

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ASFALTOS MODIFICADOS CON VIDRIO Y SU COMPARACIÓN  
TÉCNICO Y ECONÓMICO CON LOS ASFALTOS  
CONVENCIONALES.**

**Línea de investigación institucional:** Transporte y urbanismo

**Línea de investigación de la escuela profesional de Ingeniería Civil:** Transportes

**PRESENTADO POR:**

**Bach:** GUTIERREZ SILVESTRE, ABEL ANDREI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

Huancayo - Perú

2018

**ASESOR**

**Ing. VLADIMIR ORDOÑEZ CAMPOSANO.**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios por ser mi guía en el trajín de la vida, a mi mamá y hermano, por el apoyo económico, al técnico Eusebio Cuellar por ayudarme a realizar esta investigación y a mi universidad por ser mi alma mater donde me forme académicamente.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mamá, Adela Silvestre Vega. Quien es el pilar principal de mi vida, que a lo largo de su vida entrego toda de ella por verme crecer, confiando enteramente y apoyándome económicamente, Al ingeniero Paúl Boris Mora Bonilla por el apoyo metodológico y técnico.

A mi universidad por brindarme la educación.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

---

DR. CASIO AURELIO TORRES LOPEZ  
PRESIDENTE

---

Ing. DIONICIO MILLA SIMON.

---

Ing. JEANNELLE SOFIA HERRERA MONTES.

---

Ing. RANDO PORRAS OLARTE.

---

Mg. MIGUEL ANGEL, CARLOS CANALES  
SECRETARIO DOCENTE

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	xx
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCIÓN .....	xxv
CAPÍTULO I.....	27
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	27
1.1. Planteamiento del problema.....	27
1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	27
1.2. Formulación y sistematización del problema .....	28
1.2.1. Problema general.....	28
1.2.2. Problemas específicos .....	28
1.3. Justificación de la Investigación .....	28
1.3.1. Justificación practica .....	28
1.3.2. Justificación Metodológica.....	28
1.4. Delimitación de la Investigación .....	29
1.4.1. Delimitación espacial.....	29

1.4.2. Delimitación temporal .....	29
1.4.3. Delimitación económica .....	29
1.5. Limitaciones .....	30
1.5.1. Económica .....	30
1.5.2. Tecnológica.....	30
1.6. Objetivos .....	30
1.6.1. Objetivo general .....	30
1.6.2. Objetivos específicos .....	30
CAPÍTULO II.....	31
MARCO TEÓRICO .....	31
2.1. Antecedentes .....	31
2.1.1. Antecedente Internacional.....	31
2.1.2. Antecedente Nacional .....	32
2.2. Marco conceptual .....	33
2.2.1. Introducción a las mezclas asfálticas .....	33
2.2.2. Propiedades de una mezcla .....	33
2.2.2.1. Estabilidad .....	33
2.2.2.2. Durabilidad .....	34
2.2.2.3. Impermeabilidad .....	34
2.2.2.4. Trabajabilidad .....	34
2.2.2.5. Flexibilidad.....	35

2.2.2.6. Resistencia a la fatiga.....	35
2.2.2.7. Resistencia al deslizamiento.....	36
2.2.3. Método de diseño Marshall .....	36
2.2.3.1. Antecedente .....	36
2.2.3.2. Ensayo al agregado grueso .....	37
2.2.3.3. Ensayos al agregado fino .....	40
2.2.3.4. Ensayos propios para el diseño .....	42
2.2.3.5. Mezcla de los agregados con cemento asfáltico .....	42
2.2.4. Vidrio.....	42
2.3. Definición de términos básicos.....	42
2.4. Hipótesis .....	45
2.4.1. Hipótesis General.....	45
2.4.2. Hipótesis Específicas .....	45
2.5. Variables .....	45
2.5.1. Definición conceptual de la variable .....	45
2.5.2. Definición operacional de la variable .....	46
2.5.3. Operacionalización de la Variable .....	46
CAPÍTULO III.....	47
METODOLOGÍA .....	47
3.1. Método de la investigación .....	47
3.2. Tipo de investigación.....	47



3.3.	Nivel de la investigación .....	47
3.4.	Diseño de investigación .....	47
3.5.	Población y muestra.....	48
3.5.1.	Población. ....	48
3.5.2.	Muestra. ....	48
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	48
3.7.	Procesamiento de la información .....	48
3.8.	Técnicas y análisis de datos.....	48
CAPITULO IV .....		49
RESULTADOS .....		49
4.1.	Granulométrica de los agregados.....	49
4.1.1.	Análisis granulométrico de la grava.....	50
4.1.2.	Análisis granulométrico de la arena natural.....	55
4.1.3.	Análisis granulométrico de la arena chancada .....	60
4.1.4.	Análisis granulométrico de la cal hidratada .....	65
4.1.5.	Combinación teórica de los agregados.....	70
4.1.6.	Combinación practica de los agregados.....	71
4.2.	Ensayos para el agregado grueso.....	72
4.2.1.	Durabilidad (al Sulfato de magnesio).....	72
4.2.2.	Abrasión Los Ángeles .....	73
4.2.3.	Adherencia.....	74

4.2.4. Índice de durabilidad .....	75
4.2.5. Partículas chatas y alargadas .....	76
4.2.6. Caras fracturadas.....	77
4.2.7. Sales solubles totales.....	78
4.2.8. Absorción .....	79
4.3. Ensayos para el agregado fino .....	79
4.3.1. Equivalente de arena .....	79
4.3.2. Angulosidad del agregado fino .....	80
4.3.3. Índice de plasticidad (malla N°40) .....	81
4.3.4. Durabilidad (al sulfato de Magnesio) .....	82
4.3.5. Índice de durabilidad .....	83
4.3.6. Índice de plasticidad (Malla N°200) .....	84
4.3.7. Sales solubles totales.....	86
4.4. Ensayos Marshall a la mezcla asfáltica .....	87
4.4.1. Mezcla asfáltica convencional .....	87
4.4.2. Ensayo rice .....	93
4.4.3. Determinación del óptimo contenido de cemento asfáltico .....	94
4.4.3.1. Cemento asfáltico vs peso unitario .....	94
4.4.3.2. Cemento asfáltico vs % de vacíos .....	94
4.4.3.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral .....	95
4.4.3.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto.....	96

4.4.3.5. Cemento asfáltico vs flujo .....	96
4.4.3.6. Cemento asfáltico vs estabilidad.....	97
4.4.3.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez.....	98
4.4.3.8. Resumen de ensayo Marshall.....	98
4.4.4. Mezcla asfáltica modificado con vidrio.....	100
4.4.4.1. Granulometría del vidrio.....	100
4.4.4.2. Mezcla asfáltica con 1% de vidrio .....	107
4.4.4.2.1. Combinación de los agregados incluyendo el vidrio .....	107
4.4.4.2.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto .....	108
4.4.4.2.3. Ensayo rice .....	110
4.4.4.2.4. Graficas de ensayo Marshall con 1% de vidrio .....	110
4.4.4.2.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario.....	110
4.4.4.2.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos.....	111
4.4.4.2.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral.....	112
4.4.4.2.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto .....	113
4.4.4.2.4.5. Cemento asfáltico vs flujo .....	113
4.4.4.2.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad .....	114
4.4.4.2.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez .....	115
4.4.4.2.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio.....	116
4.4.4.3. Mezcla asfáltica con 2% de vidrio .....	117
4.4.4.3.1. Combinación de los agregados incluyendo vidrio.....	117

4.4.4.3.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto .....	119
4.4.4.3.3. Ensayo rice .....	124
4.4.4.3.4. Graficas de ensayo Marshall con 2% de vidrio .....	125
4.4.4.3.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario .....	125
4.4.4.3.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos .....	125
4.4.4.3.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral .....	126
4.4.4.3.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto .....	127
4.4.4.3.4.5. Cemento asfáltico vs flujo .....	128
4.4.4.3.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad .....	129
4.4.4.3.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez .....	130
4.4.4.3.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio. ....	131
4.4.4.4. Mezcla asfáltica con 3% de vidrio .....	132
4.4.4.4.1. Combinación de los agregados incluyendo vidrio .....	132
4.4.4.4.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto .....	133
4.4.4.4.3. Ensayo rice .....	135
4.4.4.4.4. Graficas de ensayo Marshall con 3% de vidrio .....	136
4.4.4.4.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario .....	136
4.4.4.4.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos .....	136
4.4.4.4.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral .....	137
4.4.4.4.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto .....	138
4.4.4.4.4.5. Cemento asfáltico vs flujo .....	139

4.4.4.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad .....	140
4.4.4.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez .....	141
4.4.4.4.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio.....	142
4.5. Análisis económico .....	143
4.5.1. Análisis económico de asfalto convencional .....	143
4.5.2. Análisis económico de asfalto modificado con vidrio .....	144
4.5.2.1. Costo con 1% de vidrio .....	144
4.5.2.2. Costo con 2% de vidrio .....	145
4.5.2.3. Costo con 3% de vidrio .....	146
4.6. Análisis de los resultados por hipótesis.....	147
4.6.1. Prueba de Hipótesis de la Investigación.....	147
4.6.1.1. Proceso de Prueba de la Hipótesis Principal.....	147
4.6.1.2. Proceso de Prueba de la Hipótesis Específica 1 .....	148
4.6.1.3. Proceso de Prueba de la Hipótesis Específica 2 .....	149
CAPÍTULO V .....	150
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	150
CONCLUSIONES .....	152
RECOMENDACIONES .....	154
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	155
ANEXOS.....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°01 .....	50
Tabla 2: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°02 .....	51
Tabla 3: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°03 .....	52
Tabla 4: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°04 .....	53
Tabla 5: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°05 .....	54
Tabla 6: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°01 .....	55
Tabla 7: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°02 .....	56
Tabla 8: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°03 .....	57
Tabla 9: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°04 .....	58
Tabla 10: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°05 .....	59
Tabla 11: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°01 .....	60
Tabla 12: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°02 .....	61
Tabla 13: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°03 .....	62
Tabla 14: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°04 .....	63
Tabla 15: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°05 .....	64
Tabla 16: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°01 .....	65
Tabla 17: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°02 .....	66
Tabla 18: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°03 .....	67
Tabla 19: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°04 .....	68
Tabla 20: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°05 .....	69
Tabla 21: COMBINACIÓN TEÓRICA DE LOS AGREGADOS .....	70
Tabla 22: COMBINACIÓN PRÁCTICA DE LOS AGREGADOS .....	71
Tabla 23: REQUERIMIENTO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO SEGÚN NORMA .....	72
Tabla 24: DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO .....	73
Tabla 25: REQUERIMIENTO DE ABRASION LOS ANGELES SEGÚN NORMA .....	73
Tabla 26: ABRASION LOS ANGELES .....	74
Tabla 27: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE ADHERENCIA SEGÚN NORMA .....	74
Tabla 28: ENSAYO DE ADHERENCIA .....	74

Tabla 29: REQUERIMIENTO DE ENSAYO ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN NORMA .....	75
Tabla 30: ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO.....	75
Tabla 31: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS SEGUN NORMA .....	76
Tabla 32: PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS.....	76
Tabla 33: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS SEGUN NORMA.....	77
Tabla 34: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS.....	77
Tabla 35: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES SEGUN NORMA.....	78
Tabla 36: CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES.....	78
Tabla 37: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN SEGÚN NORMA .....	79
Tabla 38: ABSORCIÓN .....	79
Tabla 39: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA.....	79
Tabla 40: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA .....	80
Tabla 41: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA .....	80
Tabla 42: ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.....	80
Tabla 43: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD SEGUN NORMA.....	81
Tabla 44: LIMITES DE CONSISTENCIA MALLA N°40 – AGREGADO FINO .....	81
Tabla 45: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE DURABILIDAD (AL SULFATO DE MAGNESIO) SEGÚN NORMA – AGREGADO FINO.....	82
Tabla 46: DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO – AGREGADO FINO .....	83
Tabla 47: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE DURABILIDAD SEGÚN LA NORMA – AGREGADO FINO.....	83

Tabla 48: ÍNDICE DE DURABILIDAD - AGREGADO FINO .....	84
Tabla 49: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N°200) SEGÚN NORMA .....	84
Tabla 50: LÍMITE DE CONSISTENCIA MALLA N°200 - AGREGADO FINO	85
Tabla 51: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES SEGÚN NORMA.....	86
Tabla 52: SALES SOLUBLES TOTALES - AGREGADO FINO.....	86
Tabla 53: REQUISITOS PARA MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO...	87
Tabla 54: VACÍOS MÍNIMOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA).....	88
Tabla 55: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 5.00% DE ASFALTO	88
Tabla 56: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 5.5 % DE ASFALTO.	89
Tabla 57: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 6.0 % DE ASFALTO.	90
Tabla 58: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 6.5 % DE ASFALTO.	91
Tabla 59: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 7.0 % DE ASFALTO.	92
Tabla 60: ENSAYO RICE AASHTO T-209.....	93
Tabla 61: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CONVENCIONAL .....	94
Tabla 62: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CONVENCIONAL .....	94
Tabla 63: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CONVENCIONAL .....	95
Tabla 64: DATOS OBTENIDOS DE % VACÍOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CONVENCIONAL .....	96
Tabla 65: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CONVENCIONAL	96
Tabla 66: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CONVENCIONAL .....	97
Tabla 67: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CONVENCIONAL .....	98
Tabla 68: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°01 .....	100
Tabla 69: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°02 .....	101
Tabla 70: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°03.....	103
Tabla 71: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°04 .....	104
Tabla 72: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°05 .....	105



Tabla 73: RESUMEN DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL VIDRIO .....	106
Tabla 74: COMBINACIÓN DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO .	107
Tabla 75: ENSAYO RICE AASHTO T-209.....	110
Tabla 76: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO .....	110
Tabla 77: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO .....	111
Tabla 78: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	112
Tabla 79: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO .....	113
Tabla 80: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO.....	113
Tabla 81: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO .....	114
Tabla 82: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO .....	115
Tabla 83: COMBINACIÓN DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO 2% .....	117
Tabla 84: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 5.0 % ASFALTO .....	119
Tabla 85: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 5.5% ASFALTO .....	120
Tabla 86: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 6.0% ASFALTO .....	121
Tabla 87: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 6.5% ASFALTO .....	122
Tabla 88: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 7.0% ASFALTO .....	123
Tabla 89: ENSAYO RICE AASHTO T-209.....	124
Tabla 90: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO .....	125

Tabla 91: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO .....	125
Tabla 92: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	126
Tabla 93: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO .....	127
Tabla 94: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO.....	128
Tabla 95: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO .....	129
Tabla 96: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO .....	130
Tabla 97: COMBINACION DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO 3% .....	132
Tabla 98: ENSAYO RICE AASHTO T-209.....	135
Tabla 99: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO .....	136
Tabla 100: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO .....	136
Tabla 101: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	137
Tabla 102: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO .....	138
Tabla 103: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO....	139
Tabla 104: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO .....	140
Tabla 105: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO .....	141
Tabla 106: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO CONVENCIONAL .....	143
Tabla 107: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 1% .....	144
Tabla 108: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 2% .....	145

Tabla 109: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 3% .....	146
Tabla 110: INDICADORES TÉCNICOS .....	147
Tabla 111: ANÁLISIS DE COSTOS .....	147
Tabla 112: INDICADORES TÉCNICOS .....	148
Tabla 113: ANÁLISIS ECONÓMICO .....	149
Tabla 114: RESUMEN DE DATOS ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL Y MODIFICADO .....	150
Tabla 115: CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS .....	151

## ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1:UBICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	29
GRÁFICO 2:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°01 .....	50
GRÁFICO 3:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°02 .....	51
GRÁFICO 4:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°03 .....	52
GRÁFICO 5:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°04 .....	53
GRÁFICO 6: CURVA GRANULOMÉTRICA N°05.....	54
GRÁFICO 7: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°01 .....	55
GRÁFICO 8:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°02 .....	56
GRÁFICO 9:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°03 .....	57
GRÁFICO 10:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°04 .....	58
GRÁFICO 11:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°05 .....	59
GRÁFICO 12: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°01 ..	60
GRÁFICO 13:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°02...61	
GRÁFICO 14:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°03...62	
GRÁFICO 15:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°04...63	
GRÁFICO 16:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°05...64	
GRÁFICO 17:CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°01.....65	
GRÁFICO 18:CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N° 02.....66	
GRÁFICO 19: CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°03 .....	67
GRÁFICO 20: CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°04 .....	68
GRÁFICO 21:CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°05.....69	
GRÁFICO 22:CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADO .....	70
GRÁFICO 23: COMBINACIÓN PRÁCTICA DE LOS AGREGADOS.....	72
GRÁFICO 24: DETERMINACION DE LIMITE LÍQUIDO MALLA N°40 - AGREGADO FINO.....	82
GRÁFICO 25: DETERMINACION DE LÍMITE LIQUIDO MALLA N°200 - AGREGADO FINO.....	85
GRÁFICO 26: % CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CONVENCIONAL .....	94
GRÁFICO 27: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CONVENCIONAL .....	95

GRÁFICO 28: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CONVENCIONAL.....	95
GRÁFICO 29: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CONVENCIONAL.....	96
GRÁFICO 30:% CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO .....	97
GRÁFICO 31: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD.....	97
GRÁFICO 32: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ .....	98
GRÁFICO 33:CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°01 .....	101
GRÁFICO 34: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°02 .....	102
GRÁFICO 35: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°03.....	103
GRÁFICO 36: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°04 .....	104
GRÁFICO 37: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°05.....	105
GRÁFICO 38:CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN.....	107
GRÁFICO 39: % CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO .....	111
GRÁFICO 40:% CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO .....	111
GRÁFICO 41:% CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	112
GRÁFICO 42: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CON VIDRIO .....	113
GRÁFICO 43: % CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO .....	114
GRÁFICO 44: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD.....	115
GRÁFICO 45: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ .....	115
GRÁFICO 46: CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN.....	118
GRÁFICO 47:% CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO .....	125
GRÁFICO 48:% CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO .....	126
GRÁFICO 49: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	127
GRÁFICO 50: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CON VIDRIO .....	128

GRÁFICO 51:% CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO .....	129
GRÁFICO 52: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD.....	130
GRÁFICO 53: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ .....	130
GRÁFICO 54: CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN.....	133
GRÁFICO 55:% CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO .....	136
GRÁFICO 56: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO .....	137
GRÁFICO 57: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO .....	138
GRÁFICO 58: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CON VIDRIO .....	139
GRÁFICO 59: % CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO .....	140
GRÁFICO 60: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD.....	141
GRÁFICO 61: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ .....	141

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general ¿Cuál es la diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?, el objetivo general fue determinar las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales- Huancayo, la hipótesis general que se verificó fue: existen diferencias significativas técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales- Huancayo.

El método general de investigación que se utilizó fue el científico, el tipo de investigación es el aplicado, de nivel descriptivo comparativo y de diseño experimental. La población estuvo conformada por 60 briquetas de ensayo, no se utilizó la técnica del muestreo dado que la población es pequeña, por tanto, se utilizó el censo.

La conclusión fundamental consistió en que, si existe diferencias técnicas y económicas entre los asfaltos convencionales y los asfaltos modificados con vidrio, siendo los asfaltos convencionales quienes presentan menos ventajas que los asfaltos modificados con vidrio en la provincia de Huancayo.

**Palabras clave:** Asfalto convencional, Asfalto modificado, Diferencia técnico y económico.

## ABSTRACT

The present investigation had as a general problem what is the technical and economic difference between the asphalts modified with glass and the conventional asphalts?, the general objective was to determine the technical and economic differences between the asphalts modified with glass and the conventional asphalts- Huancayo, the general hypothesis that was verified was: there are significant technical and economic differences between the modified asphalts with glass and the conventional asphalts - Huancayo.

The general method of research that was used was the scientific, the type of research is applied, comparative descriptive level and experimental design. The population consisted of 60 test specimens, the sampling technique was not used given that the population is small, therefore, the census was used.

The fundamental conclusion was that, if there are technical and economic differences between conventional asphalts and glass-modified asphalts, conventional asphalts have fewer advantages than glass-modified asphalts in the province of Huancayo.

**Keywords:** conventional asphalt, modified asphalt, technical and economic difference.



## INTRODUCCIÓN

Los caminos hechos con pavimento flexible están conformados por un paquete estructural, teniendo como última capa la carpeta asfáltica, lo cual obtenemos al adicionar el cemento asfáltico a una combinación de agregado granular previamente seleccionada. Estas combinaciones son conocidas como mezclas asfálticas que se clasifican en mezclas densas en caliente y mezclas densas en frío. En nuestro país la cantidad de vías locales, departamentales y nacionales se encuentran en mal estado, esto se da debido a que los pavimentos no están cumpliendo ciertos estándares de calidad y otras por que trabajan en condiciones de diseño desfavorable, por consiguiente termina fallando prematuramente sin cumplir el periodo por el cual fue diseñada, para solucionar estos problemas se realizaron diversas investigaciones que buscan mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas, adicionando modificadores de asfalto al diseño de mezcla los cuales mejoran las propiedades de estabilidad y durabilidad. En el proceso de las investigaciones se plantearon soluciones técnicas para que el comportamiento del asfalto mejore; que además de cumplir los requerimientos técnicos, también aporta en la mitigación de impactos y sea amigable con el medio ambiente incorporando a su composición materiales reciclados, como lo pueden ser: cauchos, cueros, plásticos, escoria, PVC, vidrios, entre otros. (Clavijo Rey, 2014)

Los caminos de la red vial nacional (RVN) se encuentran pavimentadas a un 66.9%, los caminos de la Red Vial Departamental (RVD) están a 10.1% y el 99.0% de la Red Vial Vecinal (RVV) no está asfaltada (Centro Empresarial de Perucámaras, 2017), En la Provincia de Huancayo el principal problema, que se observa son los deficientes diseños convencionales de mezcla asfáltica encontrando fallas estructurales como: fisuras longitudinales, fisuras transversales, exudación, ahuellamientos; son diversos los factores que intervienen como: el mal diseño del asfalto, los materiales no cumplen con las especificaciones técnicas, el mal colocado de la carpeta asfáltica, entre otras; por ende existe la necesidad de tener mucha consideración en realizar los análisis respectivos para realizar el diseño

respectivo haciendo uso de nuevos elementos que permitan obtener resultados diferentes en el tiempo.

Por ello la investigación se orienta al diseño de asfaltos modificados con vidrio y su comparación técnico y económico con los asfaltos convencionales

Esta investigación está estructurada en 5 capítulos:

Capítulo I Planteamiento del problema: Descripción de la realidad problemática, formulación del problema, problema general, problemas específicos, objetivos, objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación, importancia de la investigación, viabilidad de la investigación, limitaciones del estudio

Capítulo II Marco Teórico: Antecedentes de la investigación, antecedentes internacionales, antecedentes nacionales, bases teóricas, definición de términos, formulación de hipótesis, variables de la investigación, variables; definición conceptual y operacional

Capítulo III Metodología: Metodología de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información, técnicas y análisis de datos.

Capítulo IV Resultados: Se presentan los análisis, ensayos, resúmenes y análisis técnico y económico.

Capítulo V Discusión de Resultados: Se analiza los resultados técnicos y económicos.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

Bach: ABEL ANDREI GUTIERREZ SILVESTRE.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Las estructuras viales son los pilares principales para el desarrollo de un país, ya que la interconexión terrestre genera mayor desarrollo económico y social. El mal estado de las vías conlleva al retraso en el crecimiento de los pueblos y su desarrollo. En el Perú la mayor parte de los caminos nacionales y departamentales están constituidas con los pavimentos flexibles ya que son más económicas y de mejor confort en la transitabilidad. Pero estos pavimentos están presentando fallas estructurales prematuras generados por la exposición a los cambios climáticos, el aumento de tráfico en las vías, la erosión entre otros.

Los caminos de la red vial nacional no se encuentran pavimentadas en su totalidad ya que solo un 66.9% se ha pavimentado, en los caminos de la Red Vial Departamental (RVD) solo un 10.1% se encuentra pavimentado y en la Red Vial Vecinal (RVV) el 99.0% aún no se han asfaltado. (Centro Empresarial de Perucámaras, 2017), En la Provincia de Huancayo el principal problema, que se observa son los deficientes diseños convencionales de mezcla asfáltica encontrando fallas estructurales como: fisuras longitudinales, fisuras transversales, exudación, ahuellamientos; son diversos los factores que intervienen como: el mal diseño del asfalto, los materiales no cumplen con las especificaciones técnicas, el mal colocado de la carpeta asfáltica, entre

otras; por ende existe la necesidad de tener mucha consideración en realizar los análisis respectivos para realizar el diseño respectivo haciendo uso de nuevos elementos que permitan obtener resultados diferentes en el tiempo.

Por las razones expuestas el estudio propone el diseño de mezcla asfáltica incorporando vidrio para realizar la comparación con el diseño convencional de mezcla asfáltica.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la diferencia técnico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?
- b) ¿Cuál es la diferencia económica entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?

## **1.3. Justificación de la Investigación**

### **1.3.1. Justificación practica**

La investigación se enmarca dentro de la tecnología y las normas correspondientes, el aporte justificativo parte de lo aplicado tecnológicamente, y está en un proceso de incorporación y aplicación dentro de la ingeniería peruana. Con la investigación, se estipulará una metodología de cálculo, diseño y elaboración de los diseños de mezcla asfáltica convencional y modificada con vidrio.

### **1.3.2. Justificación Metodológica**

Desde el inicio de la investigación, la tesis se basó en del cumplimiento de los pasos del método científico, para que los resultados sean válidos y confiables. Se acudió al uso de técnicas para recopilar información las cuales son: la observación directa, registro en

formatos Excel para los ensayos. Con la finalidad que todo lo realizado pueda servir como referencia bibliográfica para investigaciones similares y en escenarios diferentes.

#### 1.4. Delimitación de la Investigación

##### 1.4.1. Delimitación espacial

El trabajo se realizó en el distrito de Chupuro, provincia de Huancayo, departamento de Junín.

**GRÁFICO 1: UBICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**



Fuente: Google imágenes

##### 1.4.2. Delimitación temporal

El presente estudio se realizó en el año 2018.

##### 1.4.3. Delimitación económica

La presente investigación fue financiada con recursos propios y el apoyo técnico de la EMPRESA AGRUTA Y TAPIA INGENIEROS S.A.C.

## **1.5. Limitaciones**

### **1.5.1. Económica**

No se realizó los ensayos al cemento asfáltico, tomando datos de la carta de viscosidad del proveedor, por las limitaciones económicas y no hubo apoyo de otra institución.

### **1.5.2. Tecnológica**

En esta investigación no se realizó la producción ni el colocado del asfalto en un tramo de prueba, ya que no se contaba con un tren de asfalto para la producción.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Establecer las diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales.
- b) Analizar las diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedente Internacional**

Reyes & Troncoso, (2005), en su investigación en Colombia, titulada: “Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras”. En su artículo dan a conocer el resultado de un estudio experimental, donde se utiliza el uso de fibras de polietileno como material granular, se determina como el uso de este material modifica las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla. Para realizar este estudio, se aplicó la metodología Marshall, la cual comienza con la caracterización de los agregados a utilizar, por lo que se hacen los análisis granulométricos de los agregados, en función de la metodología antes mencionada. Para determinar cómo influye el uso de las fibras en las propiedades de la mezcla, se evalúa la reología del asfalto (flujo y deformación), la evaluación dinámica es mediante la deformación permanente y módulo dinámico. Al finalizar el estudio se concluyó que la fibra es una nueva alternativa para mejorar los pavimentos flexibles por su resistencia al tráfico.

Marín Hernández, (2004), en su investigación en México, titulada: “Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos”. En su investigación preparo briquetas con diseños de asfalto diferentes de acuerdo al tráfico. Se determinó la desviación estándar que permitió determinar la cantidad de la fibra en función a los ensayos realizados.

Preciado & Sierra, (2013), en su investigación en Colombia, titulada: "Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas". Hacen el uso de mezclas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), estas mezclas tienen una gradación discontinua, que favorecen la resistencia al ahuellamiento y una mayor durabilidad del asfalto. A comparación de una mezcla asfáltico convencional, este tipo de mezcla resulta ser una mayor inversión económica, debido a que no se fabrican las fibras de celulosa. En base a esta dificultad, el estudio se centra en conseguir una solución que reemplace la fibra, sin perjudicar las propiedades de la mezcla. El estudio contempla dos alternativas las cuales son: la fibra de polietileno y la de cascara de coco. Se concluyó que el uso de la fibra de polipropileno y coco al igual que la fibra peletizada, evitan la segregación del asfalto, además no modifican las propiedades de la mezcla tipo SMA.

### **2.1.2. Antecedente Nacional**

Rolando Franco, (2002), en su investigación, titulada: "Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión". En su trabajo reconoce que internacionalmente las emulsiones asfálticas se vienen utilizando con mayor énfasis que los asfaltos diluidos por tener mayores

beneficios económicos y ambientales. Por lo cual el estudio se centra en la comparación entre los asfaltos diluidos y con emulsiones. Finalmente se demuestra que las emulsiones asfálticas tienen mayor ventaja que los asfaltos diluidos.

Ballena, (2016), en su investigación en Lambayeque, titulada: "Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío". El estudio comprende el análisis de la fibra de polietileno y su influencia en las propiedades de la mezcla asfáltica en frío, para lo cual el estudio cumplió las especificaciones del ministerio de transporte y comunicaciones. Después de ensayar las probetas, determinado el



porcentaje ideal de polietileno que permite que la mezcla asfáltica modificada en frío, cumpla con los requerimientos.

