite el logro de carpetas de rodadura con buena resistencia al deslizamiento y conveniente estabilidad; no obstante, debe realizarse un correcto balance de este valor máximo de arena a los efectos de no afectar la trabajabilidad de la mezcla ni su compactibilidad, así como tampoco la flexibilidad de la carpeta por un aumento inconveniente del módulo de rigidez. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2013)
- El uso como filler de cal hidratada, en condiciones acordes con su “concentración crítica” a la vez que contribuye a la disminución de los vacíos de la mezcla, mejora la adherencia entre los agregados y el asfalto y mejora la resistencia del asfalto al envejecimiento. (Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

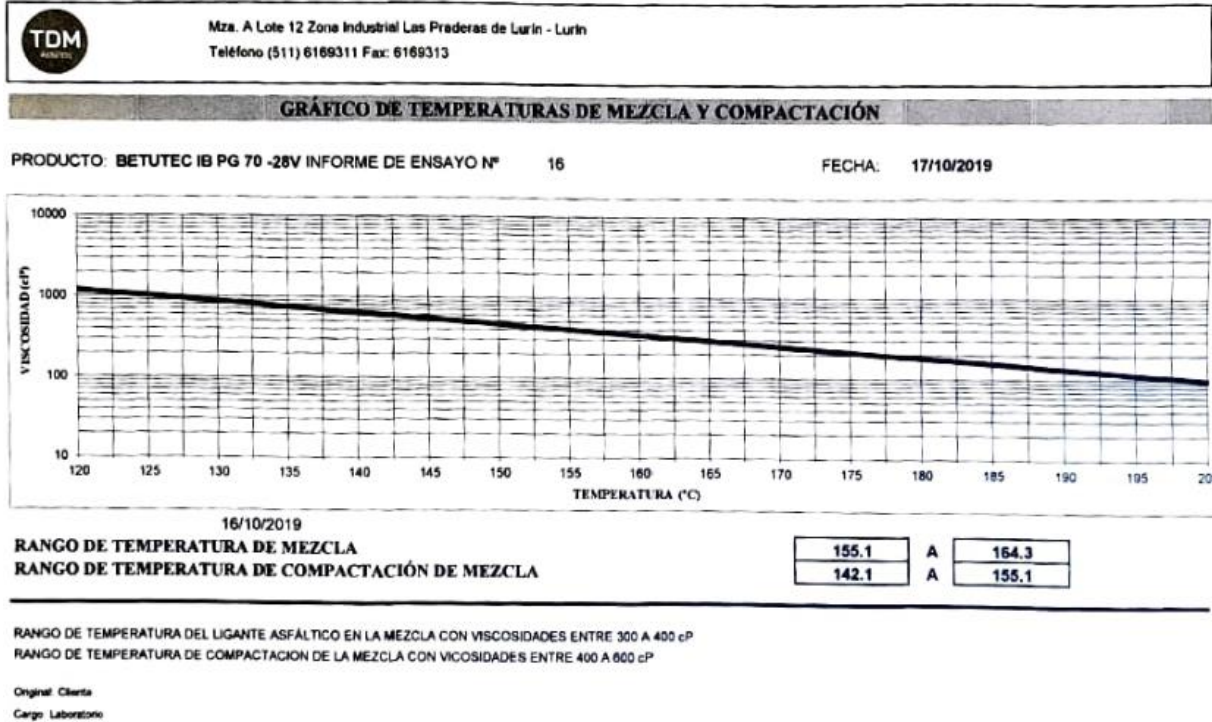
#### **2.2.5.4. Temperatura de mezclado**

Uno de los factores más importantes de la mezcla asfáltica es su temperatura de mezclado, debido a que, si se mezcla a temperaturas muy altas, el cemento asfáltico pierde sus propiedades. (Asphalt Institute, 2001)

Es por ello que la temperatura de mezclado está relacionado con la viscosidad de la mezcla, por ello el rango de temperaturas para la elaboración de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28 está comprendido entre los 155.10 °C y 164.30 °C, en cambio la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica está comprendida en el rango de temperaturas de 142.10 °C a 155.10 °C. (TDM Asfaltos, 2019)



Tabla 7: Temperaturas de mezcla y compactación de mezclas asfálticas con cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28



Fuente: Ficha Técnica BETUTEC PG 70-28 (2019)

## 2.2.6. Normativa para la calidad de la mezcla asfáltica

### 2.2.6.1. Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013” del MTC

#### 2.2.6.1.1. Requisitos para el agregado grueso

El agregado grueso deberá ser producto de la trituración de rocas o grava, cuyos fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin presentar un exceso de partículas alargadas o aplanadas ni presentar partículas desintegrables. Deberá estar libre de polvo, terrones u otras sustancias que impidan la correcta adhesión de las partículas de agregado con el cemento asfáltico. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

El agregado grueso debe cumplir con los requerimientos presentados en la siguiente tabla:



Tabla 8: Requerimientos de los agregados gruesos

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

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

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

### 2.2.6.1.2. Requisitos para el agregado fino

El agregado fino debe estar conformado por arena de trituración o una mezcla de arena de trituración con arena natural.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación. (Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

El polvo mineral o filler provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, usualmente se emplea cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm<sup>3</sup> y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6. Estos deben cumplir con lo indicado en



la siguiente tabla. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Tabla 9: Requerimientos de los agregados finos

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

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

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

### 2.2.6.1.3. Requisitos para la gradación

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá cumplir con los rangos indicados en los usos granulométricos de la siguiente tabla. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Tabla 10: Gradación para mezclas asfálticas en caliente

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)



### 2.2.6.1.4. Requisitos para el cemento asfáltico

El cemento asfáltico clasificado por grado de performance empleado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente debe cumplir con lo especificado en la siguiente tabla:

Tabla 11: Especificaciones del cemento asfáltico

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320																
	PG 70						PG 76						PG 82			
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>1</sup>	<70						<76						<82			
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>2</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
<b>Asfalto original</b>																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230															
Viscosidad, T 316 <sup>3</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135															
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>4</sup> G*/senS, <sup>5</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 1.0 rad/s, °C	70						76						82			
<b>Película delgada en horno rotativo (T 240)</b>																
Cambio de masa, <sup>6</sup> máximo, %	1.00															
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: <sup>4</sup> G*/senS, <sup>5</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82			
<b>Residuo en cámara de presión (R 28)</b>																
Temperatura de curado PAV, °C <sup>7</sup>	100 (110)						103(110)						100 (110)			
Esfuerzo cortante dinámico G*/senS, <sup>5</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Resistencia al desluzamiento, T 313: <sup>8</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tensión Directa, T 314: <sup>9</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

### 2.2.6.1.5. Requisitos para la mezcla asfáltica en caliente

Los requerimientos que deben cumplir las mezclas asfálticas en caliente deberán cumplir con los valores establecidos en la norma, según corresponda al tipo de mezcla elaborada, cumpliendo con los requisitos mostrados en la siguiente tabla. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)





Tabla 12: Especificaciones de la mezcla asfáltica

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

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

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

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

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.  
El Índice de Compactabilidad se define como: 
$$\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$$

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

## 2.2.6.2. Según la Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE

### 2.2.6.2.1. Requisitos para los agregados gruesos

Los agregados gruesos que serán empleados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la siguiente tabla:



Tabla 13: Requerimientos para agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente  
**Requerimiento para los Agregados Gruesos de Mezclas Asfálticas en Caliente**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		< 3000	> 3000
Perdida en Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	12 % máximo	10% máximo
Perdida en Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	18% máximo	15% máximo
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	40% máximo	35% máximo
Índice de Durabilidad	MTC E 214-2000	35 % máximo	
Partículas chatas y alargadas	NTP 400.040:1999	15 % máximo	
Partículas fracturadas	MTC E 210-2000	Según Tabla 12	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0.5% máximo	
Absorción	NTP 400.021:2002	1.00%	Según Diseño
Adherencia	MTC E 519-2000	+ 95	

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

### 2.2.6.2.2. Requisitos para los agregados finos

El agregado fino debe cumplir con los requerimientos indicados en la siguiente tabla:

Tabla 14: Requerimientos de agregados finos para mezclas asfálticas en caliente

#### Requerimientos para los Agregados Finos de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	Según tabla 13	
Angularidad del agregado fino	MTC E222-2000	Según tabla 14	
Adhesividad	MTC E222-2000	4% mínimo	6 % mínimo
Índice de durabilidad	MTC E214-2000	35 mínimo	
Índice de plasticidad	NTP 339.129:1999	Máximo 4	NP
Sales solubles totales	NTP 339.152:2002	0.5 % máximo	
Absorción	NTP 400.022:2002	0.50%	Según diseño

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

### 2.2.6.2.3. Requisitos para la gradación

Los agregados pétreos deberán respetar los siguientes parámetros de gradación:



Tabla 15: Requerimientos de gradación para mezclas asfálticas en caliente

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
1" (25.0 mm)	100	-	-
¾" (19.0 mm)	80-100	100	-
½" (12.5 mm)	67-85	80-100	-
3/8" (9.5 mm)	60-77	70-88	100
Nº 4 (4.75 mm)	43-54	51-68	65-87
Nº 10 (2.00 mm)	29-45	38-52	43-61
Nº 40 (425 µm)	14-25	17-28	16-29
Nº 80 (180 µm)	08-17	08-17	09-19
Nº 200 (75 µm)	04-08	04-08	05-10

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

#### 2.2.6.2.4. Requisitos para la mezcla asfáltica en caliente

Los especímenes de mezclas asfálticas compactadas deberán cumplir con los requerimientos de calidad indicados en la siguiente tabla:

Tabla 16: Requerimientos para las mezclas asfálticas en caliente

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías Locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤ EAL ≤ 10 <sup>6</sup>	EAL ≥ 10 <sup>6</sup>
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima (KN)	3.4	5.44	8.16
Flujo, 0.25 mm (min – Max)	8-18	8-16	8-14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min-Max)	3-5	3-5	3-5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral***, VMA (min-Max)	Ver Tabla 32		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min-Max)	70-80	65-78	65-75

Notas:

- \* Se debe considerar todos los criterios en el diseño de mezclas de pavimentación.
- \*\* Por encima de los 3000 m.s.n.m. se recomienda un valor de 2%.
- \*\*\* El porcentaje de vacíos en el agregado mineral se calcula sobre la base de las gravedades específicas bulk ASTM de los agregados

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)



## 2.2.7. Ensayos de calidad de los agregados

### 2.2.7.1. Análisis granulométrico (MTC E-204)

La granulometría del agregado pétreo es una de las principales propiedades que presentan los agregados, la cual influye sobre las propiedades más importantes de la mezcla asfáltica en caliente como estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, etc. Por ello el análisis granulométrico es el primer ensayo que se le realiza al agregado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El ensayo de granulometría tiene por objetivo determinar la distribución de las partículas del agregado, ya sea agregado grueso o agregado fino, empleando una serie de tamices normalizados. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

#### Procedimiento:

- Para el agregado fino se ensayará como mínimo una cantidad de 300 gramos.
- Para el agregado grueso la cantidad se determinará empleando la siguiente tabla:

Tabla 17: Cantidad de material para granulometría

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de Ensayo	
mm	pulg.	kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	½	2	4
19,0	¾	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1½	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 ½	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 ½	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Fuente: Manual de ensayo de materiales (2016)

- Se seca la muestra a  $110 \pm 5$  °C hasta tener peso constante.
- Se selecciona la serie de tamices necesaria.
- Se coloca agregado en la serie de tamices de manera que las aberturas de los tamices no se obstruyan con agregado.
- Se empieza a tamizar el agregado en la tamizadora mecánica.



- Finalizado el tamizado se determina el peso retenido en cada tamiz con una precisión de 0.1 gramos.

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la Tabla siguiente. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Tabla 18: Límites granulométricos de mezclas asfálticas en caliente

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

### 2.2.7.2. Ensayo de abrasión del agregado grueso por medio de la maquina de los Ángeles (MTC E-207)

El agregado pétreo empleado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente debe ser capaz de resistir el desgaste producido en la producción, colocación y compactación de pavimentos, del mismo modo debe resistir el desgaste generado a lo largo de la vida útil del pavimento. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El ensayo de los ángeles mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión, para este tipo de ensayo es necesario utilizar la máquina de los ángeles. (Asphalt Institute, 2001)

Este ensayo es una medición del desgaste del agregado pétreo por medio de abrasión, trituración e impacto en un tambor de acero en rotación, el cual contiene un número determinado de esferas de acero. El tambor de acero gira por un periodo determinado y al final el agregado se retira del tambor y se tamiza para medir el desgaste del agregado en porcentaje. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

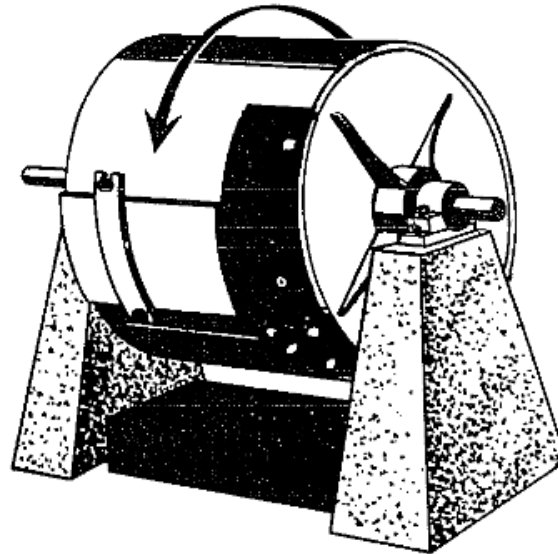


Figura 8: Máquina de los Ángeles

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (2001)

La cantidad necesaria de material para ser ensayado y la cantidad de billas a colocar se determinan mediante el uso de las siguientes tablas:

Tabla 19: Número de esferas para el ensayo de abrasión

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Manual de ensayos de materiales (2016)

Tabla 20: Especificaciones para el ensayo de abrasión

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")	-25,0	(1")	1250 ± 25			
25,0	(1")	-19,0	(3/4")	1250 ± 25			
19,0	( 3/4")	-12,5	(1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	( 1/2")	-9,5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	(3/8")	-6,3	(1/4")			2500 ± 10	
6,3	(1 1/4")	-4,75	(N° 4)			2500 ± 10	
4,75	(N° 4)	-2,36	(N° 8)				5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	2500 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)



### 2.2.7.3. Índice de aplanamiento y alargamiento de agregados para carreteras (MTC E-221)

Este ensayo proporcionan información sobre la forma del agregado, sin son alargados o aplanados, y conociendo estas características se logra deducir que tan apropiado será elaborar un diseño de mezcla con dicho agregado grueso; puesto que al agregado tener una forma alargada o aplanada suele quebrarse al ser transportados o a la hora de realizar las mezclas por lo que abran más partículas de agregados y por defecto más pequeña, lo que cambiaría la granulometría del agregado y esto puede ocasionar pérdida en la resistencia del asfalto.

Una mezcla de asfalto con altos índices de alargamiento y aplanamiento es riesgosa para la resistencia del mismo; desde el transporte, preparación hasta su utilización en la elaboración de mezclas asfálticas, ya que en este último por ser partículas aplanadas o alargadas pueden quedar atrapadas en medio de la mezcla provocando pequeños volúmenes de vacíos, además como se mencionó anteriormente son muy susceptibles a quebrarse. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Este ensayo se aplica a los agregados gruesos ya sean de origen natural como de origen artificial y define como índice de aplanamiento al porcentaje de partículas cuya mínima dimensión (espesor) es menor a  $3/5$  de la dimensión promedio; y se define como índice de alargamiento al porcentaje de partículas de una fracción de agregado cuya dimensión mayor (largo) es mayor a  $9/5$  de la dimensión promedio de la partícula. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Las dimensiones de los calibradores dependerán del tamaño máximo nominal del agregado, mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 21: Especificaciones para el ensayo de partículas aplanadas y alargadas

Tamices				Dimensiones del calibrador (mm)	
Pasa		Retiene		Aplanamiento	Alargamiento (Separación de las barras)(2)
mm	(pulq)	mm	(pulq)	Abertura de la ranura)(1)	
63	(2 1/2")	50	(2 ")	33,9	-----
50	(2 ")	37,5	(1 1/2")	26,3	78,8
37,5	(1 1/2")	25	(1 ")	18,8	56,3
25	(1 ")	19	(3/4")	13,2	39,6
19	(3/4")	12,5	(1/2")	9,5	28,4
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	6,6	19,8
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")	4,7	14,2

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

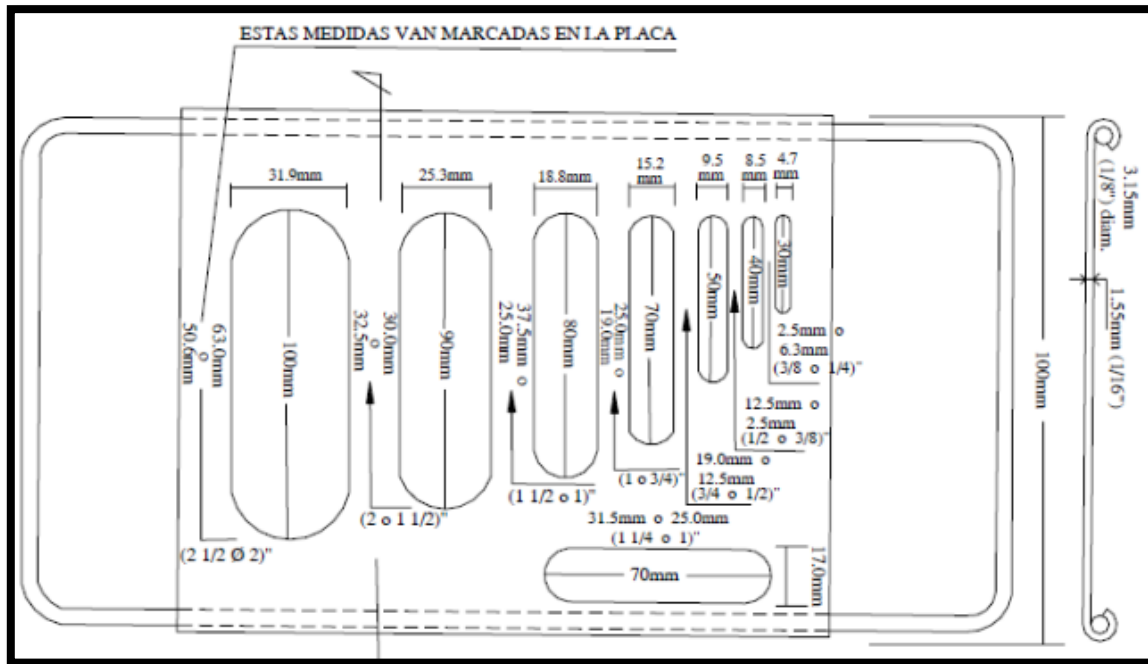


Figura 9: Calibrador de partículas aplanadas  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

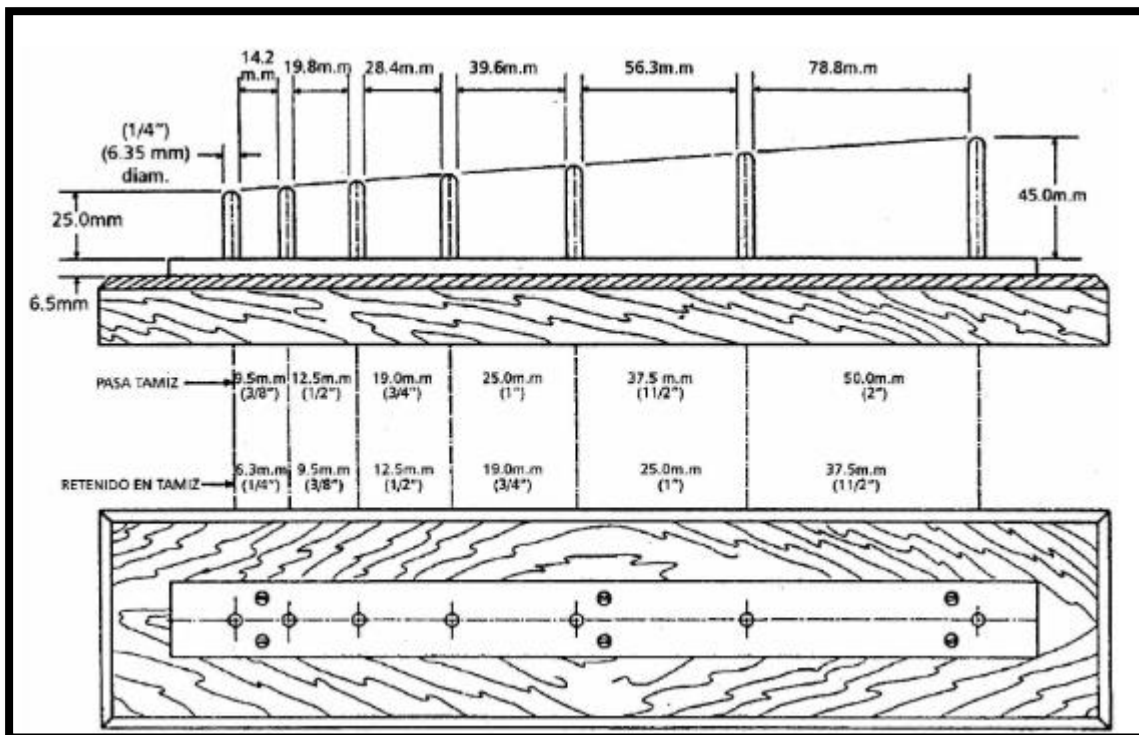


Figura 10: Calibrador de partículas alargadas  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

- Se hacen pasar las partículas del agregado grueso por el calibrador de espesores en la ranura correspondiente a la fracción del agregado. (Minaya & Ordóñez, 2001)





- Se registra el peso de las partículas que pasaron por el calibrador con una precisión de 0.1 gramos. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Se hacen pasar las partículas del agregado grueso por el calibrador de longitud en la separación de barras correspondiente a la fracción de agregado. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Se registra el peso de las partículas que pasaron por el calibrador con una precisión de 0.1 gramos. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Se calcula el porcentaje de partículas que pasaron por el calibrador de espesor y longitud. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El porcentaje límite del índice de aplanamiento y alargamiento está en la siguiente tabla:

Tabla 22: Requisitos de las propiedades de los agregados

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

Fuente: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

#### 2.2.7.4. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E-210)

Este ensayo determina el porcentaje en masa de las partículas de agregado grueso que tienen caras fracturadas.

Es importante tener agregado cuyas partículas posean caras fracturadas ya que esas partículas incrementan la resistencia al esfuerzo cortante porque generan mayor fricción interna entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Una cara fracturada es una cara angular, lisa o superficie fracturada de una partícula de agregado producto de trituración. Una cara se considera fracturada si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal), como se aprecia en la imagen: (Minaya & Ordóñez, 2001)

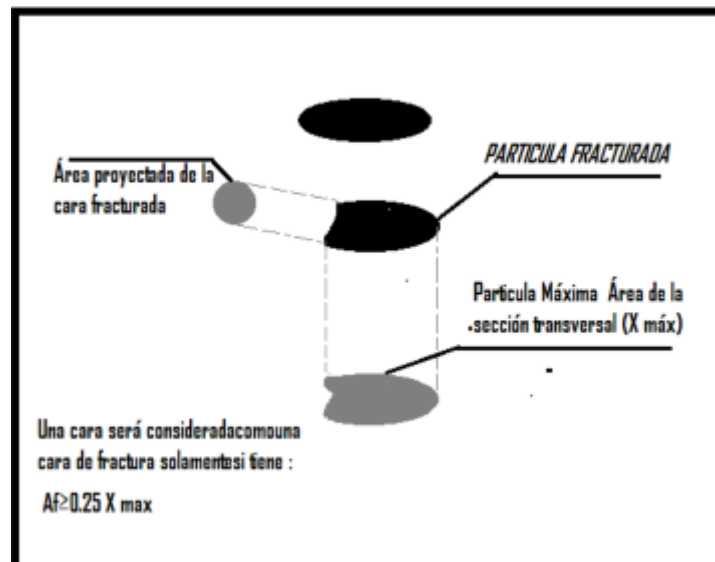


Figura 11: Esquema de una partícula fracturada

Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

La cantidad de material a trabajar se determina mediante la siguiente tabla:

Tabla 23: Muestras para ensayo de caras fracturadas

Tamaño del agregado	Peso en g
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: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

Para determinar el porcentaje de partículas con caras fracturadas se siguen los siguientes pasos:

- Después de separar la muestra requerida, se extiende sobre una superficie plana para inspeccionar visualmente.
- Se separan las partículas de agregado grueso en tres grupos: partículas con una cara fracturada, partículas con dos o más caras fracturadas y partículas que no tienen caras fracturadas.

#### 2.2.7.5. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206)

Este ensayo brinda un procedimiento para lograr determinar tres valores del agregado grueso, los cuales son: peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca y la absorción del agregado transcurrido un tiempo de 24 horas. El peso específico saturado superficialmente seco y el peso específico seco se basan en agregados sumergidos en agua por un periodo de 24 horas. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

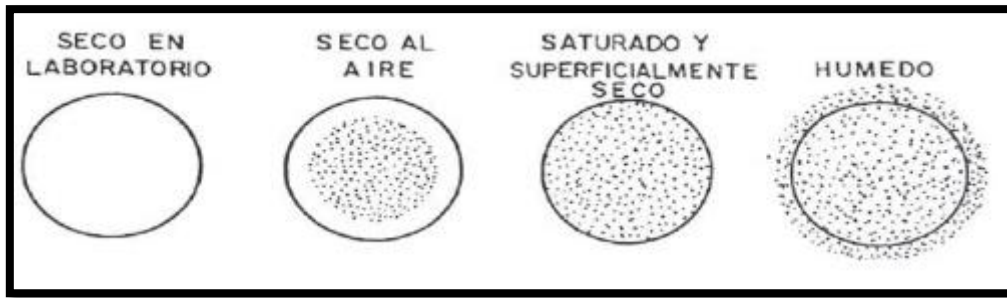


Figura 12: Estados de saturación del agregado

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (2001)

Para realizar el ensayo se debe tomar una muestra siguiendo lo recomendado en la siguiente tabla:

Tabla 24: Peso de la muestra para el ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 1/2)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 1/2)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 1/2)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de ensayos de materiales (2016)

La muestra de agregado se sumerge en agua por un periodo aproximado de 24 horas para saturar los poros de las partículas del agregado. Una vez saturado el agregado se seca el agua superficial de las partículas para obtener el peso saturado superficialmente seco. Luego la muestra se pesa mientras es sumergida en agua y finalmente la muestra se seca en horno hasta que tenga peso constante y se registra su peso seco. Con los datos obtenidos previamente es posible calcular el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico seco y la absorción. (Minaya & Ordóñez, 2001)

#### 2.2.7.6. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205)

El peso específico es una propiedad empleada para determinar el volumen que ocupa el agregado dentro de las mezclas asfálticas. Este ensayo permite determinar los valores de peso



específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y la absorción del agregado fino. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

El procedimiento es el siguiente:

- Se extrae una muestra de aproximadamente 1 kilogramo. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Se sumerge el agregado fino por un periodo de 24 horas para tenerlo saturado. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Pasadas las 24 horas se extiende en una superficie plana y se seca con corrientes de aire caliente. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Para alcanzar la condición saturada superficialmente seca, se seca el material hasta que la muestra se desmorona levemente al retirarse el cono de absorción. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Aproximadamente 500 gramos del agregado saturado superficialmente seco se colocan en la fiola y se llena con agua. (Minaya & Ordóñez, 2001)
- Se retira el agregado de la fiola y se hace secar en el horno hasta obtener peso constante. (Minaya & Ordóñez, 2001)

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial. (Asphalt Institute, 2001)

#### **2.2.7.7. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del agregado fino (MTC E-110 y MTC E-111)**

El límite líquido es el contenido de humedad para el que el suelo se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. Generalmente este contenido de humedad se obtiene cuando el surco que se separa en la cuchara de Casagrande se cierra en el fondo al dar 25 golpes en la cuchara de Casagrande.



El límite plástico de los suelos es la menor humedad con la cual es posible formar cilindros de 3.2 milímetros de diámetro sin que se desmoronen, rodándolo con la palma de la mano sobre una superficie de vidrio esmerilado.

Finalmente, el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Los valores del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad son empleados para poderlos correlacionar con otras propiedades como permeabilidad, compresibilidad, contracción y resistencia al corte. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

#### **2.2.7.8. Durabilidad al sulfato de sodio y al sulfato de magnesio (MTC E-209)**

Este ensayo determina el porcentaje de pérdida de peso del agregado sometido a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio, determinando así su resistencia frente a los agentes climáticos que soportará durante la vida útil de la obra. Este ensayo se puede aplicar tanto en agregados gruesos como en agregados finos sometiéndolos al desgaste producido por el sulfato de sodio o magnesio en un número de ciclos determinados; al repetirse los procesos de secado e inmersión en los diferentes ciclos las sales producen vacíos en el agregado y luego al sumergirse se rehidratan y producen fuerzas de expansión al interior de las partículas del agregado. (Minaya & Ordóñez, 2001)

Con este ensayo se logra determinar la resistencia que poseen los agregados tanto gruesos como finos a la desintegración con el uso de soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio durante un periodo de 16 a 18 horas, a través de inmersiones del agregado en la solución de sulfato de sodio o magnesio y luego secándolo en el horno; alternando la inmersión y secado del agregado por el número de ciclos determinado. La resistencia al sulfato de sodio o magnesio se determina a través de la pérdida de peso al final de la prueba. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

La muestra de agregado fino será de por lo menos 500 gramos de manera que quede como mínimo 100 gramos en cada uno de los siguientes tamices:

*Tabla 25: Tamices para el ensayo de durabilidad de agregados finos*

<b>Pasa el tamiz normalizado</b>	<b>Retenido sobre el Tamiz normalizado</b>
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

*Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*



La muestra a ensayar para el agregado grueso será de acuerdo a lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 26: Muestra para el ensayo de durabilidad del agregado grueso

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ± 10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente: Manual de ensayos de materiales (2016)

## 2.2.8. Ensayos de calidad de las mezclas asfálticas

### 2.2.8.1. Espesor de especímenes compactados de mezclas asfálticas (MTC E-507)

Este ensayo permite determinar la altura de los especímenes de mezclas asfálticas en caliente compactados, esta propiedad es importante ya que a través de ella se aplican factores de corrección de estabilidad, del mismo modo permite la corrección de la resistencia de especímenes de mezclas asfálticas en caliente compactadas de diámetro constante con variación de altura.

Para determinar el espesor de los especímenes se emplea vernier con precisión de 0.10 centímetros, se realizan cuatro mediciones del espesor tomándose el promedio de las cuatro mediciones como el espesor de los especímenes de mezclas asfálticas compactadas. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

### 2.2.8.2. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)

Este ensayo sirve para determinar el peso específico de los especímenes de mezclas asfálticas compactadas y es aplicable para especímenes que absorban menos del 2% de agua; del mismo modo este ensayo es útil para determinar la cantidad de vacíos en la mezcla.



Para determinar el peso sumergido de los especímenes se debe sumergir las muestras por cinco minutos en agua a 25°C y luego pesarlas sumergidas en agua; para determinar el peso saturado superficialmente seco se debe secar la película de agua superficial y registrar el peso; finalmente para determinar el peso seco en aire. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

#### **2.2.8.4. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504)**

Este ensayo permite determinar la resistencia de los especímenes de mezclas asfálticas compactadas, a partir de dos parámetros como la estabilidad y el flujo por medio del método Marshall. Este ensayo es aplicable en mezclas asfálticas producidas en laboratorio.

Para determinar los valores de estabilidad y flujo se debe considerar el promedio de 3 especímenes como mínimo de cada contenido de asfalto, donde el incremento de asfalto es de 0.50%.

Para poder efectuar el ensayo se deben calentar los especímenes en baño maría a 60°C por 30 a 40 minutos o en horno a 60°C por 120 a 130 minutos, pasado el tiempo indicado se sacan los especímenes de baño maría u horno y se colocan en el cabezal de rotura del aparato Marshall, luego de ello se coloca el cabezal con el espécimen en el aparato Marshall para que se aplique una carga de compresión diametral a una velocidad de 50 mm/min y se registran los valores de estabilidad y flujo. Una vez que los especímenes son retirados del baño maría u horno y se empieza a aplicar la carga de compresión no debe exceder de 30 segundos. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Después de obtener los valores de estabilidad y flujo y con los datos de el espesor de los especímenes se aplica un factor de corrección para el valor de estabilidad, de acuerdo a la siguiente tabla:



Tabla 27: Factores de corrección de estabilidad

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de ensayo de materiales (2016)

## 2.2.9. Propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

### 2.2.9.1. Propiedades físicas

#### 2.2.9.1.1. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Se define como el volumen que se encuentra ocupado por el contenido de asfalto y los vacíos que quedan entre las partículas de agregado cubiertos con asfalto, el VMA se expresa como porcentaje del volumen o del peso total de la muestra.

Son vacíos de aire existentes entre las partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada, estos espacios incluyen los espacios llenados con asfalto, es decir el VMA representa el espacio que queda disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto. (Minaya & Ordóñez, 2001)





Se recomienda que para mezclas asfálticas que se encuentren en climas fríos y en zonas de altura que se empleen granulometrías continuas, lo que posibilita lograr vacíos del agregado mineral superiores al 15.00%. (Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

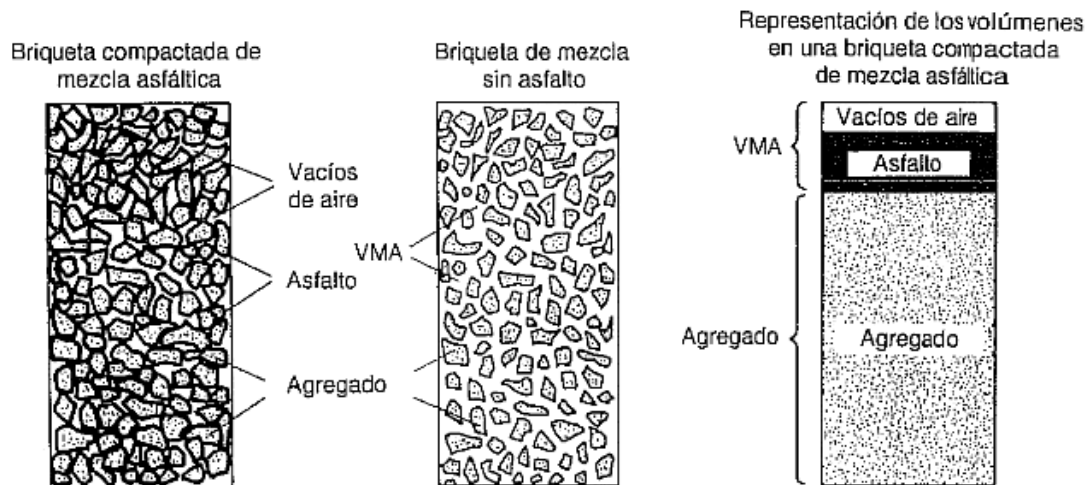


Figura 13: Ilustración del VMA en una probeta de mezcla asfáltica en caliente compactada  
Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (2001)

Tabla 28: VMA máximo en porcentaje

Tamaño Máximo en mm		VMA mínimo, por ciento		
Porcentaje		Vacíos de Diseño, por ciento <sup>3</sup>		
mm	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

<sup>1</sup> Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)  
<sup>2</sup> El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.  
<sup>3</sup> Interpola al VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (2001)

### 2.2.9.1.2. Vacíos de aire (VTM)

Es utilizado como uno de los criterios tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos. (Asphalt Institute, 2001)

El VTM es el volumen de aire que queda atrapado entre las partículas de agregado recubierto por asfalto, luego de la compactación. (Minaya & Ordóñez, 2001)



Los valores de VTM de un espécimen de mezcla asfáltica compactada debe estar entre 5.00% y 3.00%, ya que al tener valores inferiores al 5.00% se logra asegurar la impermeabilidad de la mezcla asfáltica y con valores superiores al 3.00% se asegura que hay suficiente espacio de vacíos en la mezcla para la compactación adicional que recibe la mezcla asfáltica durante el tiempo de vida útil en la obra. (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

### 2.2.9.1.3. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Se define como el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado que conforman la mezcla asfáltica, que se encuentran llenos de asfalto. El VFA se calcula al restar los vacíos del aire del VMA. (Minaya & Ordóñez, 2001)

Para climas fríos y en zonas de altura se recomienda tener un porcentaje de vacíos llenos de asfalto próximos al 85%. (Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013)

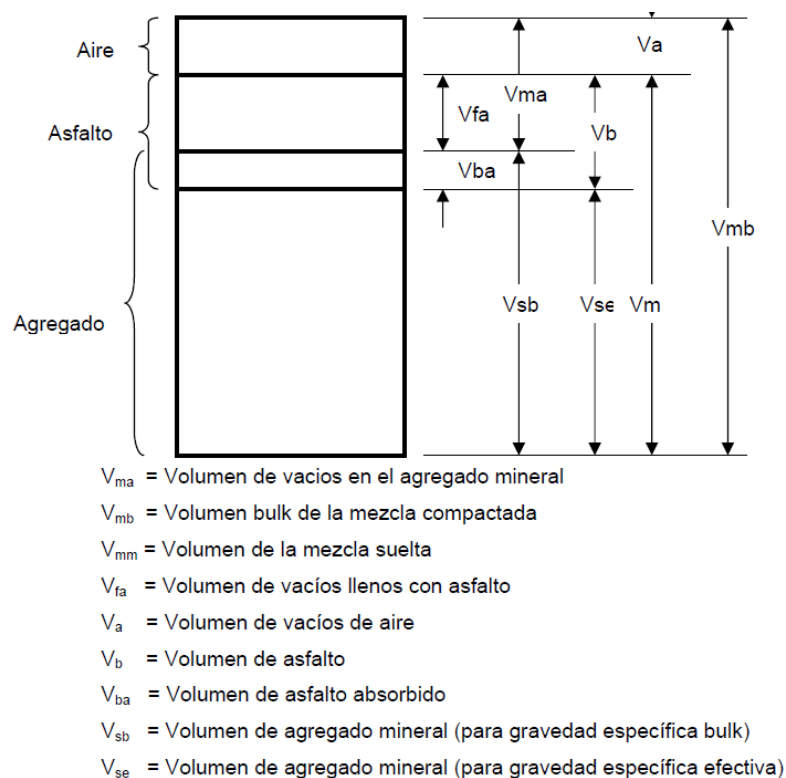


Figura 14: Representación de los parámetros volumétricos en una probeta  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

### 2.2.9.1.4. Gravedad específica

Esta propiedad resulta útil para determinar la relación entre el peso y el volumen de la muestra compactada y de este modo poder calcular el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas en



caliente. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4F). (Minaya & Ordóñez, 2001)

La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

- Gravedad Específica Seca Aparente
- Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)
- Saturada Superficialmente Seca Bulk

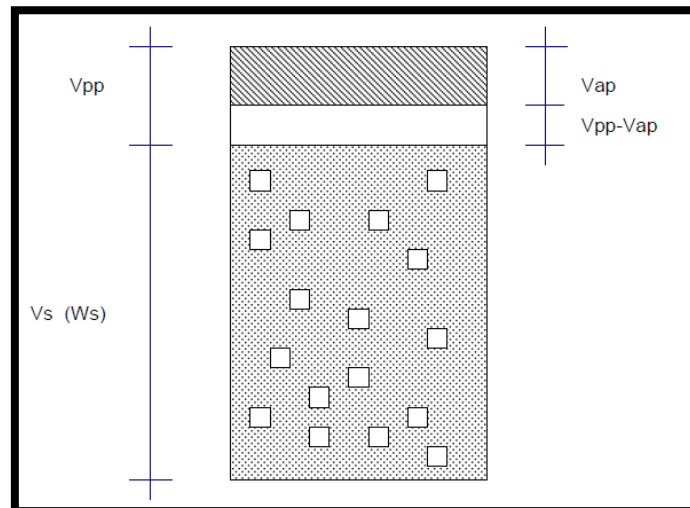


Figura 15: Relación de parámetros volumétricos

Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

Donde:

- Vs: Volumen del agregado seco incluyendo los vacíos impermeables
- Vpp: Volumen de poros permeables al agua
- Vap: Volumen de poros que absorbieron asfalto
- Vpp-Vap: Volumen de poros permeables al agua menos los poros que absorbieron asfalto
- Ws: Peso de agregado secado al horno

a) Gravedad específica seca aparente

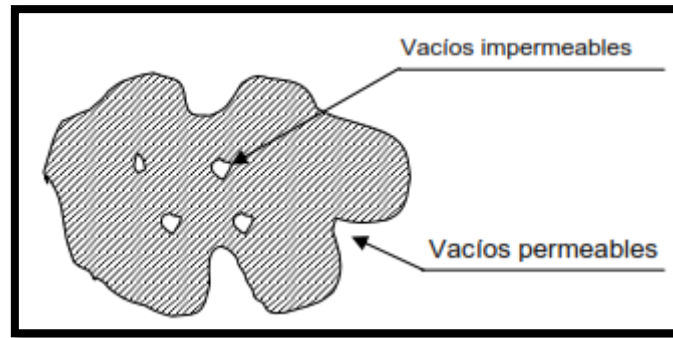


Figura 16: Esquema del agregado seco  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

Incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión. (Minaya & Ordóñez, 2001)

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado}}$$

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

Donde:  $W_s$ : Peso del agregado seco (gr)

$V_s$ : Volumen del agregado (cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$ : Peso específico del agua (gr/cm<sup>3</sup>)

b) Gravedad específica seca bulk

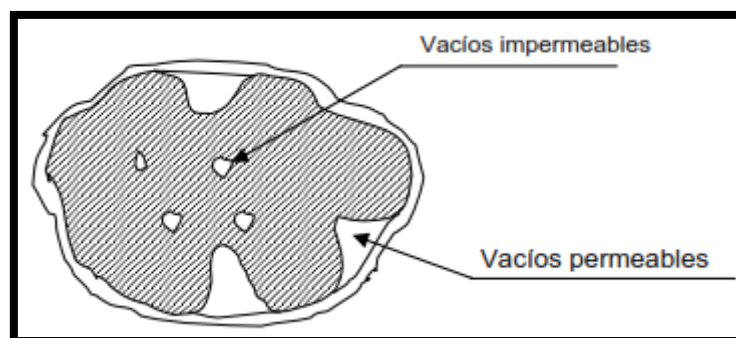


Figura 17: Esquema del agregado para gravedad específica bulk  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión. (Minaya & Ordóñez, 2001)



$$\text{Gravedad específica Seca Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado mas los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica Seca Bulk} = G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \gamma_w}$$

- Donde:
- Ws: Peso del agregado seco (gr)
  - Vs: Volumen del agregado (cm<sup>3</sup>)
  - V<sub>pp</sub>: Volumen de poros permeables al agua (cm<sup>3</sup>)
  - γ<sub>w</sub>: Peso específico del agua (gr/cm<sup>3</sup>)

c) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk

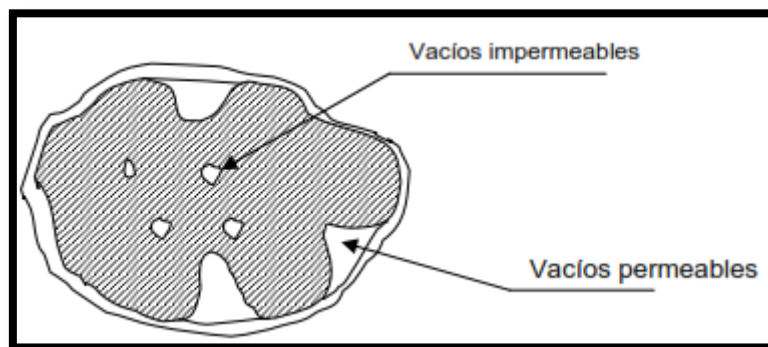


Figura 18: Esquema para la gravedad específica saturada superficialmente seca  
Fuente: Manual de laboratorio de ensayos para pavimentos volumen I (2001)

Define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables. (Minaya & Ordóñez, 2001)

$$\text{Grav. Esp. Saturada Superficialmente Seca Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado mas los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk} = G_{SSsb} = \frac{W_{SSs}}{(V_s + V_{pp}) \gamma_w}$$

- Donde:
- W<sub>SSs</sub>: Peso del agregado saturado superficialmente seco (gr)
  - Vs: Volumen del agregado seco (cm<sup>3</sup>)
  - V<sub>pp</sub>: Volumen de poros permeables al agua (cm<sup>3</sup>)



$\gamma_w$ : Peso específico del agua ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

### **2.2.9.2. Propiedades mecánicas**

Una buena mezcla asfáltica en caliente trabaja bien debido a que son producidas de manera que logren obtener las propiedades mecánicas deseadas; estas propiedades están directamente relacionadas con la calidad de la mezcla asfáltica. Dentro de las propiedades mecánicas más relevantes tenemos a la estabilidad y el flujo. (Asphalt Institute, 2001)

#### **2.2.9.2.1. Estabilidad**

Los valores de estabilidad Marshall de los especímenes de mezclas asfálticas en caliente compactadas varían de acuerdo a la gradación del agregado y al contenido de asfalto de la mezcla. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

La estabilidad es la propiedad que tiene la mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación cuando se le aplican cargas de tránsito, por ello los requerimientos de estabilidad deben ser suficientemente altos como para poder resistir la carga transmitida por el tránsito. Valores muy elevados de estabilidad resultan en mezclas asfálticas rígidas y producen una vida útil menor a la deseada.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del cemento asfáltico empleado en la mezcla.

La estabilidad Marshall es una medida de la mayor carga en la cual la probeta falla. (Instituto Chileno del Asfalto, 1992)

Las causas y efectos de una estabilidad deficiente se muestran en la siguiente tabla:



Tabla 29: Causas y efectos de inestabilidad en los pavimentos

ESTABILIDAD BAJA	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: (Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (2001))

#### 2.2.9.2.2. Flujo

Representa la deformación de la briqueta y esta medido en milímetros (mm) o centésimas de pulgada.

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

Para la medición de la estabilidad como el flujo se requiere de la prueba Marshall la cual ayudará a medir la resistencia a la deformación de la mezcla (estabilidad) y la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. (Instituto Chileno del Asfalto, 1992)

#### 2.2.10. Datos atípicos

Un valor o dato atípico, es un valor notablemente grande o pequeño; los valores atípicos tienen un efecto desproporcionado en el análisis estadístico, como la media o el promedio que es sensible a la presencia de datos atípicos, lo cual genera interpretaciones engañosas de los resultados obtenidos. (Palomo Sánchez, 2011)

Frente a un conjunto de datos, la persona que observa los valores se puede percatar que ciertos valores no son consistentes con el resto de datos o que son anómalos en cierto sentido. Los datos atípicos pueden ser de naturaleza aleatoria, cuyo origen puede encontrarse en la variabilidad del modelo o por influencias externas. La influencia de los datos atípicos en el



tratamiento estadístico de datos puede desencadenar en un error grave en los parámetros que se van a estimar. (Main Yaque, 2015)

### **2.2.11. Como lidiar con datos atípicos**

Para poder trabajar con datos atípicos eliminarlos no es la solución, por ello la mejor forma de trabajar con esos valores es disminuir la influencia de estos valores sobre la masa de datos a analizar.

Cuando se aplica la media a una serie de datos que presentan datos atípicos, la media resulta influenciada por los valores atípicos, dando una lectura incorrecta de la serie de datos. Una alternativa eficaz de centralización de datos cuando hay presencia de datos atípicos es la mediana. (Palomo Sánchez, 2011)

#### **2.2.11.1. Mediana**

La mediana es un valor que se encuentra ubicado en la mitad de todos los valores, es una técnica más robusta que la media. Esta técnica es estable respecto a pequeñas desviaciones de la serie de datos o datos atípicos, ordenándose de menor a mayor y ubicándose justo en el medio de los valores. (Palomo Sánchez, 2011)

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

La incorporación de residuos de PVC como filler en un porcentaje óptimo producirá un mejor comportamiento de las propiedades mecánicas respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón.

### **2.3.2. Sub hipótesis**

#### **Sub-hipótesis 1**

El peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler será mayor respecto al peso unitario de una mezcla asfáltica patrón.

#### **Sub-hipótesis 2**

La incorporación de residuos de PVC como filler influye en el incremento de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas.

#### **Sub-hipótesis 3**

El flujo de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler disminuye respecto al flujo de una mezcla asfáltica patrón.





## Sub-hipótesis 4

La estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler incrementa respecto a la estabilidad de una mezcla asfáltica patrón.

### 2.4. Definición de variables

#### 2.4.1. Variables independientes

##### RESIDUOS DE PVC

- Descripción:  
Residuos de PVC reciclados y picados que pasan la malla No. 200.
- Indicador:  
Peso (gr).

##### MEZCLA ASFALTICA

- Descripción:  
Mezcla constituida por agregado pétreo y cemento asfáltico PG 70-28.
- Indicador:  
Gramo (gr).

#### 2.4.2. Variables dependientes

##### PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

##### PESO UNITARIO

- Descripción:  
Representa el peso de la mezcla por unidad de volumen, es decir, es el peso de un volumen específico de mezcla.
- Indicador:  
Densidad (gr/cm<sup>3</sup>).

##### PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS

- Descripción:  
Es la relación de los volúmenes existentes en la mezcla asfáltica.
- Indicador:  
Porcentaje (%).

##### FLUJO



- Descripción:  
Es la deformación máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica antes de fallar.
- Indicador:  
Longitud (mm).