Martínez, (2003), en su investigación en Arequipa, titulada: “Empleo del polímero Sbr en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas de altura”. En la investigación realizada se determinó el comportamiento del asfalto modificado usando el polímero SBR y el asfalto convencional. Determinando un nuevo diseño de pavimento flexible con polímero que mejora las propiedades físico mecánicas del pavimento.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Introducción a las mezclas asfálticas**

La mezcla asfáltica consiste en el empleo de asfalto, agregado fino y grueso, la cantidad de cada uno de estos agregados estará dado de un cálculo. Los porcentajes están dados por las características físicas de la mezcla. Los agregados que componen la mezcla deben cumplir los requerimientos establecidos por la EG-2013, así mismo la mezcla asfáltica como tal, debe cumplir con los parámetros. En el Perú, para diseñar una mezcla asfáltica, se utiliza el método Marshall, para determinar los porcentajes de cada material que compone la mezcla.

Por consiguiente, tomaremos este método para poder realizar la investigación.

### **2.2.2. Propiedades de una mezcla**

La estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento son características importantes que contribuyen a conseguir una mejor mezcla asfáltica que permita un asfalto duradero y estable.

#### **2.2.2.1. Estabilidad**

La estabilidad de una mezcla asfáltica, es la capacidad que permite al asfalto resistir el desplazamiento y deformación generado por cargas repetidas del tráfico. Cuando una mezcla es estable mantiene su forma

y fisura ante cargas externas. Si una mezcla es inestable, tiende a generar ahuellamientos, ondulaciones. Además, se debe considerar que una mezcla demasiado estable, tiende a crear asfaltos más rígidos, lo que genera que el asfalto tenga un menor periodo de vida. La estabilidad está en función del agregado a utilizar por su cohesión y fricción entre partículas. Al tener agregado con mayor forma angular y de textura áspera, brinda mayor estabilidad a la mezcla.

#### **2.2.2.2. Durabilidad**

La durabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de las películas de asfalto, generados por el clima, y tránsito. Al utilizar una graduación densa de agregados resistente a la separación, aumentando el contenido de asfalto, y un mejor compactado para evitar vacíos de aire que perjudiquen la impermeabilidad, permite que el asfalto mantenga por más tiempo sus características.

#### **2.2.2.3. Impermeabilidad**

La impermeabilidad de una mezcla asfáltica, está dado por la capacidad que tiene el asfalto para evitar el pase de agua y aire que perjudique al pavimento. La impermeabilidad está en función al contenido de vacíos que tendrá el asfalto, por lo cual mayor contenido de vacíos, permiten el paso de aire y agua, que generarían la desintegración de la mezcla. El porcentaje de vacíos que debe contener un asfalto, está dado en la EG-2013, donde los vacíos están en el rango de 3-5%.

#### **2.2.2.4. Trabajabilidad**

La trabajabilidad es una característica de la mezcla asfáltica que permite su fácil manipulación, colocación y compactación.

Las mezclas que tienen la característica de ser más trabajables benefician en el momento de colocar y compactar el asfalto. La

trabajabilidad de una mezcla está en función del contenido de asfalto, el tipo de agregado a utilizar, la gradación.

Las mezclas generalmente se segregan en el momento de manejar, además que dificulta el proceso de compactación. Para determinar una mezcla asfáltica que permita una mejor trabajabilidad, se desarrollan pruebas en el laboratorio, donde se pueda aumentar el porcentaje de agregado fino y asfalto, a la misma vez se tiene que cumplir con los parámetros establecidos en las normas, y que estén en el rango el contenido de vacíos y estabilidad. Un contenido demasiado alto de arena afecta a la trabajabilidad. Ocasiona que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tiene algún efecto sobre esta propiedad, debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta ocasiona una mezcla inestable para colocarse y compactarse.

#### **2.2.2.5. Flexibilidad**

La flexibilidad es la capacidad de un pavimento para acomodarse, evitando agrietarse, por causa de movimientos y asentamientos de la subrasante. Además, resulta indispensable tener esta capacidad, debido a que las subrasantes se asientan o se expanden, y al ser flexibles evitan agrietarse. Para obtener una mezcla flexible, es necesario tener una granulometría abierta y un mayor contenido de asfalto, se debe considerar las otras propiedades y que cumplan con cada requerimiento.

#### **2.2.2.6. Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de una mezcla, consiste en la resistencia a la flexión bajo cargas repetidas de tránsito. La resistencia a la fatiga está estrechamente ligado al porcentaje de vacíos y a la viscosidad, debido a que al aumentar la cantidad de asfalto o mayor porcentaje de vacíos disminuye el tiempo durante el cual el pavimento resiste a la fatiga. Las características que están estrechamente relacionadas con la

resistencia a la fatiga son: el espesor del pavimento y la capacidad de soporte de la sub rasante, tiene mucho que ver con la vida del pavimento y con la previsión del agrietamiento asociado a la carga de tránsito. Por consiguiente, un bajo contenido de asfalto, genera agrietamiento por fatiga, considerando que el envejecimiento es un factor importante en la resistencia a la fatiga, se debe considerar los porcentajes de vacíos adecuados, ya que están ligados al envejecimiento temprano del asfalto.

#### **2.2.2.7. Resistencia al deslizamiento**

La resistencia al deslizamiento, es la manera como minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, generalmente cuando el pavimento esta mojado. Esta propiedad está relacionada con los agregados, pues se tiene que asegurar que los neumáticos sean capaces de mantener contacto con las partículas de agregado y evitar el deslizamiento. La superficie rugosa del pavimento asegura el cumplimiento de esta propiedad, para lo cual se necesita un agregado con textura áspera y resistir al pulimiento.

La resistencia al deslizamiento se realiza en el asfalto ya colocado, para esto se utiliza una rueda galvanizada considerando, la humedad de la vía y la una velocidad de 65 km/h.

El tamaño máximo a utilizarse en los agregados es de 9.5 mm, (3/8") o a 12.5 mm (1/2"), siendo muy importante su gradación pues podría causar un pavimento liso que no cumpliría con esta propiedad.

#### **2.2.3. Método de diseño Marshall**

##### **2.2.3.1. Antecedente**

El método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue desarrollado por Bruce Marshall, ex ingeniero de bitúmenes del departamento de carreteras del estado de Mississippi. El ensayo Marshall, este método fue iniciado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, en 1943, para lo cual se hicieron varias

comparaciones de métodos de diseños de mezcla y evaluados para desarrollar un método simple.

El cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, adopto el método Marshall y desarrollarlo y adaptarlo para el diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de prueba de tránsito y de estudios de correlación en el laboratorio, el cuerpo de ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

### **2.2.3.2. Ensayo al agregado grueso**

- **Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)**

Es el método establecido por la norma MTC E 209, en esta norma, se brinda la forma de ejecución del ensayo para determinar la resistencia del agregado grueso y fino a la desintegración cuando es combinada con las soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

El ensayo tiene una duración entre 16 a 18 horas, este tiempo estimado permite que la solución cubra toda la muestra del agregado.

Las especificaciones técnicas generales para construcción EG 2013 para zonas mayores a 3000 msnm, establece un máximo de 15% y en zonas menores o iguales a los 3000 msnm te exige un máximo de 15%. Estos parámetros son importantes para continuar con el diseño de mezcla asfáltica.

- **Abrasión Los Ángeles**

El ensayo de se encuentra en MTC E 207, donde se establece el procedimiento del ensayo para poder determinar el desgaste del material.

Mediante la máquina de los ángeles se determina la resistencia a la degradación de la piedra, mediante el desgaste por fricción del

agregado grueso, en esta máquina se puede ensayar agregados de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½").

Este ensayo inicia con la colocación del material en el tambor, para la degradación de los agregados minerales, las cuales incluyen abrasión o deterioro, impacto y trituración, esta máquina contiene esferas de acero que al realizar cada giro desgasta a la piedra, Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Luego de un número de revoluciones determinado y el tiempo determinado para el ensayo, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

Las especificaciones técnicas generales para construcción EG 2013 para zonas mayores a 3000 msnm te exige un máximo de 35% y en zonas menores o iguales a los 3000 msnm te exige un máximo de 40%.

- **Adherencia**

Es el método establecido por la norma de MTC E 517, donde se establece el procedimiento del ensayo para poder describir el revestimiento y procedimientos para establecer la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua, considerando que la adherencia es la resistencia para que el asfalto no pueda despegarse del agregado.

- **Índice de Durabilidad**

Es el método establecido por la norma de MTC E 214 donde se realiza la prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado.

El índice de durabilidad de un agregado determina un valor que refleja la resistencia relativa del material grueso para producir finos dañinos como el caso de la arcilla, cuando se somete a los métodos de degradación de forma mecánica.

El ensayo de índice de durabilidad ha sido especificado para prohibir el uso del material pétreo, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.

- **Partículas chatas y alargadas**

Esta normado por ASTM 4791, en este ensayo determinamos el porcentaje de agregados que tengan estas características, el análisis es visual en el laboratorio.

En nuestro caso en el diseño que realizamos nos pidió un máximo de diez por ciento.

- **Caras fracturadas**

Esta normado por la MTC E 210. ensayo donde se determina la angularidad del agregado grueso.

En este método de ensayo determinamos en porcentaje de una muestra representativa de la piedra que contenga angularidad de partículas fracturadas que cumplan con requerimientos necesarios para su uso, en el caso de la investigación para el diseño del asfalto.

El propósito de los requerimientos que exige la norma es aumentar el esfuerzo cortante mediante el aumento de fricción tanto en las mezclas del diseño o también cuando ya están siendo consolidados. Otro fin es suministrar estabilidad de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares. Este método de ensayo da un procedimiento estándar para determinar la aceptación del agregado grueso con respecto a los requerimientos que exigen los proyectos.

- **Sales solubles totales**

Determina la cantidad de cloruros y sulfatos solubles en agua mediante un procedimiento analítico de cristalización, solubles en agua empleadas en el diseño del pavimento flexible.

Una cantidad de agregados le sometemos a constantes ciclos con agua destilada a una temperatura constante de ebullición, hasta lograr la extracción total de las sales.

### **2.2.3.3. Ensayos al agregado fino**

- **Equivalente de arena**

Es un procedimiento estándar para poder determinar la cantidad de material plástico en el agregado fino.

Este procedimiento de ensayo propone tener una correlación en tiempo real en el campo. La finalidad de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de material arcilloso o plástico. El nombre de “equivalente de arena”, nos da entender de que la gran mayoría de suelos granulares y material fino combinaciones de partículas gruesas que deseamos, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, que no deseamos.

Mediante este método podemos realizar ajustes en campo del material que se viene utilizando, o se viene colocando como material de base, sub bases, etc. Previamente verificando los requerimientos que plantea la norma o el expediente técnico.

- **Angularidad del agregado fino**

Está relacionado directamente con

el ahuellamiento del material, este ensayo determina mediante el cálculo de vacíos llenados con aire y la angularidad de los finos.

En las partículas con dimensiones menores a 2.36 mm o pasantes de la malla N°. 8 en condición de pre compactado o ligeramente compactado se encuentra porcentaje de vacíos de aire atrapado, a esta definimos como angularidad en el agregado fino.

este ensayo se debe realizar con seguridad apropiada y también con las prácticas de salud y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

- **Índice de plasticidad**

Método normado por la MTC E 111 en ella menciona que en el laboratorio se determina el límite plástico de un material y también su cálculo del índice de plasticidad(I.P.) previamente conociendo su límite líquido (L.L.) del mismo material.

Es un método de ensayo más completo de los diferentes sistemas de clasificación en el campo de la ingeniería, en ella podemos



caracterizar al agregado fino. (clasificación SUCS y AASHTO) y para poder determinar la fracción de los materiales (especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad son usados intensamente tanto individual y colectivamente.

El material plástico puede ser usado con su humedad natural para poder saber la consistencia relativa y también con el porcentaje mayor de finos y así poder saber su número de actividad

- **Durabilidad (al sulfato de magnesio)**

Método establecido por el MTC E 209. Donde se encuentra el procedimiento establecido para poder calcular la resistencia de los agregados a la descomposición al someterle a soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

este ensayo se realiza en el intervalo de 16 a 18 horas de forma que la solución logre cubrir completamente el material

- **Índice de durabilidad**

Método establecido por la norma de MTC E 214. Donde se hallamos el índice de durabilidad del agregado donde calculamos un valor numérico que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir materiales finos perjudiciales para el uso.

Con este método podemos brindar fe a la calidad de los materiales, ya sea una cantera o un banco, para posterior a ello poder utilizarlo.

- **Sales solubles totales**

Método establecido por la norma de MTC E 219. Es un Procedimiento analítico de cristalización, donde establecemos el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, del agregado empleados en bases y mezclas asfálticas.

Una fracción de agregado sometemos a continuos lavados con agua destilada a una temperatura de ebullición, hasta lograr la completa extracción de sales. La presencia de éstas sales se identifica con reactivos químicos que al menor indicio forman precipitados simplemente visibles.

- **Absorción**

Método en el cual se calcula el líquido absorbido del material, posterior a ello calculamos el peso seco, saturado superficialmente seco, peso aparente después de sumergirlo por 24 horas

Los valores de absorción son empleados para calcular el cambio en la masa de un agregado fácilmente absorbida por el agua entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a su estado seca, cuando observamos que el agregado se encuentra saturado permanentemente podemos calcular la absorción potencial o la máxima absorción práctica.

#### **2.2.3.4. Ensayos propios para el diseño**

- Granulometría de la grava
- Granulometría de arena natural
- Granulometría de arena chancada
- Combinación teórica
- Combinación practica

#### **2.2.3.5. Mezcla de los agregados con cemento asfáltico**

Se realiza la mezcla homogénea de los materiales con el cemento asfáltico para posterior a ello llevar a realizar su ruptura y poder ver la estabilidad y el flujo.

#### **2.2.4. Vidrio**

Material transparente dura y frágil a los cambios de temperatura, que se obtiene fundiendo una mezcla de material sílice con potasa o sosa y pequeñas cantidades de otras bases, y a la cual pueden darse distintas coloraciones mediante la adición de óxidos metálicos; se emplea para fabricar recipientes, materiales de construcción, lentes ópticas, etc.

### **2.3. Definición de términos básicos**

- **Abrasión.** – desgaste de un material causado por agentes externos ocasionados por agentes físicos y químicos.
- **Absorción.** – proceso químico donde la radiación electromagnética es captada por la masa.

- **Ahuellamiento**- deformación longitudinal del asfalto que se da generalmente donde existe mayores ciclos de tráfico. (huella).
- **Alargamiento de Partícula.** - Es la relación entre el largo y el ancho de una partícula de suelo.
- **Arcilla.** – es un sedimento descompuesto formado por agregados de silicato de aluminio que proceden de la descomposición ordinaria de las rocas que contienen feldespatos.
- **Arena.** – unión de fragmentos sueltos de roca y minerales que su tamaño esta entre 0.063 a 2 milímetros.
- **Árido.** – están formado de material consolidado y de tamaño estable.
- **Árido Combinado.** – combinación de la mezcla de los áridos gruesos y finos en proporciones y que posterior a ello se empleara en la fabricación del hormigón.
- **Árido Fino.** - Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,75 mm.
- **Árido Grueso.** - Árido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto.
- **Árido Integral.** - Árido grueso y árido fino mezclados en proporción no definida.
- **Árido Natural.** - Árido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.
- **Briqueta.** - Espécimen de prueba estándar de 64 mm (2 ½”) de alto y
  - 102 mm (4”) de diámetro usado en el método Marshall.
- **Cara Fracturada.** – en términos de ingeniería menciona la angularidad de un agregado sea a una o dos caras
- **Cemento asfáltico.** – es el PEN que se usa para realizar la combinación con los áridos.
- **Equivalente de Arena.** – cantidad de arena presente en la solución y también cantidad de presencia de arcilla o material plástico dentro de un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

- **Esponjamiento (arenas).** – aumento de volumen de los finos sea por proceso de traslado y también por presentar variación en la humedad natural.
- **Estabilidad (mezcla asfáltica).** – resistencia al esfuerzo que soporta el asfalto ante la carga permanente.
- **Exudación (asfalto).** – afloramiento superficial que se da con el incremento de la temperatura del ambiente.
- **Filler.** - Polvo mineral fino que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Debe cumplir la siguiente granulometría: Para tamices de 0,630, 0,315 y 0,080 el porcentaje que pasa en peso es de 100, 95 a 100 y 70 a 100 % respectivamente.
- **Fisura (asfaltos).** – roturas longitudinales y transversales que se observa superficialmente en una carpeta asfáltica, estas se dan por incremento de rigidez en el diseño, variación de temperatura y otros factores.
- **Grado de saturación.** – el agua sella los vacíos de un suelo, por consiguiente, se dice suelo saturado. El grado de saturación es el cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Esta se presenta en valores de porcentaje
- **Granulometría.** – análisis y distribución del material por las mallas normadas de acuerdo el uso que se dará al material sea para asfalto, concreto o para suelos.
- **Método Marshall.** – método normado por la EG 2013 para poder utilizarlo en el diseño de asfalto para los pavimentos flexibles.
- **Mezcla asfáltica en caliente.** - Se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante (requiere que los materiales se calienten entre 135° a 180° C).
- **Peso Específico.** – es el cociente de la masa sobre el volumen de un material.

- **Suelo bien Graduado.** – composición homogénea de diferentes tamaños de material de granulometría eficaz.
- **Tamizado.** – método de realizar el análisis granulométrico de un material que se separa por pesos de acuerdo al retenido en cada malla.
- **Partícula fracturada.** –agregado fisurado con uno o dos vértices que consiste a una o dos caras fracturadas.
- **Vacíos de aire.** – espacios pequeños llenados de aire en un material que se encuentre compactado.
- **Vacíos en el agregado mineral.** - Los vacíos en el mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimentación.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis General

Existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales - Huancayo.

### 2.4.2. Hipótesis Específicas

- a) Existe diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.
- b) Existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

## 2.5. Variables

### 2.5.1. Definición conceptual de la variable

**V. 1:** Asfaltos convencionales

Los asfaltos convencionales son mezclas homogéneas del bitumen con áridos previamente evaluados y procesados.

**V. 2:** Asfaltos modificados con vidrio.

Los asfaltos modificados con vidrio son mezclas al cual mediante un proceso se cambia las propiedades físico mecánicas para mejorar su desempeño.

### 2.5.2. Definición operacional de la variable

No existe causal entre V1 Y V2 dado que se trata de una investigación descriptivo comparativo recurriendo al análisis técnico y económico.

### 2.5.3. Operacionalización de la Variable

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
V. 1 Asfaltos convencionales	1. Técnico 2. Económico	<b>TÉCNICO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Optimo contenido de asfalto</li><li>• Porcentaje de vacíos de aire</li><li>• VMA</li><li>• VFA</li><li>• Flujo</li><li>• Estabilidad</li><li>• Índice de rigidez</li></ul> <b>ECONÓMICO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis de costos unitarios.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Guía de observación</li><li>• Ficha técnica</li><li>• MTC E 504</li><li>• EG- 2013</li></ul>
V. 2 Asfaltos modificados con vidrio			

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de la investigación**

El método general de investigación fue el científico y como método específico se utilizó el analítico- sintético.

#### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación por la naturaleza del estudio fue aplicado. La investigación es aplicado porque descubre estrategias que permiten conseguir un objetivo concreto, a razón de poder utilizarlo y resolver un problema específico.

#### **3.3. Nivel de la investigación**

El estudio por su naturaleza y profundidad fue descriptivo – comparativo.

#### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño metodológico por la naturaleza del estudio fue experimental.

##### **Esquema del diseño de investigación**

Ge x 01

Gc - 02

**Donde:**

**Ge** = grupo experimental

**Gc** = grupo de control

**X** = Estimulo

- = No se aplica el estimulo

**01 – 02 = Pos prueba**

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población.**

La población estuvo conformada por 60 briquetas los mismos que fueron sometidos a pruebas en el laboratorio AGRUTA Y TAPIA INGENIEROS S.A.C. de la provincia de Huancayo.

#### **3.5.2. Muestra.**

No se utilizó la técnica de muestreo por tanto la muestra es toda la población por ser pequeña y la técnica fue el censo.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recopilación de datos fueron fuentes documentales, registros y los instrumentos fueron los diversos ensayos, además de las fichas técnicas elaboradas.

### **3.7. Procesamiento de la información**

Para el procesamiento de los datos, se usaron técnicas de investigación como lo son los cuadros de resumen de resultados obtenidos de cada diseño realizado que sirvieron para sistematizar la información ordenadamente, a la vez estos fueron representados mediante gráficos estadísticos. Para la parte probabilística y la comprobación de hipótesis se hizo uso del software Spss-23

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Las pruebas estadísticas que se utilizó en su aplicación fue a nivel descriptivo – comparativo, para este nivel se usó la observación como parte principal de la investigación para describir los sucesos, esta información producto de la observación fueron recopilados en tablas y gráficas para su procesamiento, se utilizó el t de student, porque permite examinar la comparación entre muestras independientes mediante las probabilidades.



## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Granulométrica de los agregados**

Las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 nos presenta la gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), que el uso granulométrico se debe encontrar dentro de los parámetros, también podría emplearse las gradaciones que especifica la ASTM D 3515 y en el instituto del asfalto.

En la presente investigación se tomó como tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$  plg. en el respectivo análisis granulométrico por lo que se escogió los límites correspondientes a MAC-2.

Se realizó cinco análisis granulométricos de la grava, arena natural, arena chancada y cal hidratada, donde se obtuvo los siguientes resultados.

#### 4.1.1. Análisis granulométrico de la grava

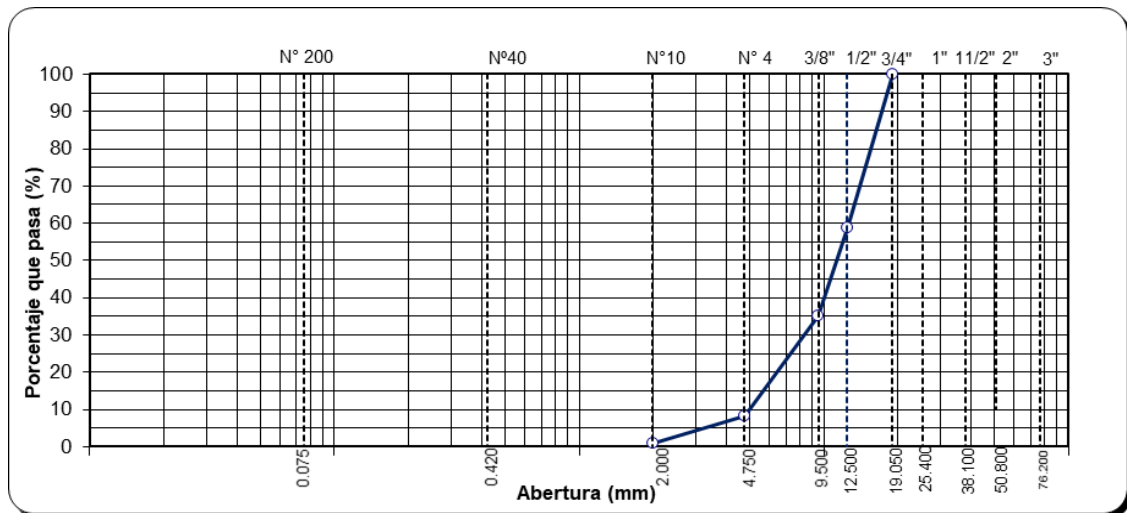
Tabla 1: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°01

DATOS DE LA MUESTRA							
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA ASFALTO < 3/4"				PE SO INICIAL	: 5280.0 g
CANTERA	:	Can. Río Mantaro L.Z.Q.				MUESTRA	: M-1
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						DATOS
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		PESO INICIAL (gr.) 5280.0
1/2"	12.500	2172.0	41.1	41.1	58.9		PESO FRAC. FINA (gr)
3/8"	9.500	1258.0	23.8	65.0	35.0		
N° 4	4.750	1420.0	26.9	91.9	8.1		
N° 10	2.000	378.0	7.2	99.0	1.0		
N° 20	0.850	52.0	1.0	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se observa la granulometría de la piedra chancada donde el tamiz de 1/2" tiene el mayor porcentaje retenido con un 41.1% de piedra.

GRÁFICO 2:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°01



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la piedra chancada para asfalto menor a 3/4".

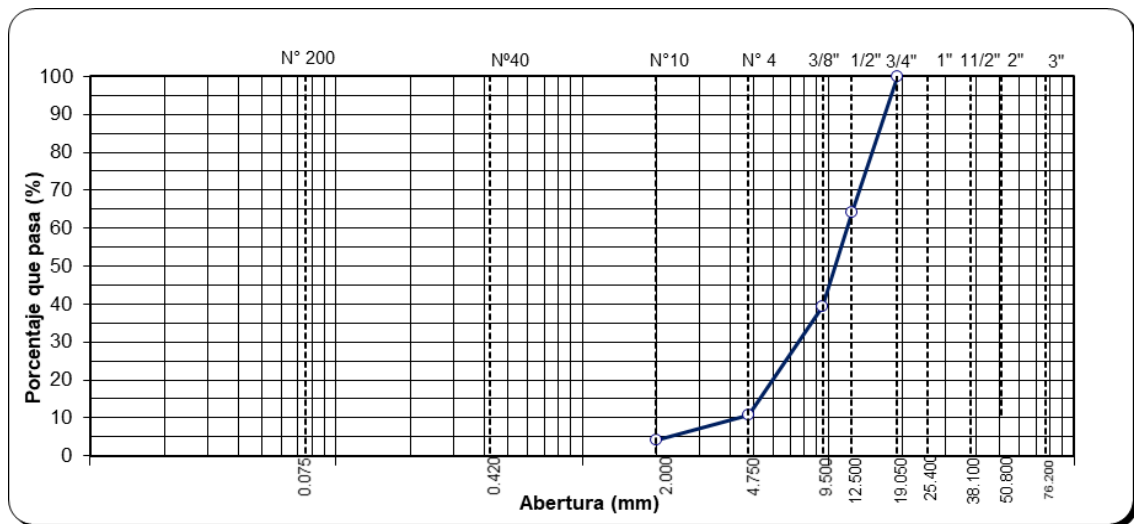
**TABLA 2: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°02**

DATOS DE LA MUESTRA								
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA ASFALTO < 3/4"				PESO INICIAL	:	5476.0 g
CANTERA	:	Can. Río Mantaro L.IZQ.				MUESTRA	:	M-2
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100						DATOS	
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0		PESO INICIAL (gr.)	5476.0
1/2"	12.500	1969.0	36.0	36.0	64.0		PESO FRAC. FINA (gr)	
3/8"	9.500	1357.0	24.8	60.7	39.3			
N° 4	4.750	1564.0	28.6	89.3	10.7			
N° 10	2.000	359.0	6.6	95.9	4.1			
N° 20	0.850	227.0	4.1	100.0				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se observa la granulometría de la piedra chancada donde el tamiz de 1/2" tiene el mayor porcentaje retenido con un 36.0% de piedra.

**GRÁFICO 3:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°02**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la piedra chancada para asfalto menor a 3/4".

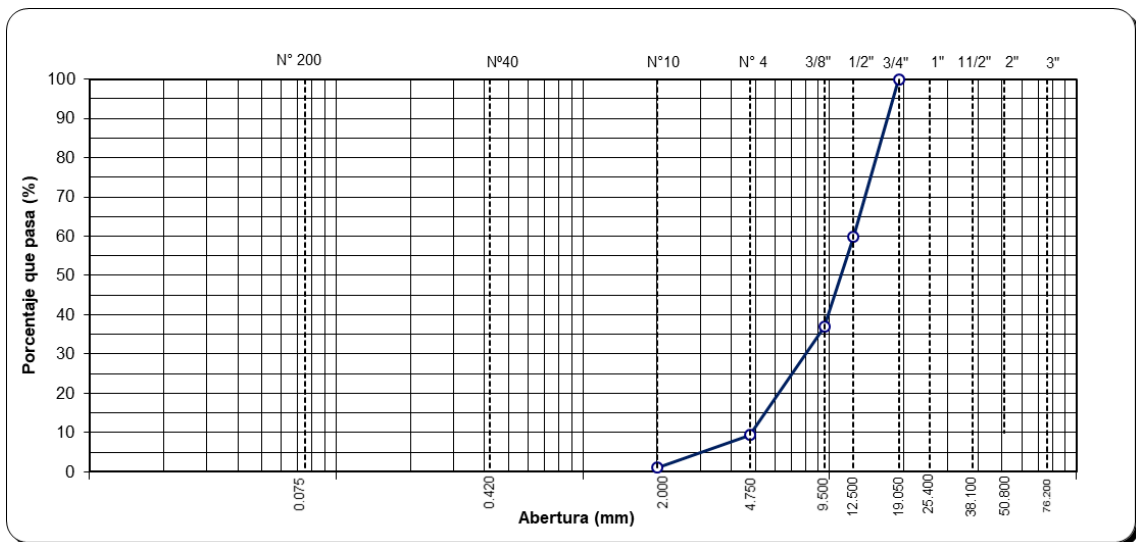
**TABLA 3: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°03**

DATOS DE LA MUESTRA								
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA ASFALTO < 3/4"				PESO INICIAL	:	4919.0 g
CANTERA	:	Can. Rio Mantaro L.IZQ.				MUESTRA	:	M-3
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100						DATOS	
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0		PESO INICIAL (gr)	4919.0
1/2"	12.500	1969.0	40.0	40.0	60.0		PESO FRAC. FINA (gr)	
3/8"	9.500	1131.0	23.0	63.0	37.0			
N° 4	4.750	1360.0	27.6	90.7	9.3			
N° 10	2.000	408.0	8.3	99.0	1.0			
N° 20	0.850	51.0	1.0	100.0				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se observa la granulometría de la piedra chancada donde el tamiz de 1/2" tiene el mayor porcentaje retenido con un 40.0% de piedra.