#### ESTABILIDAD

- Descripción:  
Resistencia máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica a la deformación.
- Indicador:  
Peso (Kg).

#### 2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 30: Cuadro de Operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
VARIABLES	NIVEL	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO	
Independientes					
X1	Mezcla asfáltica con incorporación de residuos de PVC	X11	Residuos de PVC	Residuos reciclados y triturados que pasan la malla No. 200	Peso (gr)
		X12	Mezcla asfáltica	Mezcla realizada con agregados petreos y ligante asfaltico PG 70-28.	Peso (gr)
Dependientes					
Y1	Propiedades físico-mecánicas	Y11	Peso unitario	Peso de la mezcla por unidad de volumen, es decir, es el peso de un volumen específico de mezcla asfáltica.	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
		Y12	Parámetros volumétricos	Relacion de volúmenes existentes en la mezcla asfáltica.	Porcentaje (%)
		Y13	Flujo	Es la deformación máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica antes de fallar.	Longitud (mm)
		Y14	Estabilidad	Resistencia máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica a la deformación.	Peso (kg)

Fuente: Propia



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### **3.1. Metodología de la investigación**

##### **3.1.1. Enfoque de la investigación**

###### CUANTITATIVA

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no se puede “brincar” o eludir pasos. Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento de probar teorías. (Hernandez Sampieri, 2014).

El presente trabajo de investigación se centra en la recolección de datos que se obtienen de los ensayos de laboratorio desarrollados secuencialmente, para poder comprobar las hipótesis propuestas.

##### **3.1.2. Nivel de la investigación**

###### DESCRIPTIVA

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernandez Sampieri, 2014, pág. 92)

En el trabajo de investigación se pretende detallar las propiedades analizadas en los ensayos que indican la norma NTP y ASTM de una mezcla asfáltica con incorporación de residuos de PVC en diferentes porcentajes.

##### **3.1.3. Método de la investigación**

###### HIPOTETICO-DEDUCTIVO

El método hipotético-deductivo lo empleamos corrientemente tanto en la vida ordinaria como en la investigación científica. Es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que nos planteamos. Consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquellas. (Cegarra Sánchez, 2004)



Este método es empleado porque en el trabajo de investigación tenemos hipótesis planteadas, las mismas serán comprobadas a través de ensayos de mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC con respecto a una mezcla asfáltica patrón.

### **3.2. Diseño de la investigación**

#### **3.2.1. Diseño metodológico**

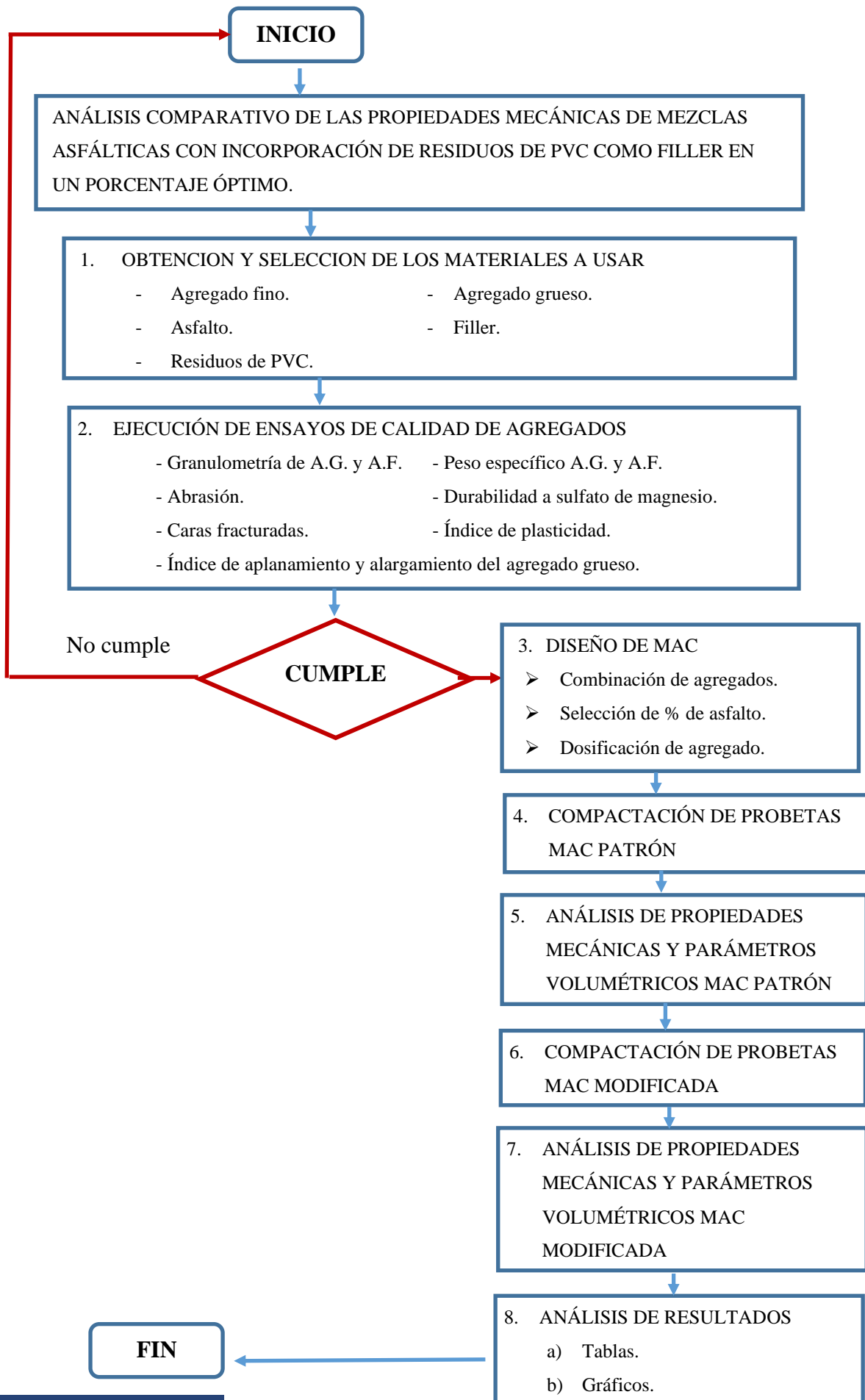
##### **CUASI-EXPERIMENTAL**

Los diseños cuasi-experimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. (Hernandez Sampieri, 2014)

El presente trabajo de investigación presenta un diseño cuasi-experimental debido a que se debe obtener datos de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas, a su vez las muestras no son extraídas aleatoriamente, sino que se seleccionan las muestras de mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC triturados en diferentes porcentajes respecto a una mezcla patrón.



### 3.2.2. Diseño de ingeniería





### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

##### 3.3.1.1. Descripción de la población

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Hernandez Sampieri, 2014).

La población de la presente tesis de investigación está conformada por las briquetas asfálticas Marshall modificadas con la incorporación de residuos de PVC en diferentes porcentajes, por tanto, la población se considera única.

La población a estudiar serán probetas de 2.5” de altura y 4” de diámetro compactadas con 75 golpes en ambas caras simulando un tráfico pesado.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la población

Tomando en cuenta lo establecido en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 y el Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010 de Pavimentos Urbanos se considera lo siguiente:

Para poder determinar el contenido óptimo de asfalto se emplearán siete porcentajes, los cuales son 4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00%, 6.50% y 7.00%; del peso total de la probeta, para lo cual se obtienen 5 probetas por porcentaje haciendo una cantidad parcial de 35 probetas, además de ello se compactan 5 probetas para el contenido óptimo de asfalto. Siendo un parcial de 40 probetas para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Para poder obtener el porcentaje óptimo de mezclas asfálticas en caliente con incorporación de residuos de PVC como filler se evaluará en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%; respecto al peso de la probeta. Para las probetas de mezclas asfálticas modificadas se compactarán 7 probetas por cada porcentaje de PVC, haciendo un parcial de 35 probetas.

La población total consta de 225 probetas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 31: Cuantificación de la población

Evaluación de especímenes de diseño														
Ensayos	Incremento para determinar contenido óptimo de asfalto								Incorporación de PVC como filler					Total por ensayo
	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	PATRÓN	0.50%	0.75%	1.00%	1.25%	1.50%	
Flujo	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	75.0
Estabilidad	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	75.0
Peso específico	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	75.0
<b>Total de especímenes</b>														<b>225.00</b>

Fuente: Propia



### 3.3.2. Muestra

#### 3.3.2.1. Descripción de la muestra

Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta. Para seleccionar una muestra, lo primero que hay que hacer es definir la unidad de muestreo/análisis (si se trata de individuos, organizaciones, periodos, comunidades, situaciones, piezas producidas, eventos, etc.). Una vez definida la unidad de muestreo/análisis se delimita la población. (Hernandez Sampieri, 2014)

La muestra para este trabajo de investigación se considera única al ser coincidente con la población. Las dimensiones de las probetas son de 64 mm (2 ½”) de altura y 102 mm (4”) de diámetro, los cuáles son elaborados siguiendo los pasos del método Marshall.

#### 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Para la cuantificación de la muestra se toma en cuenta lo recomendado por el MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) para la producción de mezclas asfálticas en caliente:

- **Cuantificación de mezclas asfálticas patrón**

El MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) recomienda que se tome un mínimo de 3 especímenes por cada porcentaje de cemento asfáltico empleado, sin embargo, para esta investigación se considerarán 5 especímenes por porcentaje de cemento asfáltico; siendo los porcentajes empleados de 4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00%, 6.50% y 7.00%.

La cuantificación es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 32: Cuantificación de muestras para el contenido óptimo de asfalto

Cuantificación de la muestra para determinar el contenido óptimo de asfalto									
Ensayos	Contenido de cemento asfáltico								Total por ensayo
	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	PATRÓN	
Flujo	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	40.0
Estabilidad	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	40.0
Peso específico	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	40.0
<b>Total de especímenes</b>									<b>120.0</b>

Fuente: Propia

- **Cuantificación de mezclas asfálticas modificadas**

Para poder analizar las probetas con incorporación de residuos de PVC como filler se contarán con 7 probetas por porcentaje de incorporación, los cuales son 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%.



La cuantificación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33: Cuantificación de muestras modificadas

Cuantificación de muestras modificadas						
Ensayos	Incorporación de PVC como filler					Total por ensayo
	0.50%	0.75%	1.00%	1.25%	1.50%	
Flujo	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	35.0
Estabilidad	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	35.0
Peso específico	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	35.0
Total de especímenes						105.00

Fuente: Propia

### 3.3.2.3. Método de muestreo

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. (Hernandez Sampieri, 2014)

El método de muestreo utilizado en la investigación es el método no probabilístico, debido a que no se utilizaron métodos estadísticos para la selección de la muestra, debido a que se tiene una población finita, y los elementos a ser analizados fueron elegidos a criterio de los investigadores.

### 3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Para esta investigación se consideró lo siguiente:

- Probetas de mezclas asfálticas Marshall patrón, con una altura de 64 mm (2.5”) y un diámetro de 120 mm (4”); los cuales fueron elaborados siguiendo las recomendaciones del Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras del año 2013 (EG-2013) y la norma CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones (2010); para poder analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente de peso unitario, rigidez, flujo y estabilidad.
- Probetas de mezclas asfálticas Marshall modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler, con una altura de 64 mm (2.5”) y un diámetro de 120 mm (4”); los cuales fueron elaborados siguiendo las recomendaciones del Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras del año 2013 (EG-2013) y la norma CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones (2010); para poder analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente de peso unitario, rigidez, flujo y estabilidad.





### **3.3.3. Criterios de inclusión**

Se incluirán en esta investigación las probetas de mezclas asfálticas que incluyan los siguientes materiales:

- Especímenes de mezclas asfálticas en caliente compactadas.
- Agregados pétreos gruesos y finos de la región de Cusco, de la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco.
- Cemento asfáltico BETUTEC PG 70-28.
- Residuos de PVC como filler.

### **3.4. Instrumentos**



#### **3.4.1. Instrumentos metodológicos**

Los instrumentos metodológicos se muestran en las tablas de las siguientes páginas:



- Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos.

Tabla 34: Ficha para realizar el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos



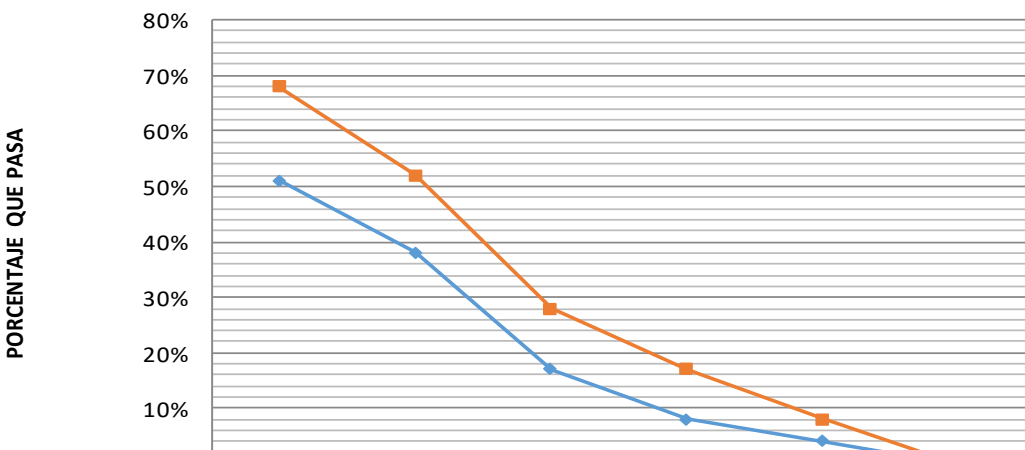
 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL											
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"									
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> __		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)									
DATOS DE LA MUESTRA											
<b>Cantera</b>											
<b>Material</b>											
<b>Muestra</b>	gr.										
<b>Fecha</b>											
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon										
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC										
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA					
1"	25.400										
3/4"	19.050										
1/2"	12.700										
3/8"	9.530										
N° 4	4.750										
N° 10	2.000										
N° 40	0.420										
N° 100	0.149										
N° 200	0.074										
FONDO	0.000										
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO											
	100%	100%	80%	70%	51%	38%	17%	8%	4%	0%	
	100%	100%	100%	88%	68%	52%	28%	17%	8%	0%	

Fuente: Propia



- Análisis granulométrico de los residuos de PVC.

Tabla 35: Ficha para el análisis granulométrico de los residuos de PVC



 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FUCHA DE OBSERVACIÓN N°</b> ___		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>							
<b>Material</b>	PVC triturado						
<b>Muestra</b>	gr.						
<b>Fecha</b>							
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC						
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.530						
N° 4	4.750						
N° 10	2.000						
N° 40	0.420						
N° 100	0.149						
N° 200	0.074						
FONDO	0.000						
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO							
	80%						
	70%						
	60%						
	50%						
	40%						
	30%						
	20%						
10%							
0%							
		N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
—◆— Lim. Inf.		51%	38%	17%	8%	4%	0%
—■— Lim. Sup.		68%	52%	28%	17%	8%	0%
—▲— % QUE PASA							

Fuente: Propia



- Resistencia a la abrasión.

Tabla 36: Ficha para determinar la resistencia a la abrasión de los agregados



 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 				
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> ___	RESISTENCIA A LA ABRASION (MTC E-207)			
DATOS DE LA MUESTRA				
<b>Cantera</b>				
<b>Material</b>				
<b>Muestra</b>	gr.			
<b>Fecha</b>				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon			
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC			
TAMIZ	MÉTODO			
	GRADACIONES			
1 1/2"	A	B	C	D
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
N° 4				
				Numero de esferas
				Numero de revoluciones
				Tiempo de rotación (min)
				Peso total (gr)
				Retenido en la malla N° 10 (gr)
				Desgaste %

Fuente: Propia



- Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

Tabla 37: Ficha para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en los agregados

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA				
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> ___		ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E-210)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>						
<b>Material</b>						
<b>Muestra</b>		gr.				
<b>Fecha</b>						
<b>Tesista</b>		Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>		Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
PARA UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 1 cara fracturada	Porcentaje con 1 cara	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	#4					
FONDO						
TOTALES						
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA (%) =						
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 1 cara fracturada	Porcentaje con 1 cara	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
3/8"	1/4"					
FONDO						
TOTALES						
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%) =						
RESULTADO						
Caras fracturadas del agregado grueso					0/0	

Fuente: Propia



- Determinación del índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.

Tabla 38: Ficha para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento del agregado


 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 									
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> N° __		ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E-221)							
DATOS DE LA MUESTRA									
<b>Cantera</b>									
<b>Material</b>									
<b>Fecha</b>									
<b>Tesista</b>		Luis Mario Quispe Chacon							
<b>Ubicación</b>		Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC							
TAMIZ		TO TALES		PARTICULAS CHATAS			PARTICULAS ALARGADAS		
PASA	RETIENE	N° DE PARTICULAS	PESO (gr)	N° DE PARTICULAS	PESO (gr)	IAP fi(%)	N° DE PARTICULAS	PESO (gr)	IAL fi(%)
2"	1 1/2"								
1 1/2"	1"								
1"	3/4"								
3/4"	1/2"								
1/2"	3/8"								
3/8"	1/4"								
<b>TOTAL =</b>									
CONTENIDO									
RESULTADOS									
ÍNDICE DE APLANAMIENTO =									
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =									
TOTAL =									

Fuente: Propia



- Peso específico y absorción de los agregados gruesos.

Tabla 39: Ficha para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso



 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> __		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E-206)			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>					
<b>Material</b>					
<b>Fecha</b>					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			Promedio
		1	2	3	
Peso de la muestra seca en el aire (gr)		A			
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr)		B			
Peso en el agua de la muestra saturada sumergida (gr)		C			
Pesos específicos					
Peso específico aparente		Pea			
Peso específico de masa (bulk)		Pem			
Peso específico saturada superficialmente seca		PeSSS			
Absorcion		Abs (%)			

Fuente: Propia



- Peso específico y absorción de los agregados finos.

Tabla 40: Ficha para determinar el peso específico y absorción del agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> __	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (MTC E-205)				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>					
<b>Material</b>					
<b>Fecha</b>					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			
		1	2	3	Promedio
Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)	A				
Peso del picnometro aforado lleno de agua (gr)	B				
Peso del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	C				
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)	D				
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea				
Peso específico de masa (bulk)	Pem				
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	PeSSS				
Absorción	Abs (%)				



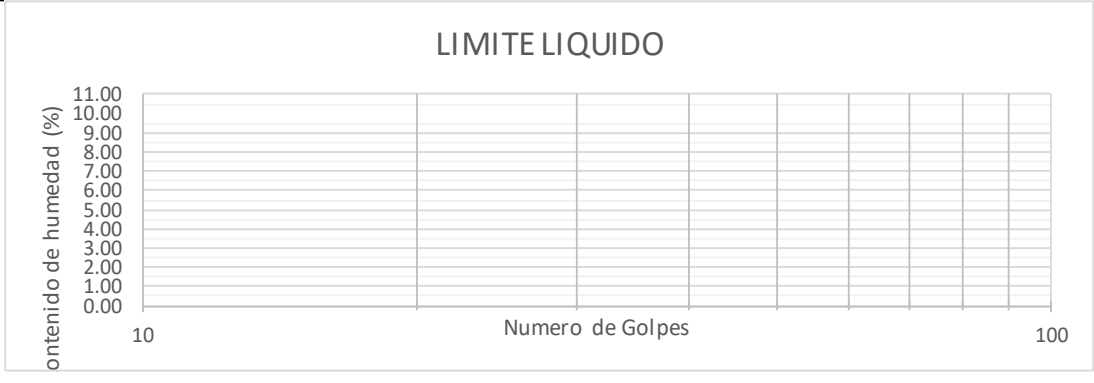
Fuente: Propia





- Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Tabla 41: Ficha para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad


 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> N° __	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 - MTC E111)		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Cantera</b>			
<b>Material</b>			
<b>Fecha</b>			
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
ITEM	LIMITE LIQUIDO (LL)		
	1	2	3
N° de Golpes			
Recipiente			
Tara+ Muestra húmeda			
Tara+ Muestra seca			
Peso del recipiente			
Peso agua			
Peso de la muestra seca			
% de humedad			
LL (% humedad a 25 golpes)			
<b>LIMITE LIQUIDO</b> 			
ITEM	LIMITE PLASTICO (LP)		
	1	2	3
Recipiente			
Tara+ Muestra húmeda			
Tara+ Muestra seca			
Peso del recipiente			
Peso agua			
Peso de la muestra seca			
% de humedad			
% de humedad promedio			
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)			
$IP = LL - LP$	Límite líquido (LL)		
	Límiteplástico (LP)		
	Índice de plasticidad (IP)		

Fuente: Propia



- Durabilidad al sulfato de sodio o magnesio del agregado grueso y fino.

Tabla 42: Ficha para recolectar datos de la durabilidad del agregado al sulfato de sodio o magnesio

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> ___		DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>							
<b>Material</b>							
<b>Fecha</b>							
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>							
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
3/4" - 1/2"	670±10						
1/2" - 3/8"	330±5						
3/8 - #4	300±5						
TOTAL							

Fuente: Propia



- Combinación de agregados.

Tabla 43: Ficha para realizar la combinación de agregados

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b> ---	COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA HUSO GRANULOMÉTRICO MAC-2					
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>						
<b>Material</b>	Combinación de agregados					
<b>Fecha</b>						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
MATERIALES						
Agregado Grueso	Arena Triturada	Arena Natural	Filler			
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	% que pasa				% QUE PASA COMBINACION
		Agregado Grueso	Arena Triturada	Arena Natural	Filler	
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.530					
N° 4	4.750					
N° 10	2.000					
N° 40	0.420					
N° 100	0.149					
N° 200	0.074					
FONDO	0.000					
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						

Fuente: Propia



- Dosificación de agregados para elaborar probetas de mezclas asfálticas en caliente.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA									
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°</b>		PREPARACION DE PROBETAS MARSHALL							
DATOS DE LA MUESTRA									
<b>Material</b>	Agregado + asfalto								
<b>Muestra</b>	gr.								
<b>Fecha</b>									
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon								
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC								
para briquetas de	1200								
% de Cemento Asf.	4	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	
Agregados en la mezcla									
Agregados por mallas									
Tamiz	% ret. Parcial	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)
3/4"									
1/2"									
3/8"									
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
Cemento Asfáltico									
Pesos por tipo de agregado									
% de Cemento Asf.									
% de Agregado									
% de Agregado Grueso									
% de Agregado Fino									
Agregado grueso (g)									
Arena triturada (g)									
Arena natural (g)									
Filler (g)									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE AGREGADO GRUESO (g)									
Tamiz	% RETENIDO								
3/4"									
1/2"									
3/8"									
N° 4									
N° 10									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA TRITURADA (g)									
Tamiz	% RETENIDO								
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA NATURAL (g)									
Tamiz	% RETENIDO								
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DEL FILLER (g)									
Tamiz	% RETENIDO								
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									

Fuente: Propia













- Resistencia de mezclas asfálticas compactadas empleando el aparato Marshall.

Tabla 49: Ficha para la determinación de la resistencia de las mezclas asfálticas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 															
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"													
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°</b>		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS APLICANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E-504) Y DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS (MTC E-507)													
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Muestra</b>															
<b>Fecha</b>															
<b>Tesista</b>		Luis Mario Quispe Chacon													
<b>Ubicación</b>		Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC													
Probeta	% ASFALTO	Diámetro (cm)				Altura (cm)				Diámetro promedio	Altura promedio	Estabilidad	Factor correccion	Estabilidad corregida	Flujo (mm)
		D1	D2	D3	D4	H1	H2	H3	H4						
Mediana															
Mediana															
Mediana															
Mediana															

Fuente: Propia

### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

- Serie de tamices para granulometría.
- Tamizadora mecánica.
- Bandejas.



- Bowls metálicos (recipiente metálico utilizado para contener agregado, mezclar agregado y realizar mezclas asfálticas).
- Brocha.
- Escobilla.
- Horno.
- Balanza con sensibilidad al 1 gr.
- Balanza de precisión con sensibilidad al 0.1 gr.
- Máquina de abrasión de los ángeles.
- Vernier.
- Calibrador metálico de espesores.
- Calibrador metálico de longitudes.
- Estufa eléctrica.
- Matraz aforado de 500 ml.
- Embudo.
- Molde cónico metálico de  $40\pm 3$  mm de diámetro interior en la base menor y  $90\pm 3$  mm de diámetro interior en la base mayor.
- Varilla apisonadora metálica de  $340\pm 15$  gr, con una terminación circular en el extremo de  $25\pm 3$  mm de diámetro.
- Bomba de vacíos.
- Espátula metálica.
- Balanza de flotación con precisión de 0.1 gr.
- Canastilla metálica para sumergir agregado.
- Vasija de porcelana.
- Cuchara de Casagrande.
- Acanalador.
- Espátula de hoja flexible delgada.
- Kit de equivalente de arena
- Cocineta a gas de 2 hornillas.
- Bowl para mezclar asfalto.
- Moldes para compactar mezclas asfálticas.
- Compactador mecánico.
- Eyector de probetas.



- Máquina Marshall.
- Equipo de baño maría.
- Termómetro digital.
- Secador de aire.

### 3.5. Procedimientos de recolección de datos

#### 3.5.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E-204)

##### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.5 gr.
- ii. Serie de tamices normalizados de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y #4.
- iii. Bandejas.
- iv. Bowls metálicos.
- v. Tamizadora mecánica.

##### b) Procedimiento

- i. Se realizó el cuarteo de los agregados gruesos, aproximadamente 20 kg, de los cuales se obtuvo una muestra representativa de  $5 \text{ kg} \pm 100 \text{ gr}$ .



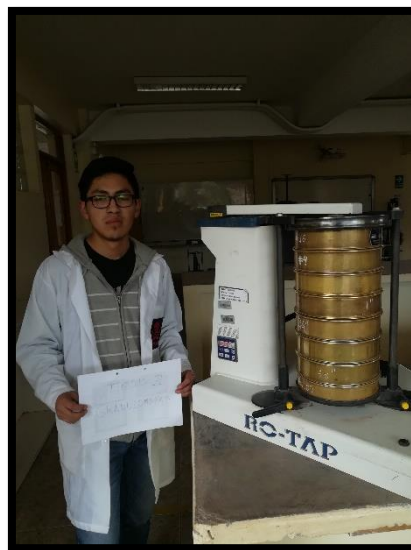
*Figura 20: Cuarteo del agregado*  
*Fuente: Propia*

- ii. Se limitó la cantidad de material a ser colocado en la serie de tamices para evitar la sobrecarga de material.



*Figura 21: Serie de tamices para el agregado grueso ensamblada con agregado dentro  
Fuente: Propia*

- iii. Se colocó la serie de tamices con el agregado en la tamizadora mecánica para que se tamice el agregado.



*Figura 22: Tamizado del agregado grueso  
Fuente: Propia*

- iv. Se pesó la cantidad de agregado retenido en cada tamiz con la balanza de precisión.





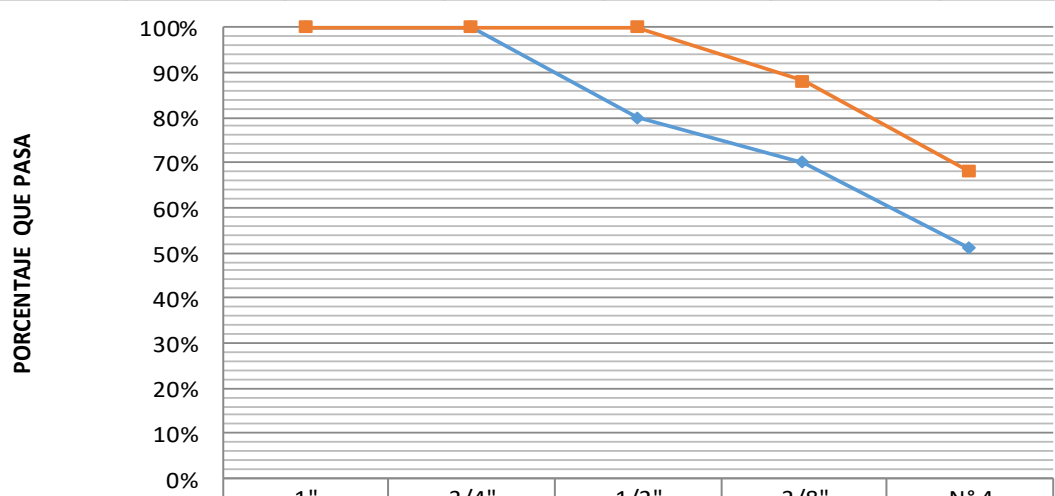
*Figura 23: Peso del agregado retenido en el tamiz  
Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos se detalla en la página siguiente:



Tabla 50: Datos para el análisis granulométrico del agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°01</b>		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Agregado Grueso					
<b>Muestra</b>	5003.40 gr.					
<b>Fecha</b>	2/03/2018					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.400	0.00				
3/4"	19.050	0.00				
1/2"	12.700	1034.40				
3/8"	9.530	2381.56				
N° 4	4.750	1587.44				
N° 10	2.000	0.00				
N° 40	0.420	0.00				
N° 100	0.149	0.00				
N° 200	0.074	0.00				
FONDO	0.000	0.00				
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						
						
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
—●— Lim. Inf.		100%	100%	80%	70%	51%
—■— Lim. Sup.		100%	100%	100%	88%	68%
—▲— % QUE PASA						

Fuente: Propia



### 3.5.2. Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E-204)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Serie de tamices normalizados #4, #10, #40, #100 y #200.
- iii. Bandejas.
- iv. Bowls metálicos.
- v. Tamizadora mecánica.

#### b) Procedimiento

- i. Se realizó el cuarteo de los agregados finos, tanto de la arena natural como de la arena triturada, aproximadamente 10 kg. De los cuales se obtuvo una muestra representativa de  $1 \text{ kg} \pm 100 \text{ gr.}$



*Figura 24: Cuarteo del agregado fino  
Fuente: Propia*

- ii. Se limitó la cantidad de material a ser colocado en la serie de tamices para evitar la sobrecarga de material.



*Figura 25: Serie de tamices para el agregado fino ensamblada con agregado dentro*  
*Fuente: Propia*

- iii. Se colocó la serie de tamices con el agregado en la tamizadora mecánica para que se tamice el agregado.



*Figura 26: Tamizado del agregado fino*  
*Fuente: Propia*

- iv. Se pesó la cantidad de agregado retenido en cada tamiz con la balanza de precisión.







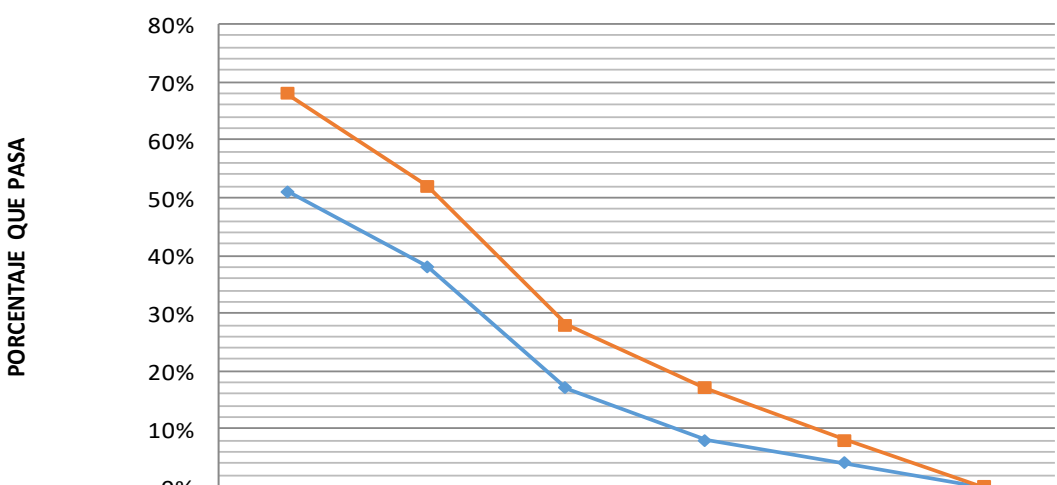
*Figura 27: Agregado fino retenido en cada tamiz  
Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:





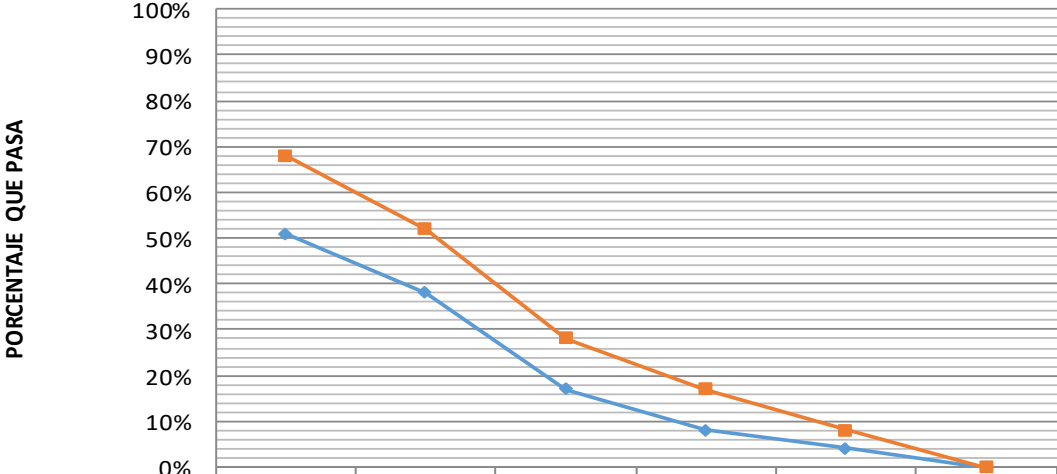
Tabla 51: Datos para el análisis granulométrico de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°02</b>		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Triturada						
<b>Muestra</b>	1108.82 gr.						
<b>Fecha</b>	2/03/2018						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC						
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
1"	25.400	0.00					
3/4"	19.050	0.00					
1/2"	12.700	0.00					
3/8"	9.530	0.00					
N° 4	4.750	89.91					
N° 10	2.000	392.74					
N° 40	0.420	352.17					
N° 100	0.149	172.12					
N° 200	0.074	95.53					
FONDO	0.000	6.35					
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO							
							
		N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
—◆—	Lim. Inf.	51%	38%	17%	8%	4%	0%
—■—	Lim. Sup.	68%	52%	28%	17%	8%	0%
—▲—	% QUE PASA						

Fuente: Propia



Tabla 52: Datos para el análisis granulométrico de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 						
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°03</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)					
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Natural					
<b>Muestra</b>	1058.77 gr.					
<b>Fecha</b>	2/03/2018					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.400	0.00				
3/4"	19.050	0.00				
1/2"	12.700	0.00				
3/8"	9.530	0.00				
N° 4	4.750	37.37				
N° 10	2.000	273.24				
N° 40	0.420	474.06				
N° 100	0.149	216.68				
N° 200	0.074	47.80				
FONDO	0.000	9.63				
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						
						
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
—●— Lim. Inf.	51%	38%	17%	8%	4%	0%
—■— Lim. Sup.	68%	52%	28%	17%	8%	0%
—▲— % QUE PASA						

Fuente: Propia



### 3.5.3. Resistencia a la abrasión de los agregados (MTC E\_207)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Tamices de ¾”, ½”, 3/8” y #4.
- ii. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- iii. Horno.
- iv. Bowls metálicos.
- v. Bandejas metálicas.
- vi. Máquina de abrasión de los ángeles.
- vii. Billas metálicas.

#### b) Procedimiento

- i. Se estableció la carga abrasiva para ensayar, de acuerdo a la gradación del agregado grueso. Con esos valores se determina el número de revoluciones y el número de billas a emplear en el ensayo.

Tabla 53: Gradación de muestras para el ensayo de abrasión

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½”)	25,0 mm (1”)	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1”)	19,0 mm (¾”)	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (¾”)	12,5 mm (½”)	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
12,5 mm (½”)	9,5 mm (3/8”)	1 250 ±10	2 500 ±10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8”)	6,3 mm (¼”)	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
6,3 mm (¼”)	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ±10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ± 10	5 000 ±10

Fuente: Manual de ensayo de materiales (2016)

Se eligió el método B debido a que la granulometría del agregado coincide con los requerimientos del método B. Por lo tanto, se requiere 2500±10 gr. De agregado retenido en el tamiz de ½” y 2500±10 gr. De agregado retenido en el tamiz de 3/8”, para los cuales se empleará una carga abrasiva de 11 billas por 500 revoluciones en un periodo de 15 minutos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 54: Carga abrasiva del ensayo de los ángeles

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Manual de ensayo de materiales (2016)



- ii. Se pesó la cantidad de agregado requerido para el ensayo y se colocó dentro de la máquina de abrasión con la carga abrasiva para ser ensayado con 500 revoluciones en 15 minutos.



*Figura 28: Colocación del agregado dentro de la máquina de abrasión los angeles*  
Fuente: Propia



*Figura 29: Agregado grueso dentro de la máquina de abrasión con la carga abrasiva*  
Fuente: Propia

- iii. Luego de haberse cumplido el número de revoluciones, se retiró el material de la máquina de los Ángeles y se pasa en el tamiz N°10 para pesarlo luego.





*Figura 30: Tamizaje en el tamiz N° 10 del material  
Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 55: Datos para determinar la resistencia a la abrasión del agregado

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 				
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°04</b>	RESISTENCIA A LA ABRASION (MTC E-207)			
DATOS DE LA MUESTRA				
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO			
<b>Material</b>	Agregado Grueso			
<b>Muestra</b>	5001 gr.			
<b>Fecha</b>	6/03/2018			
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon			
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC			
TAMIZ	MÉTODO			
	GRADACIONES			
1 1/2"	A	B	C	D
1"		0.00		
3/4"		0.00		
1/2"		2503.30		
3/8"		2497.70		
1/4"		0.00		
N° 4		0.00		
Numero de esferas				
Numero de revoluciones				
Tiempo de rotación (min)				
Peso total (gr)				
Retenido en la malla N° 10 (gr)				
Desgaste %				

Fuente: Propia

### 3.5.4. Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E-210)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Juego de tamices de 3/4", 1/2", 3/8" y #4.
- iii. Tamizador mecánico.
- iv. Bowls metálicos.
- v. Espátula.

#### b) Procedimiento

- i. Se estableció la cantidad de material a ser ensayada según la siguiente tabla:



Tabla 56: Muestra para ensayar el porcentaje de partículas fracturadas

Tamaño Máximo Nominal Abertura, mm (pulgadas)		Masa mínima de la muestra, g (lb aprox.)
9.50	(3/8)	200 (0.5)
12.5	(1/2)	500 (1.0)
19.0	(3/4)	1500 (3.0)
25.0	(1)	3000 (6.5)
37.5	(1 1/2)	7500 (16.5)
50.0	(2)	15000 (33.0)
63.0	(2 1/2)	30000 (66.0)
75.0	(3)	60000 (132.0)
90.0	(3 1/2)	90000 (198.0)

Fuente: Manual de ensayo de materiales (2016)

- ii. Se tamizó la muestra de agregado para evaluar la cantidad de partículas fracturadas que se tiene por cada fracción que se tiene retenido en los tamices.

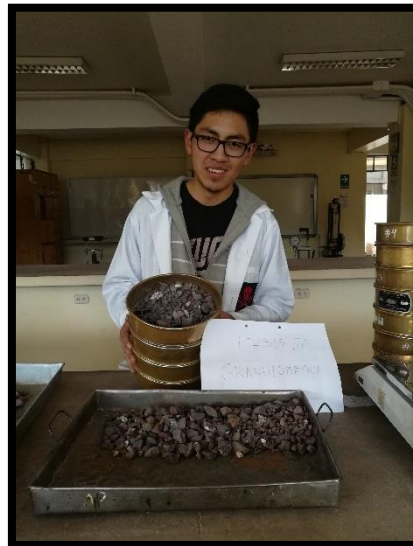


Figura 31: Tamizado de agregado grueso para determinar el porcentaje de partículas fracturadas

Fuente: Propia

- iii. Se evaluó cada partícula del agregado para determinar si tiene caras fracturadas o no y se separa según esos criterios en partículas con una cara fracturada, partículas con dos o más caras fracturadas y partículas sin caras fracturadas.







*Figura 32: Verificación de las caras fracturadas de los agregados*  
*Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 57: Datos para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 						
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°05</b>	ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E-210)					
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Agregado Grueso					
<b>Muestra</b>	1506.40 gr.					
<b>Fecha</b>	12/03/2018					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PARA UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 1 cara fracturada	Porcentaje con 1 cara	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	311.40				
1/2"	3/8"	717.10				
3/8"	#4	477.90				
FONDO						
TOTALES						
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA (%) =						
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 2 o más caras	Porcentaje con 2 o más caras	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	311.40				
1/2"	3/8"	717.10				
3/8"	1/4"	477.90				
FONDO						
TOTALES						
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%) =						

Fuente: Propia



### 3.5.5. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (MTC E-221)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Juego de tamices de 3/4", 1/2", 3/8" y #4.
- ii. Tamizador mecánico.
- iii. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- iv. Calibrador de espesor.
- v. Calibrador de longitud.
- vi. Bowls metálicos.

#### b) Procedimiento

- i. Se estableció la cantidad de material a ser ensayada según la siguiente tabla:

Tabla 58: Muestra para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento del agregado

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 1/2") Y 6,3 mm (1/4") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 1/2)	15
25,0	(1)	5
20,0	(3/4)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)

- ii. Se separó por tamizado la fracción de muestra que queda retenida entre tamices luego de tamizar la muestra.



*Figura 33: Agrupación de las porciones de agregado retenido por tamices  
Fuente: Propia*

Las fracciones del agregado cuyo porcentaje sea inferior al 5% de la muestra no se ensaya, las fracciones de agregado que estén entre 5% y 15% se toma un mínimo de 100 partículas y las que tengan más de 15% se toman como mínimo 200; determinando su peso  $P_i$  con una aproximación del 0.1% del peso total de la muestra.

- iii. Se hicieron pasar las partículas de las fracciones de agregado por el calibrador de partículas alargadas y se pesa.



*Figura 34: Utilización del calibrador para partículas alargadas  
Fuente: Propia*



- iv. Se hicieron pasar las partículas de las fracciones de agregado por el calibrador de anchura.





*Figura 35: Utilización del calibrador para partículas achatadas*  
*Fuente: Propia*



**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 59: Datos para la determinación del índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 									
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°06</b>		ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E-221)							
DATOS DE LA MUESTRA									
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO								
<b>Material</b>	Agregado Grueso								
<b>Fecha</b>	7/03/2018								
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon								
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC								
TAMIZ		TOTALES		PARTICULAS CHATAS			PARTICULAS ALARGADAS		
PASA	REMIENE	N° PARTICULAS	PESO (gr)	N° PARTICULAS	PESO (gr)	IAP fi (%)	N° PARTICULAS	PESO (gr)	IAP fi (%)
2"	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
1 1/2"	1"	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
1"	3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
3/4"	1/2"	200.00	1300.20	7.00	21.30		15.00	95.20	
1/2"	3/8"	200.00	443.60	10.00	14.60		9.00	26.40	
3/8"	1/4"	200.00	240.50	8.00	10.90		12.00	15.30	
<b>TOTAL =</b>									
<b>CONTENIDO</b>				%			%		
RESULTADOS									
ÍNDICE DE APLANAMIENTO =									
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =									
TOTAL =									

*Fuente: Propia*

**3.5.6. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206)**

**a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. Balanza de flotación con precisión de 0.1 gr.
- ii. Canastilla para sumergir el agregado en agua.
- iii. Bandeja metálica.
- iv. Franela.
- v. Horno.

**b) Procedimiento**

- i. Seleccionamos la muestra a ser ensayada de acuerdo a la siguiente tabla:



Tabla 60: Peso mínimo de la muestra para peso específico de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)

- ii. Se sumergió el agregado grueso por 24 horas para que quede totalmente saturado, se coloca en la canastilla y se registró su peso sumergido.



Figura 36: Peso del agregado sumergido  
Fuente: Propia

- iii. Se secó el agregado grueso con una franela para obtener el peso saturado superficialmente seco.



*Figura 37: Secado con franela del agregado grueso  
Fuente: Propia*

- iv. Se secó el agregado a  $110 \pm 5$  °C hasta que tenga peso constante.



*Figura 38: Secado del agregado en el horno  
Fuente: Propia*

- v. Se registró el peso del agregado seco en el aire.







Figura 39: Peso del agregado grueso seco  
Fuente: Propia

### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 61: Datos para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°07</b>		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E-206)			
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Grueso				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			PROMEDIO
		1	2	3	
Peso de la muestra seca en el aire (gr)		A	3002.30	3000.50	3006.70
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr)		B	3014.30	3012.30	3018.80
Peso en el agua de la muestra saturada sumergida (gr)		C	1925.60	1929.40	1932.50
Pesos específicos					
Peso específico aparente		Pea			
Peso específico de masa (bulk)		Pem			
Peso específico saturada superficialmente seca		PeSSS			
Absorción		Abs (%)			

Fuente: Propia

### 3.5.7. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Bowl metálico.



- iii. Bandeja metálica.
- iv. Matraz aforado de 500 ml.
- v. Molde cónico metálico.
- vi. Varilla apisonadora.
- vii. Termómetro.
- viii. Hornilla eléctrica.
- ix. Bomba de vacíos.
- x. Baño maría.
- xi. Secador de aire.
- xii. Embudo.

#### b) Procedimiento

- i. Se sumergió aproximadamente 1 kg de material por 24 horas.
- ii. Se decantó el agua con cuidado para no perder finos y se extendió en una superficie plana para ser expuesta a una corriente de aire caliente para que se seque uniformemente.



*Figura 40: Secado del agregado con aire caliente  
Fuente: Propia*

- iii. Luego de secarlo con aire caliente se colocó el material dentro del molde cónico y se compactó con 25 golpes de la varilla apisonadora para verificar si el agregado está saturado superficialmente seco. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el agregado dentro del cono se desmorona una vez que se levanta el molde cónico.



Figura 41: Compactación del agregado con el molde cónico  
Fuente: Propia

- iv. Se calibró el matraz aforado de 500 ml a  $23 \pm 2$  °C, se llenó de agua y se registró su peso.



Figura 42: Peso del matraz con agua  
Fuente: Propia

- v. Se colocaron 500 gramos del material en condición saturada superficialmente seca en el matraz aforado y se llenó con agua hasta alcanzar la marca de 500 ml.



*Figura 43: Colocando el agregado dentro del matraz aforado*  
*Fuente: Propia*



*Figura 44: Llenado del matraz con agua*  
*Fuente: Propia*

- vi. Se extrajeron las burbujas de aire atrapadas dentro del matraz aforado con ayuda de la bomba de vacíos.



*Figura 45: Extracción de las burbujas de aire con la bomba de vacíos  
Fuente: Propia*

- vii. Luego de extraer las burbujas de aire se coloca en baño maría a  $23 \pm 2$  °C y se registró el peso del matraz con agua y agregado.



*Figura 46: Peso del matraz con agregado y agua  
Fuente: Propia*

- viii. Se extrajo el agregado dentro del matraz y se coloca en el horno a  $110 \pm 5$  °C hasta que tenga peso constante para registrar el peso seco del agregado.



*Figura 47: Secado del agregado fino en el horno*  
*Fuente: Propia*





*Figura 48: Peso seco del agregado fino*  
*Fuente: Propia*



c) Toma de datos



La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 62: Datos para determinar la gravedad específica y absorción de la arena triturada

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°08</b>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO (MTC E-205)				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Fino-Arena Triturada				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			
		1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)	A	497.33	497.62	497.40	
Peso del picnometro aforado lleno de agua (gr)	B	643.30	643.50	643.40	
Peso del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	C	956.80	957.00	957.20	
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)	D	500.00	500.00	500.00	
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea				
Peso específico de masa (bulk)	Pem				
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	PeSSS				
Absorcion	Abs (%)				

Fuente: Propia

Tabla 63: Datos para determinar la gravedad específica y absorción de la arena natural

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°09</b>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO (MTC E-205)				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Fino-Arena Natural				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			
		1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)	A	496.42	496.90	496.44	
Peso del picnometro aforado lleno de agua (gr)	B	643.95	644.00	644.20	
Peso del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	C	944.80	947.90	949.62	
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)	D	500.00	500.00	500.00	
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea				
Peso específico de masa (bulk)	Pem				
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	PeSSS				
Absorcion	Abs (%)				

Fuente: Propia



### 3.5.8. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (MTC E-110 Y MTC E-111)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Vasija de porcelana.
- ii. Cuchara de Casagrande.
- iii. Acanalador.
- iv. Taras metálicas.
- v. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- vi. Estufa.
- vii. Espátula.
- viii. Piseta.
- ix. Tamiz #40.
- x. Vidrio esmerilado.
- xi. Varilla de 3 mm de diámetro.

#### b) Procedimiento

- i. Se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 200 gramos de agregado pasante de la malla #40.
- ii. Se humedeció el material y con ayuda de la espátula se colocó el material húmedo dentro de la cuchara de Casagrande formando una superficie horizontal.



Figura 49: Colocación del agregado en la cuchara de casagrande  
Fuente: Propia





- iii. Con ayuda del acanalador se dividió la muestra contenida en la cuchara de Casagrande haciendo una ranura en la muestra. Se procedió a girar la manija de la cuchara de Casagrande a una velocidad de 1.9 – 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de la muestra se junten en la base de la cuchara por 13mm.