**GRÁFICO 4:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°03**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la piedra chancada para asfalto menor a 3/4".

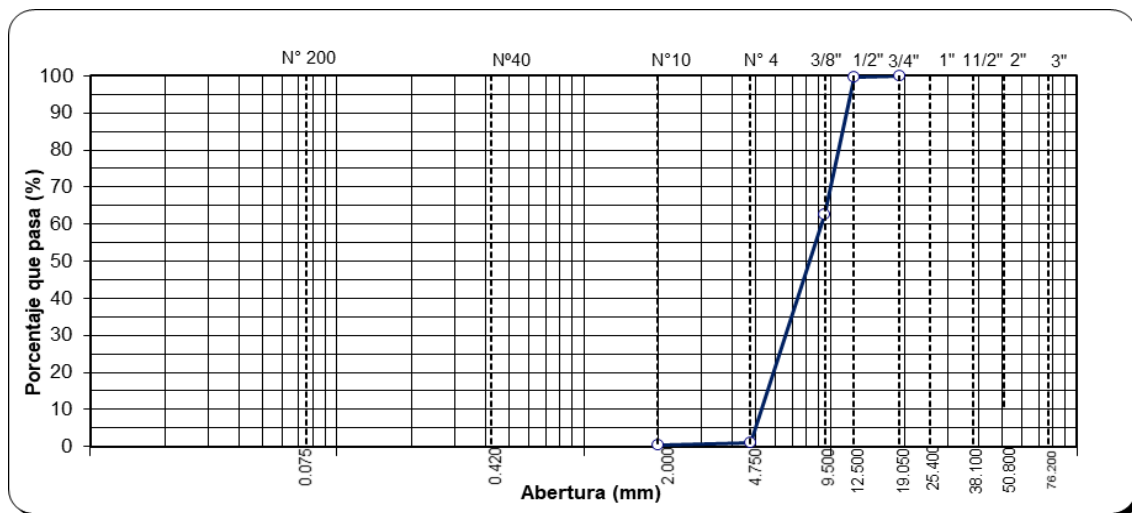
**TABLA 4: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°04**

DATOS DE LA MUESTRA							
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA ASFALTO < 3/4"			PESO INICIAL	:	5658.0 g
CANTERA	:	Can. Rio Mantaro L.IZQ.			MUESTRA	:	M-4
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						DATOS
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		PESO INICIAL (gr.) 5658.0
1/2"	12.500	23.0	0.4	0.4	99.6		PESO FRAC. FINA (gr)
3/8"	9.500	2091.0	37.0	37.4	62.6		
N° 4	4.750	3491.0	61.7	99.1	0.9		
N° 10	2.000	38.0	0.7	99.7	0.3		
N° 20	0.850	15.0	0.3	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se observa la granulometría de la piedra chancada donde el tamiz N° 4 tiene el mayor porcentaje retenido con un 61.7% de piedra.

**GRÁFICO 5:CURVA GRANULOMÉTRICA - GRAVA N°04**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la piedra chancada para asfalto menor a 3/4".

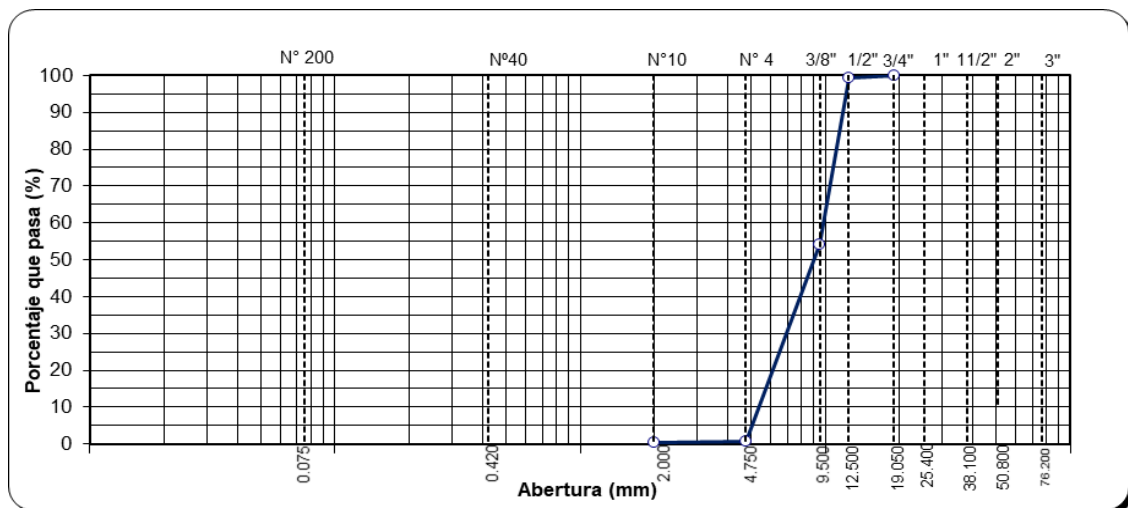
**TABLA 5: GRANULOMETRÍA - GRAVA N°05**

DATOS DE LA MUESTRA								
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA ASFALTO < 3/4"				PESO INICIAL	:	6978.0 g
CANTERA	:	Can. Rio Mantaro L.IZQ.				MUESTRA	:	M-5
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100						DATOS	
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0		PESO INICIAL (gr.)	6978.0
1/2"	12.500	35.0	0.5	0.5	99.5		PESO FRAC. FINA (gr)	
3/8"	9.500	3171.0	45.4	45.9	54.1			
N° 4	4.750	3733.0	53.5	99.4	0.6			
N° 10	2.000	21.0	0.3	99.7	0.3			
N° 20	0.850	18.0	0.3	100.0				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se observa la granulometría de la piedra chancada donde el tamiz N° 4 tiene el mayor porcentaje retenido con un 53.5% de piedra.

**GRÁFICO 6: CURVA GRANULOMÉTRICA N°05**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la piedra chancada para asfalto menor a 3/4".

#### 4.1.2. Análisis granulométrico de la arena natural

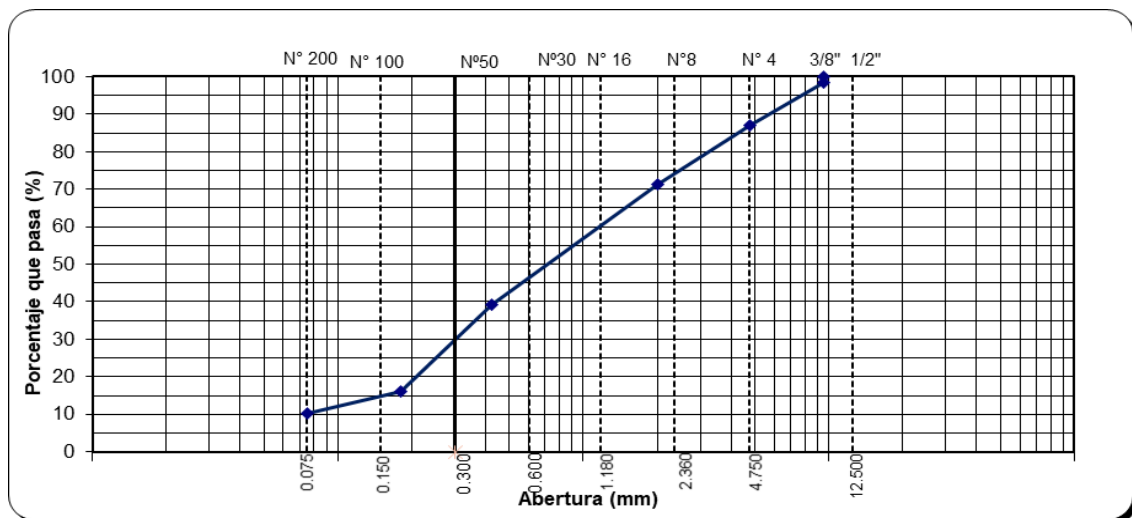
**TABLA 6: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°01**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 863.9 g
						MUESTRA	: M-1
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	14.3	1.7	1.7	98.3		
N° 4	4.750	98.0	11.3	13.0	87.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	136.1	15.8	28.8	71.2		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	276.7	32.0	60.8	39.2		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	200.5	23.2	84.0	16.0		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	50.4	5.8	89.8	10.2		
< N° 200	FONDO	87.9	10.2	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se observa la granulometría de la arena natural donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 32.0% y un pasante de la malla N° 200 de 10.2%.

**GRÁFICO 7: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°01**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena natural para asfalto pasante el tamiz 1/2\".

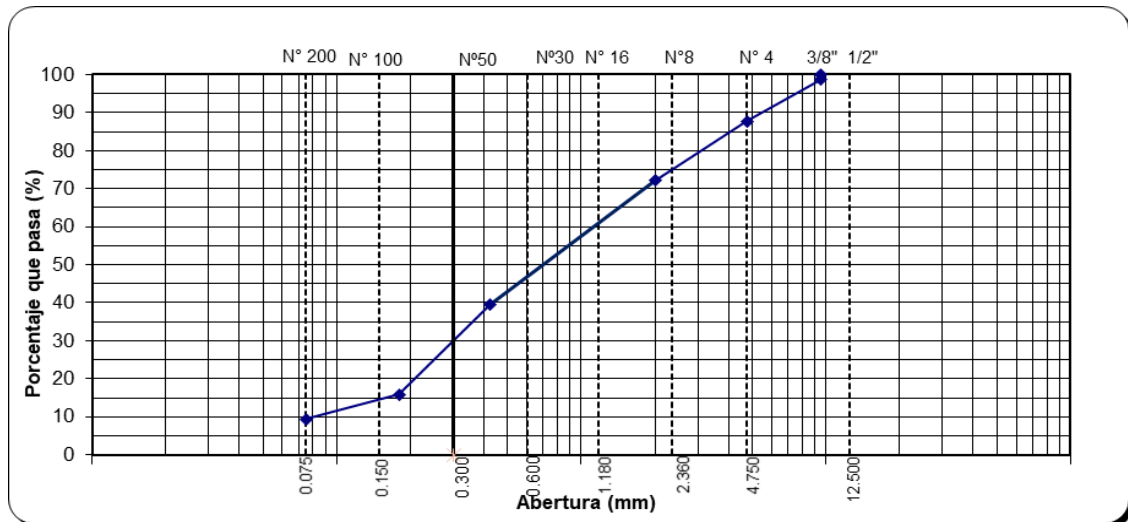
**TABLA 7: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°02**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 845.9 g
						MUESTRA	: M-2
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	10.9	1.3	1.3	98.7		
N° 4	4.750	92.9	11.0	12.3	87.7		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	131.3	15.5	27.8	72.2		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	276.2	32.7	60.4	39.6		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	200.7	23.7	84.2	15.8		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	55.1	6.5	90.7	9.3		
< N° 200	FONDO	78.8	9.3	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se observa la granulometría de la arena natural donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 32.7% y un pasante de la malla N° 200 de 9.3%.

**GRÁFICO 8: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°02**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena natural para asfalto pasante el tamiz 1/2".



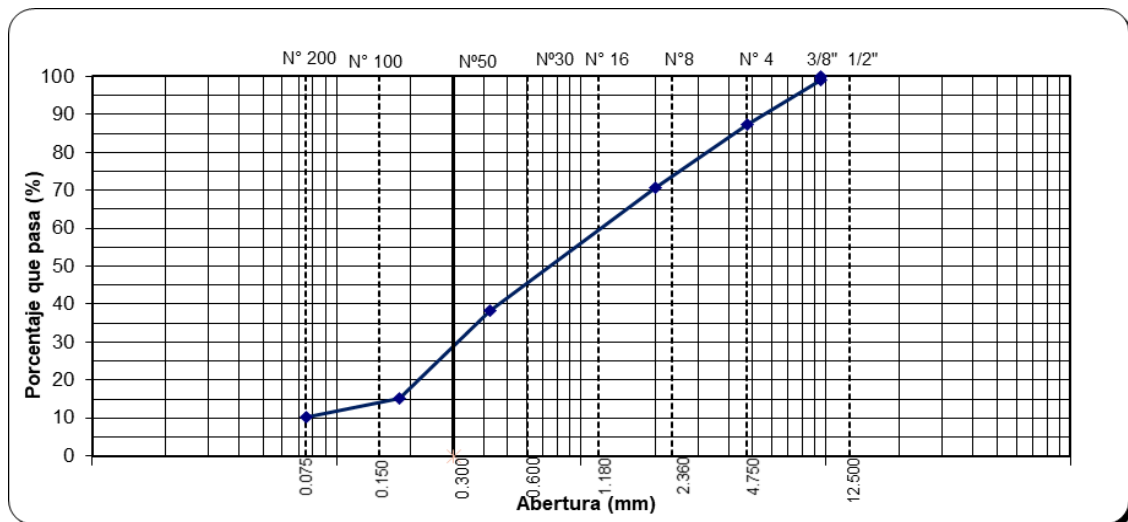
**TABLA 8: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°03**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 939.3 g
						MUESTRA	: M-3
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	8.5	0.9	0.9	99.1		
N° 4	4.750	111.0	11.8	12.7	87.3		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	154.6	16.5	29.2	70.8		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	304.5	32.4	61.6	38.4		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	217.9	23.2	84.8	15.2		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	47.2	5.0	89.8	10.2		
< N° 200	FONDO	95.6	10.2	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se observa la granulometría de la arena natural donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 32.4% y un pasante de la malla N° 200 de 10.2%.

**GRÁFICO 9: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°03**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena natural para asfalto pasante el tamiz 1/2\".

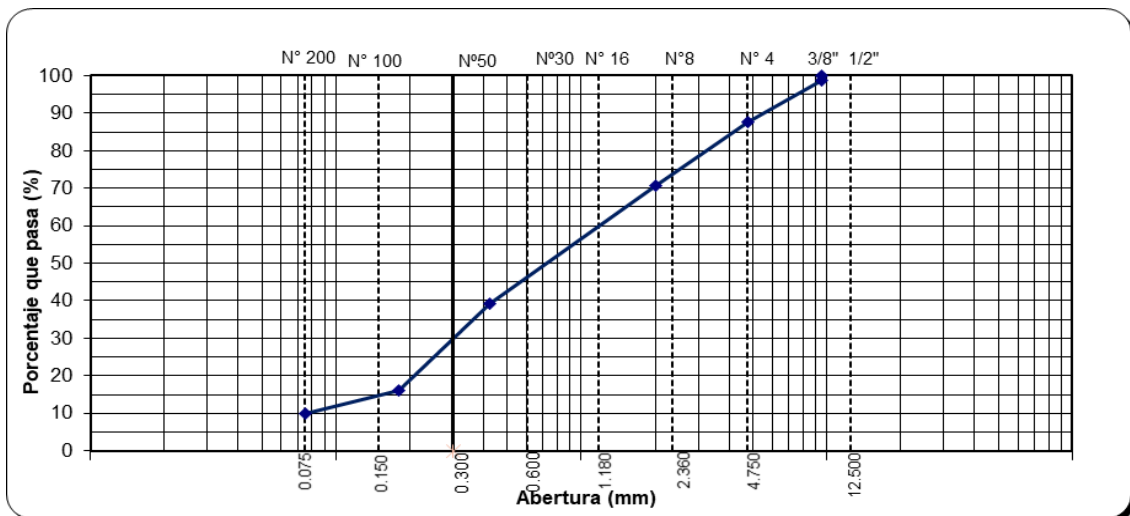
**TABLA 9: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°04**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 867.3 g
						MUESTRA	: M-4
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500	9.5	1.1	1.1	98.9		
Nº 4	4.750	98.0	11.3	12.4	87.6		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	145.7	16.8	29.2	70.8		
Nº 16	1.180						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	274.9	31.7	60.9	39.1		
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.180	198.6	22.9	83.8	16.2		
Nº 100	0.150						
Nº 200	0.075	53.8	6.2	90.0	10.0		
< Nº 200	FONDO	86.8	10.0	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se observa la granulometría de la arena natural donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 31.7% y un pasante de la malla N° 200 de 10.0%.

**GRÁFICO 10: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°04**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena natural para asfalto pasante el tamiz 1/2\".

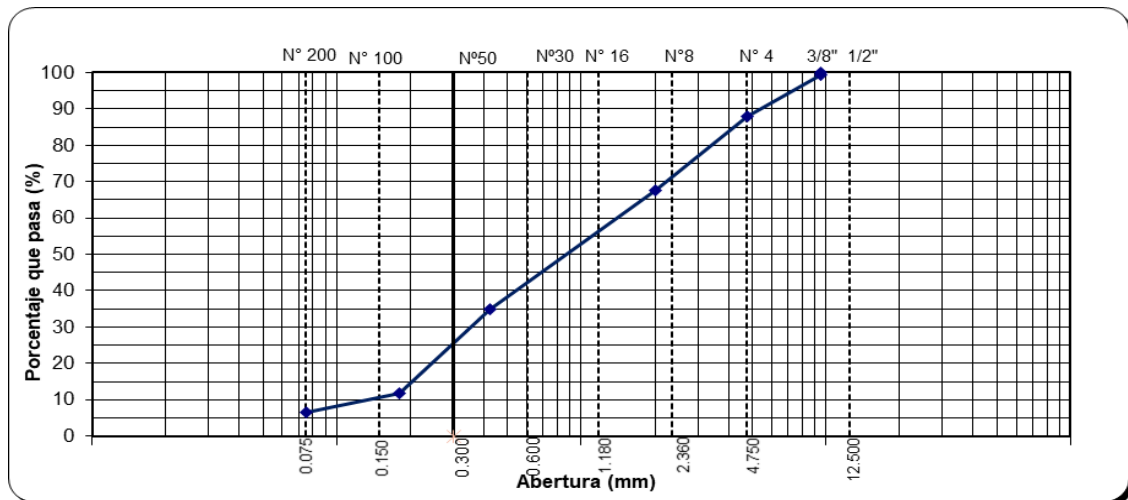
**TABLA 10: GRANULOMETRÍA - ARENA NATURAL N°05**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 891.0 g
						MUESTRA	: M-5
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	5.1	0.6	0.6	99.4		
N° 4	4.750	101.6	11.4	12.0	88.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	182.8	20.5	32.5	67.5		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	290.0	32.5	65.0	35.0		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	207.6	23.3	88.3	11.7		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	45.8	5.1	93.5	6.5		
<N° 200	FONDO	58.1	6.5	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se observa la granulometría de la arena natural donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 32.5% y un pasante de la malla N° 200 de 6.5%.

**GRÁFICO 11:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA NATURAL N°05**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena natural para asfalto pasante el tamiz 1/2".

#### 4.1.3. Análisis granulométrico de la arena chancada

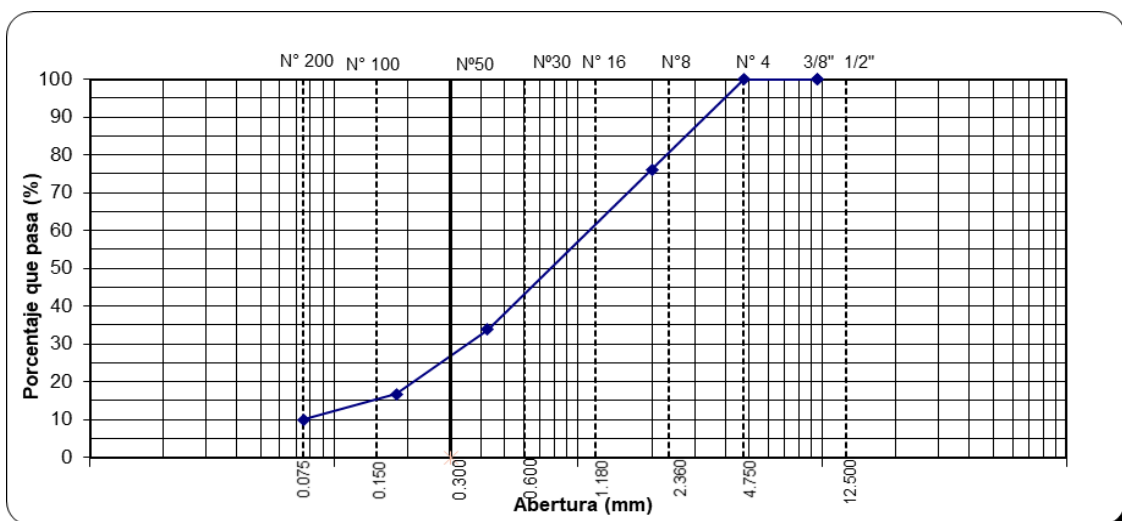
**TABLA 11: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°01**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 844.7 g
						MUESTRA	: M-1
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
1/4"	9.500						
N° 4	4.750				100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	202.0	23.9	23.9	76.1		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	357.4	42.3	66.2	33.8		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	144.1	17.1	83.3	16.7		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	57.2	6.8	90.1	9.9		
< N° 200	FONDO	84.0	9.9	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 42.3% y un pasante de la malla N° 200 de 9.9%.

**GRÁFICO 12: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°01**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena chancada para asfalto pasante el tamiz N°4

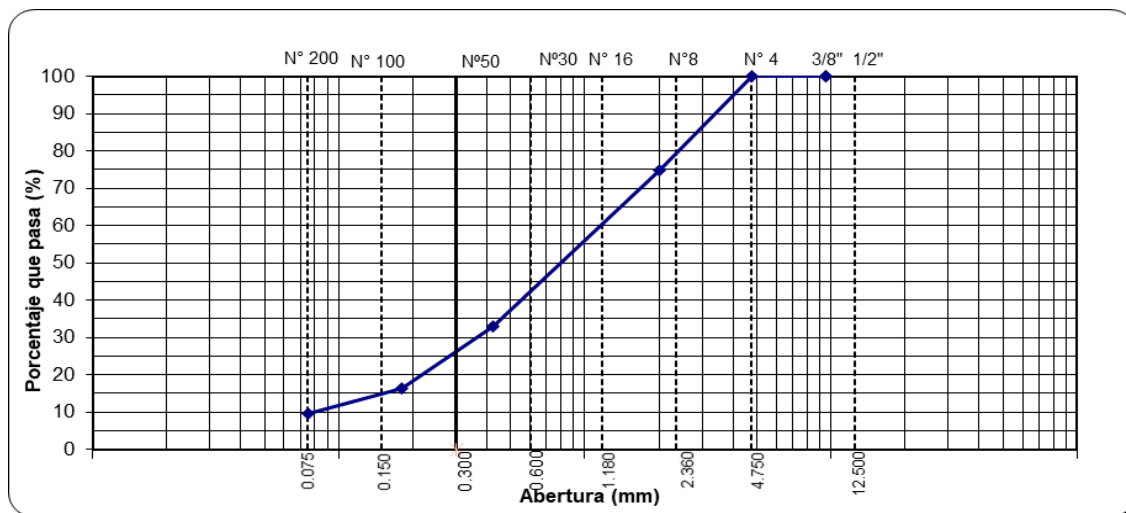
**TABLA 12: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°02**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 940.0 g
						MUESTRA	: M-2
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
1/4"	9.500						
N° 4	4.750				100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	235.4	25.0	25.0	75.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	395.8	42.1	67.1	32.9		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	155.9	16.6	83.7	16.3		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	61.2	6.5	90.2	9.8		
< N° 200	FONDO	91.7	9.8	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 42.1% y un pasante de la malla N° 200 de 9.8%.

**GRÁFICO 13:CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°02**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena chancada para asfalto pasante el tamiz N°4

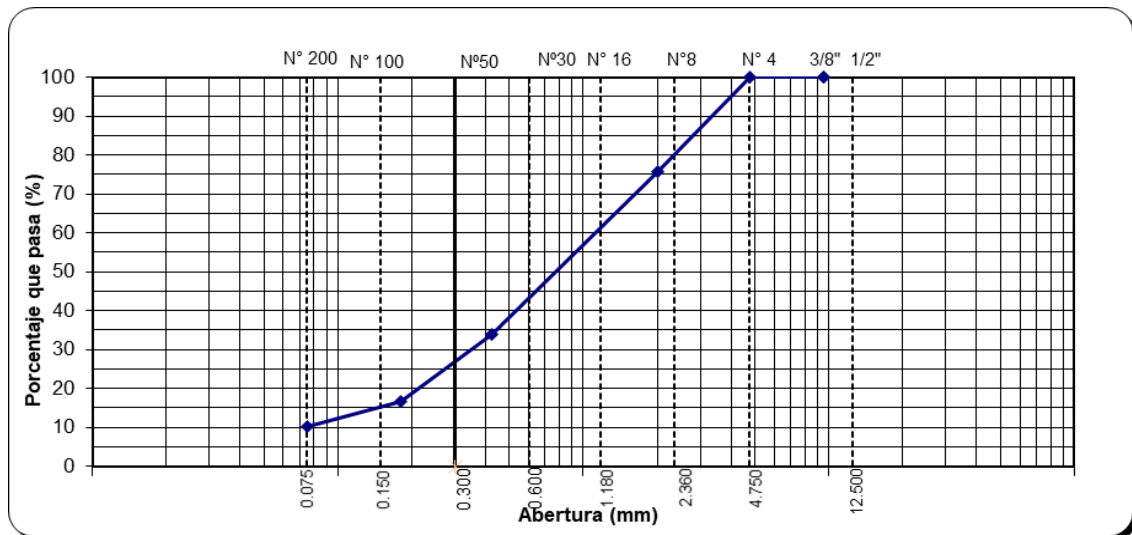
**TABLA 13: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°03**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 841.3 g
						MUESTRA	: M-3
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
1/4"	9.500						
N° 4	4.750				100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	204.3	24.3	24.3	75.7		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	352.5	41.9	66.2	33.8		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	144.1	17.1	83.3	16.7		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	54.1	6.4	89.7	10.3		
< N° 200	FONDO	86.3	10.3	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 41.9% y un pasante de la malla N° 200 de 10.3%.

**GRÁFICO 14: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°03**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena chancada para asfalto pasante el tamiz N°4

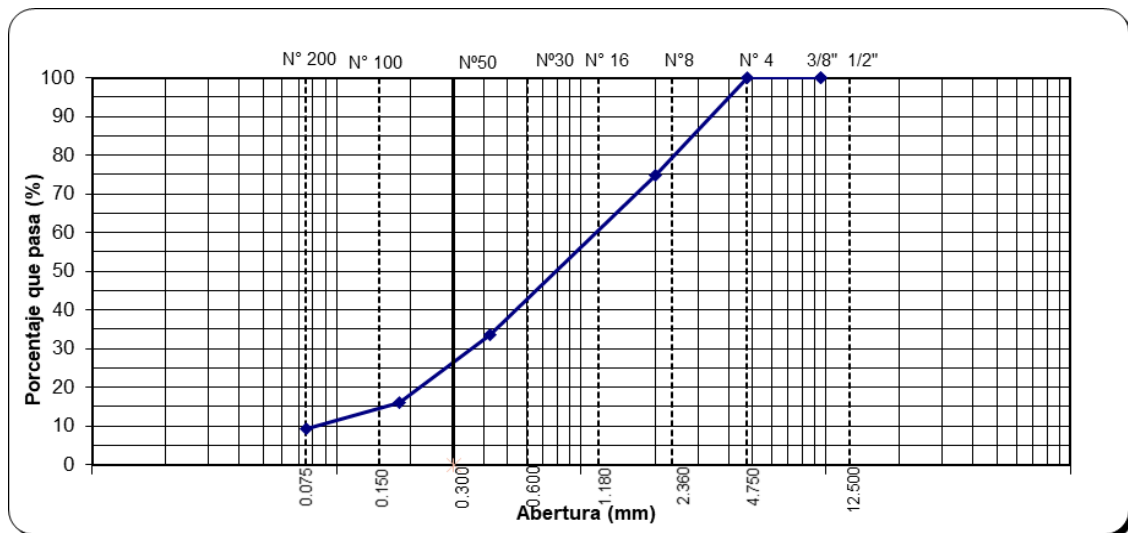
**TABLA 14: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°04**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 936.8 g
						MUESTRA	: M-4
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
1/4"	9.500						
N° 4	4.750				100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	236.7	25.3	25.3	74.7		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	384.4	41.0	66.3	33.7		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	165.4	17.7	84.0	16.0		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	64.5	6.9	90.8	9.2		
<N° 200	FONDO	85.8	9.2	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 41.0% y un pasante de la malla N° 200 de 9.2%.