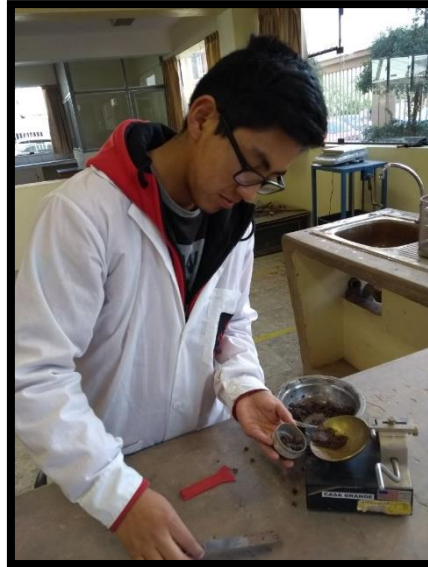


*Figura 50: División de la muestra con el ranurador  
Fuente: Propia*

- iv. Se registró el número de golpes necesarios para que se produzca el cierre de la ranura y se tomó una muestra, la cual fue colocada dentro de una tara para calcular su contenido de humedad.

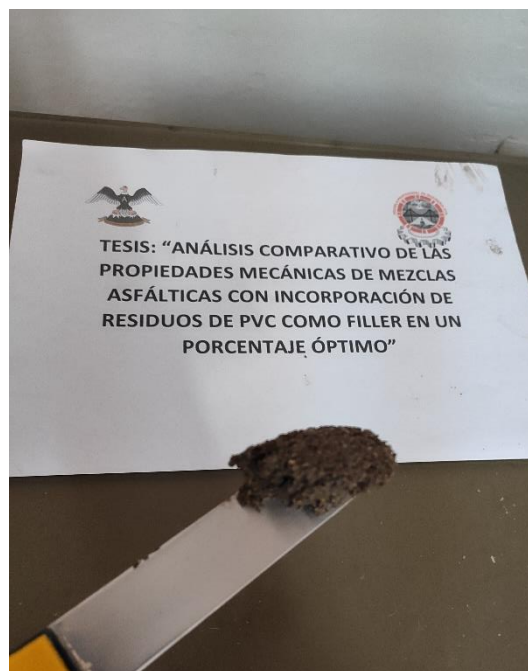


*Figura 51: Registro del número de golpes de la cuchara de Casagrande  
Fuente: Propia*



*Figura 52: Toma de muestra para determinar su contenido de humedad  
Fuente: Propia*

- v. Se tomó una muestra de aproximadamente 20 gramos de la muestra de agregado fino que pase por el tamiz N°40 y se le añadió agua para amasarla en una esfera y luego formar un cilindro de 3 mm de diámetro. Debido a que las muestras son de naturaleza arenosa no se registraron datos puesto a que no presentan plasticidad y se desmoronaban.



*Figura 53: Muestra para el límite plástico humedecida  
Fuente: Propia*




*Figura 54: Muestra no presenta límite plástico*  
*Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:






Tabla 64: Datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> N°10		DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 - MTC E111)	
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO		
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Triturada		
<b>Fecha</b>	20/03/2018		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
ITEM	LIMITE LIQUIDO (LL)		
	1	2	3
N° de Golpes	17	24	33
Recipiente	0001	0002	0003
Tara+ Muestra húmeda	37.40	43.60	41.50
Tara+ Muestra seca	33.80	39.24	38.15
Peso del recipiente	15.60	15.80	15.40
Peso agua	3.60	4.36	3.35
Peso de la muestra seca	18.20	23.44	22.75
% de humedad			
LL (% humedad a 25 golpes)			
<b>LIMITE LIQUIDO</b> 			
ITEM	LIMITE PLASTICO (LP)		
	1	2	3
Recipiente			
Tara+ Muestra húmeda			
Tara+ Muestra seca			
Peso del recipiente			
Peso agua			
Peso de la muestra seca			
% de humedad			
% de humedad promedio			
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)			
$IP = LL - LP$	Límite líquido (LL)		
	Límiteplástico (LP)		
	Índice de plasticidad (IP)		

Fuente: Propia



Tabla 65: Datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 			
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> N°11		DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 - MTC E111)	
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO		
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Natural		
<b>Fecha</b>	20/03/2018		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
<b>ITEM</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (LL)</b>		
	1	2	3
N° de Golpes	15	21	32
Recipiente	0004	0005	0006
Tara+ Muestra húmeda	40.70	44.30	46.40
Tara+ Muestra seca	36.80	40.10	42.40
Peso del recipiente	15.70	15.80	15.60
Peso agua	3.90	4.20	4.00
Peso de la muestra seca	21.10	24.30	26.80
% de humedad			
LL (% humedad a 25 golpes)			
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
			
<b>ITEM</b>	<b>LIMITE PLASTICO (LP)</b>		
	1	2	3
Recipiente			
Tara+ Muestra húmeda			
Tara+ Muestra seca			
Peso del recipiente			
Peso agua			
Peso de la muestra seca			
% de humedad			
% de humedad promedio			
<b>INDICE DE PLASTICIDAD (IP)</b>			
$IP = LL - LP$	Límite líquido (LL)		
	Límiteplástico (LP)		
	Índice de plasticidad (IP)		

Fuente: Propia



### 3.5.9. Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E-209)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Tamices 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #16, #30 y #50.
- ii. Bowls metálicos.
- iii. Balanza de precisión.
- iv. Horno.

#### b) Procedimiento

- i. Se tamizó el agregado grueso los tamices y pesos que figuran en la siguiente tabla:

Tabla 66: Tamices y pesos requeridos para ensayar el agregado grueso

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ± 10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)

- ii. Se tamizó el agregado fino según los tamices figuran en la siguiente tabla, donde cada fracción retenida del agregado debe contener 100 gramos.

Tabla 67: Tamices requeridos para ensayar el agregado fino

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)



- iii. Se realizó la inmersión de las muestras de agregado en el sulfato de magnesio por un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C, de manera que el agregado quede cubierto por lo menos a 1.5 cm.

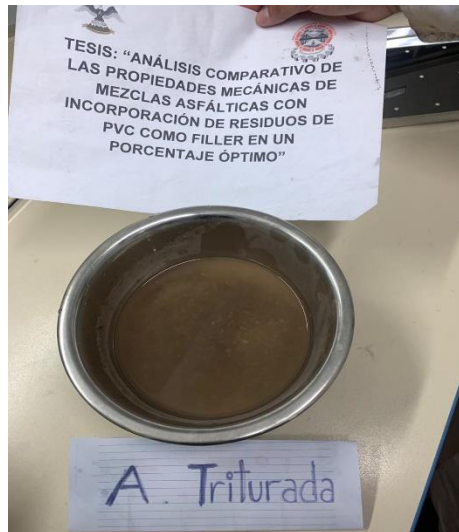


Figura 55: Arena triturada sumergida en la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia

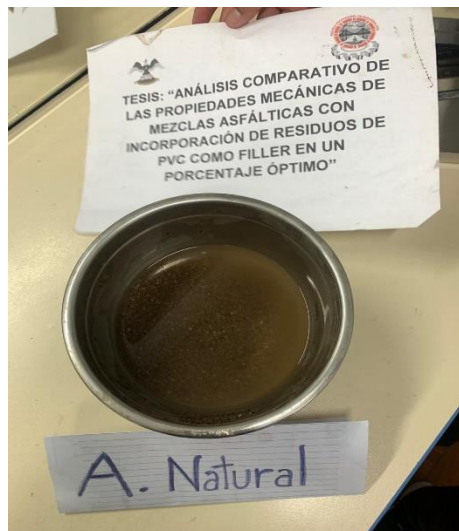


Figura 56: Arena natural sumergida en la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia

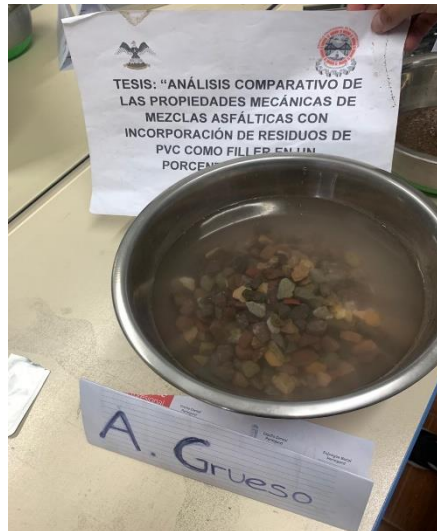


Figura 57: Agregado grueso sumergido en la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia

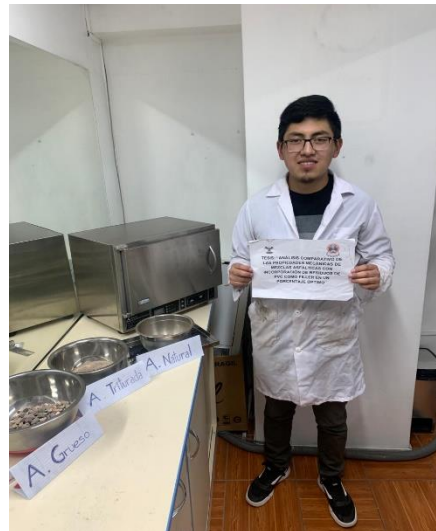


Figura 58: Agregado grueso y fino sumergidos en la solución de sulfato de magnesio para el ensayo de durabilidad  
Fuente: Propia

- iv. Pasado el tiempo de inmersión, se sacaron las muestras y se dejaron escurrir por un periodo de  $15 \pm 5$  minutos y se llevó al horno para que se seque a  $110^\circ\text{C}$  hasta que tengan peso constante. Se repiten los pasos anteriores por cinco ciclos y al final se registra el peso final de las muestras.





*Figura 59: Agregado grueso escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia*



*Figura 60: Arena triturada escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia*

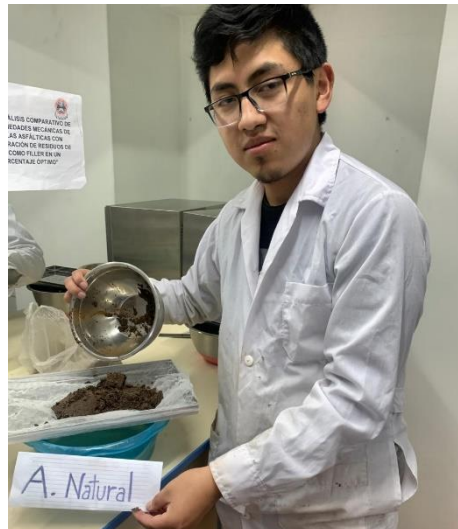


Figura 61: Arena natural escurriéndose de la solución de sulfato de magnesio  
Fuente: Propia



Figura 62: Colocación de muestras para secarse en el horno a 110 °C  
Fuente: Propia

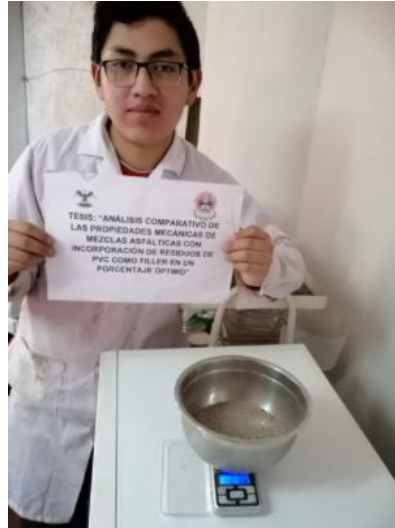


Figura 63: Registro del peso final de las muestras  
Fuente: Propia

c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:


Tabla 68: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°12</b>		DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado grueso						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Allpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
3/4" - 1/2"	670±10	671.37	622.12				
1/2" - 3/8"	330±5	327.96	304.44				
3/8 - #4	300±5	302.30	281.55				
TOTAL		1301.63	1208.11				

Fuente: Propia





Tabla 69: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"						
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°13</b>	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)						
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado fino (Arena natural)						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Allpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
3/8 - #4	100.00	100.28	87.39				
#4 - #8	100.00	100.11	87.84				
#8 - #16	100.00	100.16	87.01				
#16 - #30	100.00	100.21	87.46				
#30 - #50	100.00	100.24	88.72				
TOTAL							

Fuente: Propia

Tabla 70: Datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"						
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°14</b>	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)						
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado fino (Arena triturada)						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Allpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
3/8 - #4	100.00	100.38	88.27				
#4 - #8	100.00	100.25	87.82				
#8 - #16	100.00	100.33	85.96				
#16 - #30	100.00	100.17	86.19				
#30 - #50	100.00	100.11	88.99				
TOTAL							

Fuente: Propia



### **3.5.10. Combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2**

#### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se emplearon equipos de laboratorio para esta prueba.

#### **b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo, asignando un porcentaje a cada tipo de agregado.

#### **c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 71: Datos para realizar la combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°15</b>		COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA HUSO GRANULOMÉTRICO MAC-2				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Combinación de agregados					
<b>Fecha</b>	19/08/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
MATERIALES						
Agregado Gueso		Arena Triturada	Arena Natural	Filler		
28.00%		50.00%	18.00%	4.00%		
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	% que pasa				% QUE PASA COMBINACION
		Agregado Gueso	Arena Triturada	Arena Natural	Filler	
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.530					
N° 4	4.750					
N° 10	2.000					
N° 40	0.420					
N° 100	0.149					
N° 200	0.074					
FONDO	0.000					
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						

Fuente: Propia



### 3.5.11. Dosificación de agregado y preparación de mezclas asfálticas en caliente

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Bowls metálicos.
- iii. Bandejas metálicas.
- iv. Serie de tamices.
- v. Tamizadora.
- vi. Cucharón.
- vii. Moldes de compactación.
- viii. Compactador mecánico.
- ix. Eyector de mezclas asfálticas.
- x. Horno.
- xi. Termómetro.
- xii. Espátulas.
- xiii. Papel filtro.
- xiv. Cocina de 2 hornillas.
- xv. Bowl para mezcla asfáltica.

#### b) Procedimiento

- i. Se tamizó el agregado grueso y fino.



Figura 64: Tamizado del agregado  
Fuente: Propia

- ii. Se separó por cada fracción de agregado retenido en los tamices.



*Figura 65: Separación por fracciones de retenido del agregado fino*  
*Fuente: Propia*

- iii. Se pesaron las fracciones de agregado de acuerdo al porcentaje del agregado que se le asignó en la combinación de agregados. Se colocó el agregado separado para probetas de 1200 gramos.



*Figura 66: Dosificación del agregado grueso*  
*Fuente: Propia*





Figura 67: Dosificación del agregado fino  
Fuente: Propia



Figura 68: Dosificación de los agregados  
Fuente: Propia

- iv. Se calentó el agregado dosificado en el horno a temperatura de la mezcla, junto con el filler, los moldes de compactación y el asfalto.



*Figura 69: Calentado de agregados y molde de compactación a temperatura de la mezcla*  
*Fuente: Propia*



*Figura 70: Calentado de materiales necesarios para la mezcla asfáltica a temperatura de mezclado*  
*Fuente: Propia*

- v. Se sacó el agregado grueso del horno y se colocó en el bowl para elaborar mezclas asfálticas, seguido de ello se agregó la cantidad de asfalto requerido para el porcentaje que se va a mezclar y se mezcló hasta que todas las partículas de agregado grueso estén impregnadas de asfalto, luego de ello se agregó el agregado fino a la mezcla y se mezcló hasta que todas las partículas estén cubiertas de asfalto.



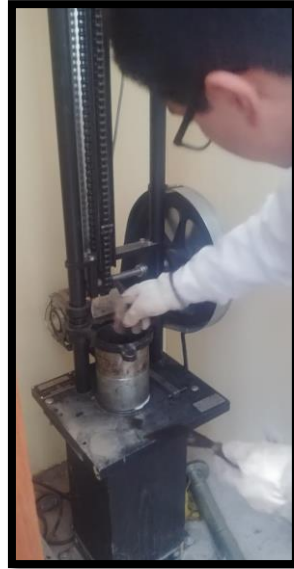
*Figura 71: Mezclado del asfalto con los agregados*  
*Fuente: Propia*

- vi. Se verificó a temperatura de la mezcla, los cuales deben estar entre 155 °C y 164 °C.



*Figura 72: Control de la temperatura de la mezcla*  
*Fuente: Propia*

- vii. Se retiró el molde de compactación del horno y se impregnó de aceite para que la mezcla compactada no se adhiera al molde de compactación. Luego se ensambló el molde de compactación en el martillo compactador y se colocó papel filtro en la base para que la mezcla tampoco se adhiera a la base.



*Figura 73: Molde de compactación ensamblado sobre el pedestal del compactador  
Fuente: Propia*

- viii. Se vertió la mezcla asfáltica dentro del molde de compactación y luego se emparejó con una espátula caliente chuseando 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.



*Figura 74: Vertido de la mezcla asfáltica dentro del molde de compactación  
Fuente: Propia*

- ix. Se colocó el martillo compactador dentro del molde y se ajustó a 75 golpes de compactación, una vez que finalizaron los 75 golpes se retiró el martillo del molde y se volteó el molde para que se compacte la otra cara de la probeta. Finalizada la compactación de la probeta se retira del pedestal del martillo



compactador y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego de ello se colocó en el eyector de muestras aplicando presión. Una vez extraída la muestra se dejó reposar en una superficie plana y se le identificó con códigos alfanuméricos.





*Figura 75: Eyeción de las mezclas asfálticas compactadas*  
*Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 72: Datos para la dosificación de agregados para mezclas asfálticas en caliente

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°16</b>	DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS PARA PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS							
DATOS DE LA MUESTRA								
<b>Material</b>	Agregado + asfalto							
<b>Muestra</b>	1200.00 gr.							
<b>Fecha</b>	16/09/2019							
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon							
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC							
para briquetas de	1200							
% de Cemento Asf.	4	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
Agregados en la mezcla								
Agregados por mallas								
Tamiz	% ret. Parcial	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)
3/4"								
1/2"								
3/8"								
N° 4								
N° 10								
N° 40								
N° 100								
N° 200								
FILLER								
Cemento Asfáltico								
Pesos por tipo de agregado								
% de Cemento Asf.	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	
% de Agregado								
% de Agregado Grueso								
% de Agregado Fino								
Agregado grueso (g)								
Arena triturada (g)								
Arena natural (g)								
Filler (g)								
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE AGREGADO GRUESO (g)								
Tamiz	% RETENIDO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
3/4"								
1/2"								
3/8"								
N° 4								
N° 10								
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA TRITURADA (g)								
Tamiz	% RETENIDO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
N° 4								
N° 10								
N° 40								
N° 100								
N° 200								
FILLER								
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA NATURAL (g)								
Tamiz	% RETENIDO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
N° 4								
N° 10								
N° 40								
N° 100								
N° 200								
FILLER								
DOSIFICACIÓN DEL PESO DEL FILLER (g)								
Tamiz	% RETENIDO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
N° 4								
N° 10								
N° 40								
N° 100								
N° 200								
FILLER								

Fuente: Propia



### 3.5.12. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza de flotación con precisión de 0.1 gr.
- ii. Canastilla.
- iii. Franela.
- iv. Baño maría.

#### b) Procedimiento

- i. Se determinó el peso en el aire de los especímenes secos.



*Figura 76: Determinación del peso seco de los especímenes  
Fuente: Propia*

- ii. Se sumergieron los especímenes en baño maría a 25°C por un periodo de 3 a 5 minutos y luego se colocaron en la canastilla para determinar su peso sumergido.



*Figura 77: Inmersión de los especímenes en baño maría a 25 °C*  
*Fuente: Propia*



*Figura 78: Determinación del peso sumergido de los especímenes*  
*Fuente: Propia*





*Figura 79: Espécimen sumergido*  
*Fuente: Propia*

- iii. Se sacaron los especímenes del agua y se secaron con la franela hasta que la superficie quede seca, quedando en condición saturada superficialmente seca.





*Figura 80: Secado de los especímenes con la franela*  
*Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 73: Datos para determinar el peso específico de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 						
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°17		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DE LA MUESTRA						
Material	Mezcla asfáltica					
Fecha	17/09/2019					
Tesista	Luis Mario Quispe Chacon					
Ubicación	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PROBETA	% ASFALTO	Wd	Wssd	Wsum	Gsb	PROM
1	4.00%	1192.60	1196.10	677.60		
2	4.00%	1194.90	1198.80	677.00		
3	4.00%	1191.30	1194.30	684.80		
4	4.00%	1198.50	1201.80	687.00		
5	4.00%	1196.70	1199.50	682.80		
1	4.50%	1193.60	1196.70	684.40		
2	4.50%	1197.10	1199.60	686.70		
3	4.50%	1192.80	1195.60	683.20		
4	4.50%	1195.30	1197.70	686.40		
5	4.50%	1198.20	1201.10	688.20		
1	5.00%	1198.60	1201.10	689.00		
2	5.00%	1200.00	1202.20	690.20		
3	5.00%	1198.60	1201.40	688.90		
4	5.00%	1199.50	1201.90	690.60		
5	5.00%	1198.40	1200.90	691.60		
1	5.50%	1191.90	1193.90	690.20		
2	5.50%	1196.20	1198.10	690.60		
3	5.50%	1189.90	1191.60	687.90		
4	5.50%	1192.70	1194.90	692.30		
5	5.50%	1189.30	1191.60	687.80		
1	6.00%	1178.00	1179.50	685.50		
2	6.00%	1194.10	1195.50	695.00		
3	6.00%	1189.30	1190.60	693.60		
4	6.00%	1184.90	1186.70	689.20		
5	6.00%	1167.30	1168.90	679.80		
1	6.50%	1195.90	1197.20	694.30		
2	6.50%	1198.80	1199.80	695.90		
3	6.50%	1178.80	1180.20	682.90		
4	6.50%	1188.40	1189.60	690.90		
5	6.50%	1180.50	1181.80	684.70		
1	7.00%	1196.90	1197.70	691.10		
2	7.00%	1198.50	1199.20	691.10		
3	7.00%	1197.10	1198.00	689.06		
4	7.00%	1199.00	1200.00	692.36		
5	7.00%	1200.60	1201.80	693.40		

Fuente: Propia



### **3.5.13. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (MTC E-508)**

#### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se emplearon equipos de laboratorio para esta prueba debido a que el procedimiento se realiza en gabinete.

#### **b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### **c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 74: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°18</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica	
<b>Fecha</b>	20/09/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A=	D=	% AF(A.N.)=
B=	G <sub>asf</sub> =	% AF(A.T.)=
C=	% AG=	% FILLER=
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>
1 - 4.00%	4.00%	
2 - 4.00%	4.00%	
3 - 4.00%	4.00%	
4 - 4.00%	4.00%	
5 - 4.00%	4.00%	
1 - 4.50%	4.50%	
2 - 4.50%	4.50%	
3 - 4.50%	4.50%	
4 - 4.50%	4.50%	
5 - 4.50%	4.50%	
1 - 5.00%	5.00%	
2 - 5.00%	5.00%	
3 - 5.00%	5.00%	
4 - 5.00%	5.00%	
5 - 5.00%	5.00%	
1 - 5.50%	5.50%	
2 - 5.50%	5.50%	
3 - 5.50%	5.50%	
4 - 5.50%	5.50%	
5 - 5.50%	5.50%	
1 - 6.00%	6.00%	
2 - 6.00%	6.00%	
3 - 6.00%	6.00%	
4 - 6.00%	6.00%	
5 - 6.00%	6.00%	
1 - 6.50%	6.50%	
2 - 6.50%	6.50%	
3 - 6.50%	6.50%	
4 - 6.50%	6.50%	
5 - 6.50%	6.50%	
1 - 7.00%	7.00%	
2 - 7.00%	7.00%	
3 - 7.00%	7.00%	
4 - 7.00%	7.00%	
5 - 7.00%	7.00%	
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia



### **3.5.14. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas compactadas**

#### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio en esta prueba.

#### **b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### **c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 75: Datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 					
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°19		COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES			
DATOS DE LA MUESTRA					
Material	Mezcla asfáltica				
Fecha	23/09/2019				
Tesista	Luis Mario Quispe Chacon				
Ubicación	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
Id. Probeta	%Asfalto	Gsa	Gse	Gsb	Comprobación
1	4.00%				
2	4.00%				
3	4.00%				
4	4.00%				
5	4.00%				
1	4.50%				
2	4.50%				
3	4.50%				
4	4.50%				
5	4.50%				
1	5.00%				
2	5.00%				
3	5.00%				
4	5.00%				
5	5.00%				
1	5.50%				
2	5.50%				
3	5.50%				
4	5.50%				
5	5.50%				
1	6.00%				
2	6.00%				
3	6.00%				
4	6.00%				
5	6.00%				
1	6.50%				
2	6.50%				
3	6.50%				
4	6.50%				
5	6.50%				
1	7.00%				
2	7.00%				
3	7.00%				
4	7.00%				
5	7.00%				
Gsa:	Gravedad específica aparente.				
Gse:	Gravedad específica específica.				
Gsb:	Gravedad específica bulk.				

Fuente: Propia



### **3.5.15. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas**

#### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio para esta prueba.

#### **b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### **c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 76: Datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°20</b>	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	23/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Densidad</b>	<b>VTM</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
1	4.00%				
2	4.00%				
3	4.00%				
4	4.00%				
5	4.00%				
<b>MEDIANA</b>					
1	4.50%				
2	4.50%				
3	4.50%				
4	4.50%				
5	4.50%				
<b>MEDIANA</b>					
1	5.00%				
2	5.00%				
3	5.00%				
4	5.00%				
5	5.00%				
<b>MEDIANA</b>					
1	5.50%				
2	5.50%				
3	5.50%				
4	5.50%				
5	5.50%				
<b>MEDIANA</b>					
1	6.00%				
2	6.00%				
3	6.00%				
4	6.00%				
5	6.00%				
<b>MEDIANA</b>					
1	6.50%				
2	6.50%				
3	6.50%				
4	6.50%				
5	6.50%				
<b>MEDIANA</b>					
1	7.00%				
2	7.00%				
3	7.00%				
4	7.00%				
5	7.00%				
<b>MEDIANA</b>					
<b>VTM:</b>	Porcentaje de vacios de la mezcla.				
<b>VMA:</b>	Porcentaje de vacios en el agregado mineral.				
<b>VFA:</b>	Porcentaje de vacios llenos de asfalto.				

Fuente: Propia





### 3.5.16. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes compactados (MTC E-207)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Vernier.
- ii. Cabezal de ruptura.
- iii. Máquina de carga a compresión Marshall.
- iv. Baño maría
- v. Termómetro.
- vi. Horno.
- vii. Franela.
- viii. Aceite.

#### b) Procedimiento

- i. Con ayuda del vernier se tomaron las dimensiones de los especímenes, obteniendo 4 diámetros de los cuales 2 son diámetros superiores y 2 son diámetros inferiores; también se obtuvieron 4 valores de altura de los especímenes.



*Figura 81: Medición del diámetro del espécimen compactado  
Fuente: Propia*



Figura 82: Medición de la altura del espécimen compactado  
Fuente: Propia

- ii. Se determinaron los factores de corrección de los especímenes Marshall con ayuda de la siguiente tabla.

Tabla 77: Factores de corrección de estabilidad

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)



- iii. Se colocaron los especímenes en horno a  $60 \pm 1$  °C por un periodo de 120 a 130 minutos.



Figura 83: Especímenes colocados en el horno a 60 °C  
Fuente: Propia



Figura 84: Verificación de la temperatura de los especímenes compactados  
Fuente: Propia

- iv. Se lubricó las caras internas del cabezal de rotura para que se deslice libremente sobre los especímenes compactados. Pasados los 120 minutos de que los



especímenes compactados estuvieron en el horno, se sacan y se colocan dentro del cabezal de rotura.



Figura 85: Colocado de los especímenes compactados en el cabezal de rotura  
Fuente: Propia



Figura 86: Muestra dentro del cabezal de rotura lista para ser ensayada  
Fuente: Propia



- v. Se configuró la máquina de carga a compresión para que aplique una carga de compresión a una razón de 50 mm/min hasta que la carga decrezca. Se registraron los valores de carga máxima (estabilidad) y la deformación correspondiente a la carga máxima (flujo).



Figura 87: Configuración de los parámetros para la ejecución de la prueba  
Fuente: Propia

### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:





- i. No se utilizaron equipos del laboratorio para esta prueba.

**b) Procedimiento**

- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 79: Datos para determinar el contenido óptimo de asfalto*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°22</b>	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica	
<b>Fecha</b>	26/09/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
PARÁMETROS	VALOR	CONTENIDO DE ASFALTO (%)
Estabilidad máxima (KN)		
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )		
4% VTM		
PROMEDIO		

*Fuente: Propia*

**3.5.18. Dosificación y preparación de la mezcla asfáltica patrón con el contenido óptimo de asfalto**

**a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Bowls metálicos.
- iii. Bandejas metálicas.
- iv. Serie de tamices.
- v. Tamizadora.
- vi. Cucharón.
- vii. Moldes de compactación.
- viii. Compactador mecánico.



- ix. Eyector de mezclas asfálticas.
- x. Horno.
- xi. Termómetro.
- xii. Espátulas.
- xiii. Papel filtro.
- xiv. Cocina de 2 hornillas.
- xv. Bowl para mezcla asfáltica.

**b) Procedimiento**

- i. Se tamizó el agregado grueso y fino.



*Figura 88: Tamizado de los agregados para preparación de la mezcla asfáltica patrón  
Fuente: Propia*

- ii. Se pesaron las fracciones de agregado necesarias para la preparación de probetas de mezclas asfálticas de 1200 gramos con 5.556% de asfalto.





Figura 89: Pesado de agregado dosificado en bolsas para preparación de mezcla asfáltica patrón Fuente: Propia

- iii. Se calentó el agregado dosificado en el horno a temperatura de la mezcla, junto con el filler, los moldes de compactación y el asfalto. Una vez que los agregados estén a la temperatura de la mezcla se colocaron en el bowl con el asfalto y se mezclaron hasta que todas las partículas de estén impregnadas de asfalto.



Figura 90: Agregado combinado necesario para elaborar la mezcla asfáltica patrón Fuente: Propia



*Figura 91: Incorporación del agregado combinado a la mezcla  
Fuente: Propia*



*Figura 92: Mezclado del agregado y asfalto de la mezcla asfáltica patrón  
Fuente: Propia*

- iv. Se vertió la mezcla asfáltica dentro del molde de compactación ensamblado y lubricado; luego se emparejó con una espátula caliente chuseando 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.



*Figura 93: Vertido de la mezcla asfáltica patrón en el molde de compactación ensamblado*  
*Fuente: Propia*

- v. Se colocó el martillo compactador dentro del molde y se ajustó a 75 golpes de compactación, una vez que finalizaron los 75 golpes se retiró el martillo del molde y se volteó el molde para que se compacte la otra cara de la probeta. Finalizada la compactación de la probeta se retira del pedestal del martillo compactador y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego de ello se colocó en el eyector de muestras aplicando presión. Una vez extraída la muestra se dejó reposar en una superficie plana y se le identificó con códigos alfanuméricos.



*Figura 94: Compactado de la mezcla asfáltica patrón*  
*Fuente: Propia*



*Figura 95: Eyección de la mezcla asfáltica patrón compactada*  
*Fuente: Propia*

### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 80: Datos de la dosificación para los especímenes patrón con % óptimo de asfalto

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N° 23</b>		DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS PARA PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PATRÓN							
DATOS DE LA MUESTRA									
<b>Material</b>	Agregado + asfalto								
<b>Muestra</b>	1200.00 gr.								
<b>Fecha</b>	28/09/2019								
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon								
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC								
para briquetas de	1200								
% de Cemento Asf.	4.00	4.50	5.00	5.50	5.56	6.00	6.50	7.00	
Agregados en la mezcla									
Agregados por mallas									
Tamiz	% ret. Parcial	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)	peso (g)
3/4"									
1/2"									
3/8"									
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
Cemento Asfáltico									
Pesos por tipo de agregado									
% de Cemento Asf.									
% de Agregado									
% de Agregado Grueso									
% de Agregado Fino									
Agregado grueso (g)									
Arena triturada (g)									
Arena natural (g)									
Filler (g)									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE AGREGADO GRUESO (g)									
Tamiz	% Retenido	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3/4"									
1/2"									
3/8"									
N° 4									
N° 10									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA TRITURADA (g)									
Tamiz	% Retenido	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DE LA ARENA NATURAL (g)									
Tamiz	% Retenido	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									
DOSIFICACIÓN DEL PESO DEL FILLER (g)									
Tamiz	% Retenido	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
N° 4									
N° 10									
N° 40									
N° 100									
N° 200									
FILLER									

Fuente: Propia



### 3.5.19. Peso específico aparente y peso unitario de la mezcla asfáltica patrón compactada empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza de flotación con precisión de 0.1 gr.
- ii. Canastilla.
- iii. Franela.
- iv. Baño maría.

#### b) Procedimiento

- i. Se determinó el peso en el aire de los especímenes secos.



*Figura 96: Peso del espécimen patrón seco*  
*Fuente: Propia*

- ii. Se sumergieron los especímenes en baño maría a 25°C por un periodo de 3 a 5 minutos y luego se colocaron en la canastilla para determinar su peso sumergido.



*Figura 97: Especímenes patrones sumergidos en baño maría a 25 °C  
Fuente: Propia*



*Figura 98: Determinación del peso sumergido de los especímenes patrones  
Fuente: Propia*

- iii. Se sacaron los especímenes del agua y se secaron con la franela hasta que la superficie quede seca, quedando en condición saturada superficialmente seca.



*Figura 99: Secado de los especímenes de mezclas asfálticas patrón*  
*Fuente: Propia*







c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 81: Datos para calcular el peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°24</b>		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica					
<b>Fecha</b>	30/09/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PROBETA	% ASFALTO PATRÓN	P seco	P sss	P sum	Gsb	PROM
1	5.56%	1184.00	1185.80	686.00		
2	5.56%	1186.10	1187.80	686.90		
3	5.56%	1184.90	1186.50	687.00		
4	5.56%	1191.00	1193.00	691.50		
5	5.56%	1189.70	1191.60	689.60		
6	5.56%	1191.60	1193.80	691.60		
7	5.56%	1187.30	1188.90	688.10		
8	5.56%	1198.20	1200.10	695.80		
9	5.56%	1179.70	1181.50	685.40		
10	5.56%	1192.50	1194.50	690.68		
11	5.56%	1189.40	1191.70	689.00		
12	5.56%	1195.30	1197.30	694.40		

Fuente: Propia

**3.5.20. Peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica patrón para pavimentos (MTC E-508)**

**a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio para esta prueba.

**b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.



c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 82: Datos para calcular el peso específico teórico máximo de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°25</b>	PESO ESPECÍCO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica		
<b>Fecha</b>	20/09/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A=	D=	% AF(A.N.)=	18.00
B=	Gs <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)=	50.00
C=	% AG= 28.00	% FILLER=	4.00
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>	
PATRON - 1	5.56%		
PATRON - 2	5.56%		
PATRON - 3	5.56%		
PATRON - 4	5.56%		
PATRON - 5	5.56%		
PATRON - 6	5.56%		
PATRON - 7	5.56%		
PATRON - 8	5.56%		
PATRON - 9	5.56%		
PATRON - 10	5.56%		
PATRON - 11	5.56%		
PATRON - 12	5.56%		
G <sub>sasf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo		
A=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad especifica del filler		

Fuente: Propia



### 3.5.21. Verificación de la gravedad específica efectiva de la mezcla asfáltica patrón compactadas

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio para esta prueba.



#### b) Procedimiento

- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 83: Datos para la verificación de la gravedad específica efectiva de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°26</b>	COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	23/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Gsa</b>	<b>Gse</b>	<b>Gsb</b>	<b>Comprobación</b>
1	5.56%				
2	5.56%				
3	5.56%				
4	5.56%				
5	5.56%				
6	5.56%				
7	5.56%				
8	5.56%				
9	5.56%				
10	5.56%				
11	5.56%				
12	5.56%				
<b>Gsa:</b>	Gravedad específica aparente.				
<b>Gse:</b>	Gravedad específica específica.				
<b>Gsb:</b>	Gravedad específica bulk.				

Fuente: Propia



### 3.5.22. Determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica patrón compactada

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio en esta prueba.

#### b) Procedimiento

- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 84: Datos para la determinación de los parámetros volumétricos de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°27</b>		DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	24/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Densidad</b>	<b>VTM</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
1	5.56%				
2	5.56%				
3	5.56%				
4	5.56%				
5	5.56%				
6	5.56%				
7	5.56%				
8	5.56%				
9	5.56%				
10	5.56%				
11	5.56%				
12	5.56%				
Mediana					

Fuente: Propia



### 3.5.23. Resistencia de la mezcla bituminosas patrón empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Vernier.
- ii. Cabezal de ruptura.
- iii. Máquina de carga a compresión Marshall.
- iv. Baño maría
- v. Termómetro.
- vi. Horno.
- vii. Franela.
- viii. Aceite

#### b) Procedimiento

- i. Se tomaron las dimensiones de los especímenes con el vernier, obteniendo 4 diámetros de los cuales 2 son diámetros superiores y 2 son diámetros inferiores; también se obtuvieron 4 valores de altura de los especímenes.



*Figura 100: Medición del espesor de los especímenes patrón  
Fuente: Propia*



Figura 101: Medición del diámetro de los especímenes patrón  
Fuente: Propia

- ii. Se determinaron los factores de corrección de los especímenes Marshall con ayuda de la siguiente tabla.

Tabla 85: Factores de corrección de estabilidad

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)



- iii. Se colocaron los especímenes 1, 2, 3, 4 y 5 en horno a  $60 \pm 1$  °C por un periodo de 120 a 130 minutos.



Figura 102: Especímenes patrón calentando en horno a 60 °C por 120 minutos  
Fuente: Propia

- iv. Los especímenes 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se colocaron en baño maría a  $60 \pm 1$  °C por un periodo de 30 a 40 minutos.

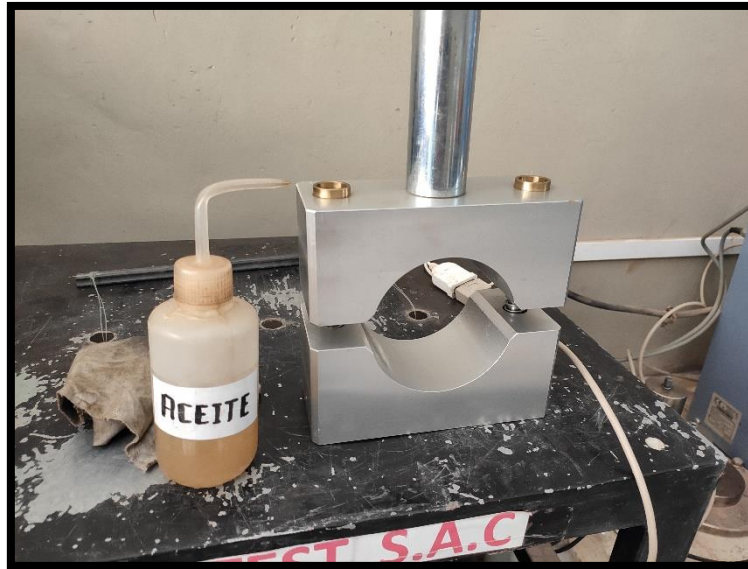


Figura 103: Especímenes patrón calentados en baño maría a 60 °C por 30 minutos  
Fuente: Propia

- v. Se lubricó las caras internas del cabezal de rotura para que se deslice libremente sobre los especímenes compactados. Luego de que los especímenes hayan



estado inmersos o en el horno por los periodos descritos en el paso anterior se sacaron y se colocaron dentro del cabezal de rotura.



*Figura 104: Cabezal de rotura listo para ser lubricado  
Fuente: Propia*



*Figura 105: Extracción de los especímenes del horno para ensayarlos  
Fuente: Propia*





*Figura 106: Extracción del espécimen patrón del baño maría para ensayar su resistencia*  
*Fuente: Propia*



*Figura 107: Secado del espécimen patrón para ensayar su resistencia*  
*Fuente: Propia*



Figura 108: colocación del espécimen patrón en el cabezal de rotura  
Fuente: Propia

- vi. Se configuró la máquina de carga a compresión para que aplique una carga de compresión a una razón de 50 mm/min hasta que la carga decrezca. Se registraron los valores de carga máxima (estabilidad) y la deformación correspondiente a la carga máxima (flujo).

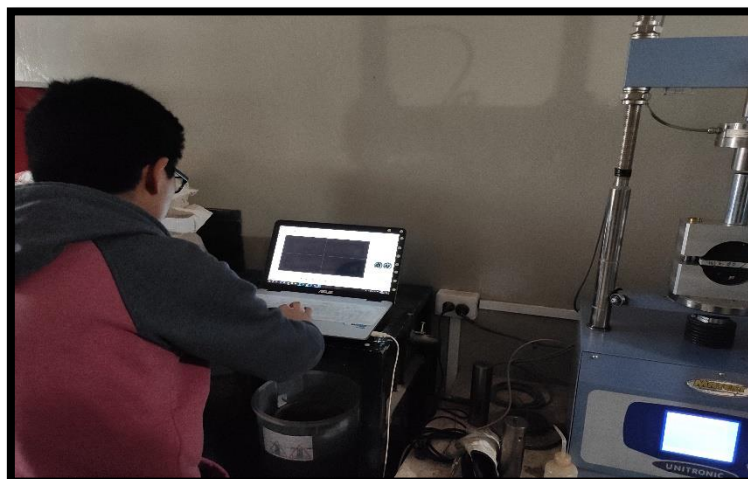


Figura 109: Configuración de la velocidad de carga para ensayar la resistencia del espécimen patrón  
Fuente: Propia

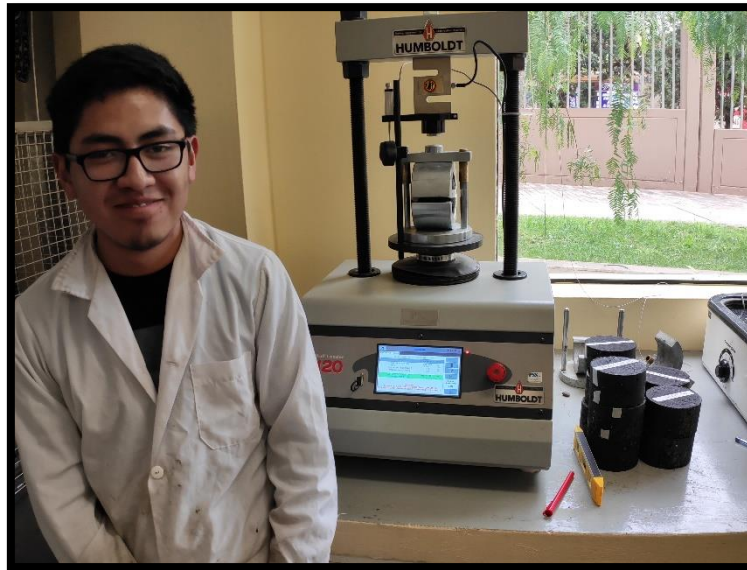


Figura 110: Espécimen listo para ser ensayado en la máquina Marshall  
Fuente: Propia

c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 86: Datos para determinar la resistencia y la altura de los especímenes patrón compactados

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL															
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"													
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°28</b>		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS APLICANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E-504) Y DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS (MTC E-507)													
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Muestra</b>		Concreto asfáltico mezclado en caliente													
<b>Fecha</b>		25/09/2019													
<b>Tesista</b>		Luis Mario Quispe Chacon													
<b>Ubicación</b>		Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC													
Probeta	% ASFALTO PATRON	Diámetro (cm)				Altura (cm)				Diámetro promedio	Altura promedio	Estabilidad	Factor correccion	Estabilidad corregida	Flujo (mm)
		D1	D2	D3	D4	H1	H2	H3	H4						
1.00	5.56%	10.20	10.21	10.15	10.23	6.30	6.33	6.30	6.35			13.51	1.008		3.84
2.00	5.56%	10.20	10.18	10.18	10.20	6.30	6.32	6.32	6.35			13.74	1.008		3.49
3.00	5.56%	10.15	10.20	10.18	10.20	6.33	6.35	6.30	6.32			12.90	1.005		3.56
4.00	5.56%	10.20	10.20	10.18	10.18	6.32	6.34	6.32	6.32			13.34	1.005		3.53
5.00	5.56%	10.22	10.20	10.21	10.20	6.35	6.33	6.35	6.32			13.79	1.003		3.32
6.00	5.56%	10.18	10.18	10.15	10.18	6.38	6.36	6.35	6.35			13.53	0.998		3.48
7.00	5.56%	10.18	10.18	10.20	10.20	6.32	6.35	6.35	6.37			13.57	1.000		3.51
8.00	5.56%	10.20	10.18	10.20	10.18	6.30	6.30	6.32	6.35			13.32	1.008		3.61
9.00	5.56%	10.20	10.20	10.20	10.20	6.35	6.37	6.34	6.35			13.52	1.000		3.74
10.00	5.56%	10.21	10.18	10.20	10.20	6.30	6.30	6.30	6.30			13.29	1.013		3.63
11.00	5.56%	10.18	10.18	10.18	10.20	6.30	6.33	6.31	6.30			13.52	1.010		3.54
12.00	5.56%	10.20	10.20	10.18	10.20	6.37	6.35	6.35	6.35			13.55	0.998		3.46
<b>Mediana</b>															

Fuente: Propia

### 3.5.24. Resumen y gráficos de los resultados de los especímenes compactados

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio para esta prueba,



#### b) Procedimiento

- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 87: Datos para graficar los resultados de los ensayos realizados a los especímenes compactados

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 								
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°29	RESUMEN DE LOS RESULTADOS							
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>								
Material	Mezcla asfáltica							
Fecha	2/10/2019							
Tesista	Luis Mario Quispe Chacon							
Ubicación	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC							
%Asfalto	Estabilidad (KN)	Flujo (mm)	Flujo (0.01")	Peso específico (gr/cm3)	VTM	VMA	VFA	Relación estabilidad/flujo
4.00%	12.37	1.15		2.31	8.30	16.83	50.68	
4.50%	14.11	1.63		2.33	6.88	16.63	58.61	
5.00%	14.83	2.72		2.34	5.78	16.50	64.98	
5.50%	13.64	3.49		2.36	4.31	16.28	73.51	
5.56%	13.52	3.54		2.37	3.92	16.22	75.89	
6.00%	13.38	4.78		2.39	2.63	15.90	83.43	
6.50%	12.54	5.45		2.38	2.23	16.62	86.59	
7.00%	10.20	6.45		2.36	2.19	17.64	87.60	
VTM: Vacíos totales de la mezcla.								
VMA: Vacíos del agregado mineral.								
VFA: Vacíos llenos con asfalto.								

Fuente: Propia

### 3.5.25. Análisis granulométrico de los residuos de PVC (MTC E-204)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Serie de tamices normalizados #4, #10, #40, #100 y #200.
- iii. Bandejas.
- iv. Bowls metálicos.
- v. Tamizadora mecánica.



**b) Procedimiento**

- i. Se acomodó una piedra porosa a un motor para que raspe el tubo de PVC.



*Figura 111: Motor necesario para triturar el PVC  
Fuente: Propia*

- ii. Se colocó una caja alrededor de la piedra porosa para capturar las finas partículas desprendidas durante el raspado y se realizó una perforación en el lateral de la caja para introducir el tubo de PVC y realizar el raspado.



*Figura 112: Motor listo para triturar PVC  
Fuente: Propia*

- iii. Se raspó el PVC con ayuda del motor para obtener PVC triturado lo suficientemente fino para que pase el tamiz #200.



*Figura 113: Raspado de tubo de PVC  
Fuente: Propia*



*Figura 114: Introducción del tubo de PVC dentro de la caja para rasparlo con la piedra porosa*  
Fuente: Propia



*Figura 115: Partículas de PVC atrapadas en la caja luego del raspado con la piedra porosa*  
Fuente: Propia



*Figura 116: PVC triturado contenido en la caja  
Fuente: Propia*

- iv. Se llevó el PVC triturado a laboratorio para hacer el análisis granulométrico. Se limitó la cantidad de material a ser colocado en la serie de tamices para evitar la sobrecarga de material.



*Figura 117: PVC triturado dentro de la serie de tamices listo para el tamizado  
Fuente: Propia*





- v. Se colocó la serie de tamices con el PVC triturado en la tamizadora mecánica para que se tamice el agregado.



Figura 118: Serie de tamices con los residuos de PVC colocadas dentro de la tamizadora  
Fuente: Propia

- vi. Se pesó la cantidad de agregado retenido en cada tamiz con la balanza de precisión.



Figura 119: PVC triturado retenido en el tamiz #4  
Fuente: Propia



*Figura 120: PVC triturado retenido en el tamiz #10  
Fuente: Propia*



*Figura 121: PVC triturado retenido en el tamiz #40  
Fuente: Propia*



*Figura 122: PVC triturado retenido en el tamiz #100  
Fuente: Propia*



*Figura 123: PVC triturado retenido en el tamiz #200  
Fuente: Propia*



*Figura 124: PVC triturado pasante del tamiz #200  
Fuente: Propia*



*Figura 125: Extracción del PVC retenido en los tamices:  
Fuente: Propia*



Figura 126: PVC retenido en los tamices ordenado según su tamaño  
Fuente: Propia

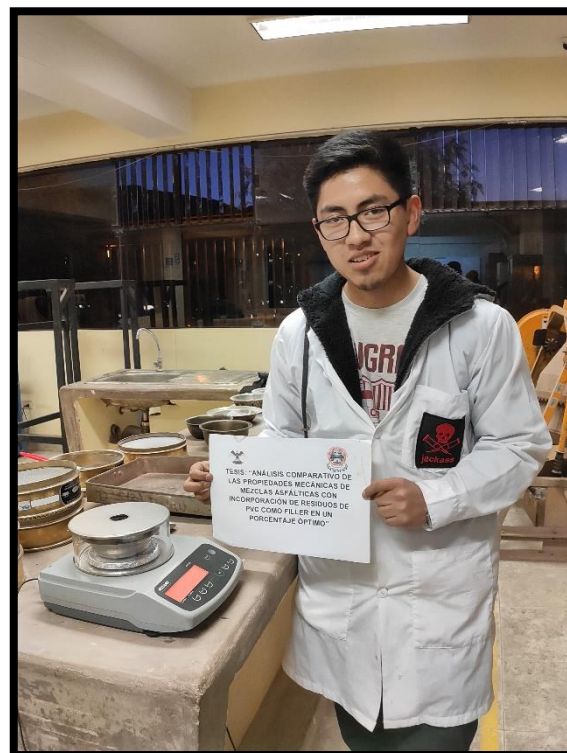




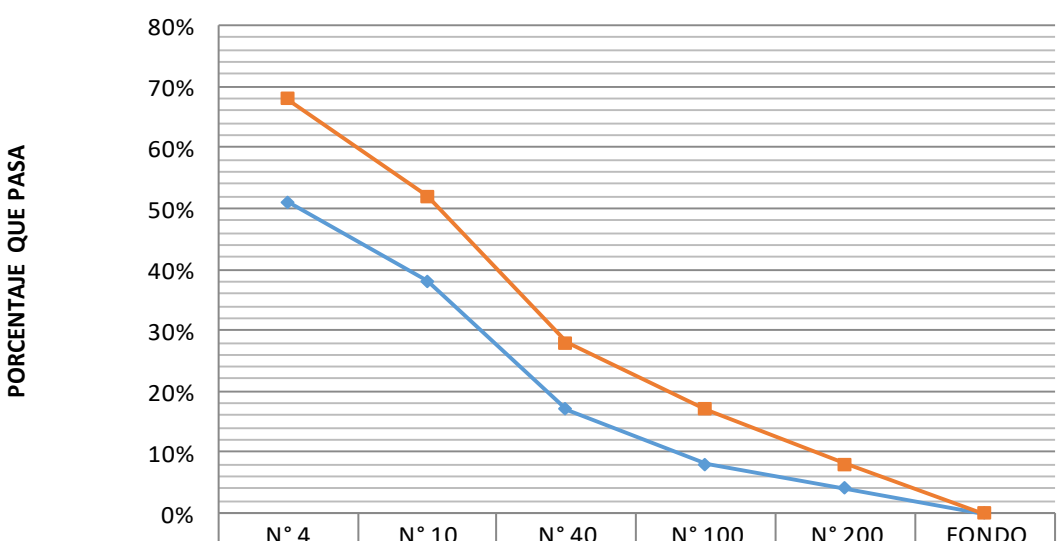
Figura 127: Peso del PVC en la balanza de precisión  
Fuente: Propia

### c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 88: Datos para realizar el análisis granulométrico de los residuos de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FUCHA DE OBSERVACIÓN N°34</b>		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Material</b>	PVC triturado					
<b>Muestra</b>	1024.16 gr.					
<b>Fecha</b>	8/10/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.400	0.00				
3/4"	19.050	0.00				
1/2"	12.700	0.00				
3/8"	9.530	0.00				
N° 4	4.750	50.80				
N° 10	2.000	12.09				
N° 40	0.420	19.36				
N° 100	0.149	478.72				
N° 200	0.074	351.22				
FONDO	0.000	111.98				
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						
						
◆ Lim. Inf.	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
◆ Lim. Inf.	51%	38%	17%	8%	4%	0%
■ Lim. Sup.	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
■ Lim. Sup.	68%	52%	28%	17%	8%	0%
▲ % QUE PASA						

Fuente: Propia



### 3.5.26. Incorporación de los residuos de PVC en la mezcla asfáltica

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Balanza con precisión de 0.1 gr.
- ii. Bowls metálicos.
- iii. Bandejas metálicas.
- iv. Serie de tamices.
- v. Tamizadora.
- vi. Cucharón.
- vii. Moldes de compactación.
- viii. Compactador mecánico.
- ix. Eyector de mezclas asfálticas.
- x. Horno.
- xi. Termómetro.
- xii. Espátulas.
- xiii. Papel filtro.
- xiv. Cocina de 2 hornillas.
- xv. Bowl para mezcla asfáltica.

#### b) Procedimiento

- i. Se dosificó los residuos de PVC de acuerdo al peso correspondiente a 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%.

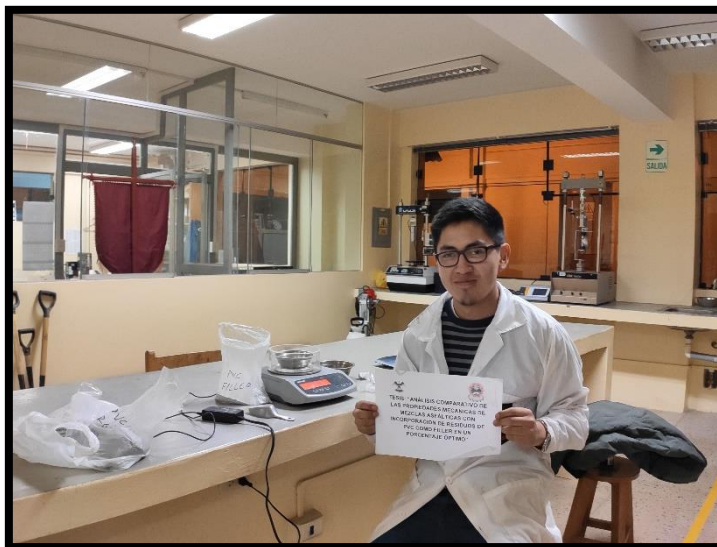


Figura 128: Peso del residuo de PVC según porcentaje de incorporación  
Fuente: Propia

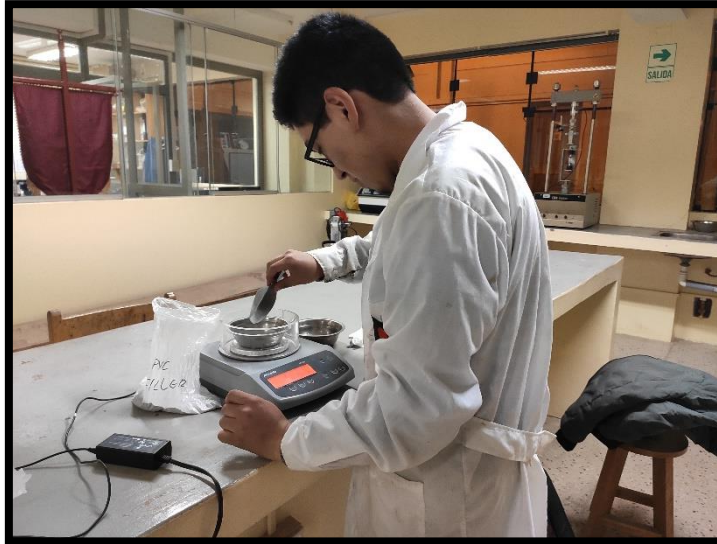


Figura 129: Dosificación de los residuos de PVC en bolsas para incorporar a la mezcla asfáltica  
Fuente: Propia

- ii. Se calentó el agregado dosificado en el horno a temperatura de la mezcla, junto con el filler, los moldes de compactación y el asfalto. Una vez que los agregados estén a la temperatura de la mezcla se colocaron en el bowl con el asfalto y se mezclaron hasta que todas las partículas de estén impregnadas de asfalto.



Figura 130: Agregado y filler dosificados listos para ser calentados en el horno a temperatura de la mezcla  
Fuente: Propia





*Figura 131: Elaboración de la mezcla asfáltica*  
*Fuente: Propia*

- iii. Se agregó la cantidad de PVC triturado en la mezcla asfáltica.



*Figura 132: Incorporación de los residuos de PVC a la mezcla asfáltica*  
*Fuente: Propia*



*Figura 133: Mezcla asfáltica con los residuos de PVC  
Fuente: Propia*

- iv. Se vertió la mezcla asfáltica dentro del molde de compactación ensamblado y lubricado; luego se emparejó con una espátula caliente chuseando 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.



*Figura 134: Preparación de los moldes de compactación para el vertido de la mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia*



*Figura 135: Vertido de la mezcla asfáltica modificada*  
*Fuente: Propia*

- v. Se colocó el martillo compactador dentro del molde y se ajustó a 75 golpes de compactación, una vez que finalizaron los 75 golpes se retiró el martillo del molde y se volteó el molde para que se compacte la otra cara de la probeta. Finalizada la compactación de la probeta se retira del pedestal del martillo compactador y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego de ello se colocó en el eyector de muestras aplicando presión. Una vez extraída la muestra se dejó reposar en una superficie plana y se le identificó con códigos alfanuméricos.



*Figura 136: Eyección de la mezcla asfáltica modificada compactada*  
*Fuente: Propia*



Figura 137: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas eyectadas  
Fuente: Propia



**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 89: Datos para la incorporación de los residuos de PVC*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>FUCHA DE OBSERVACIÓN N°35</b>	INCORPORACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PVC	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	PVC triturado	
<b>Fecha</b>	12/10/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
Peso total de la mezcla (gr):		1200
	% a incorporar	Peso a incorporar (gr)
PVC a incorporar	0.50%	
	0.75%	
	1.00%	
	1.25%	
	1.50%	

*Fuente: Propia*

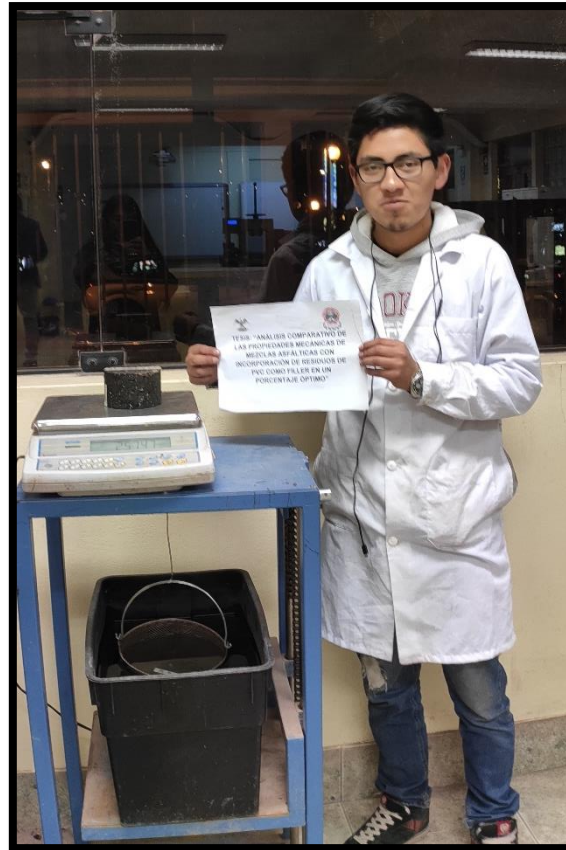
**3.5.27. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas modificadas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)**

**a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. Balanza de flotación con precisión de 0.1 gr.
- ii. Canastilla.
- iii. Franela.
- iv. Baño maría.

**b) Procedimiento**

- i. Se determinó el peso en el aire de los especímenes de mezcla asfáltica modificada secos.



*Figura 138: Peso seco del espécimen de mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia*

- ii. Se sumergieron los especímenes en baño maría a  $25^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 3 a 5 minutos y luego se colocaron en la canastilla para determinar su peso sumergido.



Figura 139: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas sumergidas en baño maría a 25 °C  
Fuente: Propia

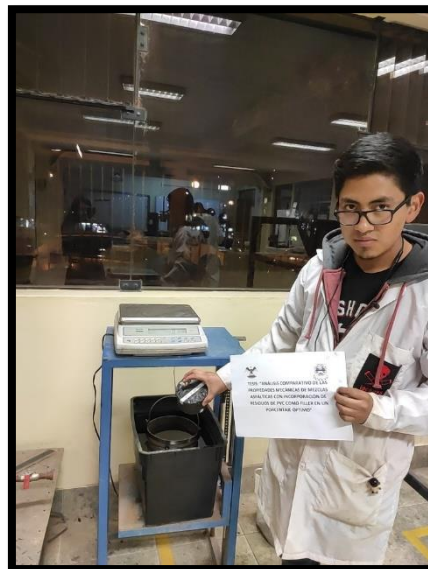


Figura 140: Determinación del peso sumergido del espécimen de mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia

- iii. Se sacaron los especímenes del agua y se secaron con la franela hasta que la superficie quede seca, quedando en condición saturada superficialmente seca.



*Figura 141: Secado del espécimen de mezcla asfáltica modificada para determinar su peso saturado superficialmente seco*  
*Fuente: Propia*



**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:





Tabla 90: Datos para la determinación del peso específico de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°36</b>		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada					
<b>Fecha</b>	25/11/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
Probeta	% PVC	P seco	P sss	P sum	Gsb	PROM
1	0.50%	1194.60	1196.40	687.40		
2	0.50%	1198.00	1199.70	693.00		
3	0.50%	1199.10	1200.70	689.30		
4	0.50%	1200.30	1201.80	684.20		
5	0.50%	1198.90	1200.70	693.20		
6	0.50%	1202.20	1204.10	692.70		
7	0.50%	1201.70	1203.30	691.70		
1	0.75%	1206.20	1207.70	701.30		
2	0.75%	1200.30	1201.90	692.60		
3	0.75%	1201.30	1203.10	699.40		
4	0.75%	1197.60	1198.90	692.50		
5	0.75%	1199.30	1200.80	697.10		
6	0.75%	1198.20	1199.80	697.20		
7	0.75%	1199.00	1200.70	699.40		
1	1.00%	1208.50	1210.00	692.60		
2	1.00%	1206.70	1208.00	693.40		
3	1.00%	1197.30	1198.70	686.50		
4	1.00%	1198.60	1200.00	686.90		
5	1.00%	1202.90	1204.20	698.70		
6	1.00%	1207.30	1208.80	695.90		
7	1.00%	1203.40	1205.00	698.30		
1	1.25%	1205.70	1206.90	691.20		
2	1.25%	1209.30	1210.60	692.60		
3	1.25%	1198.90	1200.00	690.90		
4	1.25%	1205.20	1206.50	687.40		
5	1.25%	1201.60	1202.90	689.40		
6	1.25%	1212.60	1213.80	693.60		
7	1.25%	1208.50	1209.90	694.70		
1	1.50%	1200.70	1201.70	672.70		
2	1.50%	1208.20	1209.10	685.10		
3	1.50%	1206.30	1207.50	692.80		
4	1.50%	1216.20	1217.30	690.90		
5	1.50%	1215.20	1216.30	689.00		
6	1.50%	1208.00	1209.30	689.20		
7	1.50%	1211.00	1211.80	687.00		

Fuente: Propia



**3.5.28. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas modificadas para pavimentos  
(MTC E-508)**

**a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio en esta prueba.

**b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.



c) Toma de datos

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 91: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 0.50% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°37</b>	PESO ESPECÍCO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 0.50% PVC		
<b>Fecha</b>	27/11/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A=	2.78	D=	2.85
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02
C=	2.68	% AG=	26.31%
G <sub>sPVC</sub> =	1.41	% PVC=	0.50%
		% AF(A.N.)=	16.92%
		% AF(A.T.)=	46.99%
		% FILLER=	3.76%
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>	
PVC 0.50% - 1	5.528%		
PVC 0.50% - 2	5.528%		
PVC 0.50% - 3	5.528%		
PVC 0.50% - 4	5.528%		
PVC 0.50% - 5	5.528%		
PVC 0.50% - 6	5.528%		
PVC 0.50% - 7	5.528%		
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo		
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC		
A=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad especifica del filler		

Fuente: Propia





Tabla 92: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 0.75% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°38</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 0.75% PVC		
<b>Fecha</b>	27/11/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A=	2.78	D=	2.85
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02
C=	2.68	% AG=	26.25%
G <sub>sPVC</sub> =	1.41	% PVC=	0.74%
	% AF(A.N.)=		16.87%
	% AF(A.T.)=		46.87%
	% FILLER=		3.75%
ID. PROBETA	% de asfalto	Gmm	
PVC 0.75% - 1	5.514%		
PVC 0.75% - 2	5.514%		
PVC 0.75% - 3	5.514%		
PVC 0.75% - 4	5.514%		
PVC 0.75% - 5	5.514%		
PVC 0.75% - 6	5.514%		
PVC 0.75% - 7	5.514%		
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo		
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC		
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad específica del filler		

Fuente: Propia





Tabla 93: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.00% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°39</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.00% PVC				
<b>Fecha</b>	27/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
A=	2.78	D=	2.85	% AF(A.N.)=	16.83%
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02	% AF(A.T.)=	46.75%
C=	2.68	% AG=	26.18%	% FILLER=	3.74%
G <sub>sPVC</sub> =	1.41	% PVC=	0.99%		
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>			
PVC 1.00% - 1	5.501%				
PVC 1.00% - 2	5.501%				
PVC 1.00% - 3	5.501%				
PVC 1.00% - 4	5.501%				
PVC 1.00% - 5	5.501%				
PVC 1.00% - 6	5.501%				
PVC 1.00% - 7	5.501%				
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto				
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo				
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC				
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso				
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)				
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)				
D=	Gravedad específica del filler				

Fuente: Propia





Tabla 94: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.25% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 40</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.25% PVC				
<b>Fecha</b>	27/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
A=	2.78	D=	2.85	% AF(A.N.)=	16.79%
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02	% AF(A.T.)=	46.64%
C=	2.68	% AG=	26.12%	% FILLER=	3.73%
G <sub>sPVC</sub> =	1.41	% PVC=	1.23%		
ID. PROBETA		% de asfalto		Gmm	
PVC 1.25% - 1		5.487%			
PVC 1.25% - 2		5.487%			
PVC 1.25% - 3		5.487%			
PVC 1.25% - 4		5.487%			
PVC 1.25% - 5		5.487%			
PVC 1.25% - 6		5.487%			
PVC 1.25% - 7		5.487%			
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto				
Gmm=	Gravedad específica teórico máximo				
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC				
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso				
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)				
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)				
D=	Gravedad específica del filler				

Fuente: Propia



Tabla 95: Datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con 1.50% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°41</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.50% PVC		
<b>Fecha</b>	27/11/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A=	2.78	D=	2.85
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02
C=	2.68	% AG=	26.05%
G <sub>sPVC</sub> =	1.41	% PVC=	1.48%
		% AF(A.N.)=	16.75%
		% AF(A.T.)=	46.52%
		% FILLER=	3.72%
ID. PROBETA	% de asfalto	Gmm	
PVC 1.50% - 1	5.474%		
PVC 1.50% - 2	5.474%		
PVC 1.50% - 3	5.474%		
PVC 1.50% - 4	5.474%		
PVC 1.50% - 5	5.474%		
PVC 1.50% - 6	5.474%		
PVC 1.50% - 7	5.474%		
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
Gmm=	Gravedad específica teórico máximo		
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC		
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad específica del filler		

Fuente: Propia

### 3.5.29. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas modificadas compactadas

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio para esta prueba.

#### b) Procedimiento




- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 96: Datos para la verificación de la gravedad específica efectiva de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°42</b>	COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	28/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Gsa</b>	<b>Gse</b>	<b>Gsb</b>	<b>Comprobación</b>
0.50% PVC - 1	5.53%				
0.50% PVC - 2	5.53%				
0.50% PVC - 3	5.53%				
0.50% PVC - 4	5.53%				
0.50% PVC - 5	5.53%				
0.50% PVC - 6	5.53%				
0.50% PVC - 7	5.53%				
0.75% PVC - 1	5.51%				
0.75% PVC - 2	5.51%				
0.75% PVC - 3	5.51%				
0.75% PVC - 4	5.51%				
0.75% PVC - 5	5.51%				
0.75% PVC - 6	5.51%				
0.75% PVC - 7	5.51%				
1.00% PVC - 1	5.50%				
1.00% PVC - 2	5.50%				
1.00% PVC - 3	5.50%				
1.00% PVC - 4	5.50%				
1.00% PVC - 5	5.50%				
1.00% PVC - 6	5.50%				
1.00% PVC - 7	5.50%				
1.25% PVC - 1	5.49%				
1.25% PVC - 2	5.49%				
1.25% PVC - 3	5.49%				
1.25% PVC - 4	5.49%				
1.25% PVC - 5	5.49%				
1.25% PVC - 6	5.49%				
1.25% PVC - 7	5.49%				
1.50% PVC - 1	5.47%				
1.50% PVC - 2	5.47%				
1.50% PVC - 3	5.47%				
1.50% PVC - 4	5.47%				
1.50% PVC - 5	5.47%				
1.50% PVC - 6	5.47%				
1.50% PVC - 7	5.47%				
<b>Gsa:</b>	Gravedad específica aparente.				
<b>Gse:</b>	Gravedad específica específica.				
<b>Gsb:</b>	Gravedad específica bulk.				

Fuente: Propia





### **3.5.30. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas modificadas compactadas**

#### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- i. No se utilizaron equipos de laboratorio en esta prueba.

#### **b) Procedimiento**



- i. El procedimiento de esta prueba se realizó en computadora con ayuda de una hoja de cálculo.

#### **c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:



Tabla 97: Datos para el cálculo de los parámetros volumétricos de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°43</b>		DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	29/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>Densidad</b>	<b>VTM</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
PVC 0.50% - 1	5.53%				
PVC 0.50% - 2	5.53%				
PVC 0.50% - 3	5.53%				
PVC 0.50% - 4	5.53%				
PVC 0.50% - 5	5.53%				
PVC 0.50% - 6	5.53%				
PVC 0.50% - 7	5.53%				
<b>Mediana</b>					
PVC 0.75% - 1	5.51%				
PVC 0.75% - 2	5.51%				
PVC 0.75% - 3	5.51%				
PVC 0.75% - 4	5.51%				
PVC 0.75% - 5	5.51%				
PVC 0.75% - 6	5.51%				
PVC 0.75% - 7	5.51%				
<b>Mediana</b>					
PVC 1.00% - 1	5.50%				
PVC 1.00% - 2	5.50%				
PVC 1.00% - 3	5.50%				
PVC 1.00% - 4	5.50%				
PVC 1.00% - 5	5.50%				
PVC 1.00% - 6	5.50%				
PVC 1.00% - 7	5.50%				
<b>Mediana</b>					
PVC 1.25% - 1	5.49%				
PVC 1.25% - 2	5.49%				
PVC 1.25% - 3	5.49%				
PVC 1.25% - 4	5.49%				
PVC 1.25% - 5	5.49%				
PVC 1.25% - 6	5.49%				
PVC 1.25% - 7	5.49%				
<b>Mediana</b>					
PVC 1.50% - 1	5.47%				
PVC 1.50% - 2	5.47%				
PVC 1.50% - 3	5.47%				
PVC 1.50% - 4	5.47%				
PVC 1.50% - 5	5.47%				
PVC 1.50% - 6	5.47%				
PVC 1.50% - 7	5.47%				
<b>Mediana</b>					

Fuente: Propia



### 3.5.31. Resistencia de mezclas bituminosas modificadas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207)

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- i. Vernier.
- ii. Cabezal de ruptura.
- iii. Máquina de carga a compresión Marshall.
- iv. Baño maría
- v. Termómetro.
- vi. Franela.
- vii. Aceite

#### b) Procedimiento

- i. Se tomaron las dimensiones de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas con el vernier, obteniendo 4 diámetros de los cuales 2 son diámetros superiores y 2 son diámetros inferiores; también se obtuvieron 4 valores de altura de los especímenes.



Figura 142: Determinación del espesor del espécimen de la mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia



Figura 143: Determinación del diámetro del espécimen de la mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia

- ii. Se determinaron los factores de corrección de los especímenes Marshall con ayuda de la siguiente tabla.



Tabla 98: Factores de corrección de estabilidad

Volumen del espécimen, cm <sup>3</sup>	Espesor del espécimen <sup>s</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,68 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (2016)

- iii. Los especímenes se colocaron en baño maría a  $60 \pm 1$  °C por un periodo de 30 a 40 minutos.

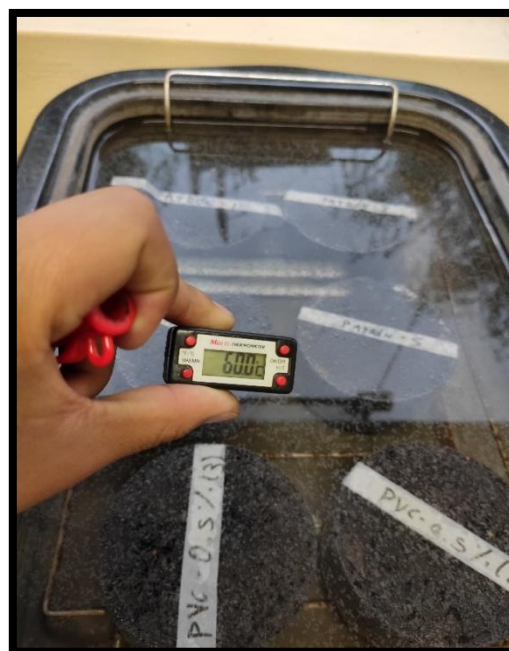
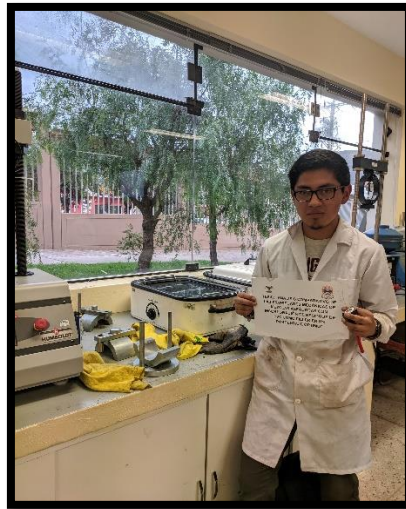


Figura 144: Especímenes de mezclas asfálticas modificadas sumergidas en baño maría a 60 °C

Fuente: Propia



- iv. Se lubricó las caras internas del cabezal de rotura para que se deslice libremente sobre los especímenes compactados. Luego de que los especímenes hayan estado inmersos por 30 minutos, se secaron con la franela y se colocaron dentro del cabezal de rotura.



*Figura 145: Preparación del cabezal de rotura para ensayar la resistencia de los especímenes de mezcla asfáltica modificada*

*Fuente: Propia*



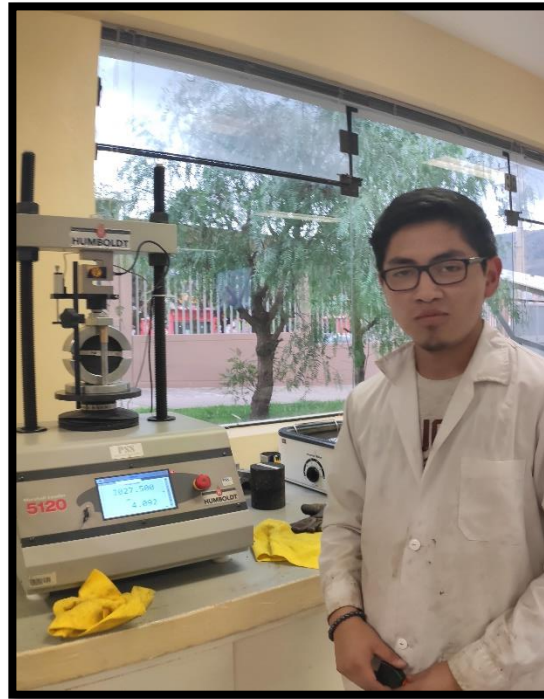
*Figura 146: Secado de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas con franela para ensayar su resistencia*

*Fuente: Propia*

- v. Se configuró la máquina de carga a compresión para que aplique una carga de compresión a una razón de 50 mm/min hasta que la carga decrezca. Se



registraron los valores de carga máxima (estabilidad) y la deformación correspondiente a la carga máxima (flujo).



*Figura 147: Configuración de la máquina de compresión Marshall para ensayar la resistencia del espécimen de mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Propia*

**c) Toma de datos**

La tabla de recolección de datos de este ensayo se muestra en la siguiente página:







### 3.6. Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E-204)

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. El peso total de la muestra ensayada de agregado grueso fue de 5,003.40 gramos, de los cuales se anotaron los pesos retenidos en cada tamiz en la columna de “PESO RETENIDO”.
- ii. En la siguiente columna se registró el porcentaje retenido de cada fracción retenida de agregado.

$$\% \text{ RETENIDO} = \frac{\text{PESO RETENIDO}}{\text{PESO TOTAL}}$$

- iii. En la columna que sigue se registró el peso retenido acumulado.

$$\text{PESO RETENIDO ACUMULADO} = \text{PESO RETENIDO}_i + \text{PESO RETENIDO}_{i-1}$$

- iv. En la columna que sigue se registró el porcentaje retenido acumulado.

$$\% \text{ RETENIDO ACUMULADO} = \% \text{ RETENIDO}_i + \% \text{ RETENIDO}_{i-1}$$

- v. Finalmente, en la última columna se registró el porcentaje que pasa de cada tamiz.




$$\% \text{ PASA} = 100\% - \% \text{ RETENIDO ACUMULADO}$$

##### b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados.



Tabla 100: Análisis granulométrico del agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°01</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)					
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Agregado Grueso					
<b>Muestra</b>	5003.40 gr.					
<b>Fecha</b>	2/03/2018					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.400	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	1034.40	20.67%	1034.40	20.67%	79.33%
3/8"	9.530	2381.56	47.60%	3415.96	68.27%	31.73%
N° 4	4.750	1587.44	31.73%	5003.40	100.00%	0.00%
N° 10	2.000	0.00	0.00%	5003.40	100.00%	0.00%
N° 40	0.420	0.00	0.00%	5003.40	100.00%	0.00%
N° 100	0.149	0.00	0.00%	5003.40	100.00%	0.00%
N° 200	0.074	0.00	0.00%	5003.40	100.00%	0.00%
FONDO	0.000	0.00	0.00%	5003.40	100.00%	0.00%
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO</b>						
<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>						
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	
	—●— Lim. Inf.	100%	100%	80%	70%	51%
	—■— Lim. Sup.	100%	100%	100%	88%	68%
	—▲— % QUE PASA	100.00%	100.00%	79.33%	31.73%	0.00%

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Con los datos procesados del análisis granulométrico del agregado grueso se pudo determinar la gradación del agregado grueso y se pudo graficar la curva granulométrica del mismo.

**3.6.2. Análisis granulométrico de agregados finos (MTC E-204)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. El peso total de la muestra ensayada de agregado fino para la arena natural fue de 1,058.77 gramos y para la arena triturada fue de 1,108.82; de los cuales se anotaron los pesos retenidos en cada tamiz en la columna de “PESO RETENIDO”.
- ii. En la siguiente columna se registró el porcentaje retenido de cada fracción retenida de agregado.

$$\% \text{ RETENIDO} = \frac{\text{PESO RETENIDO}}{\text{PESO TOTAL}}$$

- iii. En la columna que sigue se registró el peso retenido acumulado.

$$\text{PESO RETENIDO ACUMULADO} = \text{PESO RETENIDO}_i + \text{PESO RETENIDO}_{i-1}$$

- iv. En la columna que sigue se registró el porcentaje retenido acumulado.

$$\% \text{ RETENIDO ACUMULADO} = \% \text{ RETENIDO}_i + \% \text{ RETENIDO}_{i-1}$$

- v. Finalmente, en la última columna se registró el porcentaje que pasa de cada tamiz.



$$\% \text{ PASA} = 100\% - \% \text{ RETENIDO ACUMULADO}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En las siguientes tablas se muestran los cálculos realizados en la prueba:



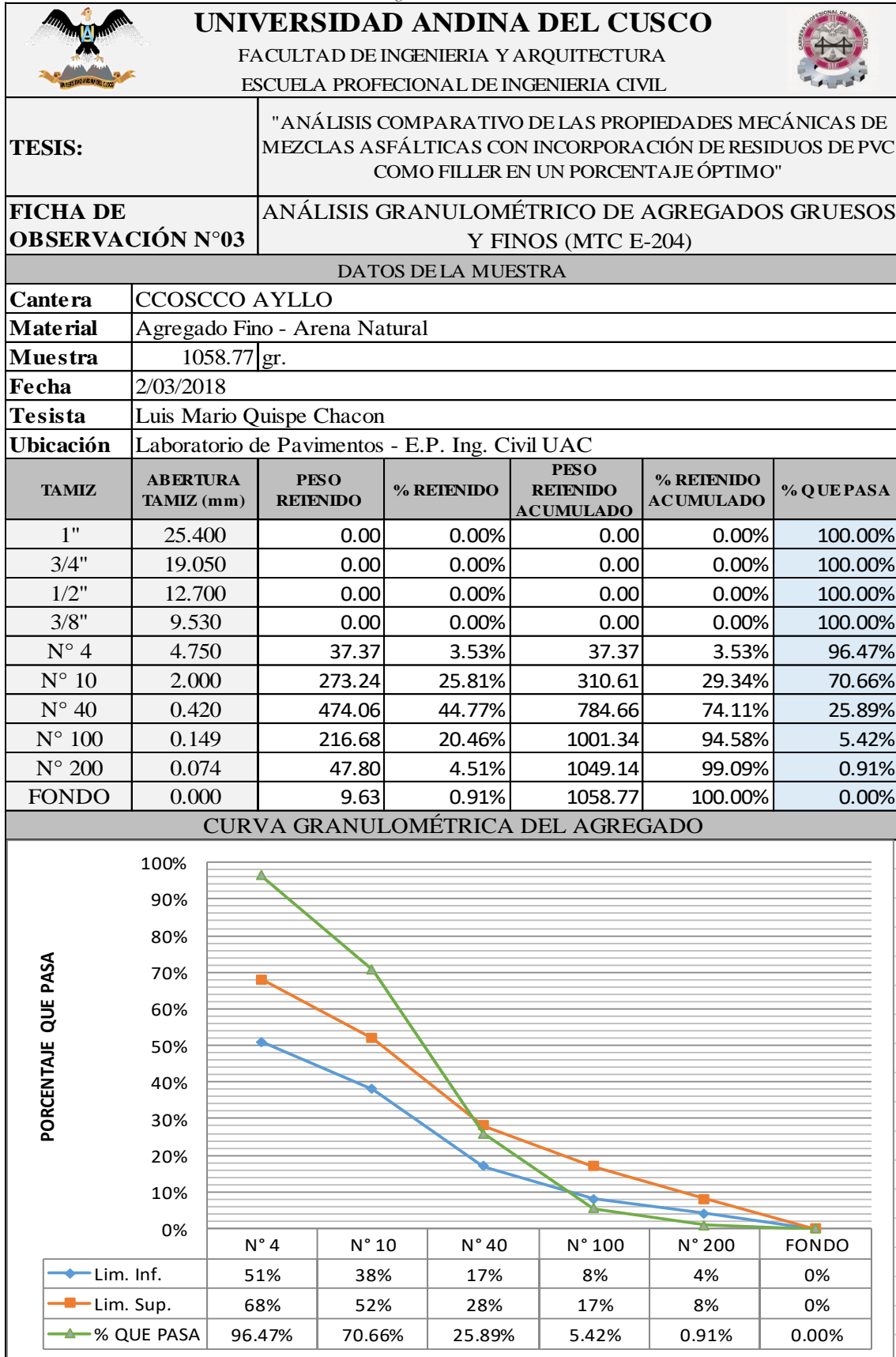
Tabla 101: Análisis granulométrico de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"						
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°02</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)						
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Triturada						
<b>Muestra</b>	1108.82 gr.						
<b>Fecha</b>	2/03/2018						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC						
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
1"	25.400	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
3/8"	9.530	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
N° 4	4.750	89.91	8.11%	89.91	8.11%	91.89%	
N° 10	2.000	392.74	35.42%	482.65	43.53%	56.47%	
N° 40	0.420	352.17	31.76%	834.82	75.29%	24.71%	
N° 100	0.149	172.12	15.52%	1006.94	90.81%	9.19%	
N° 200	0.074	95.53	8.62%	1102.47	99.43%	0.57%	
FONDO	0.000	6.35	0.57%	1108.82	100.00%	0.00%	
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO							
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO	
	Lim. Inf.	51%	38%	17%	8%	4%	0%
	Lim. Sup.	68%	52%	28%	17%	8%	0%
	% QUE PASA	91.89%	56.47%	24.71%	9.19%	0.57%	0.00%

Fuente: Propia



Tabla 102: Análisis granulométrico de la arena natural



Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Con los datos procesados del análisis granulométrico del agregado fino, tanto de la arena natural como de la arena triturada, y se pudo determinar la gradación del agregado fino y también se graficó la curva granulométrica del agregado fino.

**3.6.3. Resistencia a la abrasión de los agregados (MTC E-207)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se debe calcular el porcentaje de desgaste del agregado, el cual es la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra dividido entre el peso inicial de la muestra, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Desgaste (\%)} = \frac{P \text{ inicial} - P \text{ final}}{P \text{ inicial}} * 100$$

- ii. Aplicando la fórmula con los datos obtenidos se tiene lo siguiente:

$$\text{Desgaste (\%)} = \frac{5001.00 - 4018.30}{5001.00} * 100$$



$$\text{Desgaste (\%)} = 19.65 \% \cong 20.00 \%$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados en la prueba:



Tabla 103: Análisis de datos para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°04</b>	RESISTENCIA A LA ABRASION (MTC E-207)			
DATOS DE LA MUESTRA				
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO			
<b>Material</b>	Agregado Grueso			
<b>Muestra</b>	5001	gr.		
<b>Fecha</b>	6/03/2018			
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon			
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC			
TAMIZ	MÉTODO			
	GRADACIONES			
1 1/2"	A	B	C	D
1"		0.00		
3/4"		0.00		
1/2"		2503.30		
3/8"		2497.70		
1/4"		0.00		
N° 4		0.00		
Numero de esferas				11.00
Numero de revoluciones				500.00
Tiempo de rotación (min)				15.00
Peso total (gr)				5001.00
Retenido en la malla N° 10 (gr)				4018.30
Desgaste %				20.00%

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Se determinó la resistencia a la abrasión del agregado grueso, luego de ser sometido a la carga abrasiva producida por 11 billas por 500 revoluciones.
- ii. El porcentaje de desgaste obtenido fue de 20%, el cual cumple con los requerimientos de las normas E.G. 2013 y CE.010 los cuales establecen en el requerimiento un máximo de 35% de desgaste, por lo que el agregado grueso es apto para ser empleado en la elaboración de mezclas asfálticas.

### 3.6.4. Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E-210)

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba



### Cálculos para una cara fracturada

- i. El peso de la muestra a ensayar fue de 1,506.40 gr., de los cuales en la columna A se registraron los pesos de las fracciones de agregado retenido entre los tamices.
- ii. En la columna B se registraron los pesos de agregado con una cara fracturada en cada fracción de agregado retenido en los tamices.
- iii. En la columna C se calculó el porcentaje de agregado con una cara fracturada de cada fracción de agregado retenida en los tamices mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{B}{A} * 100$$

- iv. En la columna D se registró el porcentaje de agregado retenido en cada tamiz de acuerdo a lo calculado en la granulometría del agregado grueso.
- v. En la columna E se calculó el porcentaje de partículas con una cara fracturada de cada fracción retenida en los tamices, mediante la siguiente fórmula:

$$E = C * D$$

- vi. El porcentaje de partículas con una cara fracturada se calcula con aproximación al 1% mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Partículas con 1 cara fracturada} = \frac{\Sigma E}{\Sigma D}$$

### Cálculos para dos o más caras fracturadas:

- i. El peso de la muestra a ensayar fue de 1,506.40 gr., de los cuales en la columna A se registraron los pesos de las fracciones de agregado retenido entre los tamices.
- ii. En la columna B se registraron los pesos de agregado con dos o más caras fracturadas en cada fracción de agregado retenido en los tamices.
- iii. En la columna C se calculó el porcentaje de agregado con dos o más caras fracturadas de cada fracción de agregado retenida en los tamices mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{B}{A} * 100$$

- iv. En la columna D se registró el porcentaje de agregado retenido en cada tamiz de acuerdo a lo calculado en la granulometría del agregado grueso.





- v. En la columna E se calculó el porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas de cada fracción retenida en los tamices, mediante la siguiente fórmula:

$$E = C * D$$

- vi. El porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas se calcula con aproximación al 1% mediante la siguiente fórmula:



$$\% \text{ Partículas con 2 o más caras fracturadas} = \frac{\Sigma}{\Sigma D}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados en la prueba:



Tabla 104: Análisis de datos para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA				
		ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°05</b>		ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E-210)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Agregado Grueso					
<b>Muestra</b>	1506.40 gr.					
<b>Fecha</b>	12/03/2018					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PARA UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 1 cara fracturada	Porcentaje con 1 cara	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	311.40	302.70	97.21	20.67	2009.63
1/2"	3/8"	717.10	683.50	95.31	47.60	4536.85
3/8"	#4	477.90	420.60	88.01	31.73	2792.32
FONDO					0.00	
TOTALES		1506.40	1406.80	280.53	100	9338.81
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA (%) =				93%		
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMIZ		A	B	C	D	E
		Peso de muestra	Peso con 2 o más caras fracturadas	% con 2 o más caras fracturadas	% retenido gradación original	Promedio de caras fract.
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	311.40	256.30	82.31	20.67	1701.58
1/2"	3/8"	717.10	628.60	87.66	47.60	4172.44
3/8"	1/4"	477.90	383.70	80.29	31.73	2547.35
FONDO					0.00	
TOTALES		1506.40	1268.60	250.25	100.00	8421.37
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (%) =				84%		
RESULTADO						
Caras fracturadas del agregado grueso					93/84	

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Se determinó el porcentaje de partículas con una y con dos o más caras fracturadas del agregado grueso.
- ii. Luego de procesar los datos obtenidos al realizar el ensayo se calculó que se tiene 93% de partículas con una cara fracturada y se tiene un 84% de partículas con dos o más caras fracturadas, lo cual está dentro de los parámetros establecidos en la norma E.G. 2013 el cual establece un porcentaje mínimo de 90% de partículas con una cara fracturada y un porcentaje mínimo de 70% de partículas con dos o más caras fracturadas.

**3.6.5. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (MTC E-221)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

**Índice de aplanamiento:**

- i. Después de pasar las partículas por el calibrador de aplanamiento, el índice de partículas aplanadas de cada fracción del agregado se calcula en porcentaje como la relación entre el peso de partículas que pasan por el calibrador de aplanamiento ( $P_{ai}$ ) y el peso inicial ( $P_i$ ) de cada fracción del agregado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{índice de aplanamiento de la fracción } (I_{AP\ fi}) = \frac{P_{AP\ fi}}{P_{fi}} * 100$$

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_{AP}) = \frac{I_{AP\ 3/4''} + I_{AP\ 1/2''} + I_{AP\ 3/8''}}{3}$$

**Índice de alargamiento:**

- i. Después de pasar las partículas por el calibrador de alargamiento, el índice de partículas alargadas de cada fracción del agregado se calcula en porcentaje como la relación entre el peso de partículas que pasan por el calibrador de alargamiento ( $P_{li}$ ) y el peso inicial ( $P_i$ ) de cada fracción del agregado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{índice de alargamiento de la fracción } (I_{AL\ fi}) = \frac{P_{AL\ fi}}{P_{fi}} * 100$$



$$\text{Índice de alargamiento } (I_{AL}) = \frac{I_{AL\ 3/4''} + I_{AL\ 1/2''} + I_{AL\ 3/8''}}{3}$$

**Total:**

- i. Para calcular el total se suma el índice de aplanamiento con el índice de alargamiento, como se ve en la siguiente fórmula:

$$TOTAL = I_{AL} + I_{AP}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados en la prueba:

Tabla 105: Análisis de datos para determinar el índice de alargamiento y aplanamiento del agregado

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"							
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°06</b>		ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E-221)							
DATOS DE LA MUESTRA									
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO								
<b>Material</b>	Agregado Grueso								
<b>Fecha</b>	7/03/2018								
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon								
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC								
TAMIZ	TO TALES			PARTICULAS CHATAS			PARTICULAS ALARGADAS		
PASA	REHENE	N° PARTICULAS	PESO (gr)	N° PARTICULAS	PESO (gr)	IAP fi(%)	N° PARTICULAS	PESO (gr)	IAL fi(%)
2"	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	1/2"	200.00	1300.20	7.00	21.30	1.64	15.00	95.20	7.32
1/2"	3/8"	200.00	443.60	10.00	14.60	3.29	9.00	26.40	5.95
3/8"	1/4"	200.00	240.50	8.00	10.90	4.53	12.00	15.30	6.36
<b>TOTAL =</b>		600	1984.30	25.00	46.8	3.15	36.00	136.9	6.55
<b>CONTENIDO</b>				3.15%			6.55%		
RESULTADOS									
ÍNDICE DE APLANAMIENTO =		3.15%							
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =		6.55%							
TOTAL =		9.7%							

Fuente: Propia

**c) Análisis de la prueba**

- i. Se determinó el índice de alargamiento y aplanamiento del agregado grueso.
- ii. Luego de procesar los datos obtenidos al realizar el ensayo se determinó que el índice de alargamiento del agregado es de 6.55%, mientras que el índice de aplanamiento del agregado es de 3.15% haciendo un total de 9.7%. Dicho porcentaje está dentro de los parámetros indicados en la norma E.G. 2013 el cual



establece un porcentaje máximo del 10% y también cumple con los parámetros establecidos en la norma CE.010 el cual establece un porcentaje máximo de 15% por lo cual el agregado grueso cumple con los requerimientos exigidos en la norma.

### 3.6.6. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E-206)

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. Luego de realizar el ensayo se determinaron tres pesos en gramos, los cuales son los siguientes: peso de la muestra seca en el aire (A), peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (B) y el peso sumergido de la muestra saturada (C).
- ii. Para calcular el peso específico aparente del agregado ( $P_{ea}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

- iii. Para calcular el peso específico de masa (bulk) ( $P_{em}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$P_{em} = \frac{A}{B - C}$$

- iv. Para calcular el peso específico saturado superficialmente seco ( $P_{esss}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$P_{esss} = \frac{B}{B - C}$$

- v. Finalmente, para calcular el porcentaje de absorción del agregado grueso se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:



$$ABS (\%) = \frac{B - A}{A}$$

#### b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados en la prueba:



Tabla 106: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°07</b>		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E-206)			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Grueso				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			PROMEDIO
		1	2	3	
Peso de la muestra seca en el aire (gr)	A	3002.30	3000.50	3006.70	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr)	B	3014.30	3012.30	3018.80	
Peso en el agua de la muestra saturada sumergida (gr)	C	1925.60	1929.40	1932.50	
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea	2.788	2.801	2.799	2.80
Peso específico de masa (bulk)	Pem	2.758	2.771	2.768	2.77
Peso específico saturada superficialmente seca	PeSSS	2.769	2.782	2.779	2.78
Absorción	Abs (%)	0.40%	0.39%	0.40%	<b>0.40%</b>

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de realizar la prueba de laboratorio se determinaron el peso específico aparente ( $P_{ea}$ ), peso específico de masa ( $P_{em}$ ), peso específico saturado superficialmente seco ( $P_{esss}$ ) y porcentaje de absorción.
- ii. El valor calculado de absorción del agregado grueso cumple con los parámetros indicados en la norma E.G. 2013 y CE.010, los cuales establecen un valor máximo de 1%. Por lo tanto, el agregado grueso cumple con los requerimientos de las normas.

### 3.6.7. Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E-205)

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. Luego de realizar el ensayo se determinaron cuatro pesos, los cuales son los siguientes: peso en el aire del agregado seco al horno (A), peso del picnómetro aforado lleno de agua (B), peso del picnómetro aforado lleno con agua y agregado (C) y peso de la muestra saturada con superficie seca (D).
- ii. Para calcular el peso específico aparente ( $P_{ea}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:



$$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C}$$

- iii. Para calcular el peso específico de masa (bulk) ( $P_{em}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$P_{em} = \frac{A}{B + D - C}$$

- iv. Para calcular el peso específico saturado superficialmente seco ( $P_{esss}$ ) se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$P_{esss} = \frac{D}{B + D - C}$$

- v. Finalmente, para calcular el porcentaje de absorción del agregado fino se promediaron los tres valores obtenidos mediante la siguiente fórmula:

$$ABS(\%) = \frac{D - A}{A}$$

## b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:

Tabla 107: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°08</b>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (MTC E-205)				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Fino-Arena Triturada				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			
		1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)	A	500.00	500.00	500.00	-
Peso del picnometro aforado lleno de agua (gr)	B	642.00	642.10	642.00	-
Peso del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	C	957.20	956.90	957.00	-
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)	D	502.70	502.40	502.60	-
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea	2.71	2.70	2.70	2.70
Peso específico de masa (bulk)	Pem	2.67	2.67	2.67	2.67
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	PeSSS	2.68	2.68	2.68	2.68
Absorción	Abs (%)	0.540%	0.480%	0.520%	<b>0.51%</b>

Fuente: Propia



Tabla 108: Análisis de datos para determinar el peso específico y absorción de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°09</b>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (MTC E-205)				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO				
<b>Material</b>	Agregado Fino-Arena Natural				
<b>Fecha</b>	22/03/2018				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
DENOMINACIÓN		N° ENSAYO			
		1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire del agregado seco al horno (gr)	A	500.00	500.90	500.20	-
Peso del picnometro aforado lleno de agua (gr)	B	642.00	642.10	642.30	-
Peso del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	C	945.30	948.50	950.20	-
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)	D	503.60	504.00	503.80	-
Pesos específicos					
Peso específico aparente	Pea	2.54	2.58	2.60	2.57
Peso específico de masa (bulk)	Pem	2.50	2.53	2.55	2.53
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	PeSSS	2.51	2.55	2.57	2.55
Absorción	Abs (%)	0.72%	0.62%	0.72%	<b>0.69%</b>

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en la prueba se calcularon el peso específico aparente ( $P_{ea}$ ), peso específico de masa ( $P_{em}$ ), peso específico saturado superficialmente seco ( $P_{esss}$ ) y porcentaje de absorción.
- ii. Para la arena triturada, el valor calculado de absorción fue de 0.51%; el cual está por encima del parámetro establecido en la norma E.G. 2013 el cual establece un máximo de 0.50%, sin embargo, la norma E.G. 2013 establece que se aceptarán porcentajes mayores si es que se garantiza la resistencia de la mezcla asfáltica; del mismo modo el valor obtenido de absorción cumple con los parámetros de la norma CE.010 el cual establece que para altitudes mayores a 3000 m.s.n.m. el porcentaje máximo de absorción es según diseño. Por lo tanto, la arena triturada si es apta para emplearse en la mezcla asfáltica.
- iii. Para la arena natural, el valor calculado de absorción fue de 0.69%; el cual está por encima del parámetro establecido en la norma E.G. 2013 el cual establece un máximo de 0.50%, sin embargo, la norma E.G. 2013 establece que se aceptarán porcentajes mayores si es que se garantiza la resistencia de la mezcla





asfáltica; del mismo modo el valor obtenido de absorción cumple con los parámetros de la norma CE.010 el cual establece que para altitudes mayores a 3000 m.s.n.m. el porcentaje máximo de absorción es según diseño. Por lo tanto, la arena triturada si es apta para emplearse en la mezcla asfáltica.