**GRÁFICO 15: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°04**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena chancada para asfalto pasante el tamiz N°4

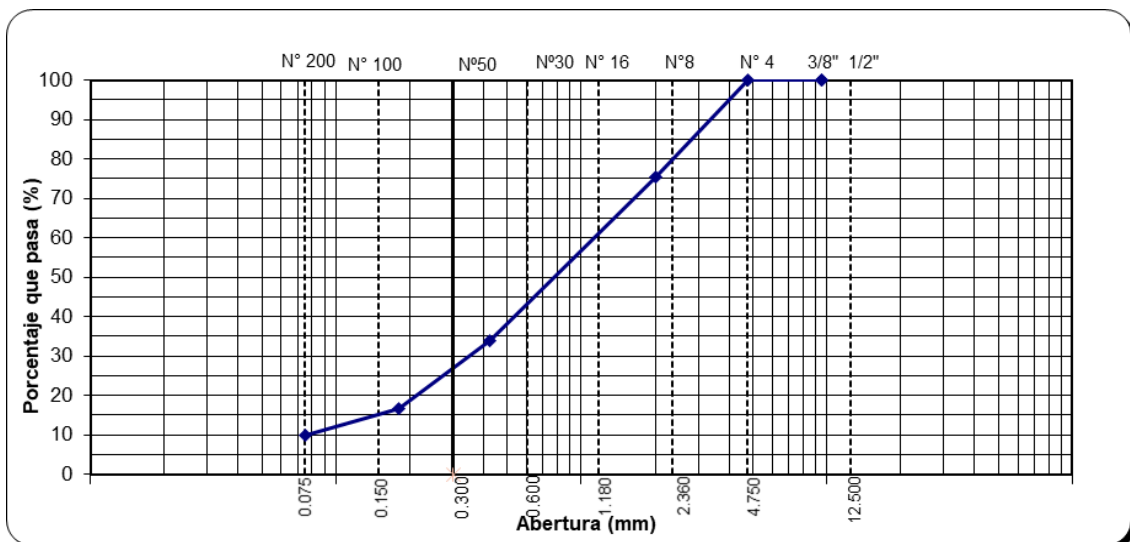
**TABLA 15: GRANULOMETRÍA - ARENA CHANCADA N°05**

DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 780.3 g
						MUESTRA	: M-5
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
1/4"	9.500						
Nº 4	4.750				100.0		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	191.2	24.5	24.5	75.5		
Nº 16	1.180						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	325.3	41.7	66.2	33.8		
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.180	132.6	17.0	83.2	16.8		
Nº 100	0.150						
Nº 200	0.075	52.7	6.8	89.9	10.1		
< Nº 200	FONDO	78.5	10.1	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 41.7% y un pasante de la malla N° 200 de 10.1%.

**GRÁFICO 16: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA CHANCADA N°05**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la arena chancada para asfalto pasante el tamiz N°4



#### 4.1.4. Análisis granulométrico de la cal hidratada

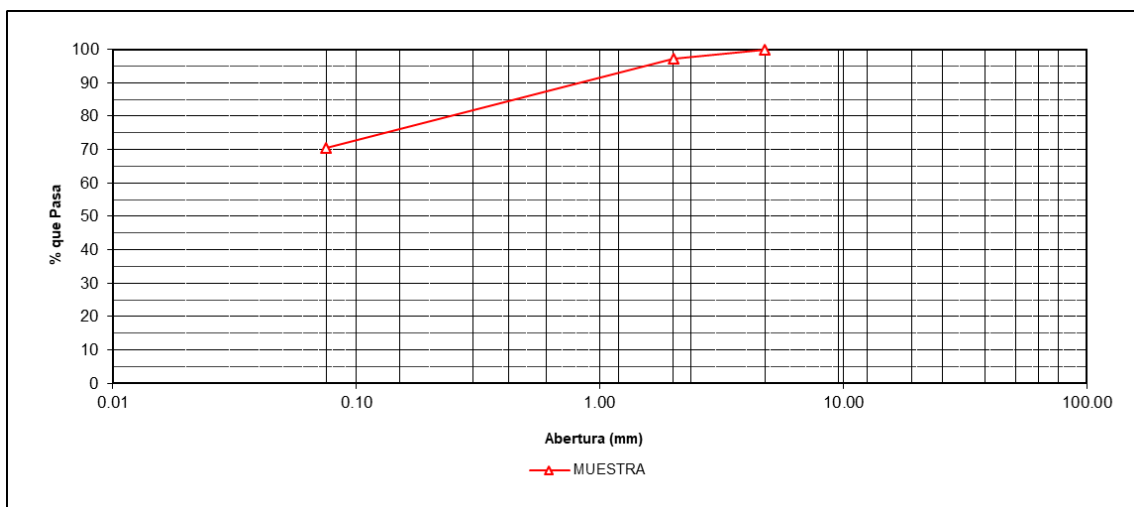
TABLA 16: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°01

DATOS DE LA MUESTRA							
		TAMAÑO MAXIMO	:	# 4			
		Peso inicial seco	:	367.7	g		
		Peso lavado seco	:	108.1	g		
TAMIZ	AASH-TOT-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.250						
# 4	4.750				100.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	10.7	2.9	2.9	97.1		
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.425	59.2	16.1	19.0	81.0		
# 50	0.300						
# 80	0.180	25.4	6.9	25.9	74.1		
# 100	0.150						
# 200	0.075	12.8	3.5	29.4	70.6		
< # 200	FONDO	259.6	70.6	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se observa la granulometría de la cal hidratada donde el pasante la malla N°200 tiene el mayor porcentaje de material con un 70.6%, ya que aportara como filler para el diseño de asfalto.

GRÁFICO 17:CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°01



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°4.

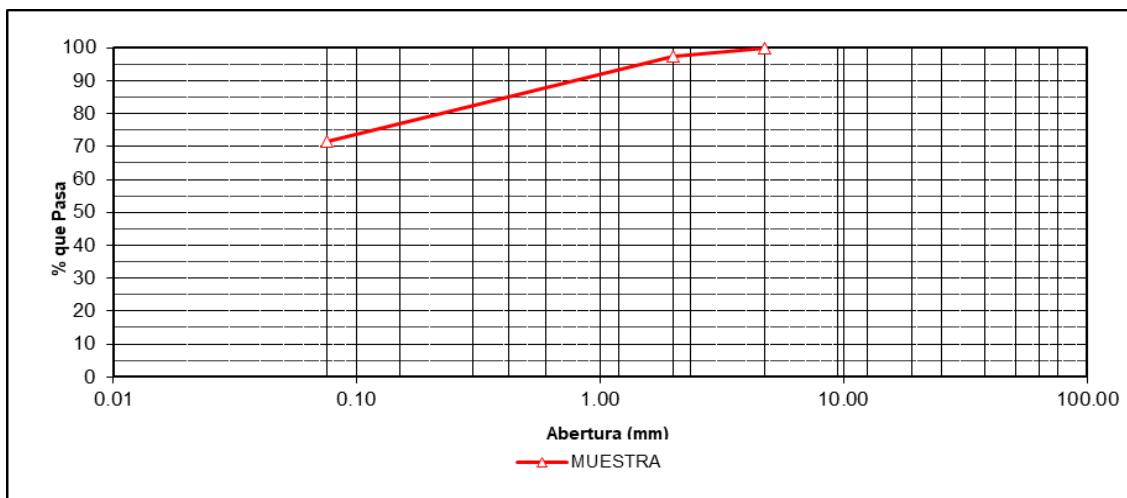
**TABLA 17: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°02**

DATOS DE LA MUESTRA							
		TAMANO MAXIMO		:	# 4		
		Peso inicial seco		:	340.4 g		
		Peso lavado seco		:	96.8 g		
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.250						
# 4	4.750				100.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	8.6	2.5	2.5	97.5		
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.425	52.0	15.3	17.8	82.2		
# 50	0.300						
# 80	0.180	22.3	6.6	24.4	75.6		
# 100	0.150						
# 200	0.075	13.9	4.1	28.4	71.6		
< #200	FONDO	243.6	71.6	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17 se observa la granulometría de la cal hidratada donde el pasante la malla N°200 tiene el mayor porcentaje de material con un 71.6%, ya que aportara como filler para el diseño de asfalto.

**GRÁFICO 18:CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N° 02**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°4.

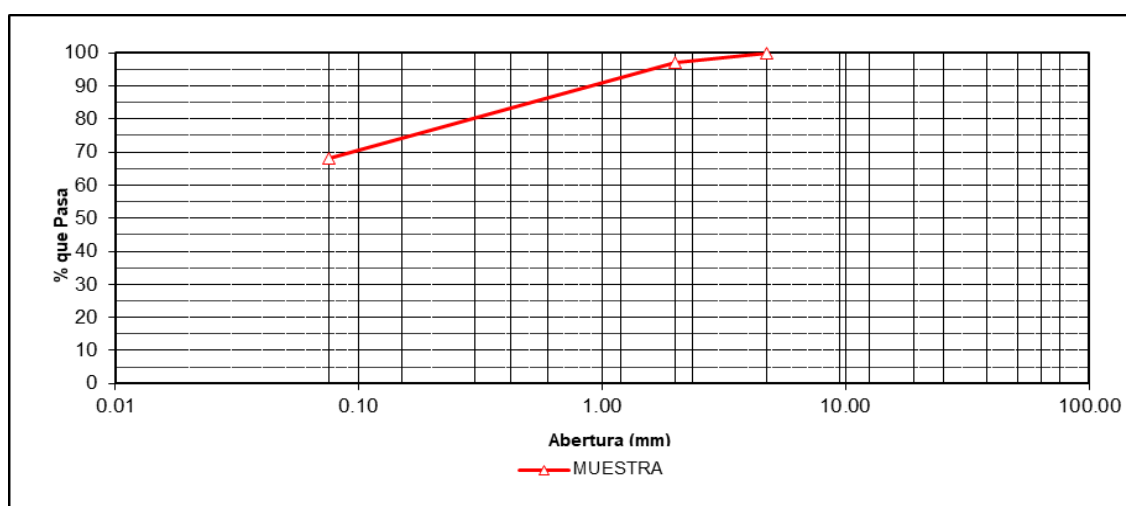
**TABLA 18: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°03**

DATOS DE LA MUESTRA							
		TAMAÑO MAXIMO		:		# 4	
		Peso inicial seco		:		376.4 g	
		Peso lavado seco		:		120.1 g	
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.250						
# 4	4.750				100.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	11.4	3.0	3.0	97.0		
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.425	65.8	17.5	20.5	79.5		
# 50	0.300						
# 80	0.180	27.6	7.3	27.8	72.2		
# 100	0.150						
# 200	0.075	15.3	4.1	31.9	68.1		
<# 200	FONDO	256.3	68.1	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se observa la granulometría de la cal hidratada donde el pasante la malla N°200 tiene el mayor porcentaje de material con un 68.1%, ya que aportara como filler para el diseño de asfalto.

**GRÁFICO 19: CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°03**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°4.

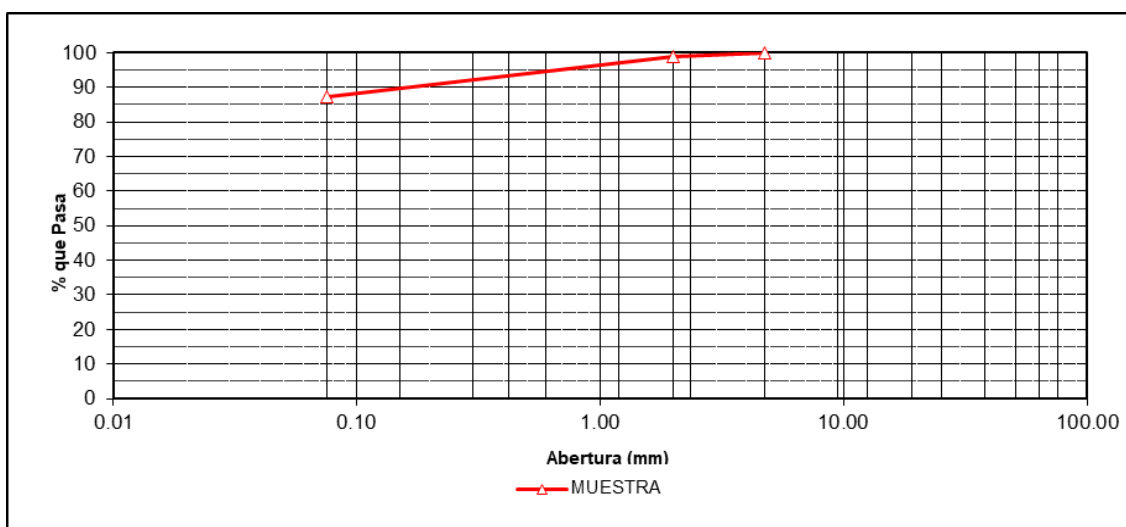
**TABLA 19: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°04**

DATOS DE LA MUESTRA							
		TAMAÑO MAXIMO		:	# 4		
		Peso inicial seco		:	200.0 g		
		Peso lavado seco		:	25.7 g		
TAMZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.250						
# 4	4.750				100.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	2.2	1.1	1.1	98.9		
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.425	13.1	6.6	7.7	92.4		
# 50	0.300						
# 80	0.180	6.3	3.2	10.8	89.2		
# 100	0.150						
# 200	0.075	4.1	2.1	12.9	87.2		
<# 200	FONDO	174.3	87.2	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se observa la granulometría de la cal hidratada donde el pasante la malla N°200 tiene el mayor porcentaje de material con un 87.2%, ya que aportara como filler para el diseño de asfalto.

**GRÁFICO 20: CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°04**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°4.

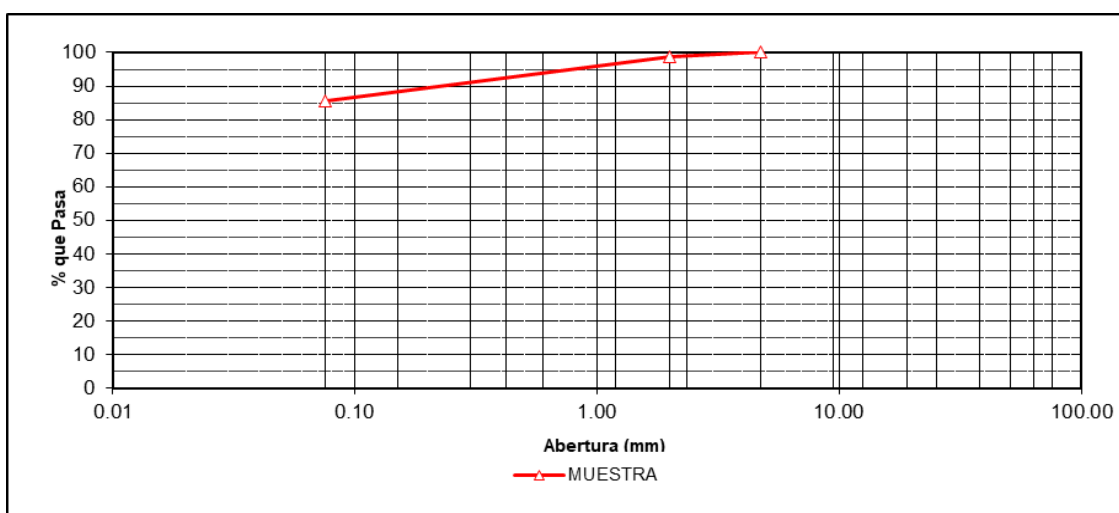
**TABLA 20: GRANULOMETRÍA - CAL HIDRATADA N°05**

DATOS DE LA MUESTRA							
		TAMAÑO MAXIMO		:	# 4		
		Pes o inicial seco		:	200.0 g		
		Pes o lavado seco		:	28.8 g		
TAMZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
4"	101.600						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
1/4"	6.250						
# 4	4.750				100.0		
# 8	2.360						
# 10	2.000	2.7	1.4	1.4	98.7		
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.425	17.0	8.5	9.9	90.2		
# 50	0.300						
# 80	0.180	6.1	3.1	12.9	87.1		
# 100	0.150						
# 200	0.075	3.0	1.5	14.4	85.6		
< # 200	FONDO	171.2	85.6	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se observa la granulometría de la cal hidratada donde el pasante la malla N°200 tiene el mayor porcentaje de material con un 85.6%, ya que aportara como filler para el diseño de asfalto.

**GRÁFICO 21: CURVA GRANULOMÉTRICA - CAL HIDRATADA N°05**



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°4.

#### 4.1.5. Combinación teórica de los agregados

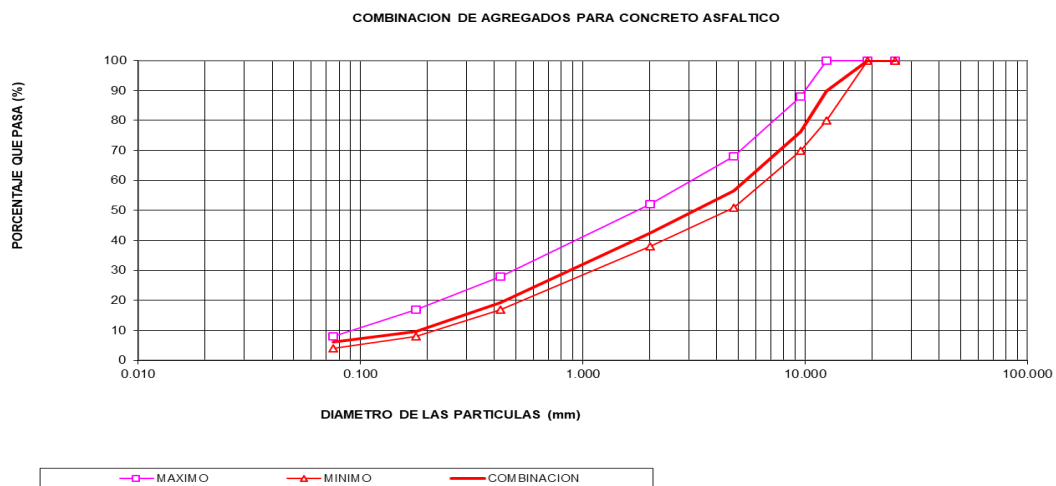
TABLA 21: COMBINACIÓN TEÓRICA DE LOS AGREGADOS

COMBINACION DE AGREGADOS											
Abertura Malla	AASHTOT-27 (mm)	Granulometría de los Agregados						Especificación MAC -2			
		GRAVA G. TRIT 3/4	Agregado N°2 GVLL.TRIT 3/8	ARENA CHAN A.TRIT 1/4	ARENA NAT A.NAT. 1/2	CAL Filler	% Combinado que pasa a	MIN	MAX		
1"	25.400	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100	100		
3/4"	19.000	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100	100		
1/2"	12.500	76.4		100.0	100.0	100.0	89.9	80	100		
3/8"	9.500	45.6		100.0	98.9	100.0	76.3	70	88		
N° 4	4.750	5.9		100.0	87.6	100.0	56.6	51	68		
N° 8	2.360										
N° 10	2.000	1.3		75.4	70.5	97.8	42.6	38	52		
N° 16	1.190										
N° 30	0.600										
N°40	0.426			33.6	31.6	85.1	19.2	17	28		
N° 50	0.300										
N° 80	0.177			16.5	15.0	79.6	9.7		17		
N° 100	0.150										
N° 200	0.075			9.9	9.2	76.6	6.1	4	8		
COMBINACIÓN											
APORTE DE AGREGADOS N°1 Y N° 2 (%)	SUB - TOTAL A (%)	APORTE DE AGREGADOS N°3 Y N°4 (%)					SUB - TOTAL B (%)	TOTAL			
Grava Trit. 3/4"	43.00	Arena Trit. 1/4"	32.00	Filler	1.00						
Gravilla Trit. 3/8"	0.00	Arena Nat. 1/2"	24.00								
Sub Total	43.00		56.00		1.00		57.00	100.00			
APORTE TOTAL DE GRAVA EN MEZCLA (%)	43.4	APORTE TOTAL DE ARENA EN MEZCLA (%)						56.6	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21, se observa la combinación teórica de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por la MAC-2, donde el aporte de la grava triturada 3/4" es de 43%, arena triturada 1/4" es de 32%, arena natural 1/2" es de 24%, filler o cal hidratada es de 1%.

GRÁFICO 22: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADO



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la gráfica 22, de gradación del agregado si cumple con lo especificado en la norma sobre MAC-2 para mezclas asfálticas en cuanto a su granulometría.

#### 4.1.6. Combinación practica de los agregados

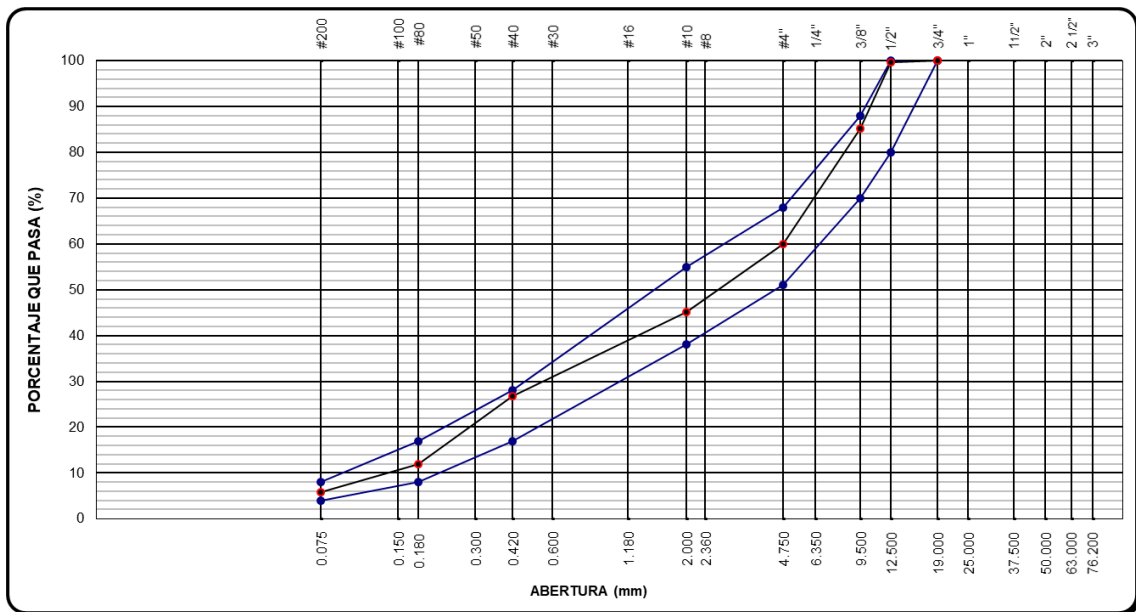
**TABLA 22: COMBINACIÓN PRÁCTICA DE LOS AGREGADOS**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
MÉTODO AASTHO T - 27 Y AASTHO T - 88										
DATOS DE LA MUESTRA										
DESCRIPCIÓN	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente									
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			FORMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACION MAC - 2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
ASTM	mm	Retenid.	Retenido	Acumul.	Pasante					
3"	76.200									
2 1/2"	63.000								<b>Peso Total</b>	20000.0 gr
2"	50.000								<b>Fracción Finos :</b>	970.8 gr
1 1/2"	37.500									
1"	25.000				100.0					
3/4"	19.000				100.0		<b>100</b>			
1/2"	12.500	62.0	0.3	0.3	99.7		<b>80 - 100</b>			
3/8"	9.500	2902.0	14.5	14.8	85.2		<b>70 - 88</b>			
1/4"	6.350									
# 4	4.750	5057.0	25.3	40.1	59.9		<b>51 - 68</b>			
# 8	2.360								<b>Observaciones :</b>	
# 10	2.000	239.6	14.8	54.9	45.1		<b>38 - 55</b>		<b>Agregados Diseño de Asfalto</b>	
# 16	1.180									
# 30	0.600								Grava Chancada	43.0%
# 40	0.420	296.4	18.3	73.2	26.8		<b>17 - 28</b>		Arena Chancada	32.0%
# 80	0.180	243.0	15.0	88.2	11.8		<b>8 - 17</b>		Arena Natural	24.0%
# 50	0.300								Filler - Cal Hidratada	1.0%
# 100	0.150									100.0%
# 200	0.075	98.0	6.0	94.2	5.8		<b>4 - 8</b>			
>200		93.8	5.8	100.0						

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22, se observa la combinación practica de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por la MAC-2, donde el aporte de la grava chancada es de 43%, arena chancada es de 32%, arena natural es de 24%, filler o cal hidratada es de 1%.

**GRÁFICO 23: COMBINACIÓN PRÁCTICA DE LOS AGREGADOS**



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la gráfica 23, de gradación del agregado si cumple con lo especificado en la norma sobre MAC-2 para mezclas asfálticas en cuanto a su granulometría en la combinación práctica.

## 4.2. Ensayos para el agregado grueso

### 4.2.1. Durabilidad (al Sulfato de magnesio)

**TABLA 23: REQUERIMIENTO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E209	18% máx.	<b>15% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013



**TABLA 24: DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO**

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO (MTC E - 209)								
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO : ANALISIS CUANTITATIVO								
SOLUCION :			SULFATO DE MAGNESIO					
FRACCION		GRADACION ORIGINAL %		PESO DE LA	PESO RETENIDO	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA
PASA	RETIENE	PESO RETE- NIDO (gr)	% retenido	FRACCION ENSAYADA	DESPUES DEL ENSDAYO	DESPUES DEL ENSAYO ( gr )	DESPUES DEL ENSAYO %	CORREGIDA
			A	B	C	D	E	F
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	149.0	0.7	675.0	659.4	15.6	2.3	0.02
1/2"	3/8"	7602.0	38.0	330.0	323.2	6.8	2.1	0.78
3/8"	No 4	12248.0	61.2	300.0	291	9	3.0	1.84
	< No 4							
<b>TOTALES</b>		19999.0	100	1305			<b>7.37</b>	<b>2.64</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 se observa que el agregado que utilizaremos obtiene un 7.37% de durabilidad lo cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 23) donde es máx. 15%.

#### 4.2.2. Abrasión Los Ángeles

**TABLA 25: REQUERIMIENTO DE ABRASION LOS ANGELES SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E207	40% máx.	<b>35% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 26: ABRASION LOS ANGELES**

RESISTENCIA DE ABRASION LOS ANGELES (MTC E - 207)			
MUESTRA Nº	01	02	
GRADACION	"B"	"B"	
PESO MUESTRA	5000	5000	
1 1/2" - 1"	-	-	
1" - 3/4"	-	-	
3/4" - 1/2"	2500	2500	
1/2" - 3/8"	2500	2500	
3/8" - 1/4"	-	-	
1/4" - Nº 4	-	-	
Nº 4 - Nº 8	-	-	
RETENIDO Nº12	3390	3380	
PASA Nº 12	1450	1524	
% DESGASTE	29.0	30.5	
<b>PROMEDIO</b>	29.7%		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 el agregado de la mezcla asfáltica utilizada tiene un 29.7 % de desgaste siendo menor al 35 %, lo que especifica como máximo la norma (Ver tabla 25), por lo tanto, si cumple el agregado con los requerimientos establecidos por la EG-2013.

#### 4.2.3. Adherencia

**TABLA 27: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE ADHERENCIA SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 517	+95	+95

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 28: ENSAYO DE ADHERENCIA**

ENSAYO DE ADHERENCIA - AGREGADO BITUMEN (MTC E 517)				
MUESTRA	ADITIVO	DOSIS	% DE RECUBRIMIENTO	CONDICION DE PRUEBA
GRAVA CHANCADA + PEN 85 - 100	SIN ADITIVO	0.0%	+95%	Usando Agua en Ebullición Norma MTC E 517-2013 ( ASTM D 3625)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28, se muestra el porcentaje de recubrimiento en la superficie del agregado por el pen en presencia de agua, el resultado es de +95%, cumpliendo de esta manera con el requerimiento que establece la norma.

#### 4.2.4. Índice de durabilidad

**TABLA 29: REQUERIMIENTO DE ENSAYO ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 214	35%min.	35%min.

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 30: ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO**

ANÁLISIS DE:	ÍNDICE DE DURABILIDAD	CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO	
	MTC E 214	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
TIPO DE MATERIAL :	%	°C	%
PIEDRA	68,4	21	85,63

Fuente: Laboratorio químico Universidad Nacional de Ingeniería.

En la tabla 30, se muestra el resultado de la resistencia relativa del agregado para producir finos que perjudiquen a la mezcla, cuando se somete a procesos mecánicos, el valor obtenido es de 68.4%, cumpliendo de esta manera con el requerimiento que establece la norma, en la tabla 29.

#### 4.2.5. Partículas chatas y alargadas

**TABLA 31: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS SEGUN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
ASTM 4791	10% máx.	<b>10% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 32: PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS**

PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS							
ASTM 4791							
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E	Observaciones
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	(B/A)*100	% Parcial	CxD	
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	25.0	5.0	20.0	1.58	31.51	
1/2"	3/8"	1562.0	85.0	5.4	98.42	535.60	
Total:		<b>1587.0</b>			<b>100.0</b>	<b>567.1</b>	
<b>Porcentaje de Aplanamiento</b>		=	<u>TOTALE</u>		<b>5.7</b>	<b>%</b>	
			<u>TOTAL D</u>				
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E	Observaciones
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	(B/A)*100	% Parcial	CxD	
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	25.0	7.0	28.0	1.58	44.11	
1/2"	3/8"	1562.0	40.0	2.6	98.42	252.05	
Total:		<b>1587.0</b>			<b>100.0</b>	<b>296.2</b>	
<b>Porcentaje de Alargamiento</b>		=	<u>TOTALE</u>		<b>3.0</b>	<b>%</b>	
			<u>TOTAL D</u>				
Observaciones:		% del Índice Aplanamiento y Alargamiento =				<b>8.6 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, está el porcentaje de la cantidad de partículas chata y alargadas del agregado grueso que es de 8.6%, estando por debajo del máximo permitido según norma (ver tabla 31).