### 3.6.8. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (MTC E-110 y MTC E-111)

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

##### Límite líquido:

- i. Para calcular el peso del agua ( $P_{\text{agua}}$ ) se restó el peso de la tara con la muestra húmeda ( $P_{\text{tara+muestra húmeda}}$ ) menos el peso de la tara con la muestra seca ( $P_{\text{tara+muestra seca}}$ ) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$P_{\text{agua}} = P_{\text{tara+muestra húmeda}} - P_{\text{tara+muestra seca}}$$

- ii. Para calcular el peso de la muestra seca ( $P_{\text{seco}}$ ) se restó el peso de la tara con la muestra seca ( $P_{\text{tara+muestra seca}}$ ) menos el peso de la tara ( $P_{\text{tara}}$ ) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$P_{\text{seco}} = P_{\text{tara+muestra seca}} - P_{\text{tara}}$$

- iii. Finalmente se calculó el contenido de humedad de las muestras ensayadas dividiendo el peso del agua ( $P_{\text{agua}}$ ) entre el peso de la muestra seca ( $P_{\text{seco}}$ ), con aproximación al 1%, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_{\text{agua}}}{P_{\text{seco}}}$$

- iv. Se graficaron la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada en una escala aritmética y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica trazando una línea de tendencia que pase sobre los puntos graficados.
- v. Finalmente, para determinar el límite líquido se tomó el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes.

##### Límite plástico:

- i. No presenta cálculos.



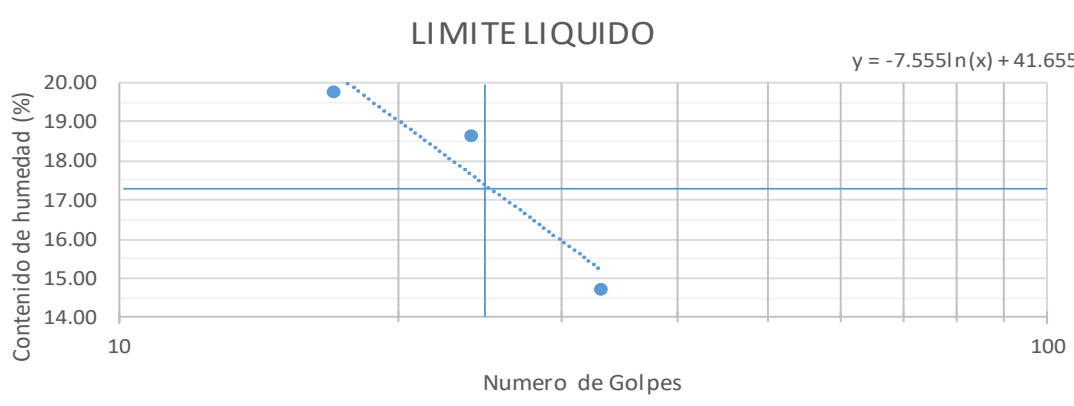


**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:





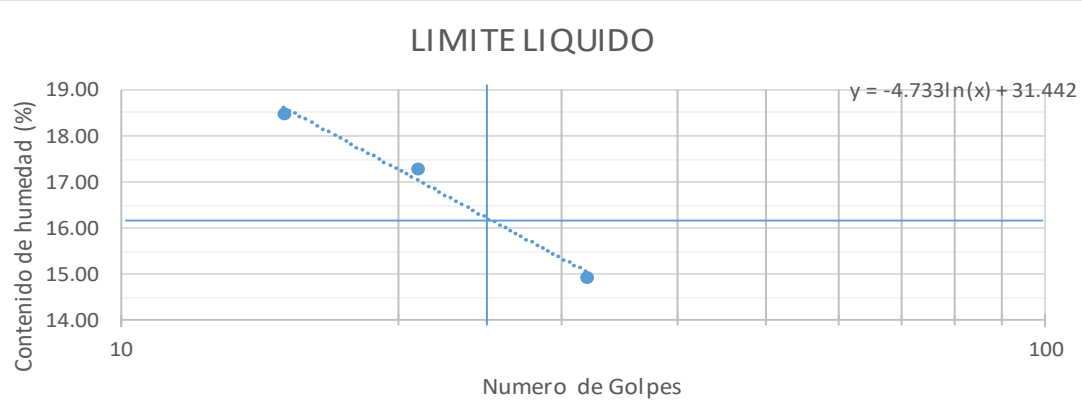
Tabla 109: Análisis de datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena triturada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 			
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°10</b>	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 - MTC E111)		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO		
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Triturada		
<b>Fecha</b>	20/03/2018		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
ITEM	LIMITE LIQUIDO (LL)		
	1	2	3
N° de Golpes	17	24	33
Recipiente	0001	0002	0003
Tara+ Muestra húmeda	37.40	43.60	41.50
Tara+ Muestra seca	33.80	39.24	38.15
Peso del recipiente	15.60	15.80	15.40
Peso agua	3.60	4.36	3.35
Peso de la muestra seca	18.20	23.44	22.75
% de humedad	19.78	18.62	14.73
LL (% humedad a 25 golpes)	17.34		
<div style="text-align: center;"> <b>LIMITE LIQUIDO</b>  <math>y = -7.555 \ln(x) + 41.655</math> </div> 			
ITEM	LIMITE PLASTICO (LP)		
	1	2	3
Recipiente	-	-	-
Tara+ Muestra húmeda	-	-	-
Tara+ Muestra seca	-	-	-
Peso del recipiente	-	-	-
Peso agua	-	-	-
Peso de la muestra seca	-	-	-
% de humedad	-	-	-
% de humedad promedio	NP		
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)			
$IP = LL - LP$	Límite líquido (LL)		17.34
	Límite plástico (LP)		NP
	Índice de plasticidad (IP)		NP

Fuente: Propia



Tabla 110: Análisis de datos para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°11</b>	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 - MTC E111)		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO		
<b>Material</b>	Agregado Fino - Arena Natural		
<b>Fecha</b>	20/03/2018		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
DENOMINACIÓN	LIMITE LIQUIDO (LL)		
	1	2	3
N° de Golpes	15	21	32
Recipiente N°	0004	0005	0006
R+ Muestra húmeda	40.70	44.30	46.40
R+ Muestra seca	36.80	40.10	42.40
Peso del recipiente	15.70	15.80	15.60
Peso del agua	3.90	4.20	4.00
Peso de la muestra seca	21.10	24.30	26.80
% de humedad	18.48	17.28	14.93
LL (% humedad a 25 golpes)	16.21		
<p style="text-align: center;"><b>LIMITE LIQUIDO</b></p> 			
ITEM	LIMITE PLASTICO (LP)		
	1	2	3
Recipiente	-	-	-
Tara+ Muestra húmeda	-	-	-
Tara+ Muestra seca	-	-	-
Peso del recipiente	-	-	-
Peso agua	-	-	-
Peso de la muestra seca	-	-	-
% de humedad	-	-	-
% de humedad promedio	NP		
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)			
$IP = LL - LP$	Límite líquido (LL)		16.21
	Límite plástico (LP)		NP
	Índice de plasticidad (IP)		NP

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en el ensayo se logró determinar el límite líquido de la arena natural y de la arena triturada, sin embargo, ambas arenas no presentan límite plástico y por ende tampoco presentan índice de plasticidad debido a que ambas arenas son no plásticas.
- ii. Para la arena triturada el límite líquido es de 17.34 y es no plástica por lo que no presenta límite plástico ni índice de plasticidad; lo cual cumple con los parámetros de las normas E.G. 2013 y CE.010, los cuales estableces que el agregado fino debe ser no plástico.
- iii. Para la arena natural el límite líquido es de 16.21 y es no plástica por lo que no presenta límite plástico ni índice de plasticidad; lo cual cumple con los parámetros de las normas E.G. 2013 y CE.010, los cuales estableces que el agregado fino debe ser no plástico.

**3.6.9. Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E-209)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular la pérdida de peso en gramos (C) se restó el peso retenido inicial de la fracción (A) menos el peso retenido final de la fracción (B) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$C = A - B$$

- ii. Para calcular la pérdida de peso en porcentaje (D) se dividió la pérdida de peso en gramos (C) entre el peso retenido inicial de la fracción (A) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$D = \frac{C}{A}$$

- iii. Para calcular el porcentaje retenido inicial (E) se dividió el peso retenido inicial de la fracción ( $A_i$ ) entre el peso inicial que es de 1301.63 gramos para el agregado grueso, 501 gramos para la arena natural y 501.24 gramos para la arena triturada; como se muestra en las siguientes fórmulas:

**Para agregado grueso:**

$$E = \frac{A_i}{1301.63} * 100$$



**Para arena natural:**

$$E = \frac{A_i}{501} * 100$$

**Para arena triturada:**

$$E = \frac{A_i}{501.24}$$

- iv. Para calcular el porcentaje de pérdidas corregidas (F) se multiplicó el porcentaje de pérdidas de peso (D) por el porcentaje retenido inicial (E) como se muestra en la siguiente fórmula:



$$F = D * E$$

- v. Finalmente, la pérdida total es la sumatoria del porcentaje de pérdidas corregidas (F).

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



*Tabla 111: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS A ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°12</b>		DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado grueso						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Alpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
				A	B		
3/4" - 1/2"	670±10	671.37	622.12	49.25	7.34%	51.58%	3.78%
1/2" - 3/8"	330±5	327.96	304.44	23.52	7.17%	25.20%	1.81%
3/8 - #4	300±5	302.30	281.55	20.75	6.86%	23.22%	1.59%
TOTAL		1301.63	1208.11	93.52		100.00%	7.18%

Fuente: Propia





Tabla 112: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°13</b>		DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado fino (Arena natural)						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Allpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
				A	B		
3/8 - #4	100.00	100.28	87.39	12.89	12.85%	20.02%	2.57%
#4 - #8	100.00	100.11	87.84	12.27	12.26%	19.98%	2.45%
#8 - #16	100.00	100.16	87.01	13.15	13.13%	19.99%	2.62%
#16 - #30	100.00	100.21	87.46	12.75	12.72%	20.00%	2.54%
#30 - #50	100.00	100.24	88.72	11.52	11.49%	20.01%	2.30%
TOTAL		501.00	438.42	62.58		100.00%	12.49%

Fuente: Propia

Tabla 113: Análisis de datos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°14</b>		DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO						
<b>Material</b>	Agregado fino (Arena triturada)						
<b>Fecha</b>	20/06/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio Allpa Kamachiq						
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
Tamaño	Peso retenido requerido (gr)	Peso retenido inicial (gr)	Peso retenido final (gr)	Pérdida de peso		% Retenido inicial	Pérdidas corregidas (%)
				gr.	%		
				A	B		
3/8 - #4	100.00	100.38	88.27	12.11	12.06%	20.03%	2.42%
#4 - #8	100.00	100.25	87.82	12.43	12.40%	20.00%	2.48%
#8 - #16	100.00	100.33	85.96	14.37	14.32%	20.02%	2.87%
#16 - #30	100.00	100.17	86.19	13.98	13.96%	19.98%	2.79%
#30 - #50	100.00	100.11	88.99	11.12	11.11%	19.97%	2.22%
TOTAL		501.24	437.23	64.01		100.00%	12.77%

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se determinó la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso, de la arena natural y de la arena triturada.
- ii. Para el agregado grueso se tiene una durabilidad al sulfato de magnesio de 7.18%, el cual cumple con los requerimientos de la norma E.G. 2013 que establece un máximo de 15% y de la norma CE.010 que establece un máximo de 10%.
- iii. Para la arena natural se tiene una durabilidad al sulfato de magnesio de 12.49%, el cual cumple con los requerimientos de la norma E.G. 2013 que establece un máximo de 18%.
- iv. Para la arena triturada se tiene una durabilidad al sulfato de magnesio de 12.77%, el cual cumple con los requerimientos de la norma E.G. 2013 que establece un máximo de 18%.

**3.6.10. Combinación de agregados para huso granulométrico MAC-2**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

**Para el agregado grueso:**

- i. Se estableció que el porcentaje de participación del agregado grueso en la mezcla asfáltica es de 28.00%.
- ii. En la columna del agregado grueso se colocó el porcentaje que pasa de los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°100 y N°200, los porcentajes pasantes de cada fracción se multiplican por el porcentaje de participación del agregado grueso de 28.00%.

1"	=	100.00%	*	28.00%	=	28.00%
3/4"	=	100.00%	*	28.00%	=	28.00%
1/2"	=	79.33%	*	28.00%	=	22.21%
3/8"	=	31.73%	*	28.00%	=	8.88%
N° 4	=	0.00%	*	28.00%	=	0.00%
N° 10	=	0.00%	*	28.00%	=	0.00%
N° 40	=	0.00%	*	28.00%	=	0.00%
N° 100	=	0.00%	*	28.00%	=	0.00%
N° 200	=	0.00%	*	28.00%	=	0.00%





**Para la arena triturada:**

- i. Se estableció que el porcentaje de participación de la arena triturada en la mezcla asfáltica es de 50.00%.
- ii. En la columna de la arena triturada se colocó el porcentaje que pasa de los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°100 y N°200, los porcentajes pasantes de cada fracción se multiplican por el porcentaje de participación de la arena triturada de 50.00%.

1"	=	100.00%	*	50.00%	=	50.00%
3/4"	=	100.00%	*	50.00%	=	50.00%
1/2"	=	100.00%	*	50.00%	=	50.00%
3/8"	=	100.00%	*	50.00%	=	50.00%
N° 4	=	91.89%	*	50.00%	=	45.95%
N° 10	=	56.47%	*	50.00%	=	28.24%
N° 40	=	24.71%	*	50.00%	=	12.36%
N° 100	=	9.19%	*	50.00%	=	4.59%
N° 200	=	0.57%	*	50.00%	=	0.29%

**Para la arena natural:**

- i. Se estableció que el porcentaje de participación de la arena natural en la mezcla asfáltica es de 18.00%.
- ii. En la columna de la arena natural se colocó el porcentaje que pasa de los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°100 y N°200, los porcentajes pasantes de cada fracción se multiplican por el porcentaje de participación de la arena natural de 18.00%.

1"	=	100.00%	*	18.00%	=	18.00%
3/4"	=	100.00%	*	18.00%	=	18.00%
1/2"	=	100.00%	*	18.00%	=	18.00%
3/8"	=	100.00%	*	18.00%	=	18.00%
N° 4	=	96.47%	*	18.00%	=	17.36%
N° 10	=	70.66%	*	18.00%	=	12.72%
N° 40	=	25.89%	*	18.00%	=	4.66%
N° 100	=	5.42%	*	18.00%	=	0.98%
N° 200	=	0.91%	*	18.00%	=	0.16%



**Para el filler:**

- i. Se estableció que el porcentaje de participación del filler en la mezcla asfáltica es de 4.00%.
- ii. En la columna del filler se colocó el porcentaje que pasa de los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°100 y N°200, los porcentajes pasantes de cada fracción se multiplican por el porcentaje de participación del filler de 4.00%.

1"	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
3/4"	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
1/2"	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
3/8"	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
N° 4	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
N° 10	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
N° 40	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
N° 100	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%
N° 200	=	100.00%	*	4.00%	=	4.00%

**Finalmente:**

- i. Para calcular el porcentaje que pasa de la combinación de agregado que se realizó la suma del porcentaje de incidencia del porcentaje de agregado grueso más el porcentaje de arena natural más el porcentaje de arena triturada más el porcentaje de filler, como se muestra a continuación:



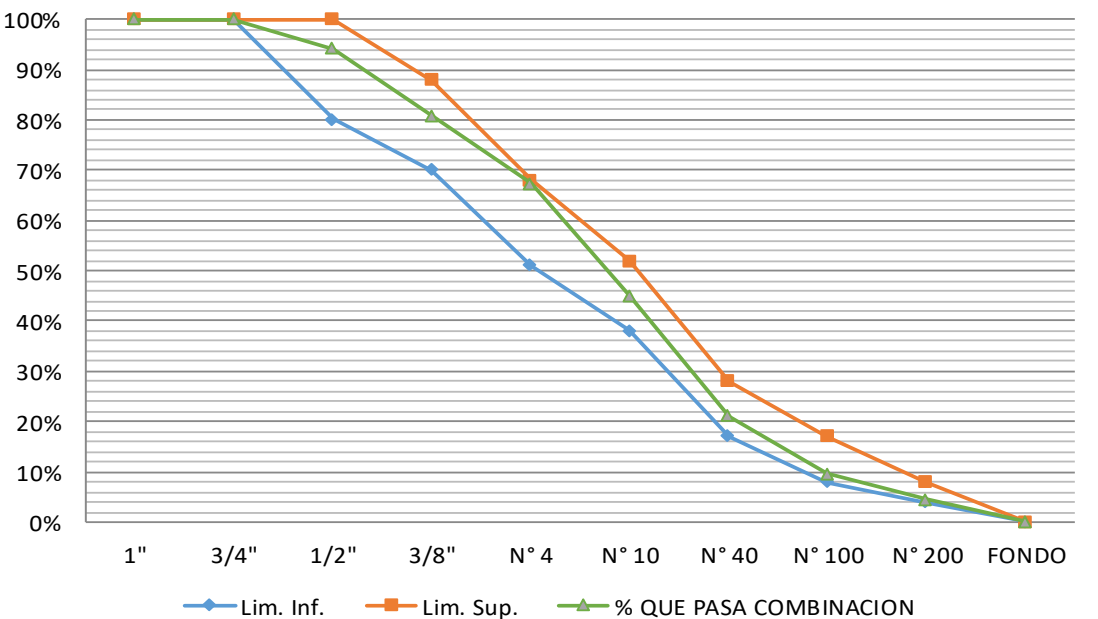
1"	=	28.00%	+	50.00%	+	18.00%	+	4.00%	=	100.00%
3/4"	=	28.00%	+	50.00%	+	18.00%	+	4.00%	=	100.00%
1/2"	=	22.21%	+	50.00%	+	18.00%	+	4.00%	=	94.21%
3/8"	=	8.88%	+	50.00%	+	18.00%	+	4.00%	=	80.88%
N° 4	=	0.00%	+	45.95%	+	17.36%	+	4.00%	=	67.31%
N° 10	=	0.00%	+	28.24%	+	12.72%	+	4.00%	=	44.96%
N° 40	=	0.00%	+	12.36%	+	4.66%	+	4.00%	=	21.02%
N° 100	=	0.00%	+	4.59%	+	0.98%	+	4.00%	=	9.57%
N° 200	=	0.00%	+	0.29%	+	0.16%	+	4.00%	=	4.45%

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 114 Análisis de datos para realizar la combinación de agregados para elaborar mezclas asfálticas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN N°15</b>		COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA PARA HUSO GRANULOMÉTRICO MAC-2				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Cantera</b>	CCOSCCO AYLLO					
<b>Material</b>	Combinación de agregados					
<b>Fecha</b>	19/08/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
MATERIALES						
Agregado Grueso		Arena Triturada		Arena Natural		Filler
28.00%		50.00%		18.00%		4.00%
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	% que pasa				% QUE PASA COMBINACION
		Agregado Grueso	Arena Triturada	Arena Natural	Filler	
1"	25.400	28.00%	50.00%	18.00%	4.00%	100.00%
3/4"	19.050	28.00%	50.00%	18.00%	4.00%	100.00%
1/2"	12.700	22.21%	50.00%	18.00%	4.00%	94.21%
3/8"	9.530	8.88%	50.00%	18.00%	4.00%	80.88%
N° 4	4.750	0.00%	45.95%	17.36%	4.00%	67.31%
N° 10	2.000	0.00%	28.24%	12.72%	4.00%	44.96%
N° 40	0.420	0.00%	12.36%	4.66%	4.00%	21.02%
N° 100	0.149	0.00%	4.59%	0.98%	4.00%	9.57%
N° 200	0.074	0.00%	0.29%	0.16%	4.00%	4.45%
FONDO	0.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO						
						

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se determinó el porcentaje que pasa de la combinación de agregados para elaborar mezclas asfálticas y se pudo graficar la curva granulométrica de la combinación de agregados.
- ii. Luego de graficar la curva granulométrica se observa que la curva generada por la combinación de agregados está dentro de los límites establecidos en la norma E.G. 2013.

**3.6.11. Dosificación de agregado y preparación de mezclas asfálticas en caliente**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Primero se calculó el peso del cemento asfáltico para cada porcentaje de asfalto multiplicando el peso de los especímenes a compactar de 1200 gramos por el porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{asfalto} = \%_{asfalto} * 1200$$

Para 4.00% de asfalto	=	1200	gr.	*	4.00%	=	48.00	gr.
Para 4.50% de asfalto	=	1200	gr.	*	4.50%	=	54.00	gr.
Para 5.00% de asfalto	=	1200	gr.	*	5.00%	=	60.00	gr.
Para 5.50% de asfalto	=	1200	gr.	*	5.50%	=	66.00	gr.
Para 6.00% de asfalto	=	1200	gr.	*	6.00%	=	72.00	gr.
Para 6.50% de asfalto	=	1200	gr.	*	6.50%	=	78.00	gr.
Para 7.00% de asfalto	=	1200	gr.	*	7.00%	=	84.00	gr.

- ii. Luego se calculó el peso de los agregados en la mezcla asfáltica restando el peso de los especímenes a compactar (1200 gramos) menos el peso del cemento asfáltico de cada porcentaje, como se muestra a continuación:

$$P_{agregados} = 1200 - P_{asfalto}$$

Para 4.00% de asfalto	=	1200	-	48.00	=	1152.00	gr.
Para 4.50% de asfalto	=	1200	-	54.00	=	1146.00	gr.
Para 5.00% de asfalto	=	1200	-	60.00	=	1140.00	gr.
Para 5.50% de asfalto	=	1200	-	66.00	=	1134.00	gr.
Para 6.00% de asfalto	=	1200	-	72.00	=	1128.00	gr.
Para 6.50% de asfalto	=	1200	-	78.00	=	1122.00	gr.
Para 7.00% de asfalto	=	1200	-	84.00	=	1116.00	gr.

- iii. Para calcular el porcentaje retenido parcial del agregado se restó el porcentaje que pasa de las fracciones de agregado de la combinación de agregados con el porcentaje que pasa de la fracción mayor de la combinación de agregados, así



por ejemplo se restó el porcentaje pasante del tamiz 3/8" menos el porcentaje pasante del tamiz 1/2" para calcular el porcentaje retenido parcial del tamiz 3/8"; como se muestra a continuación:

$$\% \text{ Retenido}_i = \% \text{ Pasa}_i - \% \text{ Pasa}_{i-1}$$

% Retenido 3/4"	=	100.00%	-	100.00%	=	0.00%
% Retenido 1/2"	=	100.00%	-	94.21%	=	5.79%
% Retenido 3/8"	=	94.21%	-	80.88%	=	13.33%
% Retenido #4	=	80.88%	-	67.31%	=	13.57%
% Retenido #10	=	67.31%	-	44.96%	=	22.35%
% Retenido #40	=	44.96%	-	21.02%	=	23.94%
% Retenido #100	=	21.02%	-	9.57%	=	11.45%
% Retenido #200	=	9.57%	-	4.45%	=	5.12%
% Retenido FILLER	=	4.45%	-	0.00%	=	4.45%

#### Agregados por mallas:

- Para calcular el peso de agregado para la mezcla de cada fracción de la granulometría se multiplicó el porcentaje retenido parcial de la fracción por el peso de agregado de la mezcla para cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{fi} = \% \text{ Retenido}_i * P_{\text{agregado}}$$

#### Para 4.00% de asfalto:

3/4"	=	0.00%	*	1152.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1152.00	=	66.69	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1152.00	=	153.53	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1152.00	=	156.36	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1152.00	=	257.53	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1152.00	=	275.79	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1152.00	=	131.85	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1152.00	=	58.99	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1152.00	=	51.26	gr.

#### Para 4.50% de asfalto:

3/4"	=	0.00%	*	1146.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1146.00	=	66.34	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1146.00	=	152.73	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1146.00	=	155.55	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1146.00	=	256.19	gr.



N° 40	=	23.94%	*	1146.00	=	274.35	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1146.00	=	131.16	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1146.00	=	58.68	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1146.00	=	51.00	gr.

**Para 5.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	1140.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1140.00	=	65.99	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1140.00	=	151.94	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1140.00	=	154.74	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1140.00	=	254.85	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1140.00	=	272.91	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1140.00	=	130.47	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1140.00	=	58.37	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1140.00	=	50.73	gr.

**Para 5.50% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	1134.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1134.00	=	65.64	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1134.00	=	151.14	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1134.00	=	153.92	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1134.00	=	253.50	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1134.00	=	271.48	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1134.00	=	129.79	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1134.00	=	58.07	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1134.00	=	50.46	gr.

**Para 6.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	1128.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1128.00	=	65.30	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1128.00	=	150.34	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1128.00	=	153.11	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1128.00	=	252.16	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1128.00	=	270.04	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1128.00	=	129.10	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1128.00	=	57.76	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1128.00	=	50.20	gr.

**Para 6.50% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	1122.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1122.00	=	64.95	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1122.00	=	149.54	gr.



N° 4	=	13.57%	*	1122.00	=	152.29	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1122.00	=	250.82	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1122.00	=	268.60	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1122.00	=	128.41	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1122.00	=	57.45	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1122.00	=	49.93	gr.

**Para 7.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	1116.00	=	0.00	gr.
1/2"	=	5.79%	*	1116.00	=	64.60	gr.
3/8"	=	13.33%	*	1116.00	=	148.74	gr.
N° 4	=	13.57%	*	1116.00	=	151.48	gr.
N° 10	=	22.35%	*	1116.00	=	249.48	gr.
N° 40	=	23.94%	*	1116.00	=	267.17	gr.
N° 100	=	11.45%	*	1116.00	=	127.73	gr.
N° 200	=	5.12%	*	1116.00	=	57.14	gr.
FILLER	=	4.45%	*	1116.00	=	49.66	gr.

**Pesos por tipo de agregado:**

- i. Para calcular el peso del agregado grueso de la mezcla asfáltica se multiplicó el porcentaje de agregado grueso (28.00%) por el peso de agregados en la mezcla de cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.G.} = 28\% * P_{agregado}$$

Peso A.G. para 4.00%	=	28.00%	*	1152.00	=	322.56	gr.
Peso A.G. para 4.50%	=	28.00%	*	1146.00	=	320.88	gr.
Peso A.G. para 5.00%	=	28.00%	*	1140.00	=	319.20	gr.
Peso A.G. para 5.50%	=	28.00%	*	1134.00	=	317.52	gr.
Peso A.G. para 6.00%	=	28.00%	*	1128.00	=	315.84	gr.
Peso A.G. para 6.50%	=	28.00%	*	1122.00	=	314.16	gr.
Peso A.G. para 7.00%	=	28.00%	*	1116.00	=	312.48	gr.

- ii. Para calcular el peso de la arena triturada de la mezcla asfáltica se multiplicó el porcentaje de arena triturada (50.00%) por el peso de agregados en la mezcla de cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.T.} = 50\% * P_{agregado}$$

Peso A.T. para 4.00%	=	50.00%	*	1152.00	=	576.00	gr.
Peso A.T. para 4.50%	=	50.00%	*	1146.00	=	573.00	gr.
Peso A.T. para 5.00%	=	50.00%	*	1140.00	=	570.00	gr.
Peso A.T. para 5.50%	=	50.00%	*	1134.00	=	567.00	gr.



Peso A.T. para 6.00%	=	50.00%	*	1128.00	=	564.00	gr.
Peso A.T. para 6.50%	=	50.00%	*	1122.00	=	561.00	gr.
Peso A.T. para 7.00%	=	50.00%	*	1116.00	=	558.00	gr.

- iii. Para calcular el peso de la arena natural de la mezcla asfáltica se multiplicó el porcentaje de arena natural (18.00%) por el peso de agregados en la mezcla de cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.N.} = 18\% * P_{agregado}$$

Peso A.N. para 4.00%	=	18.00%	*	1152.00	=	207.36	gr.
Peso A.N. para 4.50%	=	18.00%	*	1146.00	=	206.28	gr.
Peso A.N. para 5.00%	=	18.00%	*	1140.00	=	205.20	gr.
Peso A.N. para 5.50%	=	18.00%	*	1134.00	=	204.12	gr.
Peso A.N. para 6.00%	=	18.00%	*	1128.00	=	203.04	gr.
Peso A.N. para 6.50%	=	18.00%	*	1122.00	=	201.96	gr.
Peso A.N. para 7.00%	=	18.00%	*	1116.00	=	200.88	gr.

- iv. Para calcular el peso del filler de la mezcla asfáltica se multiplicó el porcentaje de filler (4.00%) por el peso de agregados en la mezcla de cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{filler} = 4\% * P_{agregado}$$

Peso filler para 4.00%	=	4.00%	*	1152.00	=	46.08	gr.
Peso filler para 4.50%	=	4.00%	*	1146.00	=	45.84	gr.
Peso filler para 5.00%	=	4.00%	*	1140.00	=	45.60	gr.
Peso filler para 5.50%	=	4.00%	*	1134.00	=	45.36	gr.
Peso filler para 6.00%	=	4.00%	*	1128.00	=	45.12	gr.
Peso filler para 6.50%	=	4.00%	*	1122.00	=	44.88	gr.
Peso filler para 7.00%	=	4.00%	*	1116.00	=	44.64	gr.

#### Dosificación en peso del agregado grueso:

- i. Para calcular la dosificación en peso del agregado grueso se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría del agregado grueso por el peso de agregado grueso ( $P_{A.G.}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{A.G.fi} = \%ret.* P_{A.G.}$$

#### Para 4.00% de asfalto:

3/4"	=	0.00%	*	322.56	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	322.56	=	66.69





3/8"	=	47.60%	*	322.56	=	153.53
N° 4	=	31.73%	*	322.56	=	102.34
N° 10	=	0.00%	*	322.56	=	0.00

**Para 4.50% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	320.88	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	320.88	=	66.34
3/8"	=	47.60%	*	320.88	=	152.73
N° 4	=	31.73%	*	320.88	=	101.81
N° 10	=	0.00%	*	320.88	=	0.00

**Para 5.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	319.2	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	319.2	=	65.99
3/8"	=	47.60%	*	319.2	=	151.94
N° 4	=	31.73%	*	319.2	=	101.27
N° 10	=	0.00%	*	319.2	=	0.00

**Para 5.50% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	317.52	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	317.52	=	65.64
3/8"	=	47.60%	*	317.52	=	151.14
N° 4	=	31.73%	*	317.52	=	100.74
N° 10	=	0.00%	*	317.52	=	0.00

**Para 6.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	315.84	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	315.84	=	65.30
3/8"	=	47.60%	*	315.84	=	150.34
N° 4	=	31.73%	*	315.84	=	100.21
N° 10	=	0.00%	*	315.84	=	0.00

**Para 6.50% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	314.16	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	314.16	=	64.95
3/8"	=	47.60%	*	314.16	=	149.54
N° 4	=	31.73%	*	314.16	=	99.67
N° 10	=	0.00%	*	314.16	=	0.00

**Para 7.00% de asfalto:**

3/4"	=	0.00%	*	312.48	=	0.00
1/2"	=	20.67%	*	312.48	=	64.60



3/8"	=	47.60%	*	312.48	=	148.74
N° 4	=	31.73%	*	312.48	=	99.14
N° 10	=	0.00%	*	312.48	=	0.00

**Dosificación en peso de la arena triturada:**

- i. Para calcular la dosificación en peso de la arena triturada se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría de la arena triturada por el peso de la arena triturada ( $P_{A.T.}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{A.T.fi} = \%ret.* P_{A.T.}$$

**Para 4.00% de asfalto:**

N° 4	=	8.11%	*	576.00	=	46.71
N° 10	=	35.42%	*	576.00	=	204.02
N° 40	=	31.76%	*	576.00	=	182.94
N° 100	=	15.52%	*	576.00	=	89.41
N° 200	=	8.62%	*	576.00	=	49.63
FILLER	=	0.57%	*	576.00	=	3.30

**Para 4.50% de asfalto:**

N° 4	=	8.11%	*	573.00	=	46.46
N° 10	=	35.42%	*	573.00	=	202.95
N° 40	=	31.76%	*	573.00	=	181.99
N° 100	=	15.52%	*	573.00	=	88.95
N° 200	=	8.62%	*	573.00	=	49.37
FILLER	=	0.57%	*	573.00	=	3.28

**Para 5.00% de asfalto:**

N° 4	=	8.11%	*	570.00	=	46.22
N° 10	=	35.42%	*	570.00	=	201.89
N° 40	=	31.76%	*	570.00	=	181.04
N° 100	=	15.52%	*	570.00	=	88.48
N° 200	=	8.62%	*	570.00	=	49.11
FILLER	=	0.57%	*	570.00	=	3.26

**Para 5.50% de asfalto:**

N° 4	=	8.11%	*	567.00	=	45.98
N° 10	=	35.42%	*	567.00	=	200.83
N° 40	=	31.76%	*	567.00	=	180.08
N° 100	=	15.52%	*	567.00	=	88.01
N° 200	=	8.62%	*	567.00	=	48.85



$$\text{FILLER} = 0.57\% * 567.00 = 3.25$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 4 &= 8.11\% * 564.00 = 45.73 \\ \text{N}^\circ 10 &= 35.42\% * 564.00 = 199.77 \\ \text{N}^\circ 40 &= 31.76\% * 564.00 = 179.13 \\ \text{N}^\circ 100 &= 15.52\% * 564.00 = 87.55 \\ \text{N}^\circ 200 &= 8.62\% * 564.00 = 48.59 \\ \text{FILLER} &= 0.57\% * 564.00 = 3.23 \end{aligned}$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 4 &= 8.11\% * 561.00 = 45.49 \\ \text{N}^\circ 10 &= 35.42\% * 561.00 = 198.70 \\ \text{N}^\circ 40 &= 31.76\% * 561.00 = 178.18 \\ \text{N}^\circ 100 &= 15.52\% * 561.00 = 87.08 \\ \text{N}^\circ 200 &= 8.62\% * 561.00 = 48.33 \\ \text{FILLER} &= 0.57\% * 561.00 = 3.21 \end{aligned}$$

**Para 7.00% de asfalto:**

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 4 &= 8.11\% * 558.00 = 45.25 \\ \text{N}^\circ 10 &= 35.42\% * 558.00 = 197.64 \\ \text{N}^\circ 40 &= 31.76\% * 558.00 = 177.23 \\ \text{N}^\circ 100 &= 15.52\% * 558.00 = 86.62 \\ \text{N}^\circ 200 &= 8.62\% * 558.00 = 48.07 \\ \text{FILLER} &= 0.57\% * 558.00 = 3.20 \end{aligned}$$

**Dosificación en peso de la arena natural:**

- i. Para calcular en peso la dosificación de la arena natural se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría de la arena natural por el peso de la arena natural ( $P_{A.N.}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{A.N.fi} = \%ret.* P_{A.N.}$$

**Para 4.00% de asfalto:**

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 4 &= 3.53\% * 207.36 = 7.32 \\ \text{N}^\circ 10 &= 25.81\% * 207.36 = 53.51 \\ \text{N}^\circ 40 &= 44.77\% * 207.36 = 92.84 \\ \text{N}^\circ 100 &= 20.46\% * 207.36 = 42.44 \\ \text{N}^\circ 200 &= 4.51\% * 207.36 = 9.36 \\ \text{FILLER} &= 0.91\% * 207.36 = 1.89 \end{aligned}$$

**Para 4.50% de asfalto:**



N° 4	=	3.53%	*	206.28	=	7.28
N° 10	=	25.81%	*	206.28	=	53.23
N° 40	=	44.77%	*	206.28	=	92.36
N° 100	=	20.46%	*	206.28	=	42.21
N° 200	=	4.51%	*	206.28	=	9.31
FILLER	=	0.91%	*	206.28	=	1.88

**Para 5.00% de asfalto:**

N° 4	=	3.53%	*	205.20	=	7.24
N° 10	=	25.81%	*	205.20	=	52.96
N° 40	=	44.77%	*	205.20	=	91.88
N° 100	=	20.46%	*	205.20	=	41.99
N° 200	=	4.51%	*	205.20	=	9.26
FILLER	=	0.91%	*	205.20	=	1.87

**Para 5.50% de asfalto:**

N° 4	=	3.53%	*	204.12	=	7.20
N° 10	=	25.81%	*	204.12	=	52.68
N° 40	=	44.77%	*	204.12	=	91.39
N° 100	=	20.46%	*	204.12	=	41.77
N° 200	=	4.51%	*	204.12	=	9.22
FILLER	=	0.91%	*	204.12	=	1.86

**Para 6.00% de asfalto:**

N° 4	=	3.53%	*	203.04	=	7.17
N° 10	=	25.81%	*	203.04	=	52.40
N° 40	=	44.77%	*	203.04	=	90.91
N° 100	=	20.46%	*	203.04	=	41.55
N° 200	=	4.51%	*	203.04	=	9.17
FILLER	=	0.91%	*	203.04	=	1.85

**Para 6.50% de asfalto:**

N° 4	=	3.53%	*	201.96	=	7.13
N° 10	=	25.81%	*	201.96	=	52.12
N° 40	=	44.77%	*	201.96	=	90.43
N° 100	=	20.46%	*	201.96	=	41.33
N° 200	=	4.51%	*	201.96	=	9.12
FILLER	=	0.91%	*	201.96	=	1.84

**Para 7.00% de asfalto:**

N° 4	=	3.53%	*	200.88	=	7.09
N° 10	=	25.81%	*	200.88	=	51.84



N° 40	=	44.77%	*	200.88	=	89.94
N° 100	=	20.46%	*	200.88	=	41.11
N° 200	=	4.51%	*	200.88	=	9.07
FILLER	=	0.91%	*	200.88	=	1.83

**Dosificación en peso del filler:**

- i. Para calcular en peso la dosificación del filler se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría del filler por el peso del filler ( $P_{\text{filler}}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{\text{filler}.fi} = \%ret.* P_{\text{filler}}$$

FILLER para 4.00% de asfalto	=	100.00%	*	46.08	=	46.08
FILLER para 4.50% de asfalto	=	100.00%	*	45.84	=	45.84
FILLER para 5.00% de asfalto	=	100.00%	*	45.60	=	45.60
FILLER para 5.50% de asfalto	=	100.00%	*	45.36	=	45.36
FILLER para 6.00% de asfalto	=	100.00%	*	45.12	=	45.12
FILLER para 6.50% de asfalto	=	100.00%	*	44.88	=	44.88
FILLER para 7.00% de asfalto	=	100.00%	*	44.64	=	44.64

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:





**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se obtuvieron los valores de dosificación de agregados y cemento asfáltico para preparar mezclas asfálticas.

**3.6.12. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular el peso específico de la muestra compactada se dividió el peso del espécimen seco en gramos ( $W_d$ ) entre la diferencia del peso del espécimen en condición saturada superficialmente seca en gramos ( $W_{ssd}$ ) con el peso del espécimen sumergido en gramos ( $W_{sum}$ ), como se muestra a continuación:

$$Gsb = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{sum}}$$



- ii. Luego de calcular el peso específico de los especímenes compactados se promediaron los pesos específicos de los especímenes con el mismo porcentaje de asfalto.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 116: Análisis de datos para calcular el peso específico de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 						
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°17		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DE LA MUESTRA						
Material	Mezcla asfáltica					
Fecha	17/09/2019					
Tesista	Luis Mario Quispe Chacon					
Ubicación	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PROBETA	% ASFALTO	Wd	Wssd	Wsum	Gsb	PROM
1	4.00%	1192.60	1196.10	677.60	2.300	2.31
2	4.00%	1194.90	1198.80	677.00	2.290	
3	4.00%	1191.30	1194.30	684.80	2.338	
4	4.00%	1198.50	1201.80	687.00	2.328	
5	4.00%	1196.70	1199.50	682.80	2.316	
1	4.50%	1193.60	1196.70	684.40	2.330	2.33
2	4.50%	1197.10	1199.60	686.70	2.334	
3	4.50%	1192.80	1195.60	683.20	2.328	
4	4.50%	1195.30	1197.70	686.40	2.338	
5	4.50%	1198.20	1201.10	688.20	2.336	
1	5.00%	1198.60	1201.10	689.00	2.341	2.34
2	5.00%	1200.00	1202.20	690.20	2.344	
3	5.00%	1198.60	1201.40	688.90	2.339	
4	5.00%	1199.50	1201.90	690.60	2.346	
5	5.00%	1198.40	1200.90	691.60	2.353	
1	5.50%	1191.90	1193.90	690.20	2.366	2.36
2	5.50%	1196.20	1198.10	690.60	2.357	
3	5.50%	1189.90	1191.60	687.90	2.362	
4	5.50%	1192.70	1194.90	692.30	2.373	
5	5.50%	1189.30	1191.60	687.80	2.361	
1	6.00%	1178.00	1179.50	685.50	2.385	2.39
2	6.00%	1194.10	1195.50	695.00	2.386	
3	6.00%	1189.30	1190.60	693.60	2.393	
4	6.00%	1184.90	1186.70	689.20	2.382	
5	6.00%	1167.30	1168.90	679.80	2.387	
1	6.50%	1195.90	1197.20	694.30	2.378	2.38
2	6.50%	1198.80	1199.80	695.90	2.379	
3	6.50%	1178.80	1180.20	682.90	2.370	
4	6.50%	1188.40	1189.60	690.90	2.383	
5	6.50%	1180.50	1181.80	684.70	2.375	
1	7.00%	1196.90	1197.70	691.10	2.363	2.36
2	7.00%	1198.50	1199.20	691.10	2.359	
3	7.00%	1197.10	1198.00	689.06	2.352	
4	7.00%	1199.00	1200.00	692.36	2.362	
5	7.00%	1200.60	1201.80	693.40	2.362	

Fuente: Propia





**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se pudo calcular el peso específico de los especímenes compactados con 4.00%, 4.50%, 5.00%, 5.50%, 6.00%, 6.50% y 7.00% de asfalto.

**3.6.13. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (MTC E-508)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calculó el promedio de la gravedad específica aparente y gravedad específica bulk de los componentes de la mezcla asfáltica como se muestra a continuación:

$$\text{Para el agregado grueso: } A = \frac{G_{sa \text{ A.G.}} + G_{sb \text{ A.G.}}}{2} = \frac{2.80 + 2.77}{2} = 2.78$$

$$\text{Para la arena natural: } B = \frac{G_{sa \text{ A.N.}} + G_{sb \text{ A.N.}}}{2} = \frac{2.57 + 2.53}{2} = 2.55$$

$$\text{Para la arena triturada: } C = \frac{G_{sa \text{ A.T.}} + G_{sb \text{ A.T.}}}{2} = \frac{2.70 + 2.67}{2} = 2.68$$

- ii. Para la gravedad específica del cemento asfáltico ( $G_s \text{ asf}$ ) y el filler (D) se tomaron los siguientes valores:

$$D = 2.85$$

$$G_{s \text{ asf}} = 1.02$$

- iii. Se calculó el porcentaje de agregados en peso de la mezcla para cada contenido de asfalto multiplicando el porcentaje de agregado de la combinación de agregados por la diferencia totalidad de la mezcla asfáltica (100%) menos el porcentaje de asfalto (% asfalto), como se muestra a continuación:

$$\%_{\text{agregado en peso}} = \%_{\text{agregado}} * (100\% - \%_{\text{asfalto}})$$

**Para el agregado grueso:**

% A.G. en peso para 4.00% de asfalto=	28%	*(	100%	-	4.00%	)=	26.88%
% A.G. en peso para 4.50% de asfalto=	28%	*(	100%	-	4.50%	)=	26.74%
% A.G. en peso para 5.00% de asfalto=	28%	*(	100%	-	5.00%	)=	26.60%
% A.G. en peso para 5.50% de asfalto=	28%	*(	100%	-	5.50%	)=	26.46%
% A.G. en peso para 6.00% de asfalto=	28%	*(	100%	-	6.00%	)=	26.32%
% A.G. en peso para 6.50% de asfalto=	28%	*(	100%	-	6.50%	)=	26.18%
% A.G. en peso para 7.00% de asfalto=	28%	*(	100%	-	7.00%	)=	26.04%



**Para la arena natural:**

% A.N. en peso para 4.00% de asfalto=	18%	*	( 100% - 4.00% )	=	17.28%
% A.N. en peso para 4.50% de asfalto=	18%	*	( 100% - 4.50% )	=	17.19%
% A.N. en peso para 5.00% de asfalto=	18%	*	( 100% - 5.00% )	=	17.10%
% A.N. en peso para 5.50% de asfalto=	18%	*	( 100% - 5.50% )	=	17.01%
% A.N. en peso para 6.00% de asfalto=	18%	*	( 100% - 6.00% )	=	16.92%
% A.N. en peso para 6.50% de asfalto=	18%	*	( 100% - 6.50% )	=	16.83%
% A.N. en peso para 7.00% de asfalto=	18%	*	( 100% - 7.00% )	=	16.74%

**Para la arena triturada:**

% A.T. en peso para 4.00% de asfalto=	50%	*	( 100% - 4.00% )	=	48.00%
% A.T. en peso para 4.50% de asfalto=	50%	*	( 100% - 4.50% )	=	47.75%
% A.T. en peso para 5.00% de asfalto=	50%	*	( 100% - 5.00% )	=	47.50%
% A.T. en peso para 5.50% de asfalto=	50%	*	( 100% - 5.50% )	=	47.25%
% A.T. en peso para 6.00% de asfalto=	50%	*	( 100% - 6.00% )	=	47.00%
% A.T. en peso para 6.50% de asfalto=	50%	*	( 100% - 6.50% )	=	46.75%
% A.T. en peso para 7.00% de asfalto=	50%	*	( 100% - 7.00% )	=	46.50%

**Para el filler:**

% filler en peso para 4.00% de asfalto=	4%	*	( 100% - 4.00% )	=	3.84%
% filler en peso para 4.50% de asfalto=	4%	*	( 100% - 4.50% )	=	3.82%
% filler en peso para 5.00% de asfalto=	4%	*	( 100% - 5.00% )	=	3.80%
% filler en peso para 5.50% de asfalto=	4%	*	( 100% - 5.50% )	=	3.78%
% filler en peso para 6.00% de asfalto=	4%	*	( 100% - 6.00% )	=	3.76%
% filler en peso para 6.50% de asfalto=	4%	*	( 100% - 6.50% )	=	3.74%
% filler en peso para 7.00% de asfalto=	4%	*	( 100% - 7.00% )	=	3.72%

- iv. Para calcular el peso específico teórico máximo (G<sub>mm</sub>) se empleó la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{\%_{asfalto}}{G_{s\ asfalto}} + \frac{\%_{A.G.}}{A} + \frac{\%_{A.N.}}{B} + \frac{\%_{A.T.}}{C} + \frac{\%_{filler}}{D}}$$

**Para 4.00% de asfalto:**

$$G_{mm}^{4.00\%} = \frac{100\%}{\frac{4\%}{1.02} + \frac{26.88\%}{2.78} + \frac{17.28\%}{2.55} + \frac{48.00\%}{2.68} + \frac{3.84\%}{2.85}} = 2.53$$

**Para 4.50% de asfalto:**



$$G_{mm}4.50\% = \frac{100\%}{\frac{4.50\%}{1.02} + \frac{26.74\%}{2.78} + \frac{17.19\%}{2.55} + \frac{47.75\%}{2.68} + \frac{3.82\%}{2.85}} = 2.51$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$G_{mm}5.00\% = \frac{100\%}{\frac{5.00\%}{1.02} + \frac{26.60\%}{2.78} + \frac{17.10\%}{2.55} + \frac{47.50\%}{2.68} + \frac{3.80\%}{2.85}} = 2.49$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$G_{mm}5.50\% = \frac{100\%}{\frac{5.50\%}{1.02} + \frac{26.46\%}{2.78} + \frac{17.01\%}{2.55} + \frac{47.25\%}{2.68} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.47$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$G_{mm}6.00\% = \frac{100\%}{\frac{6.00\%}{1.02} + \frac{26.32\%}{2.78} + \frac{16.92\%}{2.55} + \frac{47.00\%}{2.68} + \frac{3.76\%}{2.85}} = 2.45$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$G_{mm}6.50\% = \frac{100\%}{\frac{6.50\%}{1.02} + \frac{26.18\%}{2.78} + \frac{16.83\%}{2.55} + \frac{46.75\%}{2.68} + \frac{3.74\%}{2.85}} = 2.43$$

**Para 7.00% de asfalto:**



$$G_{mm}7.00\% = \frac{100\%}{\frac{7.00\%}{1.02} + \frac{26.04\%}{2.78} + \frac{16.74\%}{2.55} + \frac{46.50\%}{2.68} + \frac{3.72\%}{2.85}} = 2.41$$

## b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 117: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°18</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica		
<b>Fecha</b>	20/09/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A=	2.78	D=	2.85
B=	2.55	G <sub>asf</sub> =	1.02
C=	2.68	% AG=	28.00
		% AF(A.N.)=	18.00
		% AF(A.T.)=	50.00
		% FILLER=	4.00
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>	
1 - 4.00%	4.00%	2.53	
2 - 4.00%	4.00%	2.53	
3 - 4.00%	4.00%	2.53	
4 - 4.00%	4.00%	2.53	
5 - 4.00%	4.00%	2.53	
1 - 4.50%	4.50%	2.51	
2 - 4.50%	4.50%	2.51	
3 - 4.50%	4.50%	2.51	
4 - 4.50%	4.50%	2.51	
5 - 4.50%	4.50%	2.51	
1 - 5.00%	5.00%	2.49	
2 - 5.00%	5.00%	2.49	
3 - 5.00%	5.00%	2.49	
4 - 5.00%	5.00%	2.49	
5 - 5.00%	5.00%	2.49	
1 - 5.50%	5.50%	2.47	
2 - 5.50%	5.50%	2.47	
3 - 5.50%	5.50%	2.47	
4 - 5.50%	5.50%	2.47	
5 - 5.50%	5.50%	2.47	
1 - 6.00%	6.00%	2.45	
2 - 6.00%	6.00%	2.45	
3 - 6.00%	6.00%	2.45	
4 - 6.00%	6.00%	2.45	
5 - 6.00%	6.00%	2.45	
1 - 6.50%	6.50%	2.43	
2 - 6.50%	6.50%	2.43	
3 - 6.50%	6.50%	2.43	
4 - 6.50%	6.50%	2.43	
5 - 6.50%	6.50%	2.43	
1 - 7.00%	7.00%	2.41	
2 - 7.00%	7.00%	2.41	
3 - 7.00%	7.00%	2.41	
4 - 7.00%	7.00%	2.41	
5 - 7.00%	7.00%	2.41	
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo		
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad específica del filler		

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se pudo determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados.