#### 4.2.6. Caras fracturadas

**TABLA 33: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS SEGUN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 210	85/50	90/70

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 34: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS**

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (MTC E 210)							
<b>Con dos o más Caras fracturadas</b>							
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E	Observaciones
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	(B/A)*100	% Parcial	CxD	
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	25.0	0.00	0.0	1.58	0.00	
1/2"	3/8"	1562.0	1542.00	98.7	98.42	9716.45	
<b>Total:</b>		<b>1587.0</b>			<b>100.0</b>	<b>9716.4</b>	
Porcentaje con dos o más caras fracturadas =					$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$	<b>97.2</b>	%
<b>Con Una Cara fracturada.</b>							
Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E	Observaciones
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	(B/A)*100	% Parcial	CxD	
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	25.0	0.00	0.0	1.58	0.00	
1/2"	3/8"	1562.0	1530.00	98.0	98.42	9640.83	
<b>Total:</b>		<b>1587.0</b>			<b>100.0</b>	<b>9640.8</b>	
Porcentaje con una cara fracturada =					$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$	<b>96.4</b>	%
<b>Observaciones:</b>		<b>Con Una Cara Fracturada :</b>			<b>97.2</b>	%	
		<b>Con dos Caras Fracturadas:</b>			<b>96.4</b>	%	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 34, está el porcentaje de la cantidad de partículas caras fracturadas del agregado grueso que es de 97.20/96.40, entonces cumple, debido a que en la tabla 33 la norma establece que mínimo debe tener 90/70. (Ver tabla 33).

#### 4.2.7. Sales solubles totales

**TABLA 35: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES SEGUN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 219	0.5% máx.	<b>0.5% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 36: CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES**

ANALISIS DE:	SALES SOLUBLES TOTALES
	MTC E 219
	ASTMD 1888
	ppm
TIPO DE MATERIAL :	
PIEDRA	271

Fuente: Laboratorio químico UNI

En la tabla 36, el resultado de proceso analítico de cristalización para establecer el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados a utilizar en la mezcla es de 271 ppm, cumpliendo de esta forma con los requerimientos establecidos. (Ver tabla 35).

#### 4.2.8. Absorción

**TABLA 37: REQUERIMIENTO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 206	1.0% máx.	<b>1.0% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 38: ABSORCIÓN**

<b>ABSORCIÓN</b> <b>(NORMA MTC E - 206)</b>		
1	CODIGO DE LA MUESTRA	1
2	PESO MA T. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO(EN AIRE) A	1426.6
3	PESO MA T. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO(SUMERGIDO) B	902.3
4	VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS C=(A-B)	524.8
5	PESO DE MATERIAL SECO D	1415.5
6	VOLUMEN DE LA MASA E=C(A-D)	513.2
7	PESO ESPECIFICO BULK(BASE SECA) D/C	2.69
8	PESO ESPECIFICO BULK(BASE SATURADA) A/C	2.73
9	PESO A PARENTE (BASE SECA) D/E	2.76
10	ABSORCION	0.78

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38, el resultado de mantener los agregados en agua durante 24 horas resulta 0.78%, cumpliendo de esta forma con los requerimientos establecidos donde el valor máximo es de 1.0% (Ver tabla 37).

#### 4.3. Ensayos para el agregado fino

##### 4.3.1. Equivalente de arena

**TABLA 39: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 114	60	<b>70</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 40: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA**

ENSAYOS EQUIVALENTE DE ARENA			
MTC - E 114			
Nº de Ensayo	1	2	3
Hora de entrada	7:44:00	7:46:00	7:48:00
Hora de salida	7:54:00	7:56:00	7:58:00
Hora de entrada	7:56:00	7:58:00	8:00:00
Hora de salida	8:16:00	8:18:00	8:20:00
Lectura Final	5.6	5.6	5.7
Lectura de Arena	3.6	3.5	3.5
% Equivalente de Arena	64	63	61
Equivalente de Arena Promedio	63%		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40, el resultado del ensayo realizado es de 63%, valor que cumple con la norma MTC, que establece 70% de equivalente de arena (Ver tabla 39).

#### 4.3.2. Angulosidad del agregado fino

**TABLA 41: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 222	30	40

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 42: ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO**

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO						
MTC E - 222						
TAMAÑOS DE MALLAS		Peso total gr.	6017		Bruto (gr/cm³)	Contenido de Vacíos
PASA	RETENIDO		Molde en (gr).	Peso (gr.)		
# 8	# 200	9041	2120	3024	2.742	48.0
# 8	# 200	9048	2120	3031	2.742	47.9
# 8	# 200	9047	2120	3030	2.742	47.9
Promedio						47.9
Especificación :						40 min

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 42, el valor obtenido de angularidad en el agregado fino es de 47.9 mm cumpliendo con la norma MTC, que establece 40 mínimo (Ver tabla 40).

#### 4.3.3. Índice de plasticidad (malla N°40)

**TABLA 43: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD SEGUN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 111	NP	NP

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

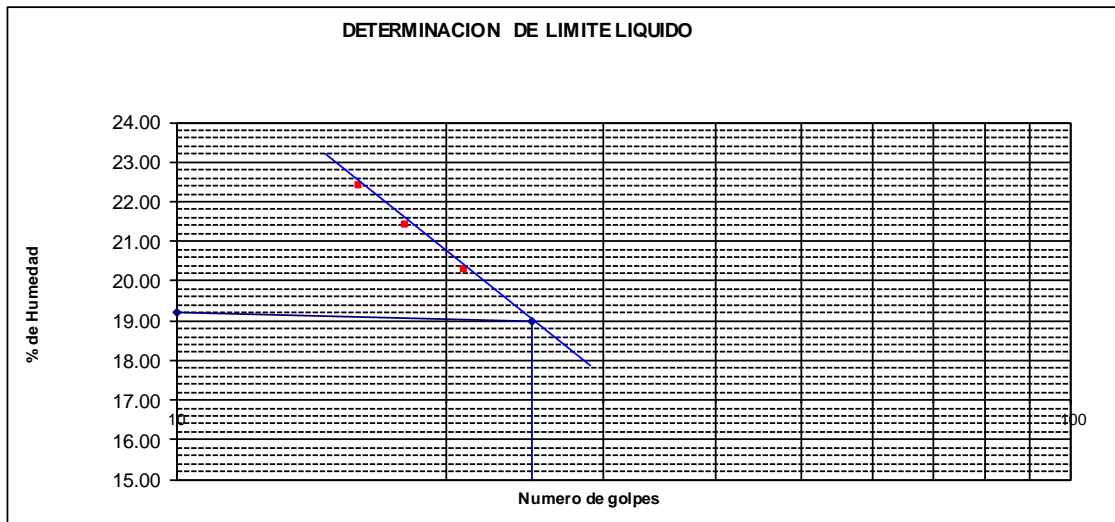
**TABLA 44: LIMITES DE CONSISTENCIA MALLA N°40 – AGREGADO FINO**

LIMITES DE CONSISTENCIA MTC E - 110, MTC E - 111					
<b>Limite Líquido :</b>					
ENSAYO N°	1	2	3		
N° de Golpes	21	18	16		
Recipiente N°	12	16	18		
R + Suelo Hum.	46.79	46.81	47.53		
R + Suelo Seco	42.37	41.86	42.48		
Peso de agua	4.42	4.95	5.05		
Peso de Recip.	20.59	18.74	19.92		
Peso de S. Seco	21.78	23.12	22.56		
% de Humedad	20.29	21.41	22.38		
<b>Limite Plástico :</b>					
ENSAYO N°					
Recipiente N°					
R + Suelo Hum.					
R + Suelo Seco	N	P			
Peso de agua					
Peso de Recip.					
Peso de S. Seco					
% de Humedad					

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 44, se realizó tres muestras de límites de consistencia con diferentes números de golpes 21,18 y 16, con resultados de porcentaje de humedad de 20.29%, 21.41% y 22.38% respectivamente.

**GRÁFICO 24: DETERMINACION DE LIMITE LÍQUIDO MALLA N°40 - AGREGADO FINO**



Resultados	
Límite Líquido	19.00
Límite Plástico	NP
Ind. Plástico	NP

**OBSERVACIONES :**

Ensayo realizado pasante de la malla  
N° 40.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 44, el resultado del índice de plasticidad en la malla N°40 es NP cumpliendo con la norma (Ver tabla 43).

**4.3.4. Durabilidad (al sulfato de Magnesio)**

**TABLA 45: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE DURABILIDAD (AL SULFATO DE MAGNESIO) SEGÚN NORMA – AGREGADO FINO**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 209	-	<b>18% máx.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 46: DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO – AGREGADO FINO**

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO (MTC E - 209)								
INAL TERABILIDAD DEL AGREGADO FINO : ANALISIS CUANTITATIVO								
SOLUCION :			SULFATO DE MAGNESIO					
FRACCION		GRADACION ORIGINAL %		PESO DE LA	PESO RETENIDO	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA
PASA	RETIENE	PESO RETE-	%	FRACCION	DESPUES DEL	DESPUES DEL	DESPUES DEL	CORREGIDA
		NIDO (gr)	retenido	EN SAYADA	EN SDAYO	EN SAYO ( gr )	ENSAYO %	
			A	B	C	D	E	F
3/8"	No 4			---	---	---		
No 4	No 8	162.8	13.8	100.10	93.5	6.6	6.6	0.91
No 8	No 16	252.4	21.3	100.00	95.4	4.6	4.6	0.98
No 16	No 30	211.7	17.9	100.00	94.8	5.2	5.2	0.93
No 30	No 50	264.3	22.3	100.00	93.5	6.5	6.5	1.45
No 50	No 100	164.8	13.9	---	---	---	---	---
No 100	No 200	68.7	5.8	---	---	---	---	---
	< 200	58.9	5.0					
<b>TOTALES</b>		1183.6	100	400.1	377.2			4.27

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46 se observa que el agregado que utilizaremos obtiene un 4.27% de durabilidad lo cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 45) donde es máx. 18%.

#### 4.3.5. Índice de durabilidad

**TABLA 47: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE DURABILIDAD SEGÚN LA NORMA – AGREGADO FINO**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 214	35 min.	<b>35 min.</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 48: ÍNDICE DE DURABILIDAD - AGREGADO FINO**

ANÁLISIS DE:	ÍNDICE DE DURABILIDAD	CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO	
	MTC E 214	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
	%	°C	%
TIPO DE MATERIAL:			
ARENA	65,6	21	85,63

Fuente: Laboratorio químico UNI

En la tabla 48, se muestra el resultado de la resistencia relativa del agregado para producir finos que perjudiquen a la mezcla, cuando se somete a procesos mecánicos, el valor obtenido es de 65.6%, cumpliendo de esta manera con el requerimiento que establece la norma, en la tabla 47.

#### 4.3.6. Índice de plasticidad (Malla N°200)

**TABLA 49: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N°200) SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 111	4máx.	<b>NP</b>

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

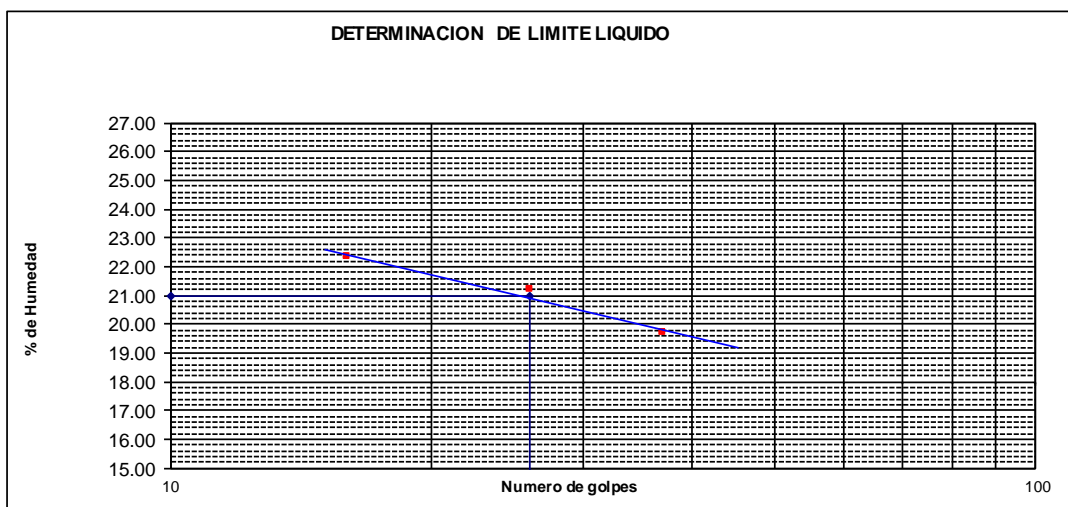
**TABLA 50: LÍMITE DE CONSISTENCIA MALLA N°200 - AGREGADO FINO**

<b>LIMITES DE CONSISTENCIA MTC E - 110, MTC E - 111</b>				
<b>Límite Líquido :</b>				
ENSAYO N°	1	2	3	
N° de Golpes	16	26	37	
Recipiente N°	20	19	7	
R + Suelo Hum.	43.65	45.24	41.06	
R + Suelo Seco	39.22	40.68	37.45	
Peso de agua	4.43	4.56	3.61	
Peso de Recip.	19.40	19.19	19.16	
Peso de S. Seco	19.82	21.49	18.29	
% de Humedad	22.35	21.22	19.74	
<b>Límite Plástico :</b>				
ENSAYO N°	1	2		
Recipiente N°	105	119		
R + Suelo Hum.	17.23	17.53		
R + Suelo Seco	16.18	16.45		
Peso de agua	1.05	1.08		
Peso de Recip.	10.27	10.25		
Peso de S. Seco	5.91	6.20		
% de Humedad	17.77	17.42		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 50, se realizó tres muestras de límites de consistencia con diferentes números de golpes 16,26 y 37, con resultados de porcentaje de humedad de 22.35%, 21.22% y 19.74% respectivamente.

**GRÁFICO 25: DETERMINACION DE LÍMITE LIQUIDO MALLA N°200 - AGREGADO FINO**



<b>Resultados</b>	
Límite Líquido	21.00
Límite Plástico	17.59
Ind. Plástico	3.41

**OBSERVACIONES :**

Ensayo realizado pasante de la malla  
N° 200.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 50, el resultado del índice de plasticidad en la malla N°200 es NP cumpliendo con la norma (Ver tabla 49).

#### 4.3.7. Sales solubles totales

**TABLA 51: REQUERIMIENTO DEL ENSAYO DE SALES SOLUBLES TOTALES SEGÚN NORMA**

NORMA	REQUERIMIENTO	
	ALTITUD (msnm)	
	< 3000	>3000
MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 52: SALES SOLUBLES TOTALES - AGREGADO FINO**

ANÁLISIS DE:	SALES SOLUBLES TOTALES
	MTC E 219
	ASTMD 1888
	ppm
TIPO DE MATERIAL :	
ARENA	329

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 52, el resultado de proceso analítico de cristalización para establecer el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados a utilizar en la mezcla es de 329 ppm, cumpliendo de esta forma con los requerimientos establecidos. (Ver tabla 51).

## 4.4. Ensayos Marshall a la mezcla asfáltica

### 4.4.1. Mezcla asfáltica convencional

Para determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla, se prepararon briquetas con 5 diferentes contenidos de asfalto, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido. Este contenido vario con incrementos de 0.5%.

El óptimo contenido de humedad elegido, será el que cumpla con los requerimientos mínimos o máximos establecidos en la norma. A continuación, se muestra los requerimientos según norma.

**TABLA 53: REQUISITOS PARA MEZCLA DE CONCRETO BITUMINOSO**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
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	<a href="#">Ver Tabla 423-10</a>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
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.		

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 54: VACÍOS MÍNIMOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)**

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Fuente: Manual de carreteras EG-2013

**TABLA 55: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 5.00% DE ASFALTO**

DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	99.7	85.2	59.9	45.1	26.8	11.8	5.8
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					38.10			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					55.95			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la brique ta cm								
12	Peso de la brique ta al aire (gr)				1213.2	1205.0	1204.7		
13	Peso de la brique ta al agua por 60' (gr)				1217.3	1209.0	1207.1		
14	Peso de la brique ta desplazada (gr)				683.2	675.2	676.5		
15	Volumen de la brique ta por desplazamiento (cc) = (13-14)				534.1	533.8	530.6		
16	Peso especifico Bulk de la Brique ta = (12/15)				2.271	2.257	2.270	<b>2.266</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.444			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				7.1	7.6	7.1	<b>7.3</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.637			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.640			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.1			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					4.95			
23	Relacion Filler/Be tun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				18.1	18.6	18.2	<b>18.3</b>	15.0 % min
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				61.0	59.0	60.9	<b>60.3</b>	
26	Flujo (mm)				3.15	3.12	3.22	<b>3.2</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				979	959	953		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				940	920	915	<b>925</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2983	2949	2843	<b>2925</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia



De la tabla 55, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 5%:

- El porcentaje de vacíos de 7.3%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.30%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.2, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 925 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 56: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 5.5 % DE ASFALTO**

DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	99.7	85.2	59.9	45.1	26.8	11.8	5.8
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.50			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.90			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					55.66			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4* (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueeta	cm							
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1213.8	1213.1	1209.5		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1215.3	1215.4	1213.2		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				685.8	684.6	686.8		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				529.5	530.8	526.4		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.292	2.285	2.298	<b>2.292</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.426			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.5	5.8	5.3	<b>5.5</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.637			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.640			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.1			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					5.45			
23	Relacion Filler/Betun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				17.8	18.0	17.6	<b>17.8</b>	15.0% min
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				69.0	67.9	70.0	<b>69.0</b>	
26	Flujo (mm)				3.22	3.18	3.24	<b>3.2</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				900	950	870		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				864	912	835	<b>870</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2683	2868	2578	<b>2710</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 56, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 5.5%:

- El porcentaje de vacíos de 5.5%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.80%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.2, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 870 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 57: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 6.0 % DE ASFALTO**

DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PA SA MAT.		100.0	99.7	85.2	59.9	45.1	26.8	11.8	5.8
ESPECIF. (MA C-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.70			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					55.36			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1214.7	1214.7	1211.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1216.0	1216.4	1213.2		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				693.8	688.9	688.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				522.2	527.5	525.0		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.326	2.303	2.308	<b>2.312</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.408			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				3.4	4.4	4.1	<b>4.0</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.637			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.640			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.0			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					5.95			
23	Relacion Filler/Betun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				17.0	17.9	17.7	<b>17.5</b>	15.0% min
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				80.0	75.5	76.5	<b>77.4</b>	
26	Flujo (mm)				3.35	3.42	3.35	<b>3.4</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				990	1000	1002		
28	Factor de estabilidad				1.00	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				990	960	962	<b>971</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2955	2807	2871	<b>2878</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 57, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 6%:

- El porcentaje de vacíos de 4.0%, está dentro de los requisitos establecidos (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.50%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.4, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 971 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 58: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 6.5 % DE ASFALTO**

DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	99.7	85.2	59.9	45.1	26.8	11.8	5.8
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.50			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.50			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					55.07			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briketa cm								
12	Peso de la briketa al aire (gr)				1211.0	1215.2	1212.6		
13	Peso de la briketa al agua por 60 '(gr)				1211.6	1216.8	1213.8		
14	Peso de la briketa desplazada (gr)				690.2	690.6	689.0		
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc) = (13-14)				521.4	526.2	524.8		
16	Peso específico Bulk de la Briketa = (12/15)				2.323	2.309	2.311	<b>2.314</b>	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.392			
18	% de Vacíos = (17-16)x 100/17 (ASTM D 3203)				2.9	3.5	3.4	<b>3.3</b>	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.637			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.642			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.1			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					6.43			
23	Relacion Filler/Betun					0.97			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				17.6	18.0	18.0	<b>17.9</b>	15.0% min
25	% Vacíos llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				83.5	80.9	81.1	<b>81.8</b>	
26	Flujo (mm)				3.48	3.55	3.56	<b>3.5</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				910	983	932		
28	Factor de estabilidad				1.00	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				910	944	895	<b>916</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2615	2658	2513	<b>2595</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 58, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 6.5%:

- El porcentaje de vacíos de 3.3%, está dentro de los requisitos establecidos (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.90%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.5, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 916 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 59: ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL – 7.0 % DE ASFALTO**

DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.									
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					7.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					37.30			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					54.77			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1209.3	1209.7	1208.4		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1209.8	1210.5	1209.0		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				687.3	688.6	689.2		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				522.5	521.9	519.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.314	2.318	2.325	<b>2.319</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.371			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				2.4	2.2	2.0	<b>2.2</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = $(2+3+4) / (2/6+3/7+4/8)$					2.637			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = $(2+3+4) / ((100/17-1/5))$					2.637			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = $(100 \times 5 \times (20-19)) / (19 \times 20)$					0.0			
22	% de Asfalto Efectivo = $1 - (21 \times (2+3+4)) / 100$					6.99			
23	Relacion Filler/Betun					0.97			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = $100 - (2+3+4+5) \times (16/19)$				18.3	18.2	17.9	<b>18.1</b>	15.0% min
25	% Vacios llenos con C.A. = $100 \times (24-18) / 24$				87.0	87.7	89.1	<b>87.9</b>	
26	Flujo (mm)				3.90	3.64	3.86	<b>3.8</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				996	1004	996		
28	Factor de estabilidad				1.00	1.00	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				996	1004	996	<b>999</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = $(29/26) \times 100$				2555	2759	2581	<b>2632</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 58, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 7%:

- El porcentaje de vacíos de 2.2%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que está debajo del rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.10%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.8, por lo cual supera los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 999 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### 4.4.2. Ensayo rice

**TABLA 60: ENSAYO RICE AASHTO T-209**

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA ENSAYO RICE AASHTO T-209 ASTM D-2041						
DATOS DE LA MUESTRA						
DESCRIPCION	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente					Optimo %
MUESTRA N°	01	02	03	04	05	6
PROGRESIVA	MUESTRA DE PRODUCCION					
1.- PESO DEL FRASCO	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	8851.0	8846.0	8841.0	8838.0	8833.0	8845.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	10354.0	10350.0	10346.0	10340.0	10334.0	10343.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1503.0	1504.0	1505.0	1502.0	1501.0	1498.0
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	615.0	620.0	625.0	628.0	633.0	621.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.444	2.426	2.408	2.392	2.371	2.412
CONTENIDO% C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	6.10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 60, se observa el ensayo Peso Específico Máximo – Rice. Para cada porcentaje de cemento asfáltico.

#### 4.4.3. Determinación del óptimo contenido de cemento asfáltico

Luego de obtener los datos de los cinco puntos, se procedió a realizar las respectivas gráficas para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico y por consiguiente su respectivo índice de rigidez.

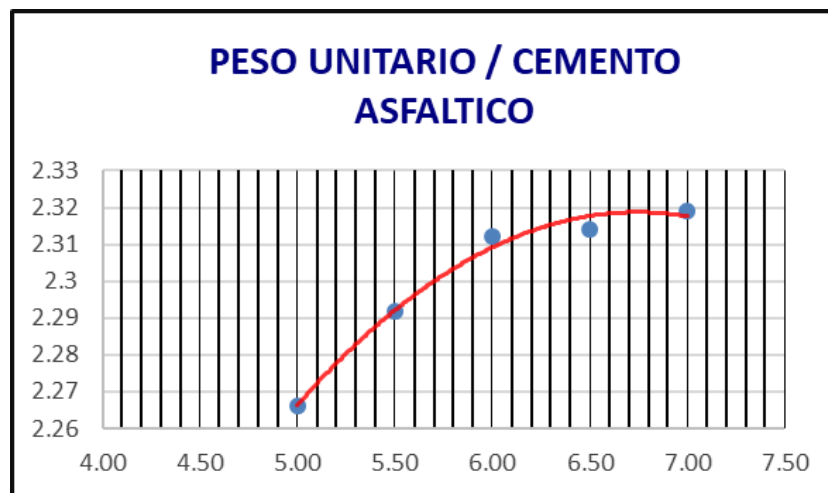
##### 4.4.3.1. Cemento asfáltico vs peso unitario

**TABLA 61: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>Peso unitario</b>	2.266	2.292	2.312	2.314	2.319

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 26: % CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CONVENCIONAL**



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico 26 la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer. En la gráfica se observa que el valor máximo es 7.0% de contenido de asfalto.

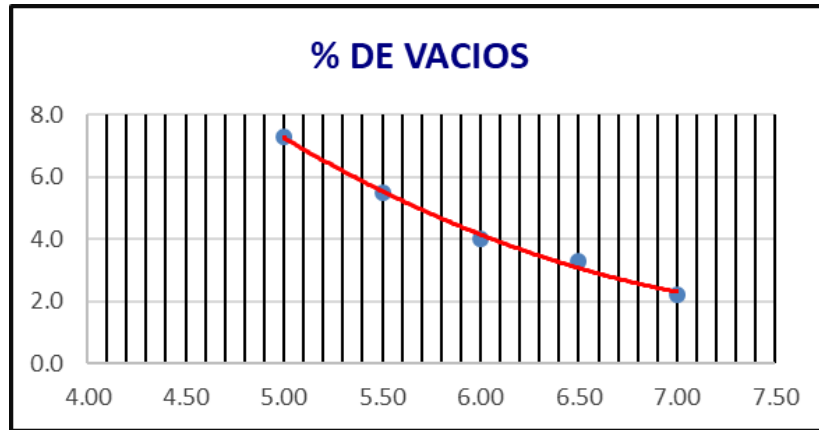
##### 4.4.3.2. Cemento asfáltico vs % de vacíos

**TABLA 62: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACÍOS - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>% de vacíos</b>	7.30	5.50	4.0	3.30	2.20

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 27: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CONVENCIONAL**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos de aire, se reduce con el incremento en el contenido de asfalto aproximándose a un valor mínimo se da cuando el contenido de asfalto es 7% (Ver grafico27)

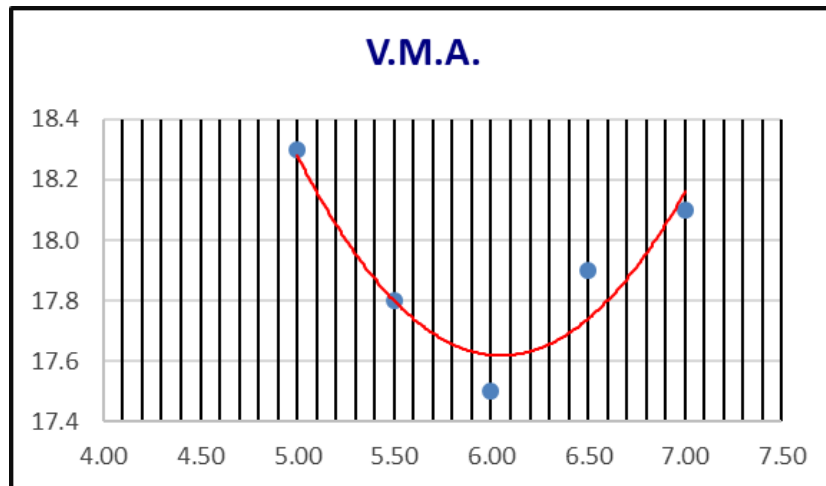
**4.4.3.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral**

**TABLA 63: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VMA	18.3	17.8	17.5	17.9	18.1

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 28: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CONVENCIONAL**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 28 se puede determinar que el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementar el contenido de asfalto, hasta alcanzar un valor mínimo a partir del cual comienza a aumentar. EL valor mínimo de VMA se da con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00%

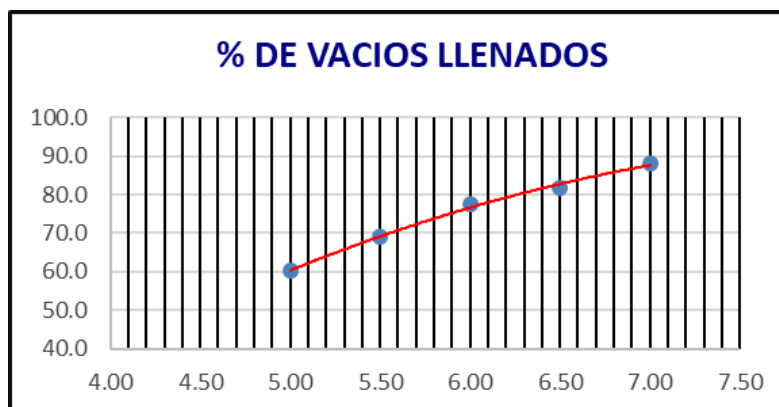
#### 4.4.3.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto

**TABLA 64: DATOS OBTENIDOS DE % VACÍOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VFA	60.3	69.0	77.4	81.8	87.9

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 29: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CONVENCIONAL**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta a medida que el contenido de cemento asfáltico aumenta. Por lo cual en la gráfica 29 se puede observar que con un 7% de asfalto se tiene mayor porcentaje de vacíos llenados.

#### 4.4.3.5. Cemento asfáltico vs flujo

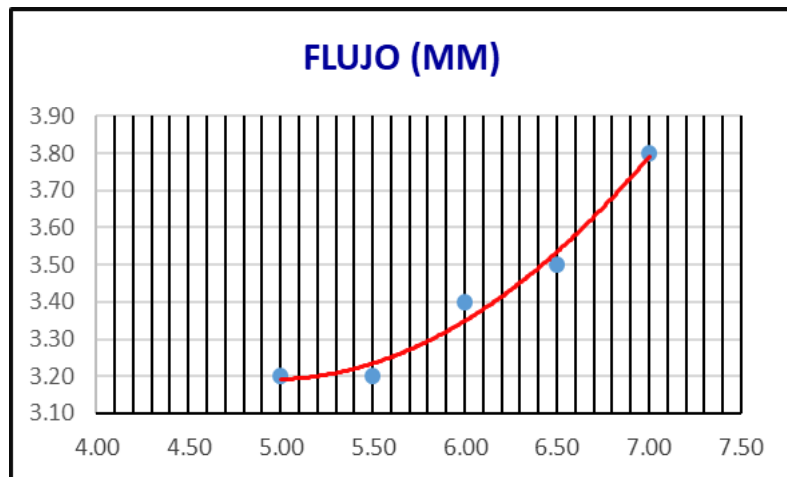
**TABLA 65: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
FLUJO	3.2	3.2	3.4	3.5	3.8

Fuente: Elaboración propia



**GRÁFICO 30:% CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO**



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico 30 se determina que el flujo se incrementa de forma consistente con el aumento del contenido de asfalto. Llegando a un valor de 3.8 mm de flujo con 7% de contenido de asfalto.

Debemos considerar que las briquetas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

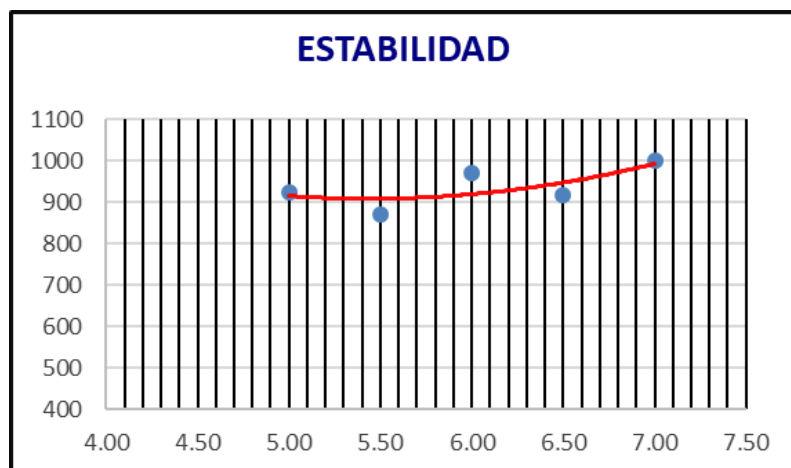
#### 4.4.3.6. Cemento asfáltico vs estabilidad

**TABLA 66: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>ESTABILIDAD</b>	925	870	971	916	999

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 31: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD**



Fuente: Elaboración propia

El valor de la estabilidad se incrementa con el contenido de asfalto hasta un valor pico a partir del cual decrece. (Ver grafica 31)

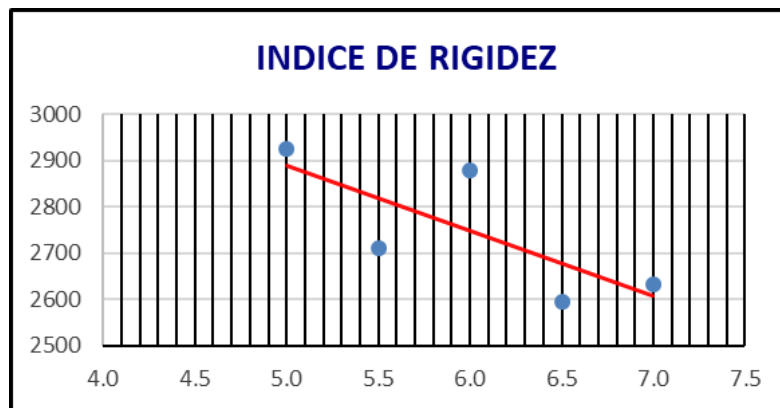
#### 4.4.3.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez

**TABLA 67: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CONVENCIONAL**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Índice de rigidez	2925	2710	2878	2595	2632

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 32: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ**



Fuente: Elaboración propia

En el grafico 32 se observa que a mayor contenido de asfalto la rigidez es menor.

#### 4.4.3.8. Resumen de ensayo Marshall

Luego de realizar el ensayo Marshall, y las gráficas correspondientes, se obtuvo un óptimo contenido de asfalto, que cumpla las especificaciones de la norma.

<b>CARACTERISTICAS MARSHALL</b>			
	<b>Optimo</b>	<b>Diseño</b>	
GOLPES POR CARA		75	
CEMENTO ASFALTICO		6.1	%
PESO UNITARIO		2.313	gr/cm <sup>3</sup> .
VACIOS		3.90	%
V.M.A.		17.6	%
VACIOS LLENOS CON C.A.		77.9	%
FLUJO		3.38	mm.
ESTABILIDAD		923	Kg.
ESTABILIDAD/ FLUJO		2734	Kg/cm.
<b>DOSIFICACION</b>			
43.0%	GRAVA CHANCADA		
32.0%	ARENA CHANCADA		
24.0%	ARENA NATURAL		
1.0%	FILLER		

Fuente: Elaboración propia

- El Peso Unitario es 2.313 gr/cm<sup>3</sup> debido a que tiene una adecuada densidad que dará un comportamiento duradero en el pavimento.
- El Porcentaje de Vacíos adecuado es de 3.90% esta cumple con las especificaciones en obra ya que usualmente se debe tener una densidad menos del 5 por ciento.
- El Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral es de 17.60% para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto.
- Hay un adecuado porcentaje de vacíos llenados cuando el contenido de asfalto es de 77.90%.
- El Flujo es de 3.38 mm considerándose que las briquetas que la fluencia no es demasiado plásticas y no tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.
- La estabilidad es de 923Kg, siendo capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas y teniendo en cuenta que valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

- El índice de Rigidez es 2734 Kg/cm cumpliendo los criterios recomendados para mezcla densa en caliente diseñada con el método Marshall.

#### 4.4.4. Mezcla asfáltica modificado con vidrio

##### 4.4.4.1. Granulometría del vidrio

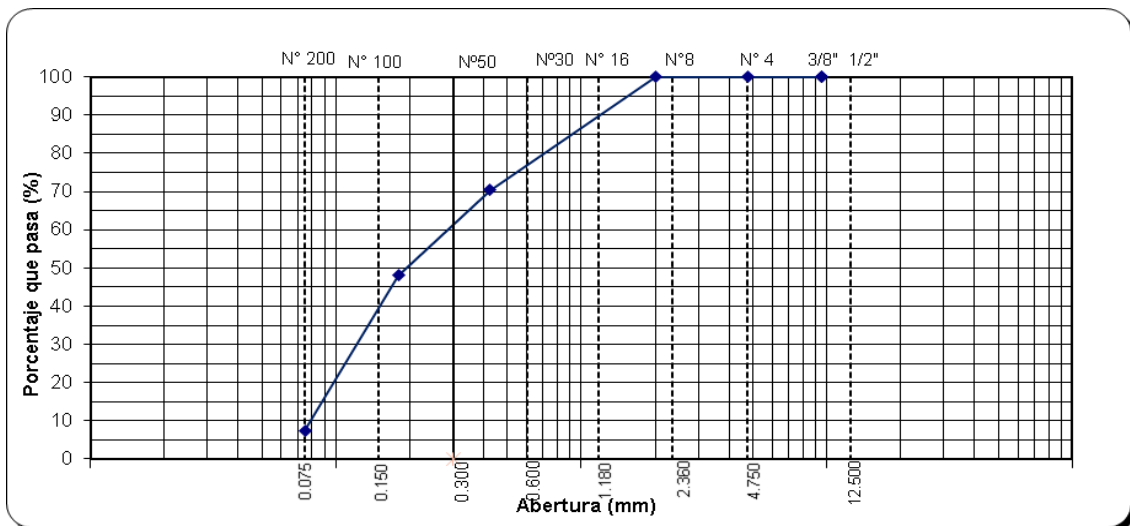
TABLA 68: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°01

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 860.0 g
						MUESTRA	: M-1
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2 "	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2 "	12.500				100.0		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	254.0	29.5	29.5	70.5		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	192.0	22.3	51.9	48.1		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	350.0	40.7	92.6	7.4		
<N° 200	FONDO	64.0	7.4	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 68, se observa la granulometría del vidrio molido pasante de la malla N°10. La malla N°200, es la que mayor porcentaje de retenidos tienen con 40.7%.

**GRÁFICO 33: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°01**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°10.

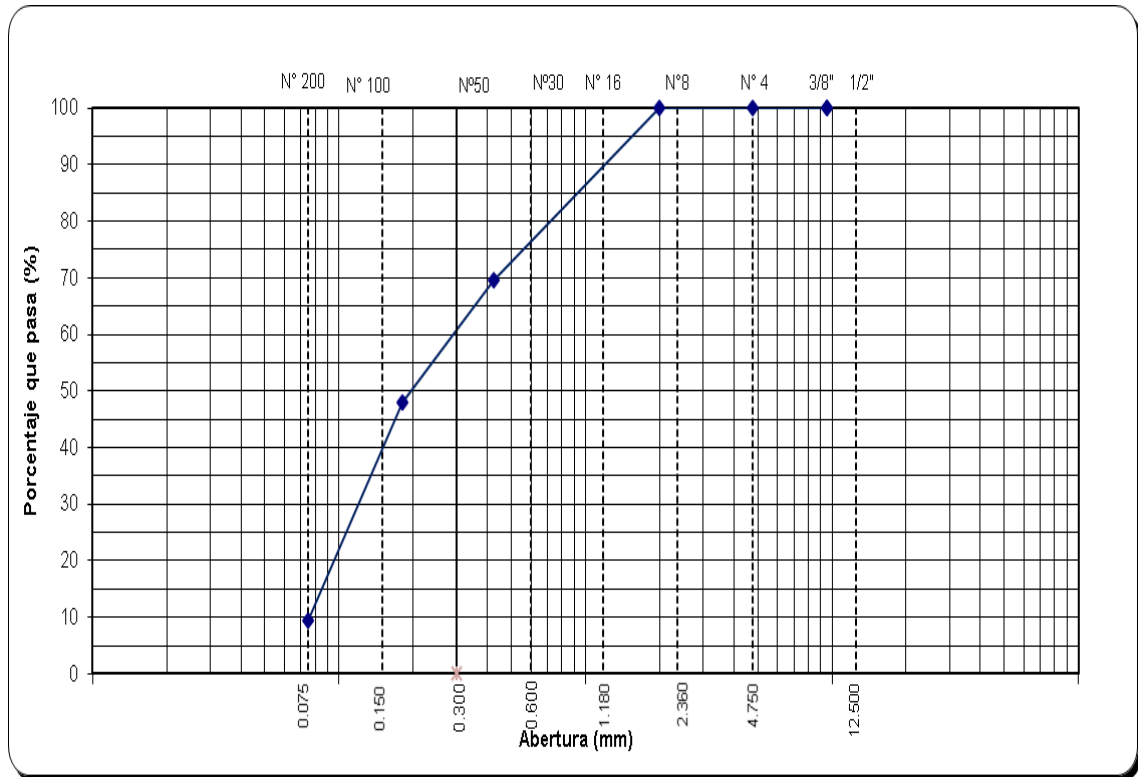
**TABLA 69: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°02**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)							
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 812.5 g
						MUESTRA	: M-2
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	248.0	30.5	30.5	69.5		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	175.0	21.5	52.1	47.9		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	312.0	38.4	90.5	9.5		
<N° 200	FONDO	77.5	9.5	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 69, se observa la granulometría del vidrio molido pasante de la malla N°10. La malla N°200, es la que mayor porcentaje de retenidos tienen con 38.4%.

**GRÁFICO 34: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°02**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°10.

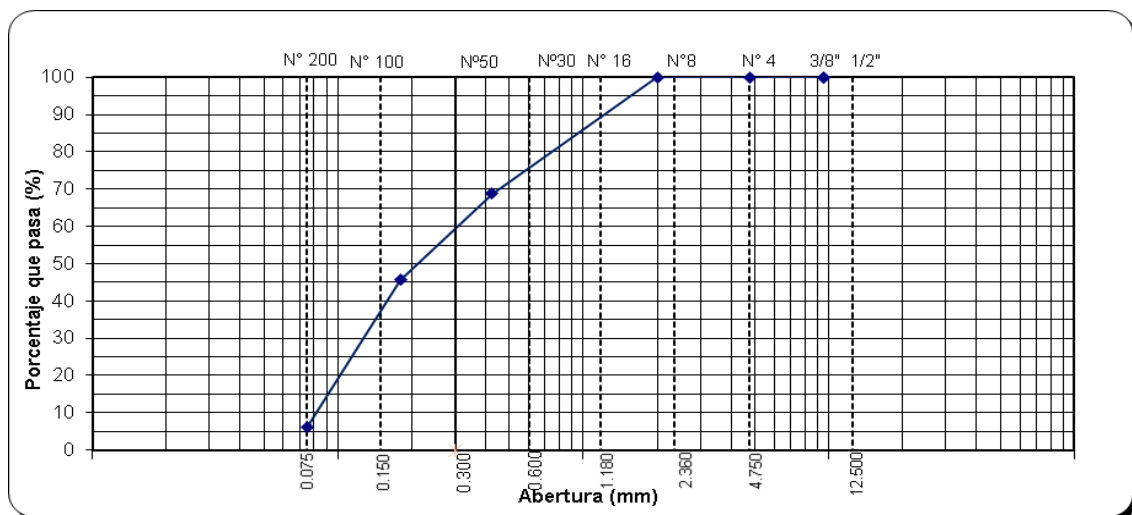
**TABLA 70: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°03**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)							
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 910.8 g
						MUESTRA	: M-3
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	285.0	31.3	31.3	68.7		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	210.0	23.1	54.3	45.7		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	361.0	39.6	94.0	6.0		
< N° 200	FONDO	54.8	6.0	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 70, se observa la granulometría del vidrio molido pasante de la malla N°10. La malla N°200, es la que mayor porcentaje de retenidos tienen con 39.6%.

**GRÁFICO 35: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°03**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°10.

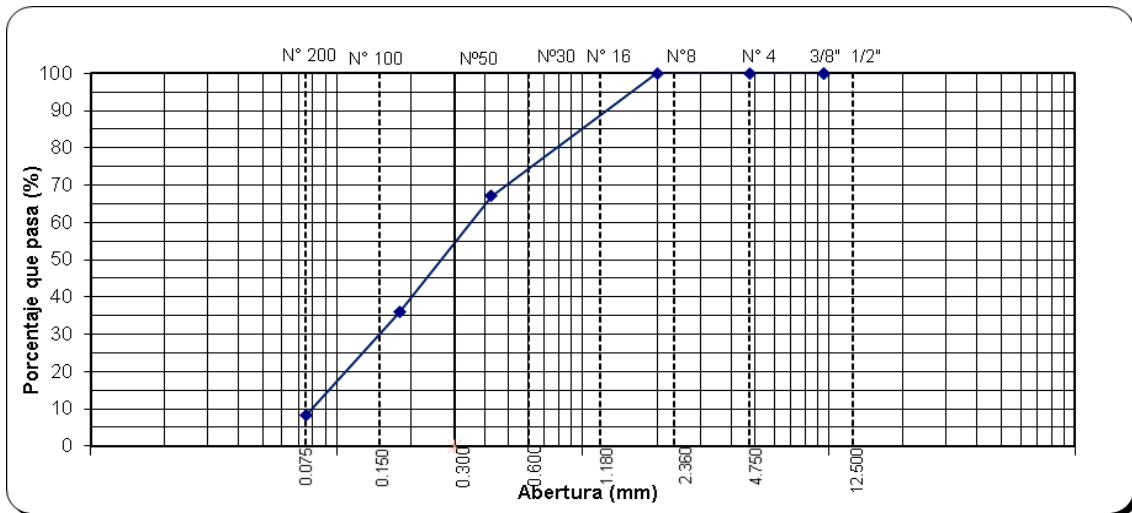
**TABLA 71: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°04**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 941.0 g
						MUESTRA	: M-4
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	310.0	32.9	32.9	67.1		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	292.5	31.1	64.0	36.0		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	261.0	27.7	91.8	8.2		
< N° 200	FONDO	77.5	8.2	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 71, se observa la granulometría del vidrio molido pasante de la malla N°10. La malla N°40, es la que mayor porcentaje de retenidos tienen con 32.9%.

**GRÁFICO 36: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°04**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°10.



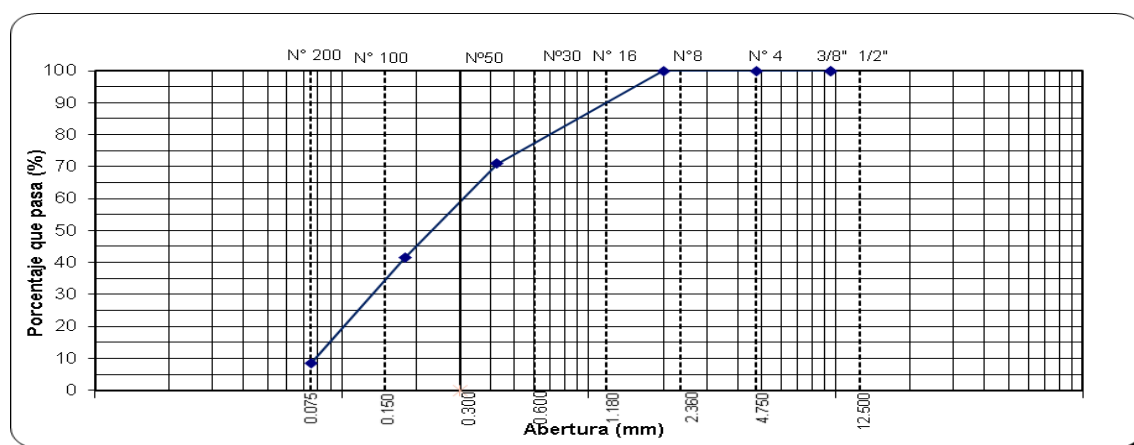
**TABLA 72: GRANULOMETRÍA DEL VIDRIO N°05**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
DATOS DE LA MUESTRA							
						PESO INICIAL	: 799.5 g
						MUESTRA	: M-5
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 8	2.360						
N° 10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	232.5	29.1	29.1	70.9		
N° 50	0.300						
N° 80	0.180	235.1	29.4	58.5	41.5		
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	265.0	33.1	91.6	8.4		
< N° 200	FONDO	66.9	8.4	100.0			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 72, se observa la granulometría del vidrio molido pasante de la malla N°10. La malla N°200, es la que mayor porcentaje de retenidos tienen con 33.1%.

**GRÁFICO 37: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL VIDRIO N°05**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa la curva de la granulometría de la cal hidratada para asfalto pasante el tamiz N°10.

**TABLA 73: RESUMEN DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL VIDRIO**

<b>RESUMEN DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD</b>											
<b>VIDRIO MOLIDO - PARA MEZCLA ASFÁLTICA</b>											
CERTIFICADO	Fecha	MATERIAL	Muestra	Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz							OBSERVACIONES
				1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200	
VIDRIO MOLIDO-001	03/09/2018	VIDRIO	Acopio	100.00	100.00	100.00	100.00	70.5	48.1	7.4	
VIDRIO MOLIDO-002	03/09/2018	VIDRIO	Acopio	100.00	100.00	100.00	100.00	69.5	47.9	9.5	
VIDRIO MOLIDO-003	03/09/2018	VIDRIO	Acopio	100.00	100.00	100.00	100.00	68.7	45.7	6.0	
VIDRIO MOLIDO-004	03/09/2018	VIDRIO	Acopio	100.00	100.00	100.00	100.00	67.1	36.0	8.2	
VIDRIO MOLIDO-005	03/09/2018	VIDRIO	Acopio	100.00	100.00	100.00	100.00	70.9	41.5	8.4	
n					5	5	5	5	5	5	
Σ					500.0	500.0	500.0	346.7	219.2	39.5	
ESPECIFICACION											
Xp					100.0	100.0	100.0	69.3	43.8	7.9	
MIN					100.0	100.0	100.0	67.1	36.0	6.0	
MAX					100.0	100.0	100.0	70.9	48.1	9.5	
DESV. ESTANDAR					0.000	0.000	0.000	1.519	5.124	1.300	
VARIANZA					0.000	0.000	0.000	2.308	26.258	1.690	
COEF. DE VARIACION					0.000	0.000	0.000	0.022	0.117	0.165	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 73, se observa los resultados del análisis granulométrico de las cinco muestras de vidrio ensayadas con sus respectivos porcentajes de pasantes por cada tamiz.

#### 4.4.4.2. Mezcla asfáltica con 1% de vidrio

##### 4.4.4.2.1. Combinación de los agregados incluyendo el vidrio

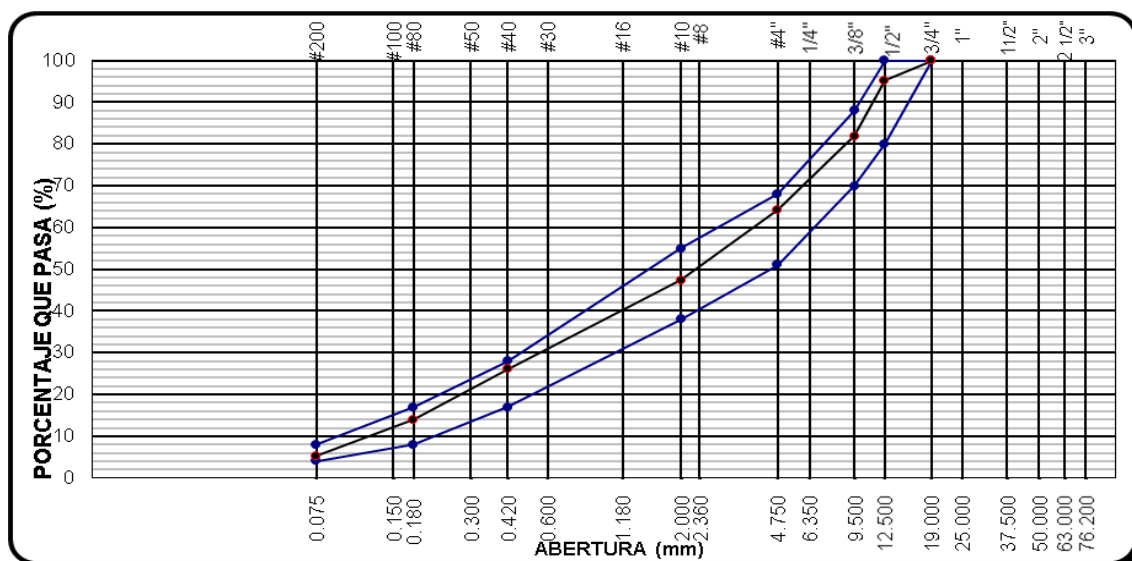
**TABLA 74: COMBINACIÓN DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO AASTHO T - 27 Y AASTHO T - 88										
DATOS DE LA MUESTRA										
DESCRIPCIÓN	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 1% VIDRIO									
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			FORMULA DE	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
ASTM	mm	Retenido	Retenido	Acumul.	Pasante	TRABAJO	MAC - 2			
3"	76.200									
2 1/2"	63.000								Peso Total	1984.0 gr
2"	50.000								Fracción Finos :	970.8 gr
1 1/2"	37.500									
1"	25.000				100.0					
3/4"	19.000				100.0		100			
1/2"	12.500	95.4	4.8	4.8	95.2		80 - 100			
3/8"	9.500	264.7	13.3	18.2	81.8		70 - 88			
1/4"	6.350									
# 4	4.750	350.0	17.6	35.8	64.2		51 - 68			
# 8	2.360								Observaciones :	
# 10	2.000	254.9	16.9	52.7	47.3		38 - 55		Agregados Diseño de Asfalto	
# 16	1.180									
# 30	0.600								Grava Chancada	43.0%
# 40	0.420	321.5	21.3	73.9	26.1		17 - 28		Arena Chancada	31.5%
# 80	0.180	182.5	12.1	86.0	14.0		8 - 17		Arena Natural	23.5%
# 50	0.300								Filler - Cal Hidratada	1.0%
# 100	0.150								Vidrio	1.0%
# 200	0.075	132.0	8.7	94.7	5.3		4 - 8			100.0%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 74, se observa la combinación de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por la MAC-2, donde el aporte de la grava chancada es de 43%, arena chancada es de 31.5%, arena natural es de 23.5%, filler o cal hidratada es de 1% y vidrio 1%.

**GRÁFICO 38: CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la gráfica 38, de gradación del agregado si cumple con lo especificado en la norma sobre MAC-2 para mezclas asfálticas en cuanto a su granulometría en la combinación.

#### **4.4.4.2.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto**

##### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 1.0% DE VIDRIO – 5.0% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 7.3%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.50%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.1, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 905 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

##### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 1.0% DE VIDRIO – 5.5% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 5.5%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.90%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.2, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 959 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

##### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 1.0% DE VIDRIO – 6.0% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 4.1%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.60%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).

- El flujo es 3.4, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 995 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 1.0% DE VIDRIO – 6.5% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 3.1%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.90%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.5, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 967 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 1.0% DE VIDRIO – 7.0% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 2.1%, no cumple los requisitos establecidos, debido debajo del rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.20%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.8, por lo cual está fuera de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 999 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### 4.4.4.2.3. Ensayo rice

**TABLA 75: ENSAYO RICE AASHTO T-209**

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041						
DATOS DE LA MUESTRA						
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 1% VIDRIO					Optimo %
MUESTRA Nº	01	02	03	04	05	6
PROGRESIVA	MUESTRA DE PRODUCCION					
1.- PESO DEL FRASCO	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	8850.0	8845.0	8841.0	8837.0	8831.9	8845.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	10354.0	10350.0	10346.0	10340.0	10334.0	10343.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1504.0	1505.0	1505.0	1503.0	1502.1	1498.0
6.- A GUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	616.0	621.0	625.0	629.0	634.1	621.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.442	2.424	2.408	2.390	2.369	2.412
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	6.10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 80, se observa el ensayo Peso Específico Máximo – Rice. Para cada porcentaje de cemento asfáltico.

#### 4.4.4.2.4. Graficas de ensayo Marshall con 1% de vidrio

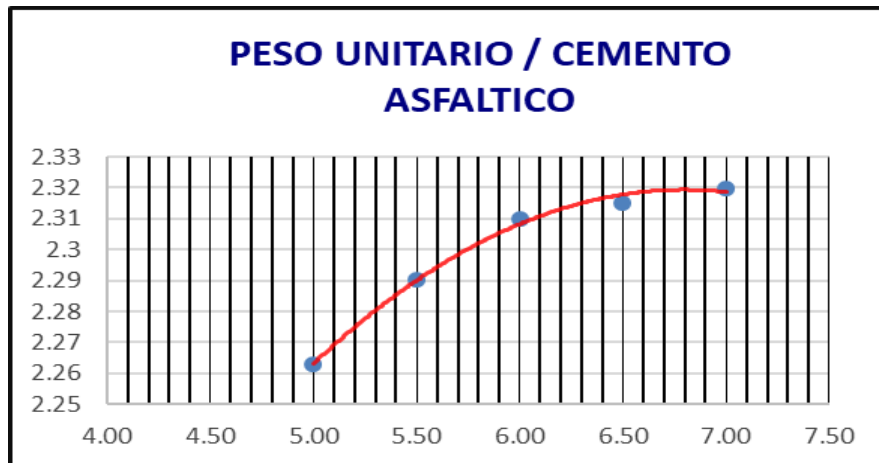
##### 4.4.4.2.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario

**TABLA 76: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>Peso unitario</b>	2.263	2.290	2.310	2.315	2.320

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 39: % CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico 39 la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer. En la gráfica se observa que el valor máximo es 7.0% de contenido de asfalto.