**3.6.14. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas compactadas**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calcularon los valores de gravedad específica aparente de la combinación de agregados ( $G_{sa}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sa} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sa\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sa\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sa\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sa\ filler}}}$$

Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$G_{sa\ A.G.}$  = Gravedad específica aparente del agregado grueso

$G_{sa\ A.T.}$  = Gravedad específica aparente de la arena triturada

$G_{sa\ A.N.}$  = Gravedad específica aparente de la arena natural

$G_{sa\ filler}$  = Gravedad específica aparente del filler

**Para 4.00% de asfalto:**

$$G_{sa\ 4.00\%} = \frac{26.88\% + 48.00\% + 17.28\% + 3.84\%}{\frac{26.88\%}{2.80} + \frac{48.00\%}{2.70} + \frac{17.28\%}{2.57} + \frac{3.84\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$G_{sa\ 4.50\%} = \frac{26.74\% + 47.75\% + 17.19\% + 3.82\%}{\frac{26.74\%}{2.80} + \frac{47.75\%}{2.70} + \frac{17.19\%}{2.57} + \frac{3.82\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 5.00% de asfalto:**



$$G_{sa5.00\%} = \frac{26.60\% + 47.50\% + 17.10\% + 3.80\%}{\frac{26.60\%}{2.80} + \frac{47.50\%}{2.70} + \frac{17.10\%}{2.57} + \frac{3.80\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$G_{sa5.50\%} = \frac{26.46\% + 47.25\% + 17.01\% + 3.78\%}{\frac{26.46\%}{2.80} + \frac{47.25\%}{2.70} + \frac{17.01\%}{2.57} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$G_{sa6.00\%} = \frac{26.32\% + 47.00\% + 16.92\% + 3.76\%}{\frac{26.32\%}{2.80} + \frac{47.00\%}{2.70} + \frac{16.92\%}{2.57} + \frac{3.76\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$G_{sa6.50\%} = \frac{26.18\% + 46.75\% + 16.83\% + 3.74\%}{\frac{26.18\%}{2.80} + \frac{46.75\%}{2.70} + \frac{16.83\%}{2.57} + \frac{3.74\%}{2.85}} = 2.71$$

**Para 7.00% de asfalto:**

$$G_{sa7.00\%} = \frac{26.04\% + 46.50\% + 16.74\% + 3.72\%}{\frac{26.04\%}{2.80} + \frac{46.50\%}{2.70} + \frac{16.74\%}{2.57} + \frac{3.72\%}{2.85}} = 2.71$$

- ii. Se calcularon los valores de gravedad específica bulk de la combinación de agregados ( $G_{sb}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sb} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sb\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sb\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sb\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sb\ filler}}}$$

Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$G_{sb\ A.G.}$  = Gravedad específica bulk del agregado grueso



$G_{sb \text{ A.T.}}$  = Gravedad específica bulk de la arena triturada

$G_{sb \text{ A.N.}}$  = Gravedad específica bulk de la arena natural

$G_{sb \text{ filler}}$  = Gravedad específica bulk del filler

**Para 4.00% de asfalto:**

$$G_{sb \text{ 4.00\%}} = \frac{26.88\% + 48.00\% + 17.28\% + 3.84\%}{\frac{26.88\%}{2.77} + \frac{48.00\%}{2.67} + \frac{17.28\%}{2.53} + \frac{3.84\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$G_{sa \text{ 4.50\%}} = \frac{26.74\% + 47.75\% + 17.19\% + 3.82\%}{\frac{26.74\%}{2.77} + \frac{47.75\%}{2.67} + \frac{17.19\%}{2.53} + \frac{3.82\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$G_{sa \text{ 5.00\%}} = \frac{26.60\% + 47.50\% + 17.10\% + 3.80\%}{\frac{26.60\%}{2.77} + \frac{47.50\%}{2.67} + \frac{17.10\%}{2.53} + \frac{3.80\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$G_{sa \text{ 5.50\%}} = \frac{26.46\% + 47.25\% + 17.01\% + 3.78\%}{\frac{26.46\%}{2.77} + \frac{47.25\%}{2.67} + \frac{17.01\%}{2.53} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$G_{sa \text{ 6.00\%}} = \frac{26.32\% + 47.00\% + 16.92\% + 3.76\%}{\frac{26.32\%}{2.77} + \frac{47.00\%}{2.67} + \frac{16.92\%}{2.53} + \frac{3.76\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$G_{sa \text{ 6.50\%}} = \frac{26.18\% + 46.75\% + 16.83\% + 3.74\%}{\frac{26.18\%}{2.77} + \frac{46.75\%}{2.67} + \frac{16.83\%}{2.53} + \frac{3.74\%}{2.85}} = 2.67$$

**Para 7.00% de asfalto:**

$$G_s \text{ 7.00\%} = \frac{26.04\% + 46.50\% + 16.74\% + 3.72\%}{\frac{26.04\%}{2.77} + \frac{46.50\%}{2.67} + \frac{16.74\%}{2.53} + \frac{3.72\%}{2.85}} = 2.67$$



- iii. Se calcularon los valores de la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{100\% - \%_{asfalto}}{\frac{100\%}{G_{mm}} - \frac{\%_{asfalto}}{G_{sa\ asf}}}$$

Donde:

$G_{sa\ asf}$  = Gravedad específica del cemento asfáltico = 1.02

**Para 4.00% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 4.00\%}{\frac{100\%}{2.53} - \frac{4.00\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 4.50\%}{\frac{100\%}{2.51} - \frac{4.50\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.00\%}{\frac{100\%}{2.49} - \frac{5.00\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.50\%}{\frac{100\%}{2.47} - \frac{5.50\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 6.00\%}{\frac{100\%}{2.45} - \frac{6.00\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 6.50\%}{\frac{100\%}{2.43} - \frac{6.50\%}{1.02}} = 2.69$$

**Para 7.00% de asfalto:**





$$G_{se} = \frac{100\% - 7.00\%}{\frac{100\%}{2.41} - \frac{7.00\%}{1.02}} = 2.69$$

- iv. Finalmente se hizo la verificación de que cada porcentaje cumpla con la condición de que la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) sea mayor a la gravedad específica bulk ( $G_{sb}$ ) y menor a la gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ ).



$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 118: Análisis de datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 						
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°19</b>	COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES					
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica					
<b>Fecha</b>	23/09/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Gsa</b>	<b>Gse</b>	<b>Gsb</b>	<b>Comprobación</b>	
1	4.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	4.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	4.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	4.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	4.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	4.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	4.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	4.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	4.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	4.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	5.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	5.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	5.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	5.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	5.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	5.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	5.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	5.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	5.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	5.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	6.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	6.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	6.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	6.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	6.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	6.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	6.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	6.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	6.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	6.50%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
1	7.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
2	7.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
3	7.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
4	7.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
5	7.00%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO	
Gsa: Gravedad específica aparente.						
Gse: Gravedad específica específica.						
Gsb: Gravedad específica bulk.						

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se logró realizar la comprobación de la gravedad específica efectiva de los especímenes compactados, cumpliendo la comprobación en todos los porcentajes de asfalto.

**3.6.15. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se llenó la columna de densidad ( $G_{mb}$ ) con los valores calculados en el peso específico de mezclas asfálticas.
- ii. Para calcular los valores de porcentaje de vacíos de la mezcla (VTM) se empleó la siguiente fórmula:

$$VTM = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)$$

Donde:

$G_{mm}$  = Peso específico teórico máximo.

**Para 4.00% de asfalto:**

$$VTM (4.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.30}{2.53}\right) = 8.93$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$VTM (4.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.33}{2.51}\right) = 7.04$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$VTM (5.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.34}{2.49}\right) = 5.91$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$VTM (5.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.37}{2.47}\right) = 4.15$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$VTM (6.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.38}{2.45}\right) = 2.68$$



**Para 6.50% de asfalto:**

$$VTM (6.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.38}{2.43}\right) = 2.23$$

**Para 7.00% de asfalto:**

$$VTM (7.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.36}{2.41}\right) = 2.14$$

- iii. Para calcular el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb} * (1 - \%_{asfalto})}{G_{sb}}\right)$$

Donde:

$G_{sb}$  = Gravedad específica bulk del agregado

**Para 4.00% de asfalto:**

$$VMA (4.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.30 * (1 - 4.00\%)}{2.67}\right) = 17.41$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$VMA (4.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.33 * (1 - 4.50\%)}{2.67}\right) = 16.77$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$VMA (5.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.34 * (1 - 5.00\%)}{2.67}\right) = 16.61$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$VMA (5.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.37 * (1 - 5.50\%)}{2.67}\right) = 16.14$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$VMA (6.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.38 * (1 - 6.00\%)}{2.67}\right) = 15.94$$



**Para 6.50% de asfalto:**

$$VMA (6.50\% - 1) = 100 * \left( 1 - \frac{2.38 * (1 - 6.50\%)}{2.67} \right) = 16.62$$

**Para 7.00% de asfalto:**

$$VMA (7.00\% - 1) = 100 * \left( 1 - \frac{2.36 * (1 - 7.00\%)}{2.67} \right) = 17.60$$

- iv. Para calcular el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VFA = \frac{VMA - VTM}{VMA} * 100$$

**Para 4.00% de asfalto:**

$$VFA (4.00\% - 1) = \frac{17.41 - 8.93}{17.41} * 100 = 48.68$$

**Para 4.50% de asfalto:**

$$VFA (4.50\% - 1) = \frac{16.77 - 7.04}{16.77} * 100 = 58.00$$

**Para 5.00% de asfalto:**

$$VFA (5.00\% - 1) = \frac{16.61 - 5.91}{16.61} * 100 = 64.45$$

**Para 5.50% de asfalto:**

$$VFA (5.50\% - 1) = \frac{16.14 - 4.15}{16.14} * 100 = 74.28$$

**Para 6.00% de asfalto:**

$$VFA (6.00\% - 1) = \frac{15.94 - 2.68}{15.94} * 100 = 83.16$$

**Para 6.50% de asfalto:**

$$VFA (6.50\% - 1) = \frac{16.62 - 2.23}{16.62} * 100 = 86.59$$



**Para 7.00% de asfalto:**

$$VFA (7.00\% - 1) = \frac{17.60 - 2.14}{17.60} * 100 = 87.83$$



- v. Finalmente se calcula la mediana de los valores de cada porcentaje de asfalto calculado.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 119: Análisis de datos para calcular los parámetros volumétricos de los especímenes compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°20</b>	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	23/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
Id. Probeta	%Asfalto	Densidad	VTM	VMA	VFA
1	4.00%	2.30	8.93	17.41	48.68
2	4.00%	2.29	9.33	17.77	47.47
3	4.00%	2.34	7.43	16.04	53.70
4	4.00%	2.33	7.82	16.40	52.29
5	4.00%	2.32	8.30	16.83	50.68
MEDIANA		<b>2.32</b>	<b>8.30</b>	<b>16.83</b>	<b>50.68</b>
1	4.50%	2.33	7.04	16.77	58.00
2	4.50%	2.33	6.88	16.63	58.61
3	4.50%	2.33	7.13	16.84	57.70
4	4.50%	2.34	6.73	16.49	59.19
5	4.50%	2.34	6.80	16.55	58.94
MEDIANA		<b>2.33</b>	<b>6.88</b>	<b>16.63</b>	<b>58.61</b>
1	5.00%	2.34	5.91	16.61	64.45
2	5.00%	2.34	5.78	16.50	64.98
3	5.00%	2.34	5.98	16.68	64.15
4	5.00%	2.35	5.69	16.42	65.36
5	5.00%	2.35	5.40	16.17	66.58
MEDIANA		<b>2.34</b>	<b>5.78</b>	<b>16.50</b>	<b>64.98</b>
1	5.50%	2.37	4.15	16.14	74.28
2	5.50%	2.36	4.53	16.47	72.52
3	5.50%	2.36	4.31	16.28	73.51
4	5.50%	2.37	3.88	15.90	75.62
5	5.50%	2.36	4.38	16.34	73.20
MEDIANA		<b>2.36</b>	<b>4.31</b>	<b>16.28</b>	<b>73.51</b>
1	6.00%	2.38	2.68	15.94	83.16
2	6.00%	2.39	2.63	15.90	83.43
3	6.00%	2.39	2.34	15.64	85.02
4	6.00%	2.38	2.80	16.04	82.53
5	6.00%	2.39	2.60	15.87	83.61
MEDIANA		<b>2.39</b>	<b>2.63</b>	<b>15.90</b>	<b>83.43</b>
1	6.50%	2.38	2.23	16.62	86.59
2	6.50%	2.38	2.19	16.58	86.81
3	6.50%	2.37	2.54	16.88	84.95
4	6.50%	2.38	2.02	16.44	87.69
5	6.50%	2.37	2.36	16.73	85.88
MEDIANA		<b>2.38</b>	<b>2.23</b>	<b>16.62</b>	<b>86.59</b>
1	7.00%	2.36	2.14	17.60	87.83
2	7.00%	2.36	2.30	17.73	87.02
3	7.00%	2.35	2.58	17.97	85.66
4	7.00%	2.36	2.17	17.63	87.68
5	7.00%	2.36	2.19	17.64	87.60
MEDIANA		<b>2.36</b>	<b>2.19</b>	<b>17.64</b>	<b>87.60</b>
<b>VTM: Porcentaje de vacios de la mezcla.</b>					
<b>VMA: Porcentaje de vacios en el agregado mineral.</b>					
<b>VFA: Porcentaje de vacios llenos de asfalto.</b>					

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se logró calcular los parámetros volumétricos de los especímenes compactados.
- ii. La tendencia del porcentaje de vacíos de la mezcla (VTM) ha decrecido con el incremento del contenido de asfalto.
- iii. La tendencia del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) ha decrecido con el incremento del contenido de asfalto hasta alcanzar un punto mínimo y luego incrementó.
- iv. La tendencia del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) ha incrementado con el incremento del contenido de asfalto.

**3.6.16. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes compactados (MTC E-207)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calcularon los promedios de los valores de altura y diámetro medidos de cada espécimen compactado.
- ii. Para calcular la estabilidad corregida se multiplicó la estabilidad por el factor de corrección, como se muestra a continuación:

$$\textit{Estabilidad corregida} = \textit{Estabilidad} * \textit{factor de corrección}$$

- iii. Finalmente se calculó la mediana para los valores de estabilidad, estabilidad corregida y flujo de cada espécimen compactado.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:







**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los valores obtenidos en laboratorio se logró determinar los valores de estabilidad corregida, para determinar a resistencia de las muestras compactadas.

**3.6.17. Elección del contenido óptimo de asfalto**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular el contenido óptimo de asfalto se siguió el método del instituto del asfalto para el cual se determinaron los valores de:
  - Contenido de asfalto en la estabilidad máxima = 5.00%
  - Contenido de asfalto en la densidad máxima = 6.00%
  - Contenido de asfalto para 4% de VTM = 5.67%
- ii. Se promediaron los tres valores de contenido de asfalto seleccionados.

$$\%_{\text{optimo}} = \frac{5.00\% + 6.00\% + 5.67\%}{3} = 5.56\%$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:

*Tabla 121: Análisis de datos para calcular el contenido óptimo de asfalto*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°22</b>	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica	
<b>Fecha</b>	26/09/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
PARÁMETROS	VALOR	CONTENIDO DE ASFALTO (%)
Estabilidad máxima (KN)	14.83	5.00
Densidad máxima (gr/cm3)	2.39	6.00
4% VTM	4.00	5.67
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.56</b>

*Fuente: Propia*



**c) Análisis de la prueba**

- i. Se logró calcular el contenido óptimo de asfalto de acuerdo al método del instituto del asfalto.

**3.6.18. Dosificación y preparación de la mezcla asfáltica patrón con el contenido óptimo de asfalto**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Primero se calculó el peso del cemento asfáltico para el contenido óptimo de asfalto (5.56%) multiplicando el peso de los especímenes a compactar de 1200 gramos por el porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{asfalto\ patrón} = \%_{óptimo\ asfalto} * 1200$$

$$P_{asfalto\ patrón} = 5.56\% * 1200 = 66.72\ gr.$$

- ii. Luego se calculó el peso de los agregados en la mezcla asfáltica restando el peso de los especímenes a compactar (1200 gramos) menos el peso del contenido óptimo de cemento asfáltico, como se muestra a continuación:

$$P_{agregados\ patrón} = 1200 - P_{asfalto\ patrón}$$

$$P_{agregados\ patrón} = 1200 - 66.72 = 1133.3\ gr.$$

- iii. Se mantienen los mismos valores de porcentaje retenido parcial del agregado de la dosificación anterior.

**Agregados por mallas:**

- i. Para calcular el peso de agregado para la mezcla de cada fracción de la granulometría se multiplicó el porcentaje retenido parcial de la fracción por el peso de agregado de la mezcla para cada porcentaje de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{fi} = \%Retenido_i * P_{agregado\ patrón}$$

3/4"=	0.00%	*	1133.30	=	0.00	gr.
1/2"=	5.79%	*	1133.30	=	65.60	gr.
3/8"=	13.33%	*	1133.30	=	151.04	gr.
N° 4=	13.57%	*	1133.30	=	153.83	gr.
N° 10=	22.35%	*	1133.30	=	253.35	gr.
N° 40=	23.94%	*	1133.30	=	271.31	gr.



$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 100 &= 11.45\% * 1133.30 = 129.71 \text{ gr.} \\ \text{N}^\circ 200 &= 5.12\% * 1133.30 = 58.03 \text{ gr.} \\ \text{FILLER} &= 4.45\% * 1133.30 = 50.43 \text{ gr.} \end{aligned}$$

### **Pesos por tipo de agregado:**

- i. Para calcular el peso del agregado grueso de la mezcla asfáltica patrón se multiplicó el porcentaje de agregado grueso (28.00%) por el peso de agregados en la mezcla del contenido óptimo de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.G.} = 28\% * P_{\text{agregado patrón}}$$

$$P_{A.G.} = 28\% * 1133.30 = 317.32 \text{ gr.}$$

- ii. Para calcular el peso de la arena triturada de la mezcla asfáltica patrón se multiplicó el porcentaje de arena triturada (50.00%) por el peso de agregados en la mezcla del contenido óptimo de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.T.} = 50\% * P_{\text{agregado patrón}}$$

$$P_{A.T.} = 50\% * 1133.30 = 566.65 \text{ gr.}$$

- iii. Para calcular el peso de la arena natural de la mezcla asfáltica patrón se multiplicó el porcentaje de arena natural (18.00%) por el peso de agregados en la mezcla del contenido óptimo de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{A.N.} = 18\% * P_{\text{agregado patrón}}$$

$$P_{A.N.} = 18\% * 1133.30 = 203.99 \text{ gr.}$$

- iv. Para calcular el peso del filler de la mezcla asfáltica patrón se multiplicó el porcentaje de filler (4.00%) por el peso de agregados en la mezcla del contenido óptimo de asfalto, como se muestra a continuación:

$$P_{\text{filler}} = 4\% * P_{\text{agregado patrón}}$$

$$P_{\text{filler}} = 4\% * 1133.30 = 45.33 \text{ gr.}$$

### **Dosificación en peso del agregado grueso:**

- i. Para calcular la dosificación en peso del agregado grueso se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría del agregado grueso por el peso de agregado grueso ( $P_{A.G.}$ ), como se muestra a continuación:



$$P_{A.G.fi} = \%ret.* P_{A.G.}$$

3/4"	=	0.00%	*	317.32	=	0.00	gr.
1/2"	=	20.67%	*	317.32	=	65.60	gr.
3/8"	=	47.60%	*	317.32	=	151.04	gr.
N° 4=	=	31.73%	*	317.32	=	100.68	gr.
N° 10=	=	0.00%	*	317.32	=	0.00	gr.

#### Dosificación en peso de la arena triturada:

- i. Para calcular la dosificación en peso de la arena triturada se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría de la arena triturada por el peso de la arena triturada ( $P_{A.T.}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{A.T.fi} = \%ret.* P_{A.T.}$$

N° 4=	=	8.11%	*	566.64	=	45.95	gr.
N° 10=	=	35.42%	*	566.64	=	200.70	gr.
N° 40=	=	31.76%	*	566.64	=	179.97	gr.
N° 100=	=	15.52%	*	566.64	=	87.96	gr.
N° 200=	=	8.62%	*	566.64	=	48.82	gr.
FILLER=	=	0.57%	*	566.64	=	3.25	gr.

#### Dosificación en peso de la arena natural:

- i. Para calcular en peso la dosificación de la arena natural se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría de la arena natural por el peso de la arena natural ( $P_{A.N.}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{A.N.fi} = \%ret.* P_{A.N.}$$

N° 4=	=	3.53%	*	203.99	=	7.20	gr.
N° 10=	=	25.81%	*	203.99	=	52.64	gr.
N° 40=	=	44.77%	*	203.99	=	91.33	gr.
N° 100=	=	20.46%	*	203.99	=	41.75	gr.
N° 200=	=	4.51%	*	203.99	=	9.21	gr.
FILLER=	=	0.91%	*	203.99	=	1.86	gr.

#### Dosificación en peso del filler:

- i. Para calcular en peso la dosificación del filler se multiplicó el porcentaje retenido de cada fracción de la granulometría del filler por el peso del filler ( $P_{filler}$ ), como se muestra a continuación:

$$P_{filler.fi} = \%ret.* P_{filler}$$



$$P_{filler\ patrón} = 100\% * 45.33 = 45.33\ gr.$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados:





**c) Análisis de la prueba**

- i. Después de procesar los datos se logró determinar la dosificación en peso de los agregados para poder compactar los especímenes patrón.

**3.6.19. Peso específico aparente y peso unitario de la mezcla asfáltica patrón compactada empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular el peso específico de la muestra compactada se dividió el peso del espécimen seco ( $W_d$ ) entre la diferencia del peso del espécimen en condición saturada superficialmente seca ( $W_{ssd}$ ) con el peso del espécimen sumergido ( $W_{sum}$ ), como se muestra a continuación:

$$Gsb = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{sum}}$$

- ii. Luego de calcular el peso específico de los especímenes compactados se promediaron los pesos específicos de los especímenes con el mismo porcentaje de asfalto.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:





Tabla 123: Análisis de datos para determinar el peso específico de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 						
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°24</b>		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica					
<b>Fecha</b>	30/09/2019					
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon					
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
PROBETA	% ASFALTO PATRÓN	P seco	P sss	P sum	Gsb	PROM
1	5.56%	1184.00	1185.80	686.00	2.369	2.3718
2	5.56%	1186.10	1187.80	686.90	2.368	
3	5.56%	1184.90	1186.50	687.00	2.372	
4	5.56%	1191.00	1193.00	691.50	2.375	
5	5.56%	1189.70	1191.60	689.60	2.370	
6	5.56%	1191.60	1193.80	691.60	2.373	
7	5.56%	1187.30	1188.90	688.10	2.371	
8	5.56%	1198.20	1200.10	695.80	2.376	
9	5.56%	1179.70	1181.50	685.40	2.378	
10	5.56%	1192.50	1194.50	690.68	2.367	
11	5.56%	1189.40	1191.70	689.00	2.366	
12	5.56%	1195.30	1197.30	694.40	2.377	

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se pudo calcular el peso específico de los especímenes patrón compactados con 5.56% de asfalto.

### 3.6.20. Peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica patrón para pavimentos (MTC E-508)

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. Se calculó el promedio de la gravedad específica aparente y gravedad específica bulk de los componentes de la mezcla asfáltica como se muestra a continuación:

$$\text{Para el agregado grueso: } A = \frac{G_{sa \text{ A.G.}} + G_{sb \text{ A.G.}}}{2} = \frac{2.80 + 2.77}{2} = 2.78$$



$$\text{Para la arena natural: } B = \frac{G_{sa \text{ A.N.}} + G_{sb \text{ A.N.}}}{2} = \frac{2.57 + 2.53}{2} = 2.55$$

$$\text{Para la arena triturada: } C = \frac{G_{sa \text{ A.T.}} + G_{sb \text{ A.T.}}}{2} = \frac{2.70 + 2.67}{2} = 2.68$$

- ii. Para la gravedad específica del cemento asfáltico ( $G_s \text{ asf}$ ) y el filler (D) se tomaron los siguientes valores:

$$D = 2.85$$

$$G_{s \text{ asf}} = 1.02$$

- iii. Se calculó el porcentaje de agregados en peso de la mezcla para el contenido óptimo de asfalto multiplicando el porcentaje de agregado de la combinación de agregados por la diferencia totalidad de la mezcla asfáltica (100%) menos el porcentaje de asfalto (% asfalto), como se muestra a continuación:

$$\%_{\text{agregado en peso}} = \%_{\text{agregado}} * (100\% - \%_{\text{asfalto}})$$

**Para el agregado grueso:**

$$\%_{A.G. \text{ en peso}} = 28\% * (100\% - 5.56\%) = 26.44\%$$

**Para la arena triturada:**

$$\%_{A.T. \text{ en peso}} = 50\% * (100\% - 5.56\%) = 47.22\%$$

**Para la arena natural:**

$$\%_{A.N. \text{ en peso}} = 18\% * (100\% - 5.56\%) = 17.00\%$$

**Para el filler:**

$$\%_{\text{filler en peso}} = 4\% * (100\% - 5.56\%) = 3.78\%$$

- iv. Para calcular el peso específico teórico máximo ( $G_{mm}$ ) se empleó la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{\%_{\text{asfalto}}}{G_{s \text{ asfalto}}} + \frac{\%_{A.G.}}{A} + \frac{\%_{A.N.}}{B} + \frac{\%_{A.T.}}{C} + \frac{\%_{\text{filler}}}{D}}$$




$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.47$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:

Tabla 124: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°25</b>	PESO ESPECÍCO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS		
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica		
<b>Fecha</b>	20/09/2019		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC		
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)=	18.00
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)=	50.00
C= 2.68	% AG= 28.00	% FILLER=	4.00
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>	
PATRON - 1	5.56%	2.47	
PATRON - 2	5.56%	2.47	
PATRON - 3	5.56%	2.47	
PATRON - 4	5.56%	2.47	
PATRON - 5	5.56%	2.47	
PATRON - 6	5.56%	2.47	
PATRON - 7	5.56%	2.47	
PATRON - 8	5.56%	2.47	
PATRON - 9	5.56%	2.47	
PATRON - 10	5.56%	2.47	
PATRON - 11	5.56%	2.47	
PATRON - 12	5.56%	2.47	
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto		
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo		
A=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso		
B=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)		
C=	Promedio de gravedad especifica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)		
D=	Gravedad especifica del filler		

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se logró determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes compactados de mezcla asfáltica patrón.

**3.6.21. Verificación de la gravedad específica efectiva de la mezcla asfáltica patrón compactadas**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calcularon los valores de gravedad específica aparente de la combinación de agregados ( $G_{sa}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sa} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sa\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sa\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sa\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sa\ filler}}}$$

Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$G_{sa\ A.G.}$  = Gravedad específica aparente del agregado grueso

$G_{sa\ A.T.}$  = Gravedad específica aparente de la arena triturada

$G_{sa\ A.N.}$  = Gravedad específica aparente de la arena natural

$G_{sa\ filler}$  = Gravedad específica aparente del filler

$$G_{sa\ patrón} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.78\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.71$$

- ii. Se calcularon los valores de gravedad específica bulk de la combinación de agregados ( $G_{sb}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sb} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sb\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sb\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sb\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sb\ filler}}}$$



Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$G_{sb A.G.}$  = Gravedad específica bulk del agregado grueso

$G_{sb A.T.}$  = Gravedad específica bulk de la arena triturada

$G_{sb A.N.}$  = Gravedad específica bulk de la arena natural

$G_{sb filler}$  = Gravedad específica bulk del filler

$$G_{sb patrón} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.78\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{3.78\%}{2.85}} = 2.67$$

- iii. Se calcularon los valores de la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{100\% - \%_{asfalto}}{\frac{100\%}{G_{mm}} - \frac{\%_{asfalto}}{G_{sa asf}}}$$

Donde:

$G_{sa asf}$  = Gravedad específica del cemento asfáltico = 1.02

$$G_{se patrón} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.47} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.69$$

- iv. Finalmente se hizo la verificación de que cada porcentaje cumpla con la condición de que la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) sea mayor a la gravedad específica bulk ( $G_{sb}$ ) y menor a la gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ ).

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$

## b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 125: Análisis de datos para verificar la gravedad específica efectiva de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°26</b>	COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES				
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	23/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Gsa</b>	<b>Gse</b>	<b>Gsb</b>	<b>Comprobación</b>
1	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
2	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
3	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
4	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
5	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
6	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
7	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
8	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
9	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
10	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
11	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
12	5.56%	2.71	2.69	2.67	CORRECTO
Gsa:		Gravedad específica aparente.			
Gse:		Gravedad específica específica.			
Gsb:		Gravedad específica bulk.			

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de procesar los datos se cumplió con la comprobación de los especímenes patrón compactados.

### 3.6.22. Determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica patrón compactada

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. Se llenó la columna de densidad ( $G_{mb}$ ) con los valores calculados en el peso específico de mezclas asfálticas patrón.
- ii. Para calcular los valores de porcentaje de vacíos de la mezcla (VTM) se empleó la siguiente fórmula:

$$VTM = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)$$



Donde:

$G_{mm}$  = Peso específico teórico máximo.

$$VTM (5.56\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.369}{2.53}\right) = 3.96$$

- iii. Para calcular el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb} * (1 - \%asfalto)}{G_{sb}}\right)$$

Donde:

$G_{sb}$  = Gravedad específica bulk del agregado

**Para 4.00% de asfalto:**

$$VMA (5.56\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.369 * (1 - 5.56\%)}{2.67}\right) = 16.31$$

- iv. Para calcular el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VFA = \frac{VMA - VTM}{VMA} * 100$$

$$VFA (5.56\% - 1) = \frac{16.31 - 3.96}{16.31} * 100 = 75.70$$

- v. Finalmente se calculó la mediana de los valores calculados.

## b) Diagramas y tablas

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados:



Tabla 126: Análisis de datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes patrón compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°27</b>		DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	24/09/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Densidad</b>	<b>VTM</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
1	5.56%	2.369	3.96	16.31	75.70
2	5.56%	2.368	4.00	16.35	75.51
3	5.56%	2.372	3.83	16.20	76.34
4	5.56%	2.375	3.72	16.10	76.88
5	5.56%	2.370	3.92	16.28	75.89
6	5.56%	2.373	3.81	16.18	76.46
7	5.56%	2.371	3.89	16.25	76.07
8	5.56%	2.376	3.68	16.06	77.10
9	5.56%	2.378	3.60	15.99	77.50
10	5.56%	2.367	4.05	16.38	75.31
11	5.56%	2.366	4.08	16.42	75.13
12	5.56%	2.377	3.64	16.03	77.27
<b>Mediana</b>		<b>2.37</b>	<b>3.92</b>	<b>16.22</b>	<b>75.89</b>

Fuente: Propia

**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se lograron determinar los parámetros volumétricos de los especímenes patrón compactados.

**3.6.23. Resistencia de la mezcla bituminosas patrón empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calcularon los promedios de los valores de altura y diámetro medidos de cada espécimen compactado.
- ii. Para calcular la estabilidad corregida se multiplicó la estabilidad por el factor de corrección, como se muestra a continuación:

$$\text{Estabilidad corregida} = \text{Estabilidad} * \text{factor de corrección}$$

- iii. Finalmente, se calculó la mediana para los valores de estabilidad, estabilidad corregida y flujo de cada espécimen compactado.



**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:

*Tabla 127: Análisis de datos para determinar la resistencia de los especímenes patrón compactados*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL															
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"													
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°28</b>		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS APLICANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E-504) Y DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS (MTC E-507)													
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Muestra</b>		Concreto asfáltico mezclado en caliente													
<b>Fecha</b>		25/09/2019													
<b>Tesista</b>		Luis Mario Quispe Chacon													
<b>Ubicación</b>		Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC													
Probeta	% ASFALTO PATRON	Diámetro (cm)				Altura (cm)				Diámetro promedio	Altura promedio	Estabilidad	Factor correccion	Estabilidad corregida	Flujo (mm)
		D1	D2	D3	D4	H1	H2	H3	H4						
1.00	5.56%	10.20	10.21	10.15	10.23	6.30	6.33	6.30	6.35	10.20	6.32	13.51	1.008	13.611	3.84
2.00	5.56%	10.20	10.18	10.18	10.20	6.30	6.32	6.32	6.35	10.19	6.32	13.74	1.008	13.843	3.49
3.00	5.56%	10.15	10.20	10.18	10.20	6.33	6.35	6.30	6.32	10.18	6.33	12.90	1.005	12.965	3.56
4.00	5.56%	10.20	10.20	10.18	10.18	6.32	6.34	6.32	6.32	10.19	6.33	13.34	1.005	13.407	3.53
5.00	5.56%	10.22	10.20	10.21	10.20	6.35	6.33	6.35	6.32	10.21	6.34	13.79	1.003	13.824	3.32
6.00	5.56%	10.18	10.18	10.15	10.18	6.38	6.36	6.35	6.35	10.17	6.36	13.53	0.998	13.496	3.48
7.00	5.56%	10.18	10.18	10.20	10.20	6.32	6.35	6.35	6.37	10.19	6.35	13.57	1.000	13.570	3.51
8.00	5.56%	10.20	10.18	10.20	10.18	6.30	6.30	6.32	6.35	10.19	6.32	13.32	1.008	13.420	3.61
9.00	5.56%	10.20	10.20	10.20	10.20	6.35	6.37	6.34	6.35	10.20	6.35	13.52	1.000	13.520	3.74
10.00	5.56%	10.21	10.18	10.20	10.20	6.30	6.30	6.30	6.30	10.20	6.30	13.29	1.013	13.456	3.63
11.00	5.56%	10.18	10.18	10.18	10.20	6.30	6.33	6.31	6.30	10.19	6.31	13.52	1.010	13.655	3.54
12.00	5.56%	10.20	10.20	10.18	10.20	6.37	6.35	6.35	6.35	10.20	6.36	13.55	0.998	13.516	3.46
<b>Mediana</b>												13.52		13.518	3.535

*Fuente: Propia*

**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los valores obtenidos en laboratorio se logró determinar los valores de estabilidad corregida, para determinar a resistencia de las muestras patrón compactadas.

**3.6.24. Resumen y gráficos de los resultados de los especímenes compactados**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se colocaron las medianas de todos los porcentajes de asfalto de los valores obtenidos de estabilidad (KN), flujo (mm), peso específico (gr/cm<sup>3</sup>), VTM, VMA y VFA.
- ii. Para calcular los valores de flujo en centésimas de pulgada (0.01”), se multiplicaron los valores de flujo en milímetros (mm) por 3.93701, como se muestra a continuación:

$$Flujo (0.01") = Flujo (mm) * 3.93701$$





- iii. Para calcular la relación estabilidad flujo se dividió la estabilidad en kilogramos fuerza entre el flujo en centímetros, como se muestra a continuación:

$$\text{Relación estabilidad flujo} = \frac{\text{Estabilidad(KN)} * 102}{\text{Flujo(mm)} * 0.1} = \frac{\text{Estabilidad (kg)}}{\text{Flujo (cm)}}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En las siguientes tablas se muestran la tabla de resumen de los resultados y los gráficos de los mismos:

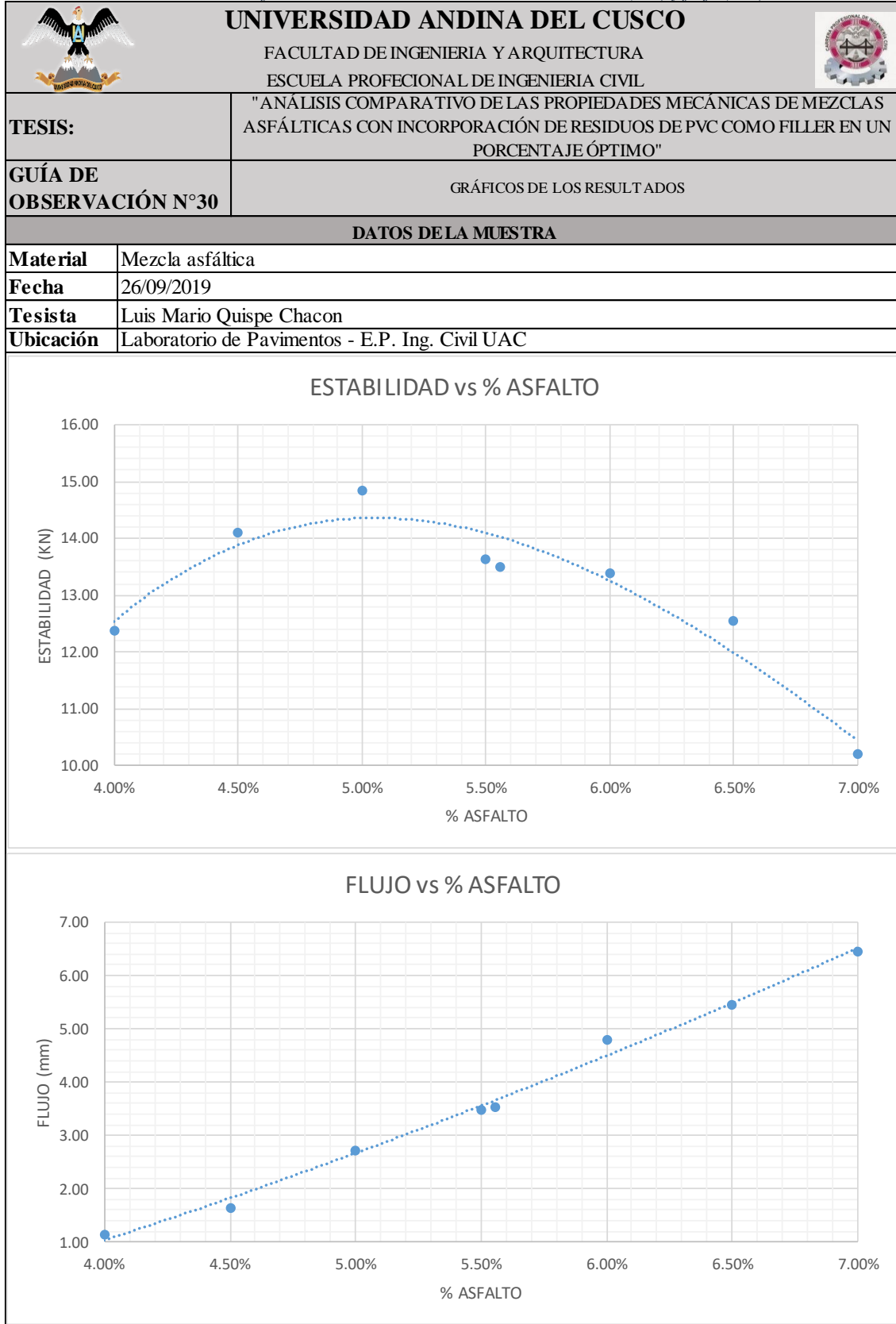
Tabla 128: Resumen de los resultados para cada contenido de asfalto

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 								
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"						
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°29</b>		RESUMEN DE LOS RESULTADOS						
DATOS DE LA MUESTRA								
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica							
<b>Fecha</b>	2/10/2019							
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon							
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC							
%Asfalto	Estabilidad (KN)	Flujo (mm)	Flujo (0.01")	Peso específico (gr/cm3)	VTM	VMA	VFA	Relación estabilidad/ flujo
4.00%	12.37	1.15	10153.36	2.31	8.30	16.83	50.68	10973.03
4.50%	14.11	1.63	6.42	2.33	6.88	16.63	58.61	8829.01
5.00%	14.83	2.72	10.71	2.34	5.78	16.50	64.98	5561.33
5.50%	13.64	3.49	13.74	2.36	4.31	16.28	73.51	3985.26
5.56%	13.52	3.54	13.92	2.37	3.92	16.22	75.89	3900.54
6.00%	13.38	4.78	18.82	2.39	2.63	15.90	83.43	2854.39
6.50%	12.54	5.45	21.46	2.38	2.23	16.62	86.59	2346.94
7.00%	10.20	6.45	25.39	2.36	2.19	17.64	87.60	1613.75
VTM:		Vacíos totales de la mezcla.						
VMA:		Vacíos del agregado mineral.						
VFA:		Vacíos llenos con asfalto.						

Fuente: Propia



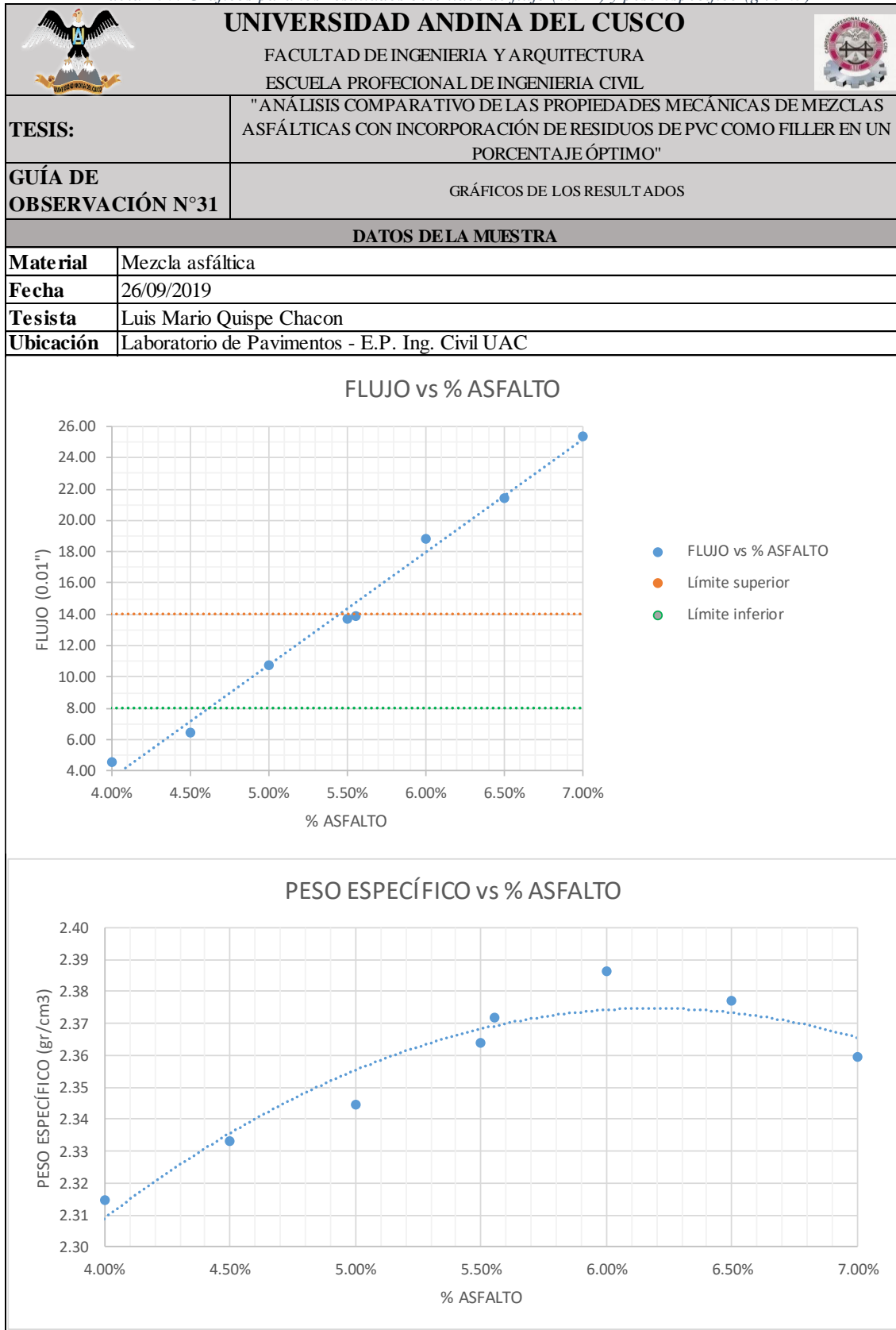
Tabla 129: Gráficos de los resultados obtenidos de estabilidad (KN) y flujo (mm)



Fuente: Propia



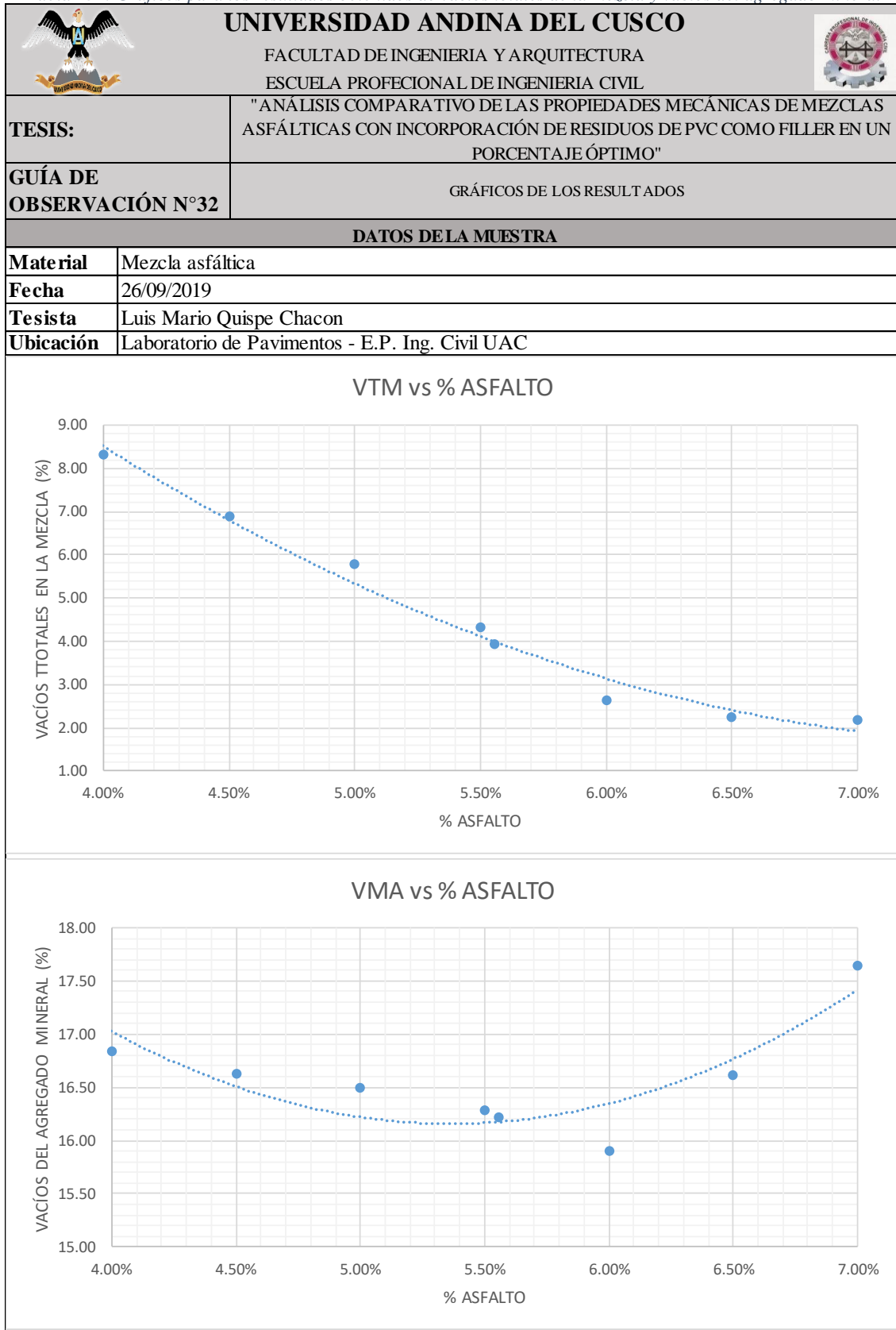
Tabla 130: Gráficos para los resultados obtenidos de flujo (0.01") y peso específico (gr/cm3)



Fuente: Propia



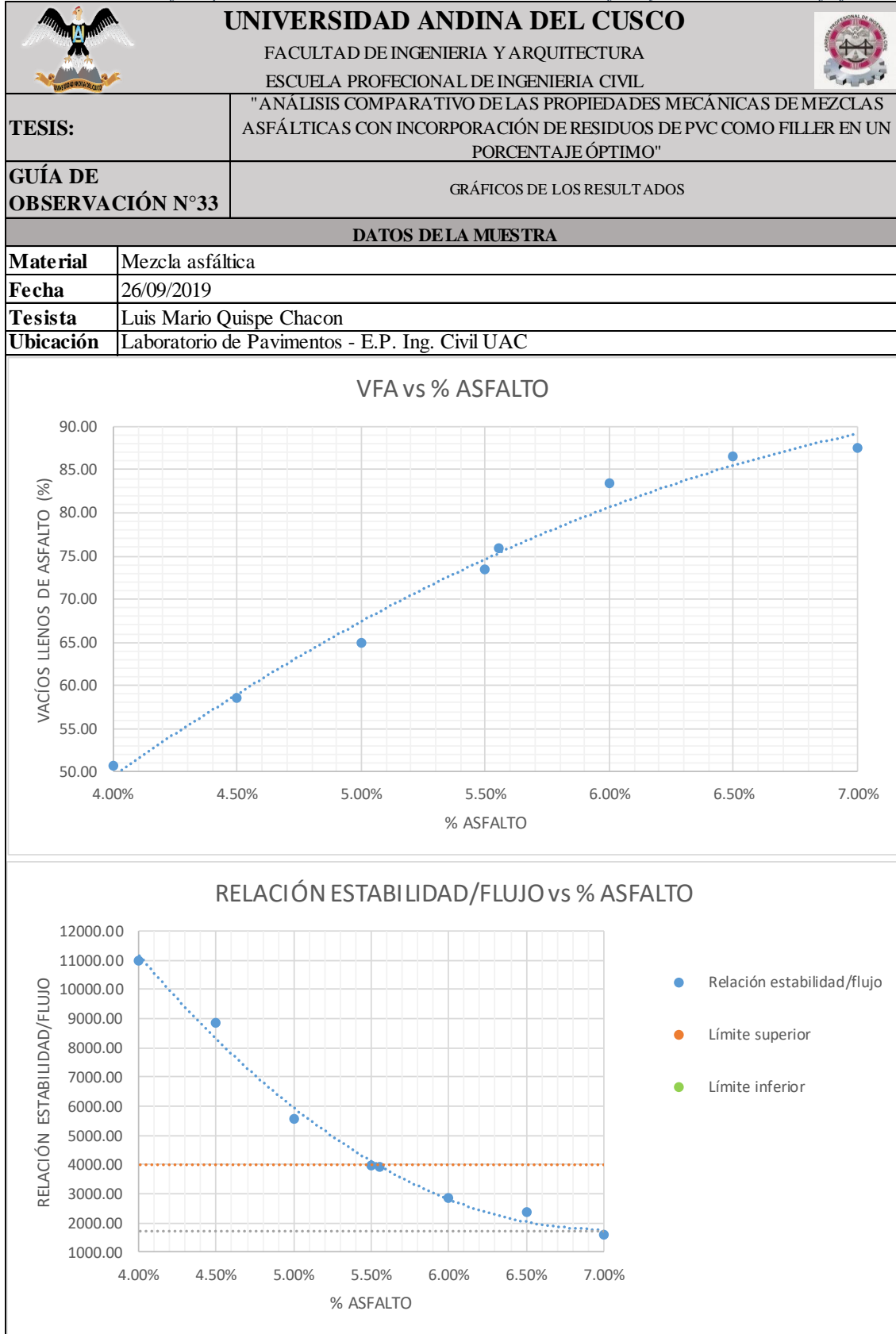
Tabla 131: Gráficos para los resultados obtenidos de vacíos totales de la mezcla y vacíos del agregado mineral



Fuente: Propia



Tabla 132: Gráficos para los resultados obtenidos de vacíos llenos de asfalto y relación estabilidad/flujo



Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. La estabilidad para el contenido óptimo de asfalto cumple con los requisitos de la norma CE.010 y E.G. 2013, los cuales indican que la mezcla asfáltica debe tener una estabilidad mínima de 8.16 KN y 8.15 KN respectivamente.
- ii. El flujo en centésimas de pulgada para el contenido óptimo de asfalto cumple con los requisitos de la norma CE.010 y E.G. 2013, los cuales indican que el flujo en centésimas de pulgada de la mezcla asfáltica debe estar entre 8 y 14.
- iii. La relación estabilidad/flujo para el contenido óptimo de asfalto cumple con los requisitos de la norma E.G. 2013 el cual indica que la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica debe estar entre 1700 y 4000.
- iv. La tendencia de la estabilidad ha incrementado a medida que aumentaba el contenido de asfalto, hasta alcanzar un pico y luego decreció.
- v. La tendencia del flujo ha incrementado a medida que el contenido de asfalto aumentó.
- vi. La tendencia del peso específico ha incrementado a medida que aumentaba el contenido de asfalto, hasta alcanzar un pico y luego decreció. El pico ocurrió a un contenido de asfalto mayor que para la estabilidad pico.
- vii. La tendencia del porcentaje de vacíos totales de la mezcla disminuyó conforme aumentaba el contenido de asfalto.
- viii. La tendencia del porcentaje de vacíos del agregado mineral decreció con el incremento del contenido de asfalto hasta alcanzar un mínimo y luego volvió a incrementar.
- ix. La tendencia del porcentaje de vacíos llenos de asfalto incrementó a medida que el contenido de asfalto aumentaba.

**3.6.25. Análisis granulométrico de los residuos de PVC (MTC E-204)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. El peso total de la muestra ensayada de PVC triturado fue de 1,024.16 gramos, de los cuales se anotaron los pesos retenidos en cada tamiz en la columna de “PESO RETENIDO”.
- ii. En la siguiente columna se registró el porcentaje retenido de cada fracción retenida del PVC.

$$\% \text{ RETENIDO} = \frac{\text{PESO RETENIDO}}{\text{PESO TOTAL}}$$



- iii. En la columna que sigue se registró el peso retenido acumulado.

$$PESO\ RETENIDO\ ACUMULADO = PESO\ RETENIDO_i + PESO\ RETENIDO_{i-1}$$

- iv. En la columna que sigue se registró el porcentaje retenido acumulado.

$$\%RETENIDO\ ACUMULADO = \%RETENIDO_i + \%RETENIDO_{i-1}$$

- v. Finalmente, en la última columna se registró el porcentaje que pasa de cada tamiz.

$$\%PASA = 100\% - \%RETENIDO\ ACUMULADO$$



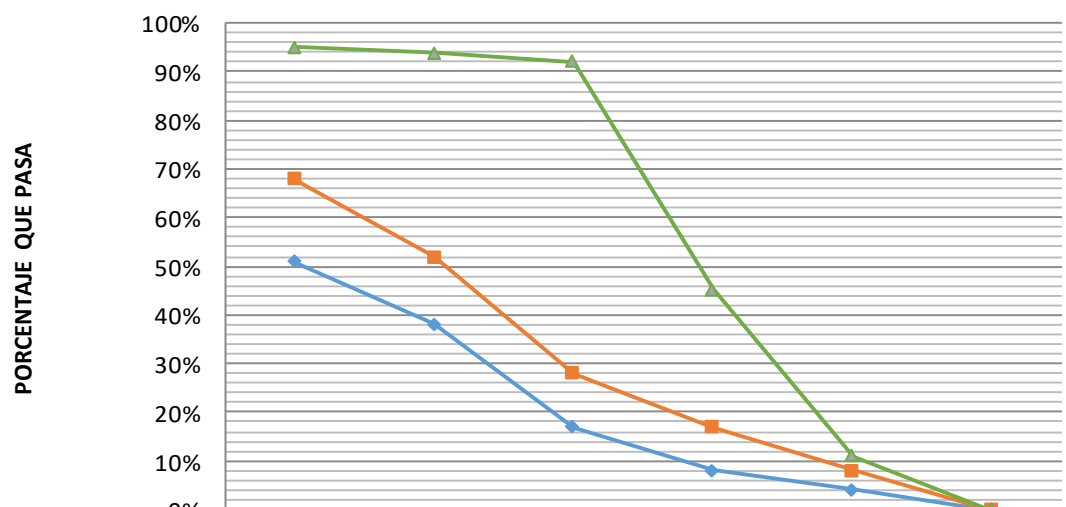
**b) Diagramas y tablas**

- i. En las siguientes tablas se muestran los cálculos realizados en la prueba:





Tabla 133: Análisis de datos para determinar la granulometría de los residuos de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"					
<b>FUCHA DE OBSERVACIÓN N°34</b>		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E-204)					
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Material</b>	PVC triturado						
<b>Muestra</b>	1024.16 gr.						
<b>Fecha</b>	8/10/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC						
TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO REIENIDO	% REIENIDO	PESO REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
1"	25.400	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
3/8"	9.530	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	
N° 4	4.750	50.80	4.96%	50.80	4.96%	95.04%	
N° 10	2.000	12.09	1.18%	62.89	6.14%	93.86%	
N° 40	0.420	19.36	1.89%	82.25	8.03%	91.97%	
N° 100	0.149	478.72	46.74%	560.97	54.77%	45.23%	
N° 200	0.074	351.22	34.29%	912.18	89.07%	10.93%	
FONDO	0.000	111.98	10.93%	1024.16	100.00%	0.00%	
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO							
<b>PORCENTAJE QUE PASA</b> 							
		N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	FONDO
	—●— Lim. Inf.	51%	38%	17%	8%	4%	0%
	—■— Lim. Sup.	68%	52%	28%	17%	8%	0%
	—▲— % QUE PASA	95.04%	93.86%	91.97%	45.23%	10.93%	0.00%

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Con los datos procesados del análisis granulométrico de los residuos de PVC se pudo determinar su gradación y también se graficó la curva granulométrica.

**3.6.26. Incorporación de los residuos de PVC en la mezcla asfáltica**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular el peso de residuos de PVC a incorporar en la mezcla asfáltica se multiplicó el porcentaje de incorporación por el peso del espécimen compactado (1200 gr.).

$$PVC \text{ a incorporar} = \% \text{ incorporación} * 1200 \text{ gr.}$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En las siguientes tablas se muestran los cálculos realizados en la prueba:

*Tabla 134: Análisis de datos para determinar el peso de PVC a incorporar*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 															
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"														
<b>FUCHA DE OBSERVACIÓN N°35</b>	INCORPORACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PVC														
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Material</b>	PVC triturado														
<b>Fecha</b>	12/10/2019														
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon														
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC														
Peso total de la mezcla (gr): 1200															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>% a incorporar</th> <th>Peso a incorporar (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5" style="text-align: center;">PVC a incorporar</td> <td>0.50%</td> <td>6.00</td> </tr> <tr> <td>0.75%</td> <td>9.00</td> </tr> <tr> <td>1.00%</td> <td>12.00</td> </tr> <tr> <td>1.25%</td> <td>15.00</td> </tr> <tr> <td>1.50%</td> <td>18.00</td> </tr> </tbody> </table>		% a incorporar	Peso a incorporar (gr)	PVC a incorporar	0.50%	6.00	0.75%	9.00	1.00%	12.00	1.25%	15.00	1.50%	18.00
	% a incorporar	Peso a incorporar (gr)													
PVC a incorporar	0.50%	6.00													
	0.75%	9.00													
	1.00%	12.00													
	1.25%	15.00													
	1.50%	18.00													

*Fuente: Propia*



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se determinaron los pesos de PVC a incorporar en la mezcla asfáltica en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50%.

**3.6.27. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas modificadas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E-514)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Para calcular el peso específico de la muestra modificada compactada se dividió el peso del espécimen seco ( $W_d$ ) entre la diferencia del peso del espécimen en condición saturada superficialmente seca ( $W_{ssd}$ ) con el peso del espécimen sumergido ( $W_{sum}$ ), como se muestra a continuación:

$$Gsb = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{sum}}$$



- ii. Luego de calcular el peso específico de los especímenes modificados compactados se promediaron los pesos específicos de los especímenes con el mismo porcentaje de asfalto.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 135: Análisis de datos para determinar el peso específico de los especímenes modificados compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 						
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS:		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"				
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°36		PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA (MTC E-514)				
DATOS DELA MUESTRA						
Material	Mezcla asfáltica modificada					
Fecha	25/11/2019					
Tesista	Luis Mario Quispe Chacon					
Ubicación	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC					
Probeta	% PVC	P seco	P sss	P sum	Gsb	PROM
1	0.50%	1194.60	1196.40	687.40	2.347	2.3481
2	0.50%	1198.00	1199.70	693.00	2.364	
3	0.50%	1199.10	1200.70	689.30	2.345	
4	0.50%	1200.30	1201.80	684.20	2.319	
5	0.50%	1198.90	1200.70	693.20	2.362	
6	0.50%	1197.20	1199.10	689.80	2.351	
7	0.50%	1196.70	1198.30	688.80	2.349	
1	0.75%	1198.20	1199.70	696.60	2.382	2.3777
2	0.75%	1199.30	1200.90	692.10	2.357	
3	0.75%	1197.30	1199.10	696.80	2.384	
4	0.75%	1197.60	1198.90	692.50	2.365	
5	0.75%	1199.30	1200.80	697.10	2.381	
6	0.75%	1198.20	1199.80	697.20	2.384	
7	0.75%	1199.00	1200.70	699.40	2.392	
1	1.00%	1188.50	1190.00	681.30	2.336	2.3519
2	1.00%	1196.70	1198.00	687.70	2.345	
3	1.00%	1197.30	1198.70	686.50	2.338	
4	1.00%	1198.60	1200.00	686.90	2.336	
5	1.00%	1196.90	1198.20	695.10	2.379	
6	1.00%	1187.30	1188.80	684.50	2.354	
7	1.00%	1198.40	1200.00	695.40	2.375	
1	1.25%	1185.70	1186.90	679.90	2.339	2.3382
2	1.25%	1189.30	1190.60	681.30	2.335	
3	1.25%	1198.90	1200.00	690.90	2.355	
4	1.25%	1195.20	1196.50	681.80	2.322	
5	1.25%	1191.60	1192.90	683.60	2.340	
6	1.25%	1194.50	1195.70	683.30	2.331	
7	1.25%	1188.50	1189.90	683.20	2.346	
1	1.50%	1200.70	1201.70	672.70	2.270	2.3094
2	1.50%	1198.20	1199.10	679.50	2.306	
3	1.50%	1196.30	1197.50	687.10	2.344	
4	1.50%	1186.20	1187.30	673.80	2.310	
5	1.50%	1185.20	1186.30	672.10	2.305	
6	1.50%	1198.00	1199.30	683.60	2.323	
7	1.50%	1200.00	1200.80	680.90	2.308	

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se logró determinar el peso específico de las probetas compactadas de mezclas asfálticas modificadas.

**3.6.28. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas modificadas para pavimentos (MTC E-508)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calculó el promedio de la gravedad específica aparente y gravedad específica bulk de los componentes de la mezcla asfáltica como se muestra a continuación:

$$\text{Para el agregado grueso: } A = \frac{G_{sa \text{ A.G.}} + G_{sb \text{ A.G.}}}{2} = \frac{2.80 + 2.77}{2} = 2.78$$

$$\text{Para la arena natural: } B = \frac{G_{sa \text{ A.N.}} + G_{sb \text{ A.N.}}}{2} = \frac{2.57 + 2.53}{2} = 2.55$$

$$\text{Para la arena triturada: } C = \frac{G_{sa \text{ A.T.}} + G_{sb \text{ A.T.}}}{2} = \frac{2.70 + 2.67}{2} = 2.68$$

- ii. Para la gravedad específica del cemento asfáltico ( $G_s \text{ asf}$ ), PVC ( $G_s \text{ PVC}$ ) y el filler (D) se tomaron los siguientes valores:

$$D = 2.85$$

$$G_s \text{ asf} = 1.02$$

$$G_s \text{ PVC} = 1.41$$

- iii. Se calculó el porcentaje de agregados en peso y del PVC de la mezcla asfáltica modificada multiplicando el porcentaje de agregado de la combinación de agregados por la diferencia totalidad de la mezcla asfáltica (100%) menos el porcentaje de asfalto (5.56%), como se muestra a continuación

$$\% \text{ A.G.} = 28.00\% * (100\% - 5.56\%) = 26.44\%$$

$$\% \text{ A.N.} = 18.00\% * (100\% - 5.56\%) = 17.00\%$$

$$\% \text{ A.T.} = 50.00\% * (100\% - 5.56\%) = 47.22\%$$

$$\% \text{ filler} = 4.00\% * (100\% - 5.56\%) = 3.78\%$$

- iv. Para calcular el porcentaje de filler en la mezcla, se restó el porcentaje en peso de filler de la mezcla menos el porcentaje de PVC a incorporar en la mezcla, como se muestra a continuación:



**Para 0.50% de PVC:**

$$\%_{filler\ en\ mezcla} = 3.78\% - 0.50\% = 3.28\%$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$\%_{filler\ en\ mezcla} = 3.78\% - 0.75\% = 3.03\%$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$\%_{filler\ en\ mezcla} = 3.78\% - 1.00\% = 2.78\%$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$\%_{filler\ en\ mezcla} = 3.78\% - 1.25\% = 2.53\%$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$\%_{filler\ en\ mezcla} = 3.78\% - 1.50\% = 2.28\%$$

- v. Finalmente calcular el peso específico teórico máximo ( $G_{mm}$ ) se empleó la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{\%_{asfalto}}{G_s\ asfalto} + \frac{\%_{A.G.}}{A} + \frac{\%_{A.N.}}{B} + \frac{\%_{A.T.}}{C} + \frac{\%_{filler}}{D} + \frac{\%_{PVC}}{1.41}}$$

**Para 0.50% de PVC:**

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{3.28\%}{2.85} + \frac{0.50\%}{1.41}} = 2.456$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{3.03\%}{2.85} + \frac{0.75\%}{1.41}} = 2.450$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{2.78\%}{2.85} + \frac{1.00\%}{1.41}} = 2.445$$



**Para 1.25% de PVC:**

$$G_m = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{2.53\%}{2.85} + \frac{1.25\%}{1.41}} = 2.440$$

**Para 1.50% de PVC:**



$$G_{mm} = \frac{100\%}{\frac{5.56\%}{1.02} + \frac{26.44\%}{2.78} + \frac{17.00\%}{2.55} + \frac{47.22\%}{2.68} + \frac{2.28\%}{2.85} + \frac{1.50\%}{1.41}} = 2.434$$

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 136: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 0.50% de PVC



 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°37</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 0.50% PVC	
<b>Fecha</b>	27/11/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)= 17.00%
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)= 47.22%
C= 2.68	% AG= 26.44%	% FILLER= 3.28%
G <sub>sPVC</sub> = 1.41	% PVC= 0.50%	
ID. PROBETA	% de asfalto	Gmm
PVC 0.50% - 1	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 2	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 3	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 4	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 5	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 6	5.560%	2.456
PVC 0.50% - 7	5.560%	2.456
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
Gmm=	Gravedad específica teórico máximo	
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia







Tabla 137: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 0.75% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°38</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 0.75% PVC	
<b>Fecha</b>	27/11/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)= 17.00%
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)= 47.22%
C= 2.68	% AG= 26.44%	% FILLER= 3.03%
G <sub>sPVC</sub> = 1.41	% PVC= 0.75%	
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>
PVC 0.75% - 1	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 2	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 3	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 4	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 5	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 6	5.560%	2.450
PVC 0.75% - 7	5.560%	2.450
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo	
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia





Tabla 138: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.00% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°39</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.00% PVC	
<b>Fecha</b>	27/11/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)= 17.00%
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)= 47.22%
C= 2.68	% AG= 26.44%	% FILLER= 2.78%
G <sub>sPVC</sub> = 1.41	% PVC= 1.00%	
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>
PVC 1.00% - 1	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 2	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 3	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 4	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 5	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 6	5.560%	2.445
PVC 1.00% - 7	5.560%	2.445
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo	
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia





Tabla 139: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.25% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 40</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.25% PVC	
<b>Fecha</b>	27/11/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)= 17.00%
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)= 47.22%
C= 2.68	% AG= 26.44%	% FILLER= 2.53%
G <sub>sPVC</sub> = 1.41	% PVC= 1.25%	
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>
PVC 1.25% - 1	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 2	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 3	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 4	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 5	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 6	5.560%	2.440
PVC 1.25% - 7	5.560%	2.440
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo	
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia



Tabla 140: Análisis de datos para determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 1.50% de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"	
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°41</b>	PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COMPACTADAS	
DATOS DE LA MUESTRA		
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica modificada incorporada con 1.50% PVC	
<b>Fecha</b>	27/11/2019	
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon	
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC	
A= 2.78	D= 2.85	% AF(A.N.)= 17.00%
B= 2.55	G <sub>asf</sub> = 1.02	% AF(A.T.)= 47.22%
C= 2.68	% AG= 26.44%	% FILLER= 2.28%
G <sub>sPVC</sub> = 1.41	% PVC= 1.50%	
ID. PROBETA	% de asfalto	G <sub>mm</sub>
PVC 1.50% - 1	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 2	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 3	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 4	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 5	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 6	5.560%	2.434
PVC 1.50% - 7	5.560%	2.434
G <sub>asf</sub> =	Gravedad específica aparente del asfalto	
G <sub>mm</sub> =	Gravedad específica teórico máximo	
G <sub>sPVC</sub> =	Gravedad específica PVC	
A=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado grueso	
B=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena natural)	
C=	Promedio de gravedad específica bulk y gravedad específica aparente del agregado fino (arena triturada)	
D=	Gravedad específica del filler	

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de procesar los datos se logró determinar el peso específico teórico máximo de los especímenes modificados con 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50% de PVC.



### 3.6.29. Verificación de la gravedad específica efectiva de las mezclas asfálticas modificadas compactadas

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

- i. Se calcularon los valores de gravedad específica aparente de la combinación de agregados ( $G_{sa}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sa} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler} + \%_{PVC}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sa\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sa\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sa\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sa\ filler}} + \frac{\%_{PVC}}{G_{sa\ PVC}}}$$

Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$\%_{PVC}$  = Porcentaje en peso del PVC

$G_{sa\ A.G.}$  = Gravedad específica aparente del agregado grueso

$G_{sa\ A.T.}$  = Gravedad específica aparente de la arena triturada

$G_{sa\ A.N.}$  = Gravedad específica aparente de la arena natural

$G_{sa\ filler}$  = Gravedad específica aparente del filler

$G_{sa\ PVC}$  = Gravedad específica del PVC

#### Para 0.50% de PVC:

$$G_{sa} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.28\% + 0.50\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{3.28\%}{2.85} + \frac{0.50\%}{1.41}} = 2.695$$

#### Para 0.75% de PVC:

$$G_{sa} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.03\% + 0.75\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{3.03\%}{2.85} + \frac{0.75\%}{1.41}} = 2.688$$



**Para 1.00% de PVC:**

$$G_{sa} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.78\% + 1.00\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{2.78\%}{2.85} + \frac{1.00\%}{1.41}} = 2.681$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$G_{sa} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.53\% + 1.25\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{2.53\%}{2.85} + \frac{1.25\%}{1.41}} = 2.675$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$G_{sa} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.28\% + 1.50\%}{\frac{26.44\%}{2.80} + \frac{47.22\%}{2.70} + \frac{17.00\%}{2.57} + \frac{2.28\%}{2.85} + \frac{1.50\%}{1.41}} = 2.668$$

- ii. Se calcularon los valores de gravedad específica bulk de la combinación de agregados ( $G_{sb}$ ) con los porcentajes en peso calculados en el peso específico teórico máximo, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{sb} = \frac{\%_{A.G.} + \%_{A.T.} + \%_{A.N.} + \%_{filler} + \%_{PVC}}{\frac{\%_{A.G.}}{G_{sb\ A.G.}} + \frac{\%_{A.T.}}{G_{sb\ A.T.}} + \frac{\%_{A.N.}}{G_{sb\ A.N.}} + \frac{\%_{filler}}{G_{sb\ filler}} + \frac{\%_{PVC}}{G_{sb\ PVC}}}$$

Donde:

$\%_{A.G.}$  = Porcentaje en peso del agregado grueso de la mezcla

$\%_{A.T.}$  = Porcentaje en peso de la arena triturada de la mezcla

$\%_{A.N.}$  = Porcentaje en peso de la arena natural de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del filler de la mezcla

$\%_{filler}$  = Porcentaje en peso del PVC de la mezcla

$G_{sb\ A.G.}$  = Gravedad específica bulk del agregado grueso

$G_{sb\ A.T.}$  = Gravedad específica bulk de la arena triturada

$G_{sb\ A.N.}$  = Gravedad específica bulk de la arena natural

$G_{sb\ filler}$  = Gravedad específica bulk del filler

$G_{sb\ PVC}$  = Gravedad específica del PVC



**Para 0.50% de PVC:**

$$G_{sb} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.28\% + 0.50\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{3.28\%}{2.85} + \frac{0.50\%}{1.41}} = 2.660$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$G_{sb} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 3.03\% + 0.75\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{3.03\%}{2.85} + \frac{0.75\%}{1.41}} = 2.653$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$G_{sb} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.78\% + 1.00\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{2.78\%}{2.85} + \frac{1.00\%}{1.41}} = 2.647$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$G_{sb} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.53\% + 1.25\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{2.53\%}{2.85} + \frac{1.25\%}{1.41}} = 2.640$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$G_{sb} = \frac{26.44\% + 47.22\% + 17.00\% + 2.28\% + 1.50\%}{\frac{26.44\%}{2.77} + \frac{47.22\%}{2.67} + \frac{17.00\%}{2.53} + \frac{2.28\%}{2.85} + \frac{1.50\%}{1.41}} = 2.633$$

- iii. Se calcularon los valores de la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{100\% - \%_{asfalto}}{\frac{100\%}{G_{mm}} - \frac{\%_{asfalto}}{G_{sa\ asf}}}$$

Donde:

$G_{sa\ asf}$  = Gravedad específica del cemento asfáltico = 1.02

**Para 0.50% de PVC:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.456} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.678$$



**Para 0.75% de PVC:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.450} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.671$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.445} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.664$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.440} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.657$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$G_{se} = \frac{100\% - 5.56\%}{\frac{100\%}{2.434} - \frac{5.56\%}{1.02}} = 2.651$$

- iv. Finalmente, se hizo la verificación de que cada porcentaje cumpla con la condición de que la gravedad específica efectiva ( $G_{se}$ ) sea mayor a la gravedad específica bulk ( $G_{sb}$ ) y menor a la gravedad específica aparente ( $G_{sa}$ ).

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$



## **b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:





Tabla 141: Análisis de datos para verificar el peso específico efectivo de los especímenes modificados con PVC compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> 					
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°42</b>		COMPROBACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS ESPECÍMENES			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	28/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>%Asfalto</b>	<b>Gsa</b>	<b>Gse</b>	<b>Gsb</b>	<b>Comprobación</b>
0.50% PVC - 1	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 2	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 3	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 4	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 5	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 6	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.50% PVC - 7	5.56%	2.695	2.678	2.660	CORRECTO
0.75% PVC - 1	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 2	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 3	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 4	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 5	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 6	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
0.75% PVC - 7	5.56%	2.688	2.671	2.653	CORRECTO
1.00% PVC - 1	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 2	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 3	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 4	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 5	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 6	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.00% PVC - 7	5.56%	2.681	2.664	2.647	CORRECTO
1.25% PVC - 1	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 2	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 3	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 4	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 5	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 6	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.25% PVC - 7	5.56%	2.675	2.657	2.640	CORRECTO
1.50% PVC - 1	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 2	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 3	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 4	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 5	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 6	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
1.50% PVC - 7	5.56%	2.668	2.651	2.633	CORRECTO
<b>Gsa:</b>		Gravedad específica aparente.			
<b>Gse:</b>		Gravedad específica específica.			
<b>Gsb:</b>		Gravedad específica bulk.			

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos, se logró realizar la comprobación de la gravedad específica efectiva de los especímenes modificados compactados.
- ii. Todos los especímenes modificados compactados cumplieron la comprobación del peso específico efectivo.

**3.6.30. Determinación de los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas modificadas compactadas**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se llenó la columna de densidad ( $G_{mb}$ ) con los valores calculados en el peso específico de mezclas asfálticas modificadas.
- ii. Para calcular los valores de porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica modificada (VTM) se empleó la siguiente fórmula:

$$VTM = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)$$

Donde:

$G_{mm}$  = Peso específico teórico máximo.

**Para 0.50% de PVC:**

$$VTM(0.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.347}{2.456}\right) = 4.43$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$VTM(0.75\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.382}{2.450}\right) = 2.80$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$VTM(1.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.336}{2.445}\right) = 4.44$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$VTM(1.25\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.339}{2.440}\right) = 4.13$$



**Para 1.50% de PVC:**

$$VTM(1.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.270}{2.434}\right) = 6.76$$

- iii. Para calcular el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb} * (1 - \%_{asfalto})}{G_{sb}}\right)$$

Donde:

$G_{sb}$  = Gravedad específica bulk del agregado

**Para 0.50% de PVC:**

$$VMA(0.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.347 * (1 - 5.56\%)}{2.660}\right) = 16.67$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$VMA(0.75\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.382 * (1 - 5.56\%)}{2.653}\right) = 15.23$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$VMA(1.00\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.336 * (1 - 5.56\%)}{2.647}\right) = 16.63$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$VMA(1.25\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.339 * (1 - 5.56\%)}{2.640}\right) = 17.39$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$VMA(1.50\% - 1) = 100 * \left(1 - \frac{2.270 * (1 - 5.56\%)}{2.633}\right) = 18.60$$

- iv. Para calcular el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) se empleó la siguiente fórmula:

$$VFA = \frac{VMA - VTM}{VMA} * 100$$



**Para 0.50% de PVC:**

$$VFA(0.50\% - 1) = \frac{16.67 - 4.43}{16.67} * 100 = 73.45$$

**Para 0.75% de PVC:**

$$VFA(0.75\% - 1) = \frac{15.23 - 2.80}{15.23} * 100 = 81.62$$

**Para 1.00% de PVC:**

$$VFA(1.00\% - 1) = \frac{16.63 - 4.44}{16.63} * 100 = 73.31$$

**Para 1.25% de PVC:**

$$VFA(1.25\% - 1) = \frac{17.39 - 4.13}{17.39} * 100 = 76.22$$

**Para 1.50% de PVC:**

$$VFA(1.50\% - 1) = \frac{18.60 - 6.73}{18.60} * 100 = 63.68$$

v. Finalmente, se calculó la mediana de los valores calculados.

**b) Diagramas y tablas**

i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados:



Tabla 142: Análisis de datos para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes de mezclas asfálticas modificadas con PVC

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°43</b>		DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS			
DATOS DE LA MUESTRA					
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica				
<b>Fecha</b>	29/11/2019				
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon				
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC				
<b>Id. Probeta</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>Densidad</b>	<b>VTM</b>	<b>VMA</b>	<b>VFA</b>
PVC 0.50% - 1	5.56%	2.347	4.43	16.67	73.45
PVC 0.50% - 2	5.56%	2.364	3.72	16.06	76.83
PVC 0.50% - 3	5.56%	2.345	4.52	16.75	73.04
PVC 0.50% - 4	5.56%	2.319	5.57	17.67	68.49
PVC 0.50% - 5	5.56%	2.362	3.80	16.13	76.44
PVC 0.50% - 6	5.56%	2.351	4.28	16.54	74.15
PVC 0.50% - 7	5.56%	2.349	4.35	16.61	73.79
<b>Mediana</b>		<b>2.35</b>	<b>4.35</b>	<b>16.61</b>	<b>73.79</b>
PVC 0.75% - 1	5.56%	2.382	2.80	15.23	81.62
PVC 0.75% - 2	5.56%	2.357	3.80	16.10	76.40
PVC 0.75% - 3	5.56%	2.384	2.72	15.16	82.07
PVC 0.75% - 4	5.56%	2.365	3.48	15.82	78.00
PVC 0.75% - 5	5.56%	2.381	2.83	15.25	81.47
PVC 0.75% - 6	5.56%	2.384	2.70	15.14	82.15
PVC 0.75% - 7	5.56%	2.392	2.39	14.87	83.96
<b>Mediana</b>		<b>2.38</b>	<b>2.80</b>	<b>15.23</b>	<b>81.62</b>
PVC 1.00% - 1	5.56%	2.336	4.44	16.63	73.31
PVC 1.00% - 2	5.56%	2.345	4.08	16.32	75.00
PVC 1.00% - 3	5.56%	2.338	4.39	16.59	73.54
PVC 1.00% - 4	5.56%	2.336	4.45	16.64	73.25
PVC 1.00% - 5	5.56%	2.379	2.69	15.11	82.18
PVC 1.00% - 6	5.56%	2.354	3.70	15.99	76.85
PVC 1.00% - 7	5.56%	2.375	2.86	15.25	81.26
<b>Mediana</b>		<b>2.35</b>	<b>4.08</b>	<b>16.32</b>	<b>75.00</b>
PVC 1.25% - 1	5.56%	2.339	4.13	17.39	76.22
PVC 1.25% - 2	5.56%	2.335	4.28	17.51	75.57
PVC 1.25% - 3	5.56%	2.355	3.47	16.81	79.38
PVC 1.25% - 4	5.56%	2.322	4.81	17.97	73.22
PVC 1.25% - 5	5.56%	2.340	4.09	17.35	76.41
PVC 1.25% - 6	5.56%	2.331	4.44	17.65	74.84
PVC 1.25% - 7	5.56%	2.346	3.85	17.14	77.54
<b>Mediana</b>		<b>2.34</b>	<b>4.13</b>	<b>17.39</b>	<b>76.22</b>
PVC 1.50% - 1	5.56%	2.270	6.76	18.60	63.68
PVC 1.50% - 2	5.56%	2.306	5.27	17.30	69.56
PVC 1.50% - 3	5.56%	2.344	3.71	15.94	76.72
PVC 1.50% - 4	5.56%	2.310	5.10	17.16	70.27
PVC 1.50% - 5	5.56%	2.305	5.31	17.34	69.38
PVC 1.50% - 6	5.56%	2.323	4.57	16.69	72.64
PVC 1.50% - 7	5.56%	2.308	5.18	17.22	69.93
<b>Mediana</b>		<b>2.31</b>	<b>5.18</b>	<b>17.22</b>	<b>69.93</b>

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos se calcularon los valores de porcentaje de vacíos de la mezcla, porcentaje de vacíos del agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.
- ii. La tendencia del porcentaje de vacíos de la mezcla tuvo una ligera disminución a medida que el porcentaje de PVC aumentaba.
- iii. La tendencia del porcentaje de vacíos del agregado mineral fue decreciendo a medida que aumentaba el porcentaje de PVC hasta que alcanzó un punto mínimo y luego volvió a crecer.
- iv. La tendencia del porcentaje de vacíos llenos de asfalto creció con el incremento de PVC hasta alcanzar un pico y luego decreció.

**3.6.31. Resistencia de mezclas bituminosas modificadas empleando el aparato Marshall (MTC E-504) y determinación de la altura de especímenes patrón compactados (MTC E-207)**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se calcularon los promedios de los valores de altura y diámetro medidos de cada espécimen modificado compactado.
- ii. Para calcular la estabilidad corregida se multiplicó la estabilidad por el factor de corrección, como se muestra a continuación:

$$\textit{Estabilidad corregida} = \textit{Estabilidad} * \textit{factor de corrección}$$



- iii. Finalmente, se calculó la mediana para los valores de estabilidad, estabilidad corregida y flujo de cada espécimen modificado compactado.

**b) Diagramas y tablas**

- i. En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en esta prueba:



Tabla 143: Análisis de datos para determinar la resistencia de los especímenes modificados con PVC compactados

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 															
<b>TESIS:</b>		"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"													
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°44</b>		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS APLICANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E-504) Y DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS (MTC E-507)													
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Muestra</b>	Concreto asfáltico mezclado en caliente														
<b>Fecha</b>	12/12/2019														
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon														
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC														
Probeta	% PVC	Diámetro (cm)				Altura (cm)				Diámetro promedio	Altura promedio	Estabilidad	Factor correccion	Estabilidad corregida	Flujo (mm)
		D1	D2	D3	D4	H1	H2	H3	H4						
1.00	0.50%	10.35	10.40	10.37	10.35	6.30	6.25	6.25	6.27	10.37	6.27	12.85	1.020	13.110	3.552
2.00	0.50%	10.32	10.30	10.30	10.31	6.20	6.25	6.20	6.22	10.31	6.22	14.89	1.033	15.373	2.790
3.00	0.50%	10.20	10.20	10.20	10.18	6.40	6.41	6.40	6.40	10.20	6.40	15.22	0.988	15.031	3.784
4.00	0.50%	10.32	10.32	10.35	10.37	6.25	6.25	6.27	6.26	10.34	6.26	13.55	1.023	13.858	3.720
5.00	0.50%	10.20	10.20	10.20	10.20	6.40	6.35	6.40	6.38	10.20	6.38	15.39	0.993	15.274	3.670
6.00	0.50%	10.22	10.30	10.31	10.30	6.28	6.20	6.20	6.23	10.28	6.23	14.72	1.030	15.160	3.521
7.00	0.50%	10.20	10.20	10.20	10.22	6.33	6.30	6.30	6.31	10.21	6.31	16.08	1.010	16.244	3.530
<b>Mediana</b>												14.89		15.16	3.552
1.00	0.75%	10.22	10.20	10.20	10.20	6.40	6.40	6.38	6.39	10.21	6.39	17.44	0.990	17.269	3.869
2.00	0.75%	10.35	10.35	10.35	10.35	6.30	6.30	6.28	6.29	10.35	6.29	15.73	1.015	15.966	3.100
3.00	0.75%	10.27	10.27	10.30	10.27	6.35	6.30	6.30	6.32	10.28	6.32	16.11	1.008	16.230	3.578
4.00	0.75%	10.30	10.30	10.32	10.30	6.30	6.30	6.32	6.31	10.31	6.31	14.94	1.010	15.086	3.568
5.00	0.75%	10.28	10.30	10.30	10.30	6.20	6.20	6.25	6.22	10.30	6.22	15.84	1.033	16.355	4.083
6.00	0.75%	10.27	10.25	10.25	10.25	6.25	6.30	6.30	6.28	10.26	6.28	14.60	1.018	14.857	3.628
7.00	0.75%	10.35	10.30	10.35	10.35	6.30	6.32	6.32	6.31	10.34	6.31	15.96	1.010	16.122	3.573
<b>Mediana</b>												15.84		16.12	3.578
1.00	1.00%	10.30	10.30	10.35	10.30	6.20	6.25	6.20	6.22	10.31	6.22	16.12	1.033	16.646	3.610
2.00	1.00%	10.20	10.20	10.20	10.18	6.40	6.40	6.35	6.38	10.20	6.38	17.88	0.993	17.741	3.648
3.00	1.00%	10.35	10.30	10.30	10.30	6.25	6.30	6.25	6.27	10.31	6.27	16.51	1.020	16.841	2.560
4.00	1.00%	10.35	10.30	10.30	10.35	6.25	6.25	6.20	6.23	10.33	6.23	16.62	1.030	17.117	3.873
5.00	1.00%	10.25	10.20	10.20	10.20	6.30	6.35	6.30	6.32	10.21	6.32	19.76	1.008	19.907	3.591
6.00	1.00%	10.30	10.30	10.30	10.30	6.20	6.20	6.25	6.22	10.30	6.22	16.76	1.033	17.308	3.542
7.00	1.00%	10.20	10.20	10.20	10.25	6.30	6.30	6.35	6.32	10.21	6.32	19.58	1.008	19.729	3.630
<b>Mediana</b>												15.84		17.31	3.610
1.00	1.25%	10.30	10.28	10.30	10.32	6.25	6.30	6.30	6.28	10.30	6.28	16.08	1.018	16.359	3.276
2.00	1.25%	10.28	10.28	10.25	10.28	6.30	6.30	6.32	6.31	10.27	6.31	16.99	1.010	17.155	3.693
3.00	1.25%	10.30	10.30	10.30	10.30	6.25	6.25	6.20	6.23	10.30	6.23	16.45	1.030	16.947	3.622
4.00	1.25%	10.32	10.30	10.30	10.30	6.30	6.32	6.35	6.32	10.31	6.32	15.77	1.008	15.893	4.150
5.00	1.25%	10.25	10.30	10.32	10.30	6.40	6.30	6.40	6.37	10.29	6.37	13.08	0.995	13.013	3.788
6.00	1.25%	10.25	10.25	10.20	10.20	6.52	6.50	6.53	6.52	10.23	6.52	17.71	0.958	16.966	3.664
7.00	1.25%	10.20	10.20	10.25	10.20	6.48	6.40	6.45	6.44	10.21	6.44	17.74	0.978	17.344	3.676
<b>Mediana</b>												15.96		16.95	3.676
1.00	1.50%	10.30	10.32	10.32	10.30	6.48	6.45	6.45	6.46	10.31	6.46	13.97	0.973	13.582	3.783
2.00	1.50%	10.20	10.20	10.20	10.20	6.50	6.50	6.53	6.51	10.20	6.51	17.86	0.960	17.150	3.476
3.00	1.50%	10.30	10.30	10.30	10.30	6.40	6.40	6.43	6.41	10.30	6.41	15.68	0.985	15.442	3.752
4.00	1.50%	10.20	10.20	10.20	10.20	6.52	6.50	6.50	6.51	10.20	6.51	17.82	0.960	17.108	3.741
5.00	1.50%	10.30	10.30	10.30	10.30	6.42	6.40	6.38	6.40	10.30	6.40	16.62	0.988	16.412	3.634
6.00	1.50%	10.25	10.30	10.30	10.25	6.35	6.35	6.32	6.34	10.28	6.34	15.75	1.003	15.793	3.719
7.00	1.50%	10.25	10.30	10.28	10.30	6.35	6.40	6.40	6.38	10.28	6.38	16.09	0.993	15.968	4.060
<b>Mediana</b>												16.09		15.97	3.741

Fuente: Propia



**c) Análisis de la prueba**

- i. Luego de procesar los datos obtenidos en laboratorio se logró calcular el valor de la estabilidad corregida y el flujo de los especímenes modificados con PVC compactados.

**3.6.32. Elección del contenido óptimo de PVC**

**a) Procesamiento o cálculos de la prueba**

- i. Se colocaron las medianas de los valores obtenidos de estabilidad (KN), flujo (mm), peso específico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), VTM, VMA y VFA de todos los porcentajes de PVC.
- ii. Para calcular los valores de flujo en centésimas de pulgada (0.01”), se multiplicaron los valores de flujo en milímetros (mm) por 3.93701, como se muestra a continuación:

$$\text{Flujo (0.01")} = \text{Flujo (mm)} * 3.93701$$

- iii. Para la elección del contenido óptimo de PVC se eligió el contenido de PVC para el cual se tiene la mayor estabilidad.


**b) Diagramas y tablas**

- i. En las siguientes tablas se muestran la tabla de los resultados calculados y sus respectivos gráficos:





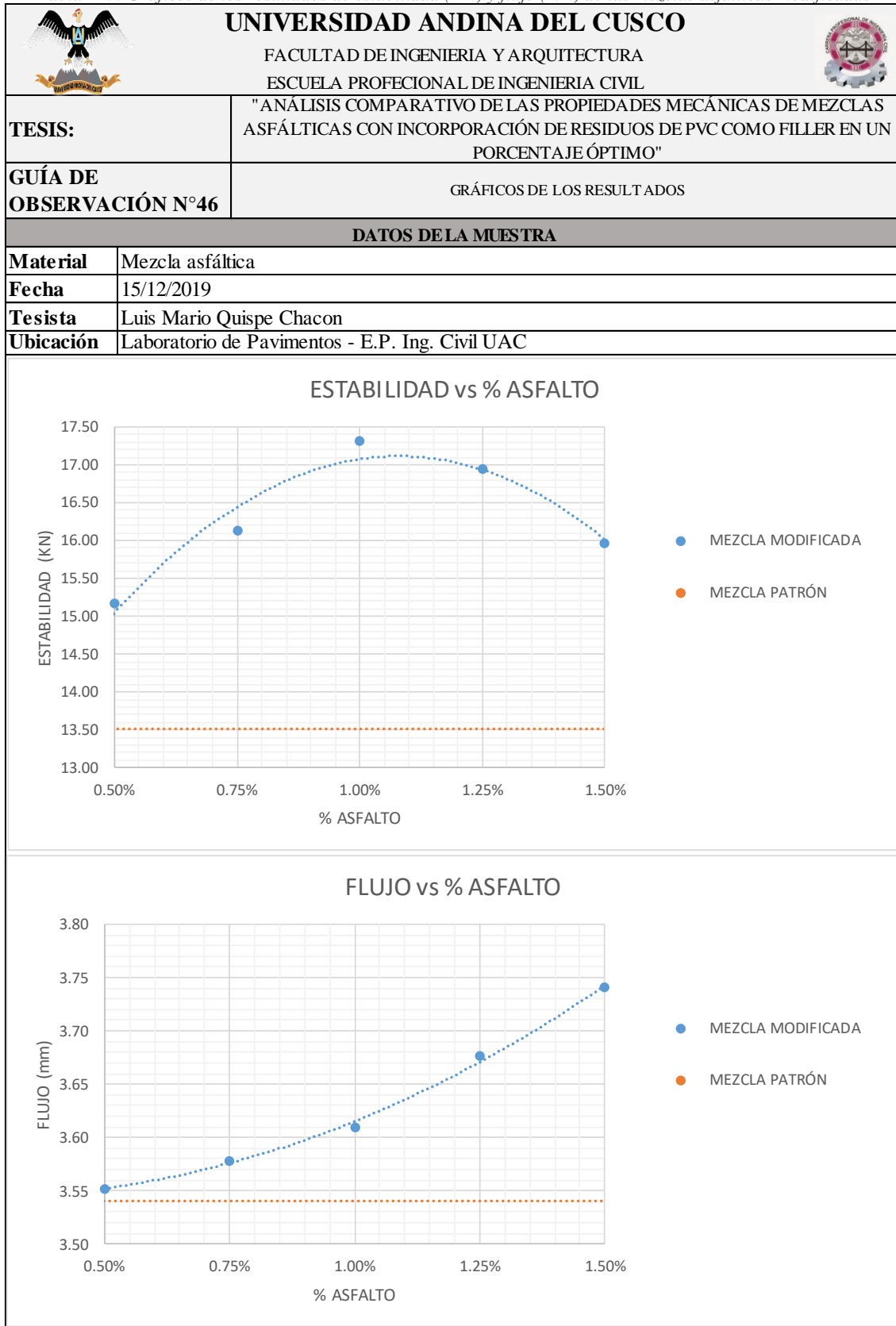
Tabla 144: Análisis de datos para determinar el contenido óptimo de PVC

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 							
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"						
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°45</b>	RESUMEN DE LOS RESULTADOS						
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica						
<b>Fecha</b>	15/12/2019						
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon						
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC						
%PVC	Estabilidad (KN)	Flujo (mm)	Flujo (0.01")	Peso específico (gr/cm3)	VTM	VMA	VFA
PATRÓN	13.52	3.54	13.92	2.37	3.92	16.22	75.89
0.50%	15.16	3.55	13.98	2.35	4.35	16.61	73.79
0.75%	16.12	3.58	14.09	2.38	2.80	15.23	81.62
1.00%	17.31	3.61	14.21	2.35	4.08	16.32	75.00
1.25%	16.95	3.68	14.47	2.34	4.13	17.39	76.22
1.50%	15.97	3.74	14.73	2.31	5.18	17.22	69.93
VTM:	Vacíos totales de la mezcla.						
VMA:	Vacíos del agregado mineral.						
VFA:	Vacíos llenos con asfalto.						