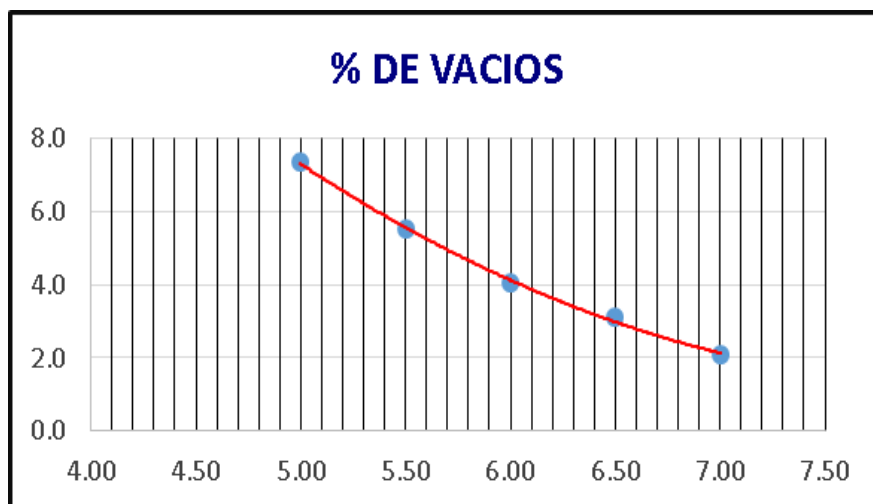
**4.4.4.2.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos**

**TABLA 77: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% de vacíos	7.30	5.50	4.10	3.10	2.10

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 40: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos de aire, se reduce con el incremento en el contenido de asfalto aproximándose a un valor mínimo se da cuando el contenido de asfalto es 7% (Ver gráfico 40)

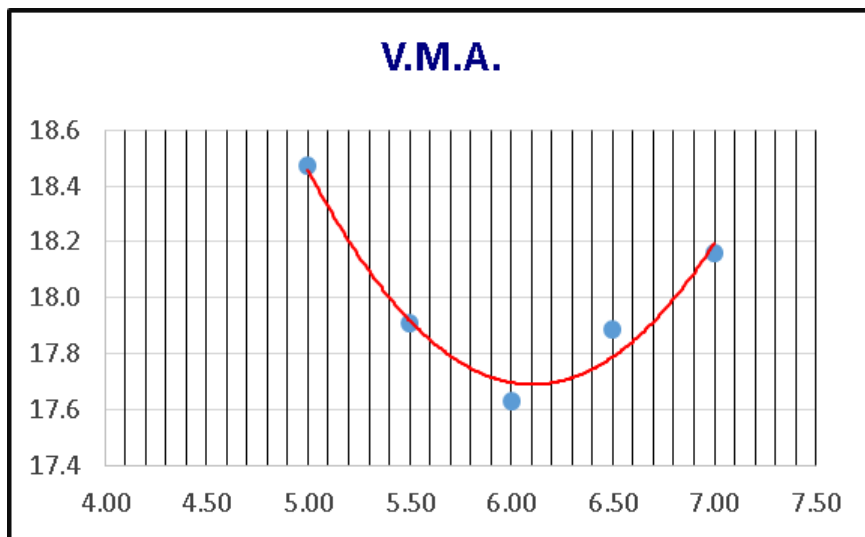
#### 4.4.4.2.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral

**TABLA 78: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VMA	18.5	17.9	17.6	17.9	18.2

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 41:% CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 41 se puede determinar que el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementar el contenido de asfalto, hasta alcanzar un valor mínimo a partir del cual comienza a aumentar. El valor mínimo de VMA se da con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00%



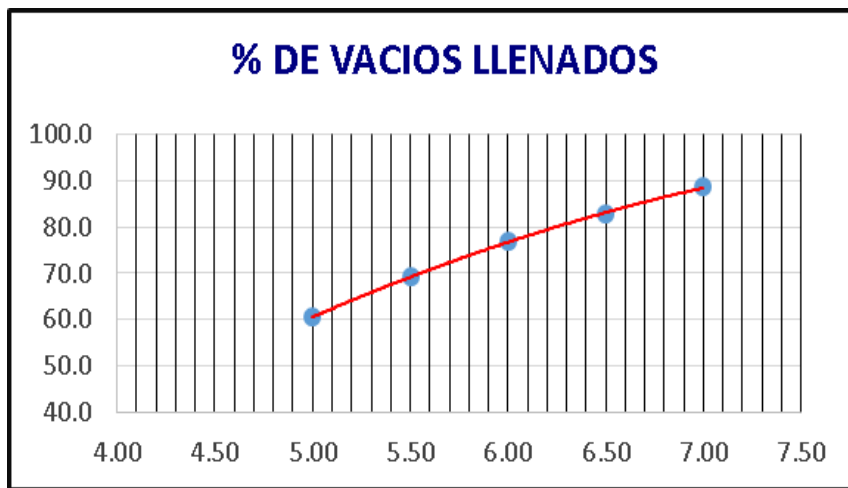
#### 4.4.4.2.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto

**TABLA 79: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO**

<b>% C.A</b>	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>% VFA</b>	60.5	69.3	76.9	82.6	88.6

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 42: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta a medida que el contenido de cemento asfáltico aumenta. Por lo cual en la gráfica 42 se puede observar que con un 7% de asfalto se tiene mayor porcentaje de vacíos llenados.

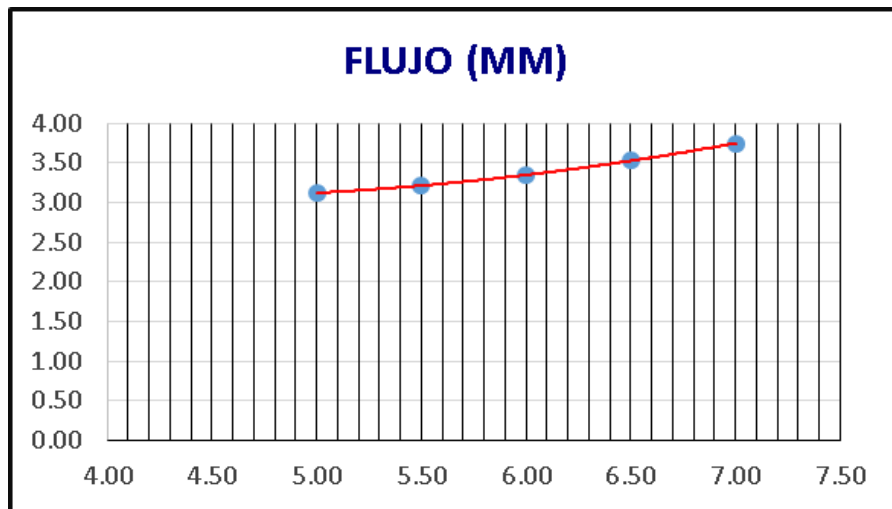
#### 4.4.4.2.4.5. Cemento asfáltico vs flujo

**TABLA 80: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO**

<b>% C.A</b>	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>FLUJO</b>	3.1	3.2	3.4	3.5	3.8

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 43: % CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO**



Fuente: Elaboración propia

Del grafico 43 se determina que el flujo se incrementa de forma consistente con el aumento del contenido de asfalto. Llegando a un valor de 3.8 mm de flujo con 7% de contenido de asfalto.

Debemos considerar que las briquetas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

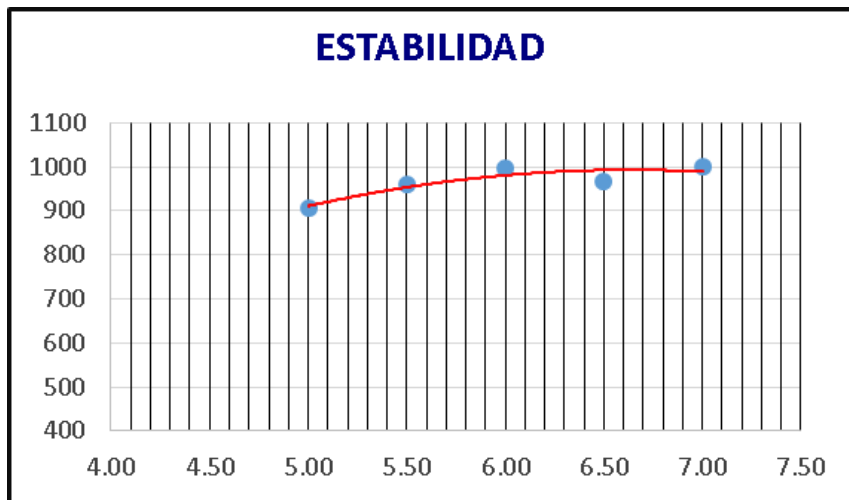
#### **4.4.4.2.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad**

**TABLA 81: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
ESTABILIDAD	905	959	995	967	999

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 44: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD**



Fuente: Elaboración propia

El valor de la estabilidad se incrementa con el contenido de asfalto hasta un valor pico a partir del cual decrece. (Ver grafica 44)

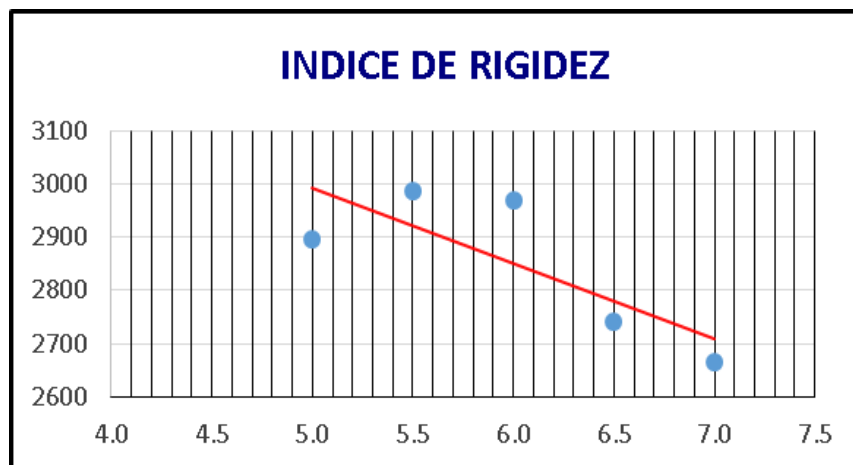
#### 4.4.4.2.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez

**TABLA 82: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Índice de rigidez	2896	2987	2969	2741	2665

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 45: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ**



Fuente: Elaboración propia

En el grafico 45 se observa que a mayor contenido de asfalto la rigidez es menor.

#### 4.4.4.2.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio

Luego de realizar el ensayo Marshall, y las gráficas correspondientes, se obtuvo un óptimo contenido de asfalto, que cumpla las especificaciones de la norma.

<b>CARACTERISTICAS MARSHALL</b>			
	<b>Optimo</b>	<b>Diseño</b>	
GOLPES POR CARA		75	
CEMENTO ASFALTICO		6.1	%
PESO UNITARIO		2.310	gr/cm3.
VACIOS		3.87	%
V.M.A.		18.0	%
VACIOS LLENOS CON C.A.		78.1	%
FLUJO		3.38	mm.
ESTABILIDAD		984	Kg.
ESTABILIDAD/ FLUJO		2837	Kg/cm.

Fuente: Elaboración propia

- El Peso Unitario es 2.310 gr/cm<sup>3</sup> debido a que tiene una adecuada densidad que dará un comportamiento duradero en el pavimento.
- El Porcentaje de Vacíos adecuado es de 3.87% esta cumple con las especificaciones en obra ya que usualmente se debe tener una densidad menos del 5 por ciento.
- El Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral es de 18.00% para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto.
- Hay un adecuado porcentaje de vacíos llenados cuando el contenido de asfalto es de 78.10%.
- El Flujo es de 3.38 mm considerándose que las briquetas que la fluencia no es demasiado plásticas y no tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.
- La estabilidad es de 984 Kg, siendo capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas y teniendo en cuenta que valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

- El índice de Rigidez es 2837 Kg/cm cumpliendo los criterios recomendados para mezcla densa en caliente diseñada con el método Marshall.

#### 4.4.4.3. Mezcla asfáltica con 2% de vidrio

##### 4.4.4.3.1. Combinación de los agregados incluyendo vidrio

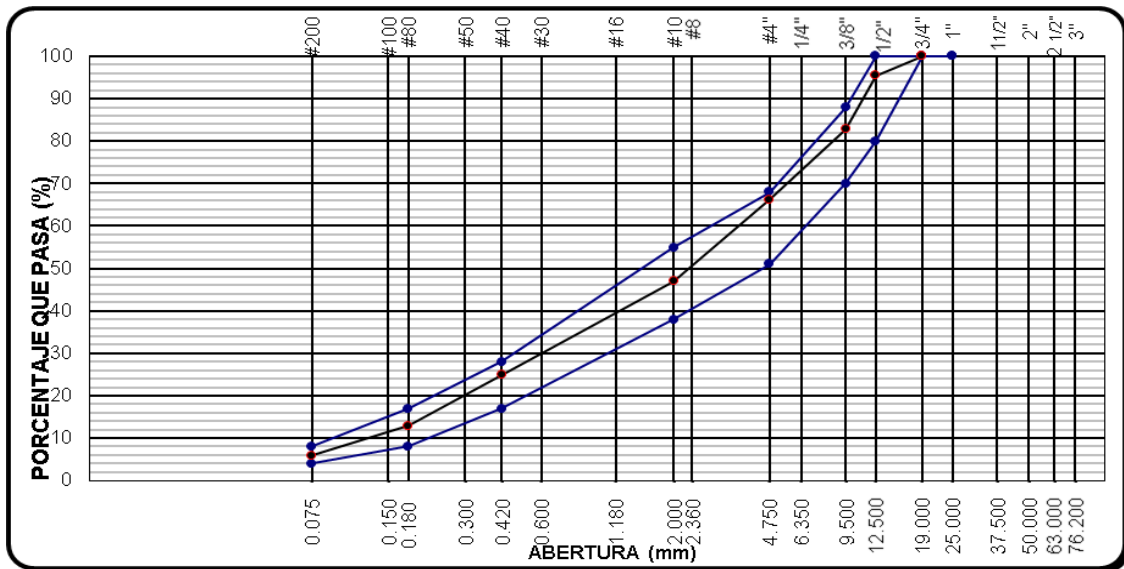
**TABLA 83: COMBINACIÓN DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO 2%**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
MÉTODO AASTHO T - 27 Y AASTHO T - 88										
DATOS DE LA MUESTRA										
DESCRIPCIÓN		Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO								
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			FORMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
ASTM	mm	Retenido.	Retenido	Acumul.	Pasante		MAC - 2			
3"	76.200									
2 1/2"	63.000								Peso Total	2124.6 gr
2"	50.000								Fracción Finos :	856.4 gr
1 1/2"	37.500									
1"	25.000				100.0					
3/4"	19.000				100.0		100			
1/2"	12.500	95.2	4.5	4.5	95.5		80 - 100			
3/8"	9.500	270.2	12.7	17.2	82.8		70 - 88			
1/4"	6.350									
# 4	4.750	351.5	16.5	33.7	66.3		51 - 68			
# 8	2.360								Observaciones :	
# 10	2.000	249.8	19.3	53.1	46.9		38 - 55		Agregados Diseño de Asfalto	
# 16	1.180									
# 30	0.600								Grava Chancada	43.0%
# 40	0.420	284.2	22.0	75.1	24.9		17 - 28		Arena Chancada	31.0%
# 80	0.180	155.0	12.0	87.0	13.0		8 - 17		Arena Natural	23.0%
# 50	0.300								Filler - Cal Hidratada	1.0%
# 100	0.150								Vidrio	2.0%
# 200	0.075	90.5	7.0	94.1	5.9		4 - 8			100.0%
>200		76.9	5.9	100.0						

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22, se observa la combinación de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por la MAC-2, donde el aporte de la grava chancada es de 43%, arena chancada es de 31%, arena natural es de 23%, filler o cal hidratada es de 1%, vidrio es de 2%.

**GRÁFICO 46: CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

Se observa que en la gráfica 46, de gradación del agregado si cumple con lo especificado en la norma sobre MAC-2 para mezclas asfálticas en cuanto a su granulometría en la combinación práctica.

#### 4.4.4.3.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto

TABLA 84: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 5.0 % ASFALTO

ENSAYO MARSHALL									
MTC E - 504 - ASTM D - 1559									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO								
TAMICES ASTM		<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 10</b>	<b>No 40</b>	<b>No 80</b>	<b>No 200</b>
% PASA MAT.		100.0	95.5	82.8	66.3	46.9	24.9	13.0	5.9
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					32.06			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.99			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1214.2	1210.5	1210.7		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1218.5	1211.0	1211.3		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				681.8	676.8	676.9		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				536.7	534.2	534.4		
16	Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.262	2.266	2.266	<b>2.265</b>	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.448			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				7.6	7.4	7.4	<b>7.5</b>	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.639			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.645			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.1			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					4.91			
23	Relación Filler/Betun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				18.5	18.4	18.4	<b>18.4</b>	15.0% min
25	% Vacíos llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				59.0	59.6	59.5	<b>59.4</b>	
26	Flujo (mm)				3.15	3.12	3.22	<b>3.2</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				980	960	955		
28	Factor de estabilidad				0.93	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				911	922	917	<b>917</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2893	2954	2847	<b>2898</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 89, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 5%:

- El porcentaje de vacíos de 7.5%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.40%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.2, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).

- La estabilidad es 917 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 85: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 5.5% ASFALTO**

ENSAYO MARSHALL									
MTC E - 504 - ASTM D - 1559									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	95.5	82.8	66.3	46.9	24.9	13.0	5.9
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.50			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					31.89			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.67			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1214.5	1214.8	1209.8		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)				1215.9	1216.2	1210.3		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				684.5	684.2	687.0		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				531.4	532.0	523.3		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.285	2.283	2.312	<b>2.294</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.426			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.8	5.9	4.7	<b>5.5</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6 +3/7+4/8)					2.639			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.640			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.0			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					5.48			
23	Relacion Filler/Betun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				18.1	18.2	17.2	<b>17.8</b>	15.0% min
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				68.0	67.7	72.6	<b>69.5</b>	
26	Flujo (mm)				3.22	3.18	3.24	<b>3.2</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				999	1009	995		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				959	969	955	<b>961</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2978	3046	2948	<b>2991</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 90, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 5.5%:

- El porcentaje de vacíos de 5.5%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.80%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).



- El flujo es 3.2, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 961 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 86: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 6.0% ASFALTO**

ENSAYO MARSHALL									
MTC E - 504 - ASTM D - 1559									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	95.5	82.8	66.3	46.9	24.9	13.0	5.9
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					31.72			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.34			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1217.5	1215.7	1210.5		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1218.5	1216.1	1210.5		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				693.2	690.7	688.8		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				525.3	525.4	521.7		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.318	2.314	2.320	<b>2.317</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.406			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				3.7	3.8	3.6	<b>3.7</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.639			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.637			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.0			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					6.01			
23	Relacion Filler/Betun					0.98			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				17.4	17.5	17.3	<b>17.4</b>	15.0% min
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				78.9	78.1	79.4	<b>78.8</b>	
26	Flujo (mm)				3.35	3.42	3.35	<b>3.4</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1061	1030	1020		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1018	989	1020	<b>1009</b>	815kg min
30	Estabilidad /Flujo = (29/26) x 100				3039	2891	3044	<b>2991</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 91, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 6.0%:

- El porcentaje de vacíos de 3.7%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.40%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.4, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 1009 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 87: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 6.5% ASFALTO**

MTC E - 504 - ASTM D - 1559									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.		100.0	95.5	82.8	66.3	46.9	24.9	13.0	5.9
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.50			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					31.55			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					61.02			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briketa cm								
12	Peso de la briketa al aire (gr)				1211.5	1213.5	1214.3		
13	Peso de la briketa al agua por 60 '(gr)				1212.0	1215.1	1215.8		
14	Peso de la briketa desplazada (gr)				691.5	690.8	689.1		
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc) = (13-14)				520.5	524.3	526.7		
16	Peso específico Bulk de la Briketa = (12/15)				2.328	2.314	2.305	<b>2.316</b>	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.396			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				2.8	3.4	3.8	<b>3.3</b>	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.639			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.647			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					0.1			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4))/100					6.39			
23	Relacion Filler/Betun					0.97			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				17.5	17.9	18.2	<b>17.9</b>	15.0% min
25	% Vacíos llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				83.8	81.1	79.4	<b>81.4</b>	
26	Flujo (mm)				3.48	3.55	3.56	<b>3.5</b>	2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1005	1047	1010		
28	Factor de estabilidad				1.00	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1005	1005	970	<b>993</b>	815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				2888	2831	2724	<b>2814</b>	1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 92, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 6.5%:

- El porcentaje de vacíos de 3.3%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.90%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.5, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 993 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentra dentro de los rangos de 1700 – 4000.

**TABLA 88: ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON VIDRIO – 7.0% ASFALTO**

MTC E - 504 - ASTM D - 1559									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCION	Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO								
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MAT.									
ESPECIF. (MAC-2)		100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 55	17 - 28	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					7.00			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					31.38			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					60.69			
4	% Cal Hidratada en peso de la Mezcla					1.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.017			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.625			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.654			
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc					2.211			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.683			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.751			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)					1210.5	1211.8	1210.5	
13	Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)					1211.6	1212.0	1211.8	
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)					690.2	689.8	691.2	
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)					521.4	522.2	520.6	
16	Peso específico Bulk de la Briqueeta = (12/15)					2.322	2.321	2.325	<b>2.322</b>
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.380			
18	% de Vacíos = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)					2.4	2.5	2.3	<b>2.4</b> 3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total = $(2+3+4) / (2/6+3/7+4/8)$					2.638			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total = $(2+3+4) / ((100/17-1/5)$					2.649			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = $(100 \times 5 \times (20-19)) / (19 \times 20)$					0.2			
22	% de Asfalto Efectivo = $1 - (21 \times (2+3+4)) / 100$					6.86			
23	Relacion Filler/Betun					0.97			0,6 - 1,3
24	V.M.A. = $100 - (2+3+4+5) \times (16/19)$					18.1	18.1	18.0	<b>18.1</b> 15.0% min
25	% Vacíos llenos con C.A. = $100 \times (24-18) / 24$					86.5	86.3	87.2	<b>86.7</b>
26	Flujo (mm)					3.90	3.64	3.86	<b>3.8</b> 2.0 - 3.56 mm
27	Estabilidad sin corregr (Kg)					996	1004	996	
28	Factor de estabilidad					1.00	1.00	1.00	
29	Estabilidad Corregida 27 * 28					996	1004	996	<b>999</b> 815 kg min
30	Estabilidad / Flujo = $(29/26) \times 100$					2555	2759	2581	<b>2632</b> 1700 - 4000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 93, se aprecia que con un porcentaje de asfalto de 7.0%:

- El porcentaje de vacíos de 2.4%, no cumple los requisitos establecidos, debido debajo del rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.10%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.8, por lo cual está fuera de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 999 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### 4.4.4.3.3. Ensayo rice

**TABLA 89: ENSAYO RICE AASHTO T-209**

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D - 2041						
DATOS DE LA MUESTRA						
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 2% VIDRIO					Optimo %
MUESTRA N°	01	02	03	04	05	6
PROGRESMA	MUESTRA DE PRODUCCION					
1.- PESO DEL FRASCO	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	9488.0	9488.0	9488.0	9488.0	9488.0	9488.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	8851.0	8846.0	8846.0	8838.0	8833.0	8845.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	10354.0	10350.0	10346.0	10340.0	10334.0	10343.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1503.0	1504.0	1500.0	1502.0	1501.0	1498.0
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	614.0	620.0	623.5	627.0	630.7	621.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.448	2.426	2.406	2.396	2.380	2.412
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	6.10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 94, se observa el ensayo Peso Específico Máximo - Rice para cada porcentaje de cemento asfáltico.

#### 4.4.4.3.4. Graficas de ensayo Marshall con 2% de vidrio

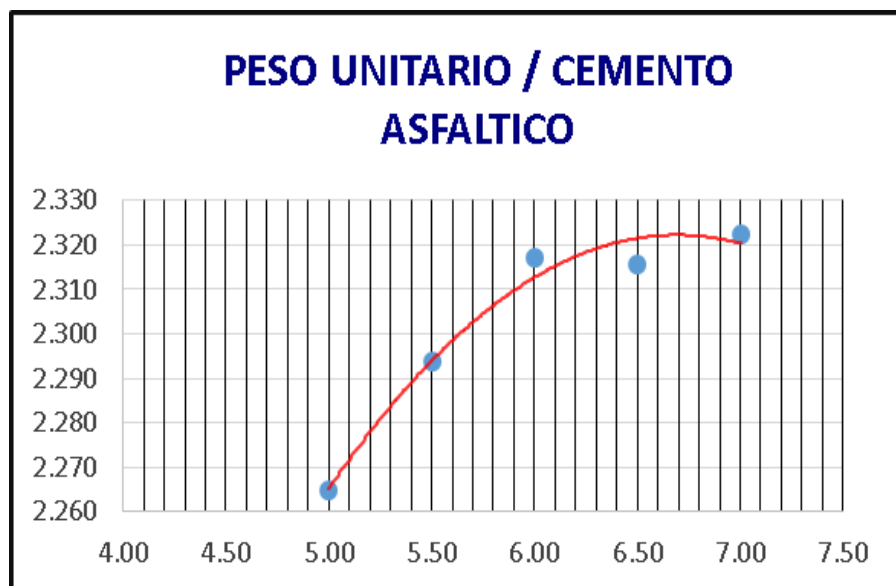
##### 4.4.4.3.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario

**TABLA 90: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>Peso unitario</b>	2.265	2.294	2.317	2.316	2.322

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 47:% CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico 47 la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer. En la gráfica se observa que el valor máximo es 7.0% de contenido de asfalto.

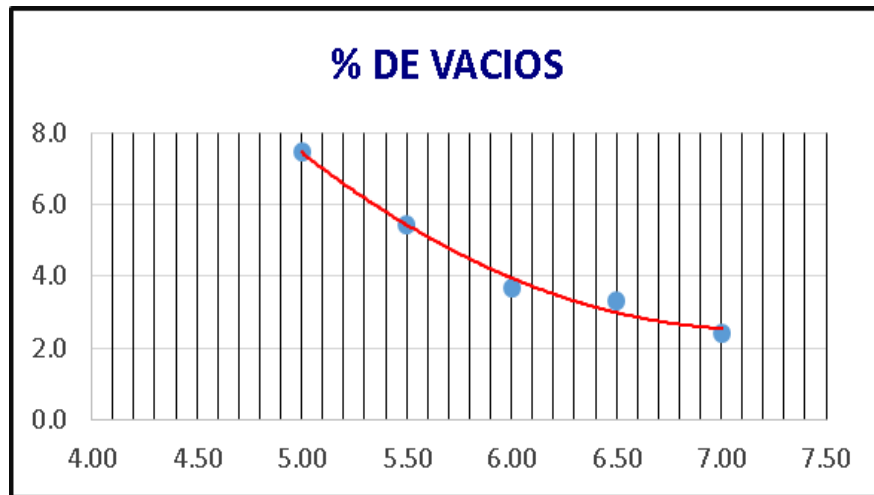
##### 4.4.4.3.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos

**TABLA 91: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
<b>% de vacíos</b>	7.50	5.50	3.70	3.30	2.40

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 48: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos de aire, se reduce con el incremento en el contenido de asfalto aproximándose a un valor mínimo se da cuando el contenido de asfalto es 7% (Ver gráfico 48)

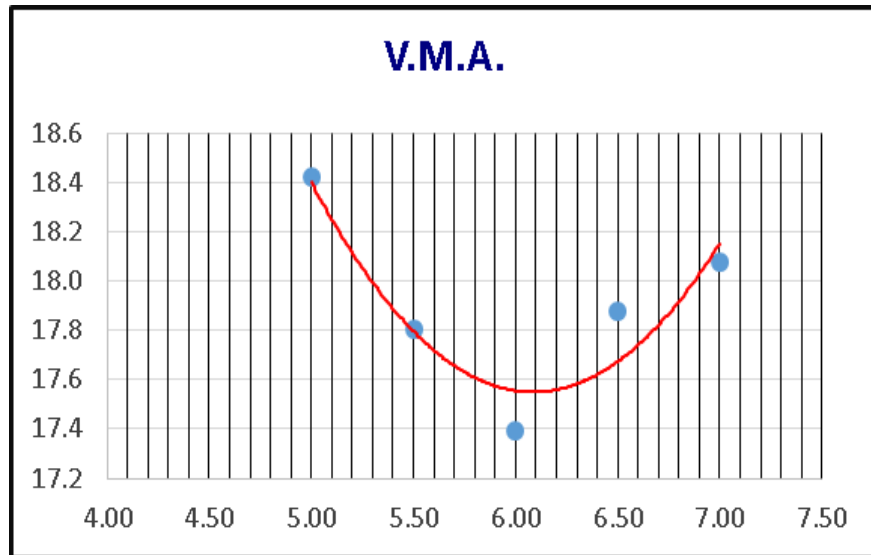
#### 4.4.4.3.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral

**TABLA 92: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VMA	18.4	17.8	17.4	17.9	18.1

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 49: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 49 se puede determinar que el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementar el contenido de asfalto, hasta alcanzar un valor mínimo a partir del cual comienza a aumentar. El valor mínimo de VMA se da con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00%

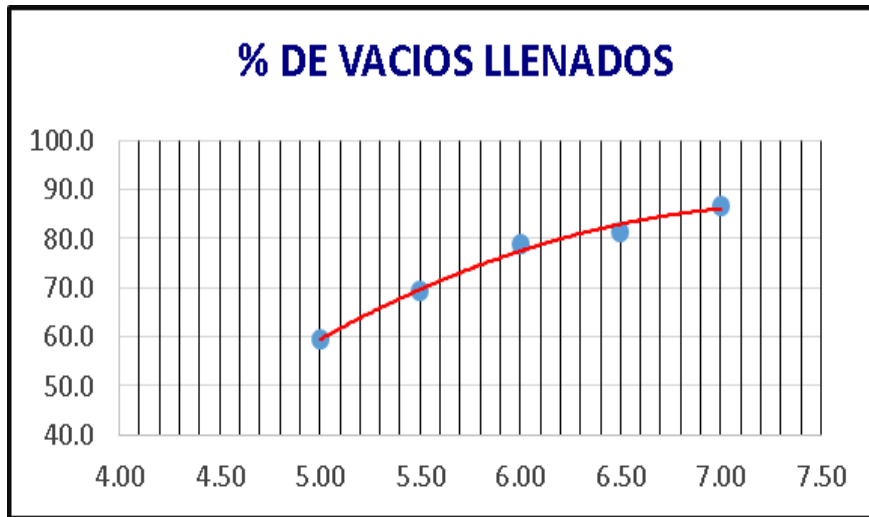
#### 4.4.4.3.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto

**TABLA 93: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VFA	59.4	69.5	78.8	81.4	86.7

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 50: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO  
– ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta a medida que el contenido de cemento asfáltico aumenta. Por lo cual en la gráfica 50 se puede observar que con un 7% de asfalto se tiene mayor porcentaje de vacíos llenados.