Fuente: Propia





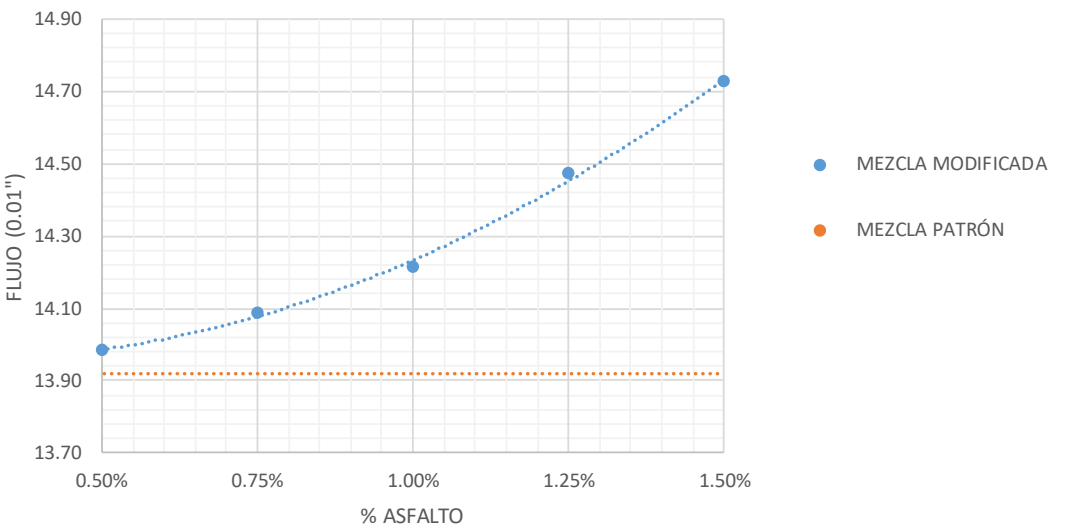
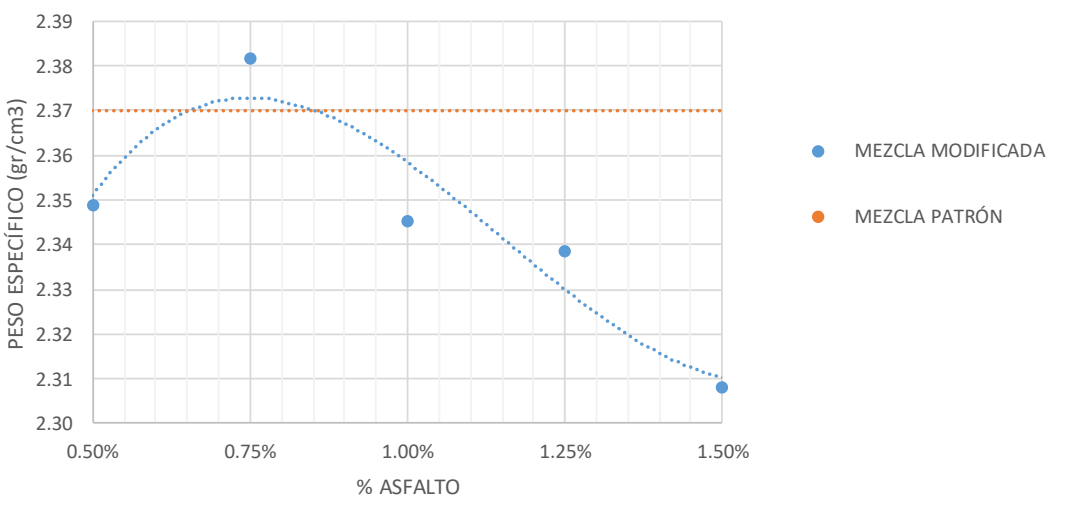
Tabla 145: Gráficos de los resultados de estabilidad (KN) y flujo (mm) de las mezclas asfálticas modificadas



Fuente: Propia



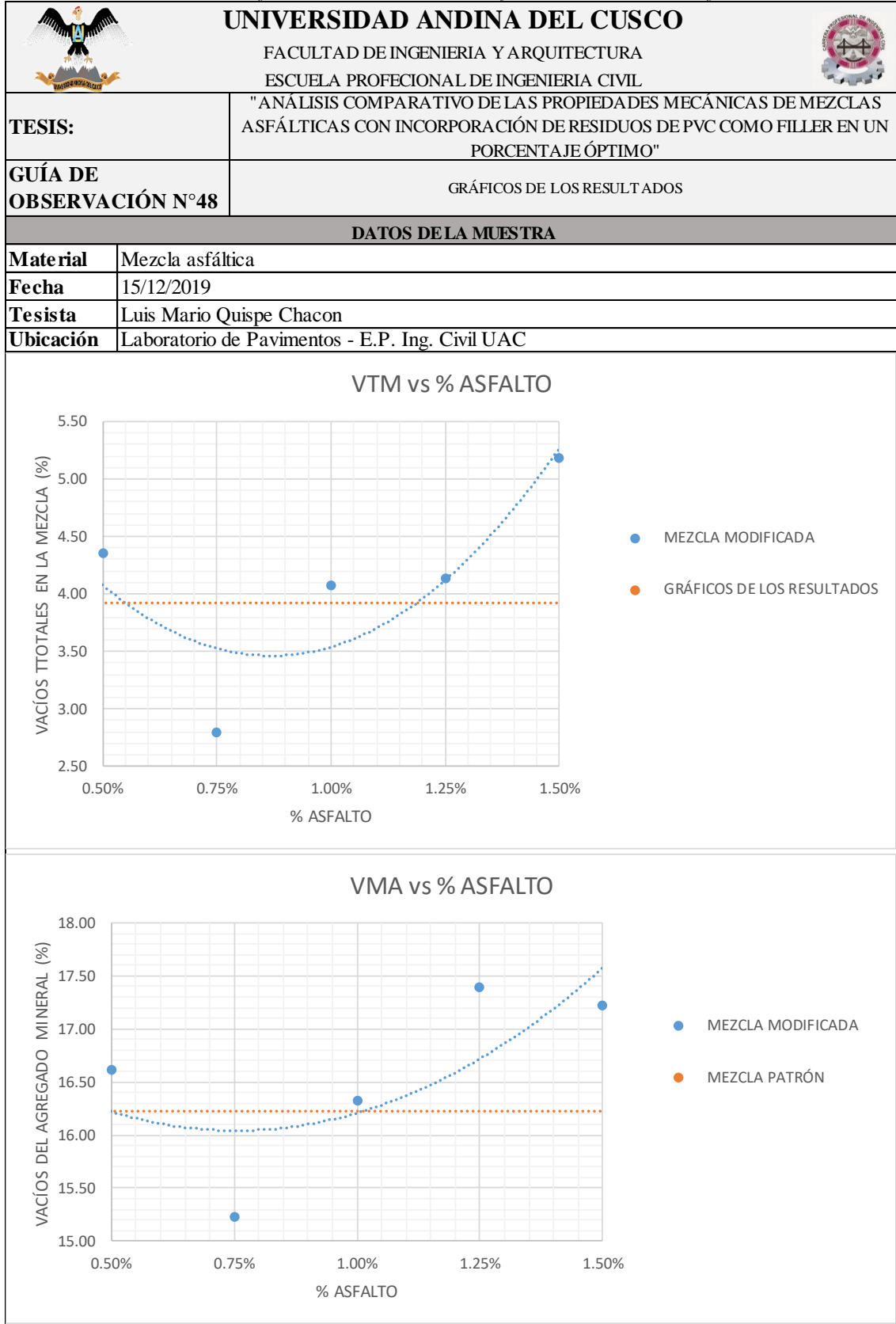
Tabla 146: Gráficos del flujo (0.01") y peso específico (gr/cm<sup>3</sup>) de las mezclas asfálticas modificadas

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL 																			
<b>TESIS:</b>	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"																		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN N°47</b>	GRÁFICOS DE LOS RESULTADOS																		
DATOS DE LA MUESTRA																			
<b>Material</b>	Mezcla asfáltica																		
<b>Fecha</b>	15/12/2019																		
<b>Tesista</b>	Luis Mario Quispe Chacon																		
<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ing. Civil UAC																		
<h3>FLUJO vs % ASFALTO</h3>  <table border="1"> <caption>Data for FLUJO vs % ASFALTO</caption> <thead> <tr> <th>% ASFALTO</th> <th>MEZCLA MODIFICADA (FLUJO 0.01")</th> <th>MEZCLA PATRÓN (FLUJO 0.01")</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.50%</td> <td>13.98</td> <td>13.92</td> </tr> <tr> <td>0.75%</td> <td>14.10</td> <td>13.92</td> </tr> <tr> <td>1.00%</td> <td>14.22</td> <td>13.92</td> </tr> <tr> <td>1.25%</td> <td>14.48</td> <td>13.92</td> </tr> <tr> <td>1.50%</td> <td>14.72</td> <td>13.92</td> </tr> </tbody> </table>		% ASFALTO	MEZCLA MODIFICADA (FLUJO 0.01")	MEZCLA PATRÓN (FLUJO 0.01")	0.50%	13.98	13.92	0.75%	14.10	13.92	1.00%	14.22	13.92	1.25%	14.48	13.92	1.50%	14.72	13.92
% ASFALTO	MEZCLA MODIFICADA (FLUJO 0.01")	MEZCLA PATRÓN (FLUJO 0.01")																	
0.50%	13.98	13.92																	
0.75%	14.10	13.92																	
1.00%	14.22	13.92																	
1.25%	14.48	13.92																	
1.50%	14.72	13.92																	
<h3>PESO ESPECÍFICO vs % ASFALTO</h3>  <table border="1"> <caption>Data for PESO ESPECÍFICO vs % ASFALTO</caption> <thead> <tr> <th>% ASFALTO</th> <th>MEZCLA MODIFICADA (PESO ESPECÍFICO gr/cm<sup>3</sup>)</th> <th>MEZCLA PATRÓN (PESO ESPECÍFICO gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.50%</td> <td>2.348</td> <td>2.370</td> </tr> <tr> <td>0.75%</td> <td>2.382</td> <td>2.370</td> </tr> <tr> <td>1.00%</td> <td>2.345</td> <td>2.370</td> </tr> <tr> <td>1.25%</td> <td>2.338</td> <td>2.370</td> </tr> <tr> <td>1.50%</td> <td>2.308</td> <td>2.370</td> </tr> </tbody> </table>		% ASFALTO	MEZCLA MODIFICADA (PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup> )	MEZCLA PATRÓN (PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup> )	0.50%	2.348	2.370	0.75%	2.382	2.370	1.00%	2.345	2.370	1.25%	2.338	2.370	1.50%	2.308	2.370
% ASFALTO	MEZCLA MODIFICADA (PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup> )	MEZCLA PATRÓN (PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup> )																	
0.50%	2.348	2.370																	
0.75%	2.382	2.370																	
1.00%	2.345	2.370																	
1.25%	2.338	2.370																	
1.50%	2.308	2.370																	

Fuente: Propia



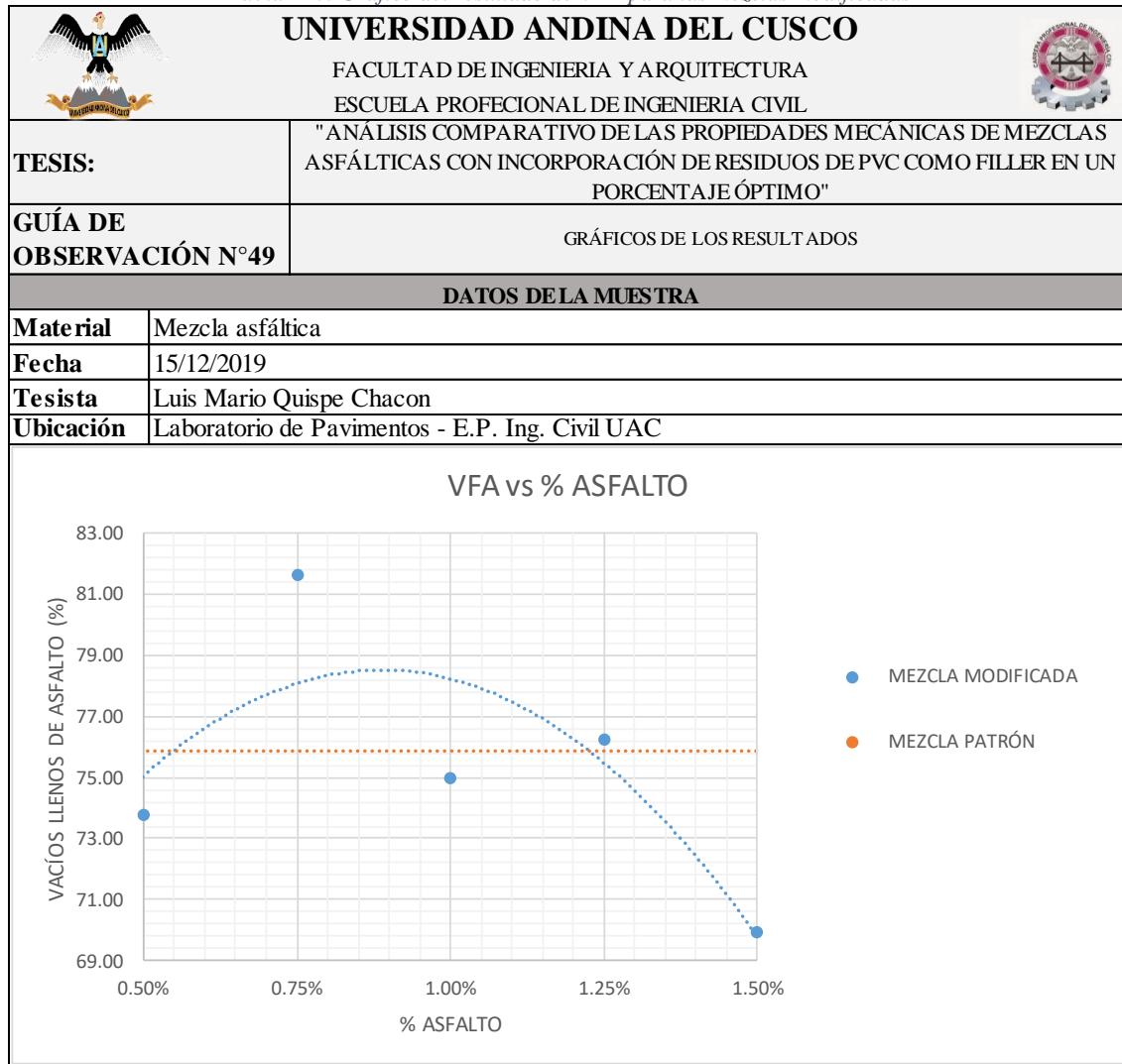
Tabla 147: Gráficos de los resultados de VTM y VMA de las mezclas modificadas



Fuente: Propia



Tabla 148: Gráfico del resultado de VFA para las mezclas modificadas



Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. El contenido óptimo de PVC fue de 1.00%, debido a que se obtuvo valores mayores de estabilidad.
- ii. Luego de procesar los resultados obtenidos para los especímenes compactados de mezclas asfálticas modificadas con PVC se pudo graficar los resultados de cada porcentaje comparándolo con los valores obtenidos para la mezcla asfáltica patrón.
- iii. La tendencia de la estabilidad aumentó con el incremento de PVC hasta alcanzar un pico y luego decreció.
- iv. La tendencia del flujo aumentó con el incremento de PVC.
- v. La tendencia para el peso específico aumentó con el incremento de PVC hasta alcanzar un pico y luego decreció.



- vi. La tendencia para el porcentaje de vacíos de la mezcla (VTM) fue disminuyendo con el incremento del PVC hasta alcanzar un mínimo y luego creció.
- vii. La tendencia para el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) fue disminuyendo con el incremento del PVC hasta alcanzar un mínimo y luego creció.
- viii. La tendencia para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumentó con el incremento de PVC hasta alcanzar un pico y luego decreció.

### 3.6.33. Análisis de variación de costos

#### a) Procesamientos o cálculos de la prueba

- i. Se calcularon las cantidades de material que entran en la mezcla de concreto asfáltico para una probeta y para 1 m<sup>3</sup> para una mezcla asfáltica convencional.
- ii. Se calcularon las cantidades de material que entran en la mezcla de concreto asfáltico para una probeta y para 1 m<sup>3</sup> para una mezcla asfáltica modificada, considerando los costos adicionales de PVC y energía eléctrica para la trituración de este material.

#### b) Diagramas y tablas

- i. En las siguientes tablas se muestran la tabla y gráfico de la variación de costos por m<sup>3</sup>:

Tabla 149: Costos de producción de mezcla asfáltica convencional

MEZCLA CONVENCIONAL 1 m3				
Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Parcial	
<b>INSUMOS COMPONENTES DEL CONCRETO ASFÁLTICO</b>				
Asfalto PG 70-28	gal	42.86237401	100	4286.237401
Agregado Grueso	m3	0.264401488	45	11.89806695
Agregado Fino	m3	0.642222522	50	32.1111261
Cemento	bol	2.055598195	25	51.38995487
<b>OTROS INSUMOS</b>				
Gas	bal	9.636325091	35	337.2713782
<b>TOTAL</b>				4718.907927

Fuente: Propia



Tabla 150: Costos de producción de mezcla asfáltica modificada

MEZCLA MODIFICADA 1 m3				
Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Parcial
<b>INSUMOS COMPONENTES DEL CONCRETO ASFÁLTICO</b>				
Asfalto PG 70-28	gal	42.86237401	100	4286.237401
Agregado Grueso	m3	0.264401488	45	11.89806695
Agregado Fino	m3	0.642222522	50	32.1111261
Cemento	bol	2.055598195	25	51.38995487
PVC	kg	55.55555556	1	55.55555556
<b>OTROS INSUMOS</b>				
Gas	bal	9.636325091	35	337.2713782
Energía eléctrica	kWh	9.090909091	0.6724	6.112727273
<b>TOTAL</b>				4780.576209

Fuente: Propia

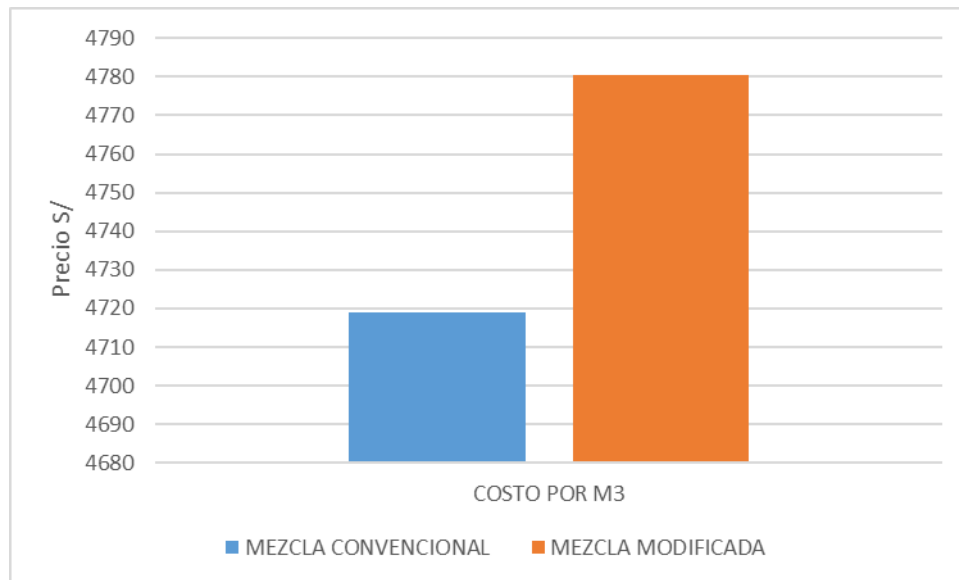


Figura 148: Variación de costos de producción de mezclas asfálticas

Fuente: Propia

### c) Análisis de la prueba

- i. Luego de comparar los costos de producción del concreto asfáltico convencional y modificado, se obtuvo un incremento de 1.307% en el costo de la mezcla asfáltica modificada respecto al costo de la mezcla convencional.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Resultados del diseño de mezcla

Como resultado del diseño y dosificación de mezclas asfálticas con cemento asfáltico PG 70-28, se obtuvo el contenido óptimo de asfalto y los valores de estabilidad y flujo para dicho contenido de asfalto, como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 151: Resultados del diseño de mezcla asfáltica*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	
<b>Cemento asfáltico PG 70-28</b>	
Contenido óptimo de asfalto:	5.56%
Estabilidad (KN):	13.52
Flujo (mm):	3.54
Flujo (0.01"):	13.917

*Fuente: Propia*

#### 4.2. Resultados de la mezcla modificada

Como resultado de la compactación de mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de PVC triturado como filler, se obtuvo el contenido óptimo de PVC; del mismo modo se obtuvieron los datos de la estabilidad y flujo para el contenido óptimo de PVC, como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 152: Resultados de la mezcla asfáltica modificada*

<b>MEZCLA MODIFICADA</b>	
<b>Mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC</b>	
Contenido óptimo de PVC:	0.50%
Estabilidad (KN):	15.16
Flujo (mm):	3.55
Flujo (0.01")	13.984

*Fuente: Propia*

#### 4.3. Resultados de la comparación de estabilidad de las mezclas asfálticas

Como resultado de la comparación de la estabilidad de las mezclas asfálticas, se observa que la estabilidad incrementó con la incorporación de residuos de PVC a la mezcla asfáltica patrón, como se muestra a continuación:

*Tabla 153: Comparación de los valores de estabilidad*

	<b>ESTABILIDAD (KN)</b>
Mezcla asfáltica patrón:	13.52
Mezcla asfáltica con 0.50% de PVC:	15.16

*Fuente: Propia*



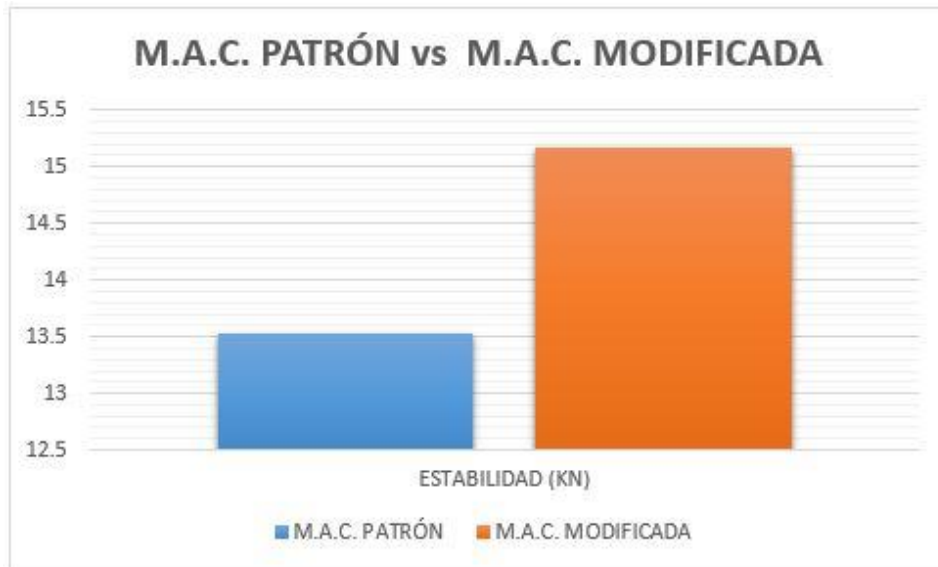


Figura 149: Estabilidad de M.A.C. patrón vs. estabilidad de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC  
Fuente: Propia

#### 4.4. Resultados de la comparación de flujo de las mezclas asfálticas

Como resultado de la comparación del flujo de las mezclas asfálticas, se observa que el flujo incrementó con la incorporación de residuos de PVC a la mezcla asfáltica patrón, como se muestra a continuación:

Tabla 154: Comparación de los valores de flujo

	FLUJO (mm)	FLUJO (0.01")
Mezcla asfáltica patrón:	3.54	13.917
Mezcla asfáltica con 0.50% de PVC:	3.55	13.984

Fuente: Propia

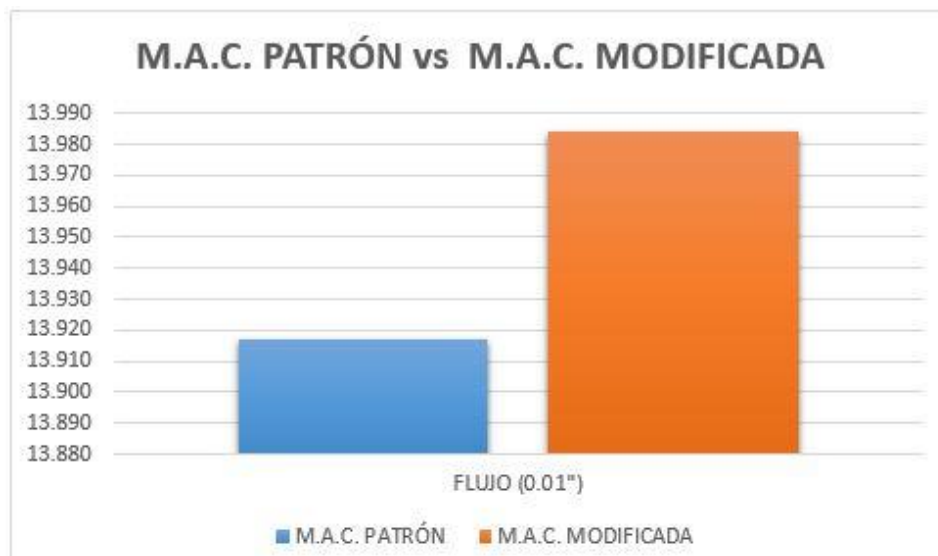


Figura 150: Flujo de M.A.C. patrón vs. flujo de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC  
Fuente: Propia



#### 4.5. Resultados de la comparación del peso específico de las mezclas asfálticas

Como resultado de la comparación del peso específico de las mezclas asfálticas, se observa que disminuyó con la incorporación 0.50% de residuos de PVC a la mezcla asfáltica patrón, como se muestra a continuación:

Tabla 155: Comparación de los valores de peso específico

	PESO ESPECÍFICO (gr/cm <sup>3</sup> )
Mezcla asfáltica patrón:	2.37
Mezcla asfáltica con 0.50% de PVC:	2.35

Fuente: Propia

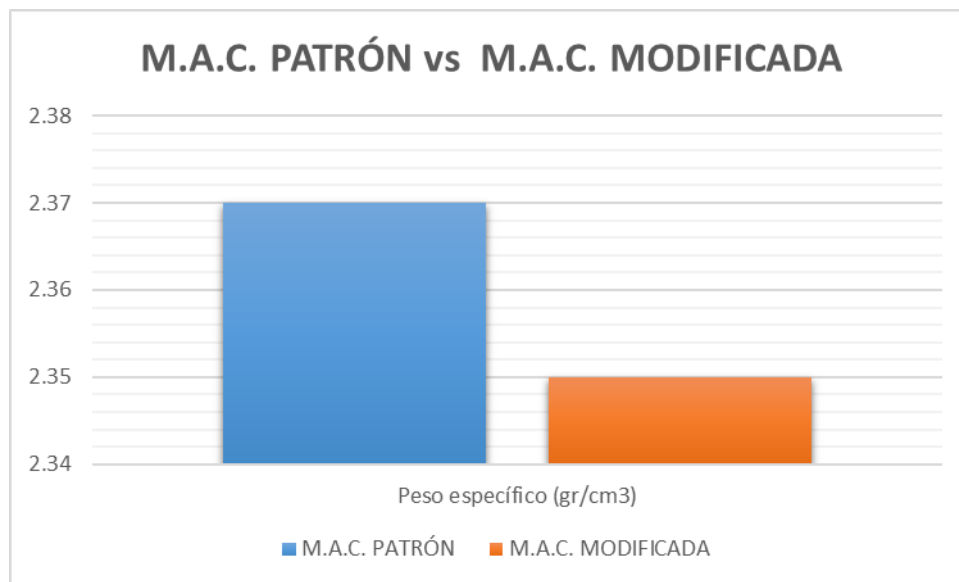


Figura 151: Peso específico de M.A.C. patrón vs. peso específico de M.A.C. modificadas con 0.50% de PVC  
Fuente: Propia

#### 4.6. Resultados de la comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas

Como resultado de la comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas, obteniendo los siguientes resultados:

- El porcentaje de vacíos totales de la mezcla (VTM) incrementó de 3.92% en la mezcla patrón a 4.35% en la mezcla modificada con PVC.
- El porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) incrementó de 16.22% en la mezcla patrón a 16.61% en la mezcla modificada con PVC.



- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) disminuyó de 75.89% en la mezcla patrón a 73.79% en la mezcla modificada con PVC.

Los resultados descritos previamente se muestran a continuación:

Tabla 156: Comparación de los valores de parámetros volumétricos

	VTM	VMA	VFA
Mezcla asfáltica patrón:	3.92	16.22	75.89
Mezcla asfáltica con 0.50% de PVC:	4.35	16.61	73.79

Fuente: Propia

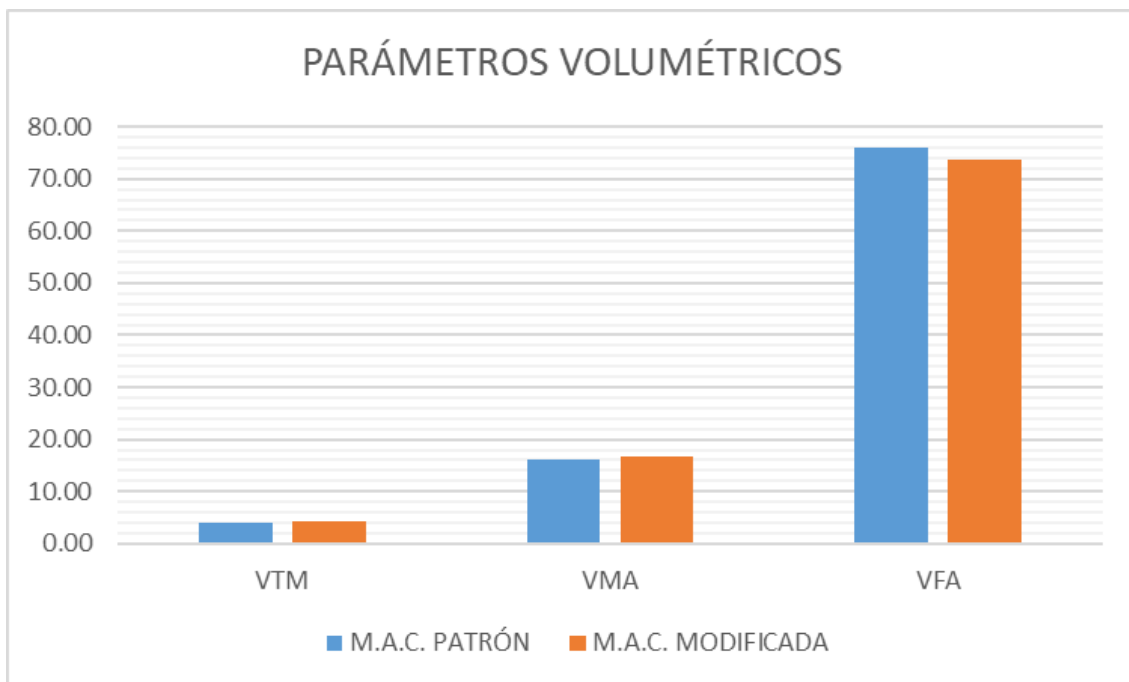


Figura 152: Parámetros volumétricos de la M.A.C. patrón vs. parámetros volumétricos de la M.A.C. modificada

Fuente: Propia



## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### a) Contraste de resultados con referentes del marco teórico

##### **Discusión N° 1:**

**¿La granulometría resultante de la combinación de agregados cumplió con la gradación para mezclas asfálticas en caliente?**

Sí, la granulometría resultante de la combinación de agregados utilizados cumplió con la gradación MAC-2 para elaborar mezclas asfálticas en caliente establecido en la norma E.G. – 2013.

##### **Discusión N° 2:**

**¿Cómo se trabajó con los valores de absorción de los agregados finos que eran superiores a los requerimientos?**

Los valores superiores de absorción son aceptables siempre que se aseguren las propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica, para la cual la mezcla asfáltica elaborada superó los valores mínimos de estabilidad de 8.15 KN.

##### **Discusión N° 3:**

**¿La calidad de los agregados es adecuada para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente?**

Sí, los agregados son adecuados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente ya que se obtuvieron resultados óptimos al ejecutarse los ensayos de calidad de los agregados establecidos en las normas peruanas como el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (E.G.-2013) y la norma CE.010 Pavimentos urbanos.

##### **Discusión N° 4:**

**¿Cómo se puede comprobar las propiedades mecánicas y parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica?**

Se pudo comprobar las propiedades mecánicas (estabilidad y flujo) de la mezcla asfáltica en caliente a través de los requisitos establecidos en la normativa peruana como el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (E.G.-2013), el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (sección suelos y pavimentos) y la



norma CE.010 Pavimentos urbanos; donde se obtuvieron resultados adecuados ya que se cumplieron con los requisitos y recomendaciones establecidos en las normas.

#### **Discusión N° 5:**

#### **¿Cómo se puede comprobar las propiedades mecánicas y parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de PVC?**

Se pudo comprobar las propiedades mecánicas (estabilidad y flujo) de la mezcla asfáltica en caliente modificada a través de los requisitos establecidos en la normativa peruana como el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (E.G.-2013), el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (sección suelos y pavimentos) y la norma CE.010 Pavimentos urbanos; donde se obtuvieron resultados adecuados ya que se cumplieron con los requisitos y recomendaciones establecidos en las normas.

#### **b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación**

#### **Discusión N° 6:**

#### **¿Qué porcentaje de asfalto es considerado como óptimo?**

5.56%, se establece este como porcentaje óptimo de asfalto ya que este porcentaje fue calculado por el método del instituto del asfalto, obteniendo ese porcentaje al promediar el contenido de asfalto para la estabilidad máxima (5.00%), el contenido de asfalto para la densidad máxima (6.00%) y el contenido de asfalto para el punto medio del rango de porcentaje de vacíos de la mezcla (5.67%).

#### **Discusión N° 7:**

#### **¿La granulometría de agregados varía para la elaboración de una mezcla asfáltica modificada respecto a la granulometría de la mezcla asfáltica patrón?**

No, la granulometría no presenta variación alguna ya que se la misma granulometría para ambos tipos de mezclas asfálticas respetando los límites de gradación de los agregados establecidos por la norma E.G. – 2013 para mezclas asfálticas en caliente (MAC-2).

#### **Discusión N° 8:**

#### **¿La cantidad de cemento asfáltico varía para la elaboración de una mezcla asfáltica modificada respecto a la cantidad de cemento asfáltico empleada para elaborar la mezcla asfáltica patrón?**



No, la cantidad de asfalto empleado para la elaboración de ambas mezclas asfálticas no presentan variaciones ya que la única variación que se da en las mezclas es la incorporación de PVC como filler; por lo tanto, se emplean 5.56% de cemento asfáltico.

**Discusión N° 9:**

**¿Los porcentajes de incorporación de PVC como filler son adecuados para la investigación?**

Sí, los porcentajes de incorporación empleados en la investigación fueron adecuados debido a que se registraron mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas de estabilidad y flujo evaluados a través del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente.

**Discusión N° 10:**

**¿Qué porcentaje de PVC como filler es recomendable incorporar a la mezcla asfáltica en caliente?**

0.50%, se define este porcentaje como óptimo para la incorporación de PVC como filler a la mezcla asfáltica en caliente debido a que a este porcentaje mejora el flujo y la estabilidad de la mezcla asfáltica patrón y a su vez cumple con los requisitos establecidos en las normas Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (E.G.-2013) y CE.010 Pavimentos urbanos.

**Discusión N° 11:**

**¿Por qué no se estableció 1.00% de PVC como porcentaje óptimo de incorporación?**

Esto se debe a que pesar de que, con incorporación de 1.00% de PVC las mezclas asfálticas modificadas alcanzan el pico de estabilidad (17.31 KN); las mezclas asfálticas con incorporación de 1.00% de PVC alcanzan un valor de 14.21, superando el límite superior de flujo en centésimas de pulgada (14) establecido en los requisitos de mezclas asfálticas en caliente de las normas.

**c) Comentario de la demostración de la hipótesis**

**Discusión N° 12:**

**¿Cómo influye la incorporación de residuos de PVC como filler en un porcentaje óptimo en una mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico PG 27-80 en cuanto a las propiedades mecánicas?**



La incorporación de residuos de PVC como filler en la mezcla asfáltica en caliente produjo incremento de flujo en un 0.48% respecto a la mezcla asfáltica patrón; del mismo modo se produjo un incremento de la estabilidad en un 12.15% respecto a la mezcla asfáltica patrón.

**d) Aporte de la investigación**

**Discusión N° 13:**

**¿Los residuos de PVC como filler fueron empleados previamente en investigaciones sobre mezclas asfálticas en caliente en la región del Cusco?**

No, por esa razón esta tesis pretende aportar los conocimientos sobre la incorporación de residuos de PVC como filler en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente con el uso de agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco y cemento asfáltico PG 27-80.

**Discusión N° 14:**

**¿Cuál es el aporte de la presente investigación a la rama de pavimentos de la ingeniería civil?**

La presente investigación muestra la diferencia de comportamiento mecánico que presentan las mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC como filler frente a una mezcla asfáltica patrón, demostrando un mejor comportamiento tanto de estabilidad como de flujo empleando agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco para que esta investigación pueda servir como aporte al diseño de mezclas asfálticas en nuestra ciudad y del mismo modo sirva como una propuesta eco amigable para un mejor uso de los residuos de PVC. Del mismo modo la utilización de la mezcla asfáltica con incorporación de residuos de PVC como filler puede variar dependiendo del clima en la zona donde se pueda aplicar, así como de las propiedades de los agregados que deben asegurar la calidad de la mezcla asfáltica.

**e) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación**

**Discusión N° 15:**

**¿Qué dificultades se han presentado durante la trituración del PVC para obtenerlo suficientemente fino para su uso como filler?**

En el proceso de trituración del PVC se tuvo que adaptar un motor con una piedra porosa para obtener el PVC como filler por raspado, del mismo modo se tuvo que tener cuidado que no se pierda material por suspensión en el aire ya que producto del raspado del PVC el material



resultante salía disparado por ello se tuvo que acomodar una caja para atrapar el material lo cual limitó la visibilidad del proceso de raspado del PVC.





## CAPITULO VI

### GLOSARIO

#### A

##### **AASHTO**

American Association of State Highways and Transportation Officials.

##### **ASTM**

American Society for Testing Materials.

#### B

##### **BITUMEN**

Sustancia cementante de color oscuro, compuesta principalmente de hidrocarburos.

#### C

##### **CEMENTO ASFÁLTICO**

Asfalto preparado especialmente para ser utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas.

#### F

##### **FILLER**

Relleno mineral compuesto por partículas que pasan el tamiz N° 200.

##### **FISURAMIENTO**

Ruptura o falla que se presenta en la superficie de la carpeta de rodadura de un pavimento, el cual se debe principalmente a fallas por fatiga, espesor del pavimento, tipo de cemento asfáltico, temperatura y tráfico.

#### M

##### **MAC**

Mezcla asfáltica en caliente.

##### **MTC**

Ministerio de transportes y comunicaciones.



**P**

**PG**

Performance grade.

**PVC**

Poli-cloruro de vinilo.

**R**

**RNE**

Reglamento nacional de edificaciones.

**V**

**VFA**

Vacíos llenos de asfalto,

**VMA**

Vacíos del agregado mineral.

**VTM**

Vacíos totales de la mezcla.



## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES

#### Conclusión N° 1:

Se demostró la hipótesis general: **“La incorporación de residuos de PVC como filler en un porcentaje óptimo producirá un mejor comportamiento de las propiedades mecánicas respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón”**, debido a que los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de PVC como filler en un porcentaje de 0.50% muestran un mejor comportamiento de las propiedades mecánicas frente a las mezclas asfálticas patrón convencionales, las cuales se encuentran dentro de los parámetros que establece la norma CE - 0.10 (Pavimentos Urbanos) y E.G. – 2013 (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción). Obteniendo una estabilidad de 15.16 KN y 3.55 mm de flujo, especificado en las tablas N° 141 y N° 142. Estos resultados son posibles debido a que la incorporación de residuos de PVC como filler también cumplió la función de polímero plastómero, mejorando las propiedades del cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica por vía seca.

#### Conclusión N° 2:

No se demuestra la sub-hipótesis N° 1: **“El peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler será mayor respecto al peso unitario de una mezcla asfáltica patrón”**. Debido a que el peso unitario de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de PVC como filler en 0.50% disminuyó de 2.37 gr/cm<sup>3</sup> a 2.35 gr/cm<sup>3</sup> (Tabla N° 143).

#### Conclusión N° 3:

Se demuestra parcialmente la sub-hipótesis N° 2: **“La incorporación de residuos de PVC como filler influye en el incremento de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas”**.

- El porcentaje de vacíos totales de la mezcla (VTM) incrementó de 3.92% en la mezcla patrón a 4.35% en la mezcla modificada con PVC, cumpliendo con los valores de los requerimientos de la norma E.G. – 2013 (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción) y CE.010 (Pavimentos Urbanos).
- El porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) incrementó de 16.22% en la mezcla patrón a 16.61% en la mezcla modificada con PVC, cumpliendo con las recomendaciones para el diseño de mezclas asfálticas en climas fríos y altura de la



norma Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”; las cuales indican que se debe tratar de lograr vacíos en el agregado mineral superiores a 15%.

- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) disminuyó de 75.89% en la mezcla patrón a 73.79% en la mezcla modificada con PVC.

Dichos resultados se encuentran en la tabla N° 144.

#### **Conclusión N° 4:**

No se demuestra la sub-hipótesis N° 3: *“El flujo de las mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC como filler en diferentes porcentajes disminuye respecto al flujo de una mezcla asfáltica patrón”*. Esto se puede evidenciar ya que el flujo incrementó de manera constante con la incorporación de residuos de PVC como filler, aumentando desde 3.55 milímetros hasta 3.74 milímetros (Tabla N° 134).

#### **Conclusión N° 5:**

Se demuestra la sub-hipótesis N° 4: *“La estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler incrementa respecto a la estabilidad de una mezcla asfáltica patrón”*. Ya que con la incorporación de residuos de PVC como filler en diferentes porcentajes a la mezcla asfáltica incrementaron los valores de estabilidad, superando el requerimiento de 8.15 KN de las normas CE - 0.10 (Pavimentos Urbanos) y E.G. – 2013 (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción) (Tabla N° 134).



## CAPÍTULO VIII

### RECOMENDACIONES

#### **Recomendación N° 1:**

Se recomienda la aplicación de la investigación realizada en las diferentes plantas de producción de concreto asfáltico que se ubican en el departamento del Cusco; ya que es una propuesta eco amigable y eficaz, debido a que mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales con la incorporación de residuos de PVC como filler.

#### **Recomendación N° 2:**

Se recomienda tener sumo cuidado al realizar los ensayos de los agregados, haciendo los que exige el MTC, ya que las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas dependen significativamente de los resultados que se obtengan en dichos ensayos.

#### **Recomendación N° 3:**

En esta tesis se analizó comparativamente las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente patrón con una mezcla asfáltica modificada con incorporación de PVC como filler en un porcentaje óptimo; la presente tesis se realizó respetando la gradación que recomienda el MTC correspondiente a mezclas asfálticas en caliente tipo 2 (MAC-2). Por lo tanto, se recomienda hacer investigaciones empleando las gradaciones correspondientes a las mezclas asfálticas en caliente tipo 1 y 3 (MAC-1 y MAC-3).

#### **Recomendación N° 4:**

Se recomienda a la Universidad Andina del Cusco una mejor implementación del laboratorio de pavimentos de la escuela profesional de ingeniería civil, incorporando el equipo necesario para hacer los ensayos de durabilidad de los agregados, la malla #12 que se emplea para el ensayo de abrasión, completar las billas necesarias para realizar dicho ensayo debido a que actualmente se tienen 11 de los 12 que se necesitan y el equipo necesario para determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas en caliente.

#### **Recomendación N° 5:**

Se recomienda la investigación de la incorporación de otro tipo de material a las mezclas asfálticas en caliente para poder mejorar el comportamiento de sus propiedades mecánicas y sus parámetros volumétricos, así como para contribuir al reciclaje de materiales y a reducir la contaminación.



**Recomendación N° 6:**

Se recomienda hacer futuras investigaciones similares a esta haciendo un estudio de costos para poder identificar los beneficios de este tipo de mezclas asfálticas, así como incorporar otros ensayos de resistencia a las mezclas asfálticas.



## REFERENCIAS

- Asphalt Institute. (2001). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Kentucky: Asphalt Institute.
- Cáceres, C. (2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México*. Puebla: Universidad de Las Américas Puebla.
- Castro López, W. A., Rondón Quintana, H. A., & Barrero Calixto, J. C. (2015). Evaluación de las Propiedades Reológicas y Térmicas de un Asfalto Convencional y uno Modificado con un Deshecho de PEBD. *Redalyc*.
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Escalante, J. (2007). *Evaluación de Mezclas Producidas con Ligantes Asfálticos Peruanos Convencional PEN 60/70 y Modificado por Polímeros SBS Tipo I 60/60 PG 76-22*. Sao Paulo.
- Fajardo, L., & Vergaray, D. (2014). *EFECTO DE LA INCORPORACION POR VIA SECA, DEL POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO, COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS ASFALTICAS*. Lima: Repositorio académico USMP.
- Grupo TDM. (26 de Agosto de 2020). Conferencia "Determinación del PG del asfalto para los proyectos de Infraestructura vial". Perú.
- Herencia, W. (26 de Febrero de 2019). *Noticias*. Obtenido de Grupo TDM: <http://www.tdm.com.pe/noticias-101-blog-asfaltos-modificados-con-polimeros-exigencias-clima-trafico.php>
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Hoescht, Q. (1997). *Enciclopedia del Plástico*. México: IMPI.
- Instituto Chileno del Asfalto. (1992). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Lexyngton.
- INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Querétaro: Secretaría de comunicaciones y transportes.
- Main Yaque, P. (2015). *Clasificación de distribuciones y datos atípicos*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.



- Minaya, S., & Ordóñez, A. (Diciembre de 2001). *MANUAL DE LABORATORIO DE ENSAYOS PARA PAVIMENTOS VOLUMEN I*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2013). *Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2013). *Manual de Carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: MTC.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá D.C.: Stella Valvueda de Fierro.
- Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Palomo Sánchez, J. L. (Julio de 2011). *Estadística Descriptiva*. Madrid, España.
- PAVCO WAVIN. (2019). *Ficha Técnica de Tuberías PVC*. Lima, Lima, Perú.
- Petroperú. (2016). Obtenido de Asfaltos Petroperú: <https://www2.petroperu.com.pe/asfaltos/descripcion-tipos-solidos.php>
- Rondon, H., Rodríguez, E., & Moreno, L. (2007). Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas de densidad caliente elaboradas con desechos de PVC, PEAD Y PS. *Revista Ingenierías Universidad de Medellin*, 92-93.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (31 de Mayo de 2005). CMT. *CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG*. Ciudad de México, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- SENCICO. (2010). *NORMAS CE. 0.10 PAVIMENTOS URBANOS*. Lima: SENCICO.
- TDM Asfaltos. (31 de Enero de 2019). *Ficha Técnica BETUTEC PG 70-28*. Lima, Lima, Perú.
- Valera Nuñez, F. L. (2018). *Evaluación del Efecto de la Cal Hidratada y el Polvo de Ladrillo Utilizado Como Relleno Mineral en las Propiedades de una Mezcla Asfáltica*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.





Vargas, X., & Freddy, R. (2010). El Fenómeno del Envejecimiento de los Asfaltos. *Redalyc*.



## ANEXOS

Tabla 157: Matriz de consistencia

TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE PVC COMO FILLER EN UN PORCENTAJE ÓPTIMO"									
MATRIZ DE CONSISTENCIA									
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES		NIVEL	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO	
Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Independientes						
¿Cuál es el resultado del análisis comparativo de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de desechos de PVC como filler en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50% respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón?	Analizar comparativamente las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler en porcentajes de 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% y 1.50% respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón.	La incorporación de residuos de PVC como filler en un porcentaje óptimo producirá un mejor comportamiento de las propiedades mecánicas respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica patrón.	X1	Mezcla asfáltica con incorporación de residuos de PVC	X11	Residuos de PVC	Residuos reciclados y triturados que pasan la malla No. 200	Peso (gr)	Guías de observación de laboratorio
					X12	Mezcla asfáltica	Mezcla realizada con agregados petreos y cemento asfáltico PG 70-28.	Peso (kg)	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipotesis Especificas	Dependientes						
P1	¿Cuánto varía el peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?	Determinar la variación del peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón.	H1	El peso unitario de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler será mayor respecto al peso unitario de una mezcla asfáltica patrón.	Y11	Peso unitario	Peso de la mezcla por unidad de volumen, es decir, es el peso de un volumen específico de mezcla asfáltica.	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Manual de ensayo de materiales
P2	¿Cómo influye la incorporación residuos de PVC como filler en los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas?	Evaluar cómo influye la incorporación de residuos de PVC como filler en los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas.	H2	La incorporación de residuos de PVC como filler influye en el incremento de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas.	Y12	Parámetros volumétricos	Relacion de volúmenes existentes en la mezcla asfáltica.	Porcentaje (%)	Norma CE.010
P3	¿Cuánto varía el flujo de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?	Determinar cómo varía el flujo de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler en diferentes porcentajes respecto a una mezcla asfáltica patrón.	H3	El flujo de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler disminuye respecto al flujo de una mezcla asfáltica patrón.	Y13	Flujo	Es la deformación máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica antes de fallar.	Longitud (mm)	Archivos fotográficos
P4	¿Cuánto incrementa la estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón?	Determinar cuánto incrementa la estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con incorporación de residuos de PVC como filler respecto a una mezcla asfáltica patrón.	H4	La estabilidad de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de residuos de PVC como filler incrementa respecto a la estabilidad de una mezcla asfáltica patrón.	Y14	Estabilidad	Resistencia máxima que presenta el espécimen de mezcla asfáltica a la deformación.	Peso (kg)	Fichas de recolección de datos

Fuente: Propia