#### 4.4.4.3.4.5. Cemento asfáltico vs flujo

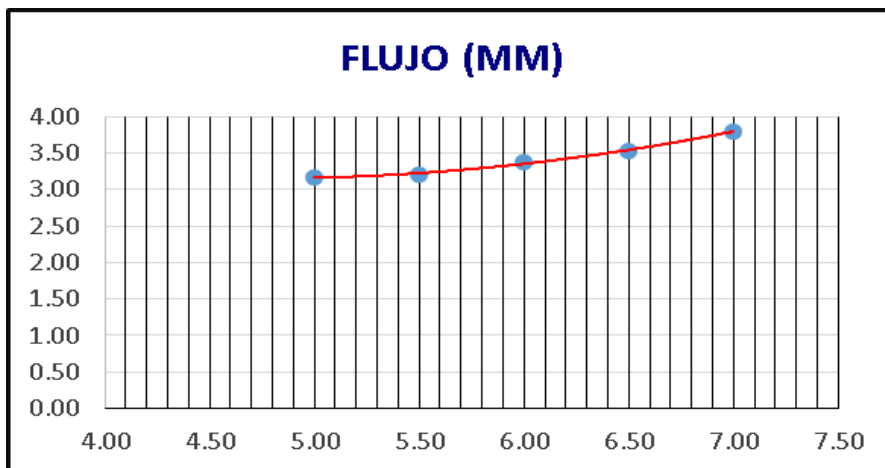
**TABLA 94: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
FLUJO	3.2	3.2	3.4	3.5	3.8

Fuente: Elaboración propia



**GRÁFICO 51:% CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO**



Fuente: Elaboración propia

Del grafico 51 se determina que el flujo se incrementa de forma consistente con el aumento del contenido de asfalto. Llegando a un valor de 3.8 mm de flujo con 7% de contenido de asfalto.

Debemos considerar que las briquetas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

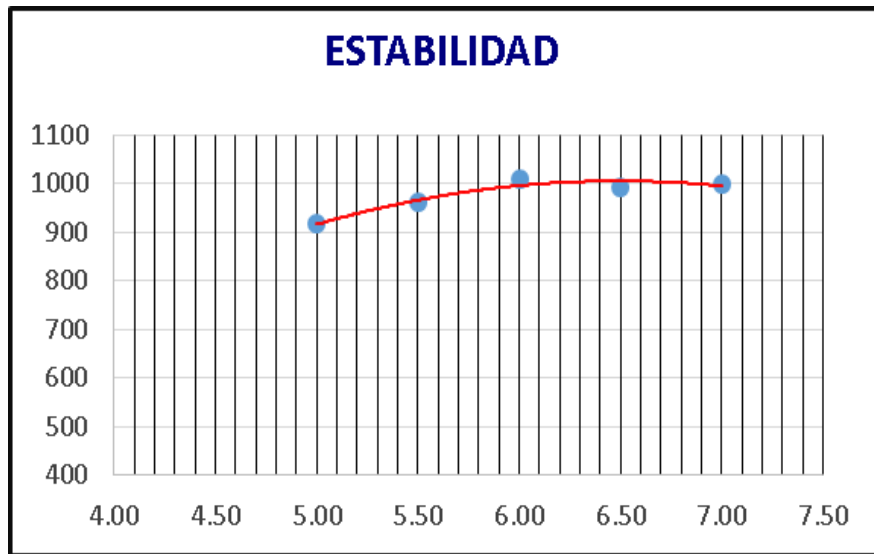
#### 4.4.4.3.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad

**TABLA 95: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
ESTABILIDAD	917	961	1009	993	999

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 52: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD**



Fuente: Elaboración propia

El valor de la estabilidad se incrementa con el contenido de asfalto hasta un valor pico a partir del cual decrece. (Ver grafica 52)

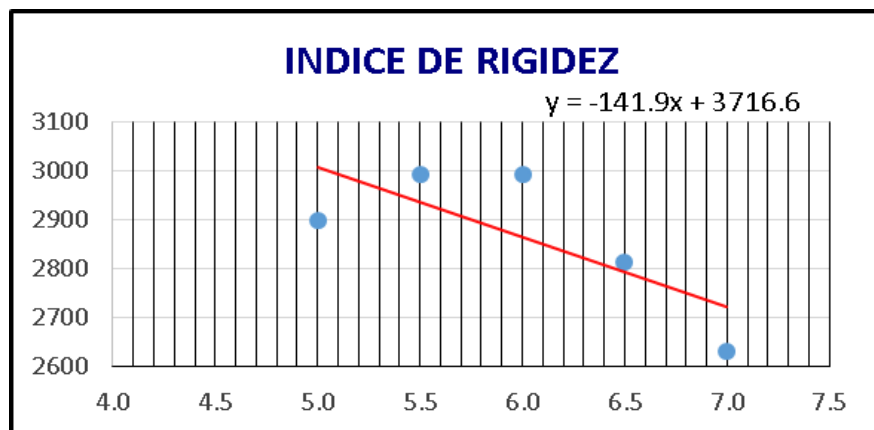
#### 4.4.4.3.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez

**TABLA 96: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Índice de rigidez	2898	2991	2991	2814	2632

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 53: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ**



Fuente: Elaboración propia

En el grafico 53 se observa que a mayor contenido de asfalto la rigidez es menor.

#### 4.4.4.3.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio.

Luego de realizar el ensayo Marshall, y las gráficas correspondientes, se obtuvo un óptimo contenido de asfalto, que cumpla las especificaciones de la norma.

<u>CARACTERISTICAS MARSHALL</u>			
	Optimo	Diseño	
GOLPES POR CARA		75	
CEMENTO ASFALTICO		5.9	%
PESO UNITARIO		2.311	gr/cm <sup>3</sup> .
VACIOS		4.21	%
V.M.A.		17.6	%
VACIOS LLENOS CON C.A.		75.3	%
FLUJO		3.32	mm.
ESTABILIDAD		992	Kg.
ESTABILIDAD/ FLUJO		2879	Kg/cm.

Fuente: Elaboración propia

- El Peso Unitario es 2.311 gr/cm<sup>3</sup> debido a que tiene una adecuada densidad que dará un comportamiento duradero en el pavimento.
- El Porcentaje de Vacíos adecuado es de 4.21% esta cumple con las especificaciones en obra ya que usualmente se debe tener una densidad menos del 5 por ciento.
- El Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral es de 17.60% para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto.
- Hay un adecuado porcentaje de vacíos llenados cuando el contenido de asfalto es de 75.30%.
- El Flujo es de 3.38 mm considerándose que las briquetas que la fluencia no es demasiado plásticas y no tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

- La estabilidad es de 992 Kg, siendo capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas y teniendo en cuenta que valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.
- El índice de Rigidez es 2879 Kg/cm cumpliendo los criterios recomendados para mezcla densa en caliente diseñada con el método Marshall.

#### 4.4.4.4. Mezcla asfáltica con 3% de vidrio

##### 4.4.4.4.1. Combinación de los agregados incluyendo vidrio

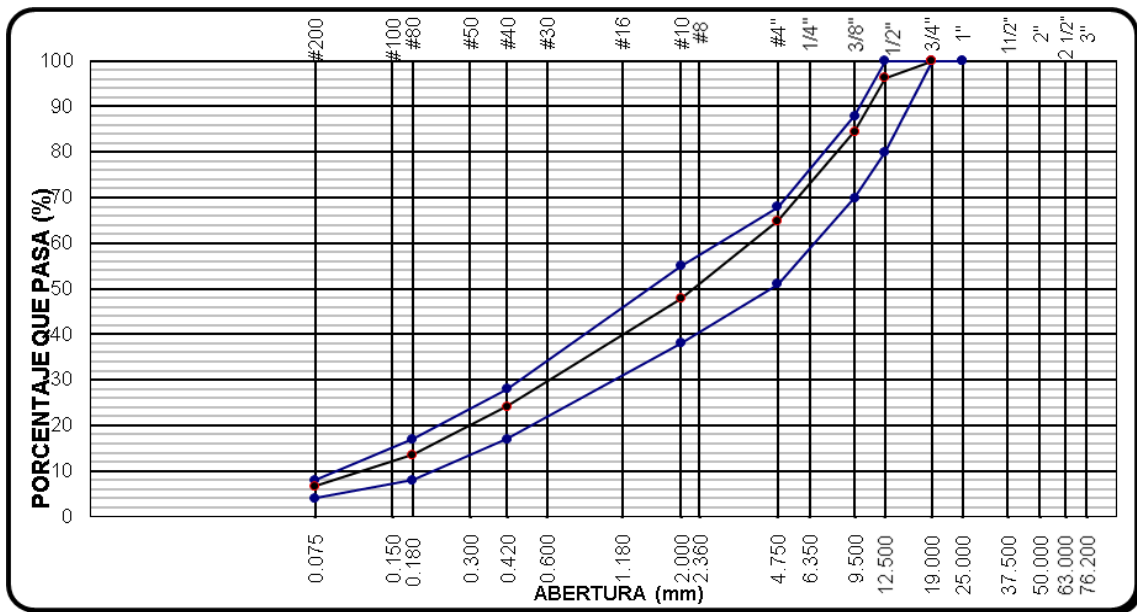
**TABLA 97: COMBINACION DE AGREGADOS INCLUYENDO EL VIDRIO 3%**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO									
MÉTODO AASTHO T - 27 Y AASTHO T - 88									
DATOS DE LA MUESTRA									
DESCRIPCIÓN : Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 3% VIDRIO									
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			FORMULA DE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
ASTM	mm	Retenid.	Retenido	Acumul.	Pasante	TRABAJO	MAC - 2		
3"	76.200								
2 1/2"	63.000								
2"	50.000								
1 1/2"	37.500								
1"	25.000				100.0				
3/4"	19.000				100.0		100		
1/2"	12.500	75.2	3.8	3.8	96.2		80 - 100		
3/8"	9.500	235.4	11.8	15.6	84.4		70 - 88		
1/4"	6.350								
# 4	4.750	390.2	19.6	35.1	64.9		51 - 68		
# 8	2.380								
# 10	2.000	239.6	17.1	52.2	47.8		38 - 55		
# 16	1.180								
# 30	0.800								
# 40	0.420	331.5	23.6	75.8	24.2		17 - 28	Grava Chancada	43.0%
# 80	0.180	148.7	10.6	86.4	13.6		8 - 17	Arena Chancada	30.5%
# 50	0.300							Arena Natural	22.5%
# 100	0.150							Filler - Cal Hidratada	1.0%
# 200	0.075	98.0	7.0	93.4	6.6		4 - 8	Vidrio	3.0%
>200		92.8	6.6	100.0					100.0%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 102, se observa la combinación práctica de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por la MAC-2, donde el aporte de la grava chancada es de 43%, arena chancada es de 30.5%, arena natural es de 22.5%, filler o cal hidratada es de 1% y vidrio es de 3%.

**GRÁFICO 54: CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

Se observa que en la gráfica 54, de gradación del agregado si cumple con lo especificado en la norma sobre MAC-2 para mezclas asfálticas en cuanto a su granulometría en la combinación práctica.

#### 4.4.4.4.2. Ensayo Marshall con diferentes contenidos de asfalto

##### ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 3.0% DE VIDRIO – 5.0% ASFALTO

- El porcentaje de vacíos de 6.8%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.30%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.1, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 925 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

##### ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 3.0% DE VIDRIO – 5.5% ASFALTO

- El porcentaje de vacíos de 5.1%, no cumple los requisitos establecidos, debido a que supera el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).

- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.80%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.4, por lo cual está dentro de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 966 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 3.0% DE VIDRIO – 6.0% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 4.0%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.40%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 4.1 por lo cual está fuera de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 1024 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

#### **ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 3.0% DE VIDRIO – 6.5% ASFALTO**

- El porcentaje de vacíos de 3.3%, cumple los requisitos establecidos, debido a que está en el rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 17.90%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 4, por lo cual está fuera de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 1010 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

## ENSAYO MARSHALL MODIFICADO CON 3.0% DE VIDRIO – 7.0% ASFALTO

- El porcentaje de vacíos de 2.5%, no cumple los requisitos establecidos, debido debajo del rango de 3 a 5% (ver tabla 53).
- Los vacíos en el agregado mineral son de 18.40%, cumpliendo con la norma, que establece 15% mínimo (ver tabla 54).
- El flujo es 3.8, por lo cual está fuera de los parámetros de 2.0 – 3.56mm según norma (ver tabla 53).
- La estabilidad es 967 kg, superando lo establecido en norma de 815kg, cumpliendo.
- El índice de rigidez (estabilidad/ flujo) se encuentre dentro de los rangos de 1700 – 4000.

### 4.4.4.4.3. Ensayo rice

**TABLA 98: ENSAYO RICE AASHTO T-209**

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041						
DATOS DE LA MUESTRA						
DESCRIPCION	: Diseño N° 1, Mezcla Asfáltica en Caliente + 3% VIDRIO					Optimo %
MUESTRA N°	01	02	03	04	05	6
PROGRESIVA	MUESTRA DE PRODUCCION					
1.- PESO DEL FRASCO	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0	9466.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	8846.3	8843.0	8841.4	8837.7	8833.5	8845.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	10353.2	10348.2	10349.6	10342.2	10334.0	10343.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1506.9	1505.2	1508.2	1504.5	1500.5	1498.0
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	619.7	623.0	624.6	628.3	632.5	621.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.432	2.416	2.415	2.395	2.372	2.412
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	6.10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 108, se observa el ensayo Peso Específico Máximo - Rice para cada porcentaje de cemento asfáltico.

#### 4.4.4.4. Graficas de ensayo Marshall con 3% de vidrio

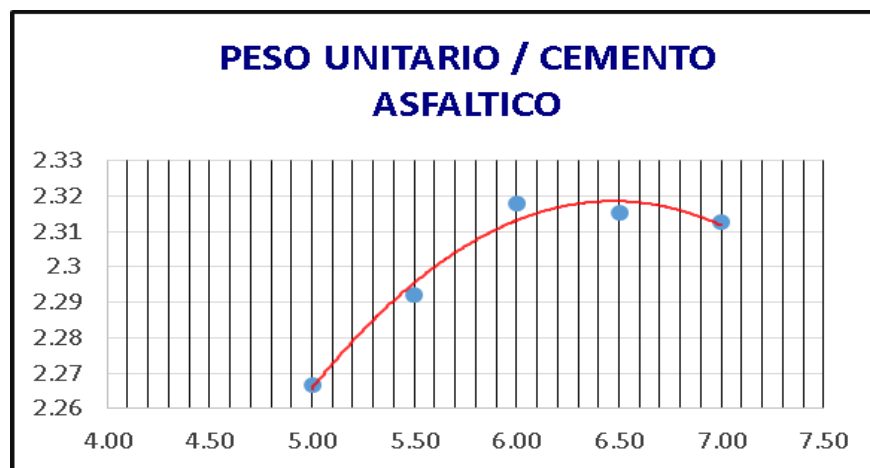
##### 4.4.4.4.1. Cemento asfáltico vs peso unitario

TABLA 99: DATOS OBTENIDOS DE PESO UNITARIO - ASFALTO CON VIDRIO

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Peso unitario	2.266	2.292	2.318	2.315	2.313

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 55:% CEMENTO ASFÁLTICO VS PESO UNITARIO – ASFALTO CON VIDRIO



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico 55 la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer. En la gráfica se observa que el valor máximo es 6.50% de contenido de asfalto.

##### 4.4.4.4.2. Cemento asfáltico vs % vacíos

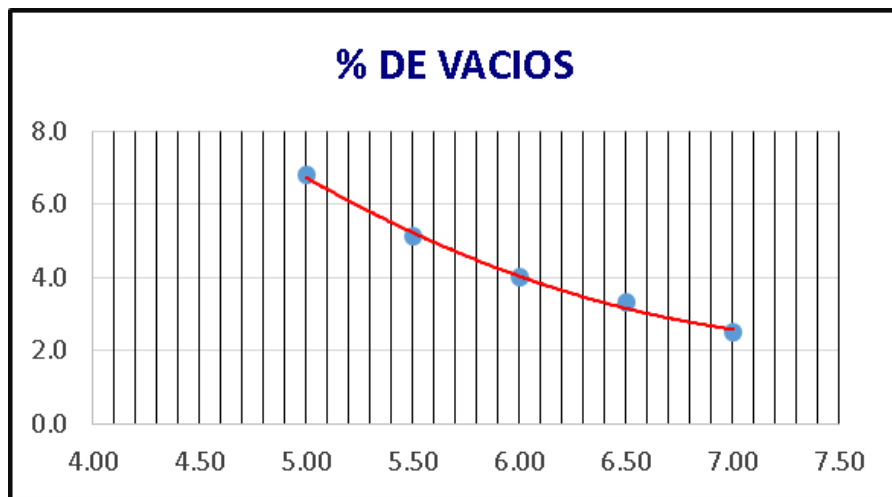
TABLA 100: DATOS OBTENIDOS DE % DE VACIOS - ASFALTO CON VIDRIO

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% de vacíos	6.80	5.10	4.00	3.30	2.50

Fuente: Elaboración propia



**GRÁFICO 56: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS – ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos de aire, se reduce con el incremento en el contenido de asfalto aproximándose a un valor mínimo se da cuando el contenido de asfalto es 7% (Ver gráfico 56)

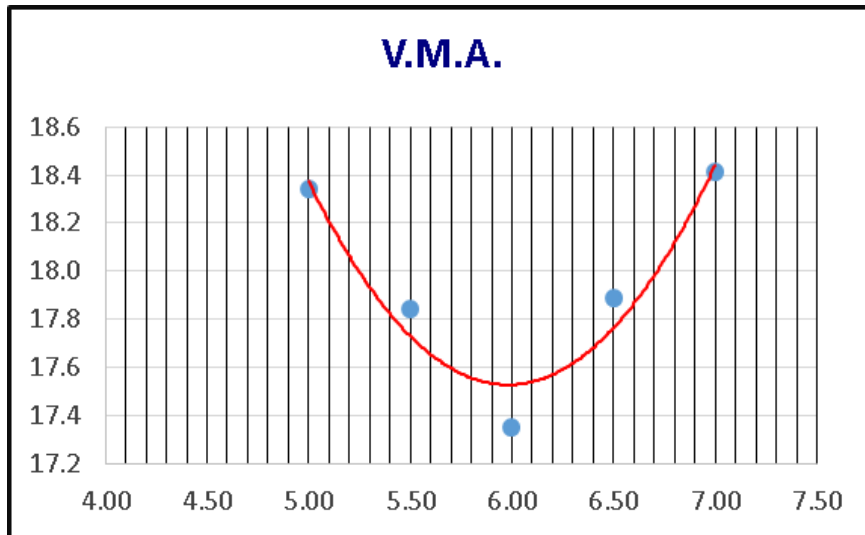
#### 4.4.4.4.3. Cemento asfáltico vs vacíos en el agregado mineral

**TABLA 101: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VMA	18.3	17.8	17.4	17.9	18.4

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 57: % CEMENTO ASFÁLTICO VS % VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL - ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 57 se puede determinar que el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementar el contenido de asfalto, hasta alcanzar un valor mínimo a partir del cual comienza a aumentar. EL valor mínimo de VMA se da con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00%

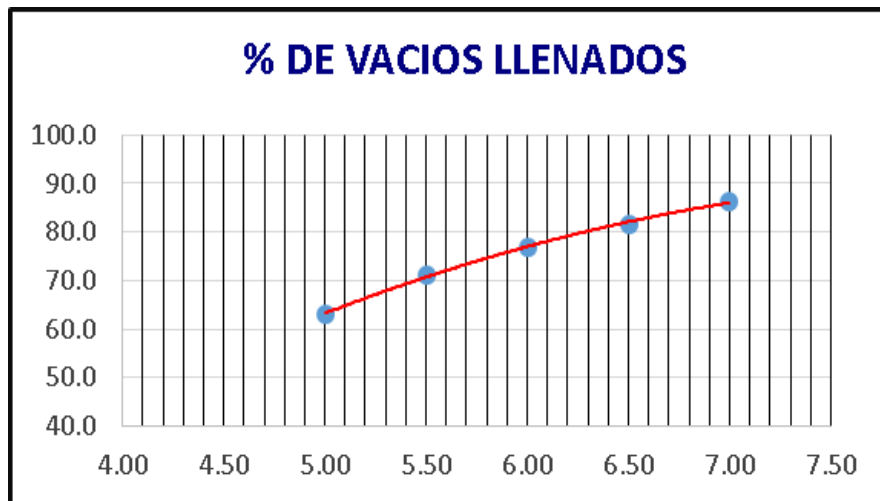
#### 4.4.4.4.4. Cemento asfáltico vs vacíos llenos de asfalto

**TABLA 102: DATOS OBTENIDOS DE % VACIOS LLENOS DE ASFALTO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
% VFA	63.0	71.3	77.00	81.5	86.3

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 58: %CONTENIDO DE ASFALTO VS % VACIOS LLENOS DE ASFALTO  
– ASFALTO CON VIDRIO**



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta a medida que el contenido de cemento asfáltico aumenta. Por lo cual en la gráfica 58 se puede observar que con un 7% de asfalto se tiene mayor porcentaje de vacíos llenados.

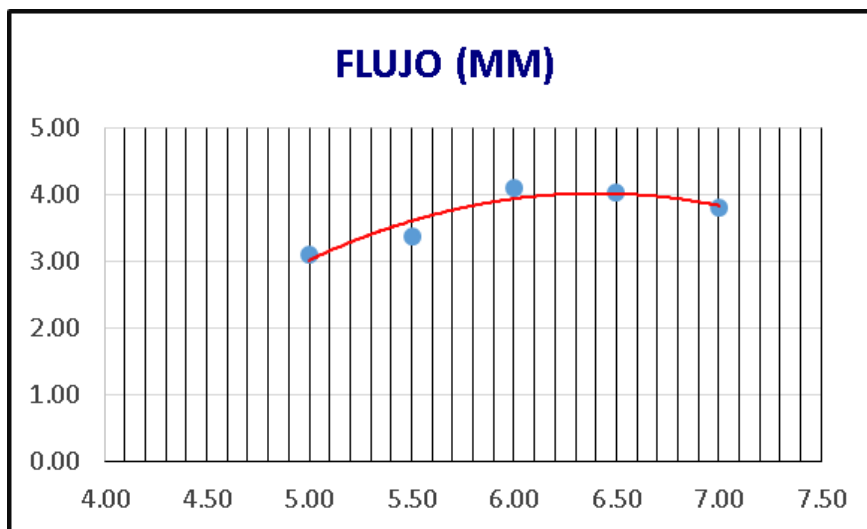
#### 4.4.4.4.5. Cemento asfáltico vs flujo

**TABLA 103: DATOS OBTENIDOS DE FLUJO - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
FLUJO	3.1	3.4	4.1	4.0	3.8

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 59: % CONTENIDO DE ASFALTO VS FLUJO**



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico 59 se determina que el flujo se incrementa de forma consistente con el aumento del contenido de asfalto. Llegando a un valor de 3.8 mm de flujo con 7% de contenido de asfalto.

Debemos considerar que las briquetas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

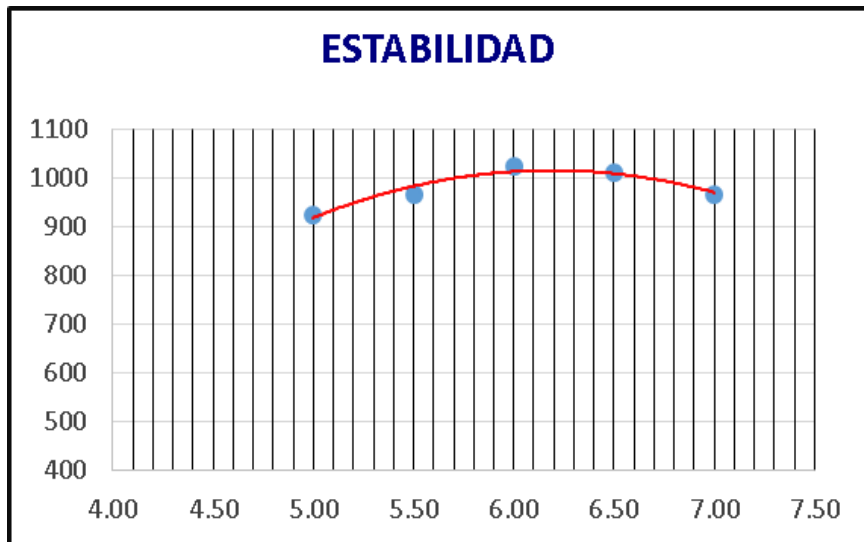
#### **4.4.4.4.6. Cemento asfáltico vs estabilidad**

**TABLA 104: DATOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
ESTABILIDAD	917	961	1009	993	999

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 60: % CONTENIDO DE ASFALTO VS ESTABILIDAD**



Fuente: Elaboración propia

El valor de la estabilidad se incrementa con el contenido de asfalto hasta un valor pico a partir del cual decrece. (Ver grafica 60)

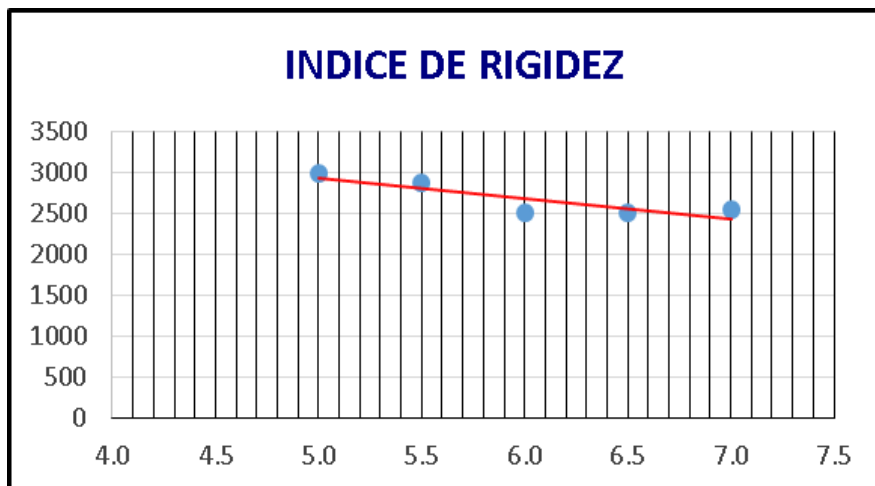
#### 4.4.4.4.7. Cemento asfáltico vs índice de rigidez

**TABLA 105: DATOS OBTENIDOS DE ÍNDICE DE RIGIDEZ - ASFALTO CON VIDRIO**

% C.A	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Índice de rigidez	2981	2864	2501	2504	2547

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 61: %CEMENTO ASFÁLTICO VS ÍNDICE DE RIGIDEZ**



Fuente: Elaboración propia

En el grafico 61 se observa que a mayor contenido de asfalto la rigidez es menor.

#### 4.4.4.4.5. Resumen de ensayo Marshall modificado con vidrio.

Luego de realizar el ensayo Marshall, y las gráficas correspondientes, se obtuvo un óptimo contenido de asfalto, que cumpla las especificaciones de la norma.

<b>CARACTERISTICAS MARSHALL</b>			
	<b>Optimo</b>	<b>Diseño</b>	
GOLPES POR CARA		75	
CEMENTO ASFALTICO		6.1	%
PESO UNITARIO		2.317	gr/cm3.
VACIOS		3.84	%
V.M.A.		17.5	%
VACIOS LLENOS CON C.A.		78.1	%
FLUJO		3.97	mm.
ESTABILIDAD		1015	Kg.
ESTABILIDAD/ FLUJO		2798	Kg/cm.

Fuente: Elaboración propia

- El Peso Unitario es 2.317 gr/cm<sup>3</sup> debido a que tiene una adecuada densidad que dará un comportamiento duradero en el pavimento.
- El Porcentaje de Vacíos adecuado es de 3.84% esta cumple con las especificaciones en obra ya que usualmente se debe tener una densidad menos del 5 por ciento.
- El Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral es de 17.50% para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto.
- Hay un adecuado porcentaje de vacíos llenados cuando el contenido de asfalto es de 78.10%.
- El Flujo es de 3.97 mm considerándose que las briquetas que la fluencia no es demasiado plásticas y no tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas de tránsito.
- La estabilidad es de 1015 Kg, siendo capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas y teniendo en cuenta que

valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

- El índice de Rigidez es 2798 Kg/cm cumpliendo los criterios recomendados para mezcla densa en caliente diseñada con el método Marshall.

#### 4.5. Análisis económico

##### 4.5.1. Análisis económico de asfalto convencional

**TABLA 106: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO CONVENCIONAL**

APU MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100				
Rendimiento	m3/DÍA				
Costo unitario directo por m3	<b>S/433.93</b>	SIN IGV			
<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
OFICIAL	hh	1	0.0321	15.94	0.51
OPERARIO	hh	1	0.0321	19.23	0.62
CAPATAZ	hh	1	0.0321	23.08	0.74
PEON	hh	3	0.0964	14.33	4.14
					<b>S/6.01</b>
<b>Materiales</b>					
PETROLEO DIESEL N°2	gln		5.80	12.82	74.36
ARENA NATURAL	m3		0.23	40.00	9.05
PIEDRA CHANCADA	m3		0.41	54.00	21.89
ARENA CHANCADA	m3		0.30	60.00	18.10
CEMENTO ASFALTICO 85/100	gln		29.17	8.00	233.36
FILLER(CAL HIDRATADA)	kg		18.10	0.67	12.13
					<b>S/368.88</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.62	13.10
CARGADOR FRONTAL	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 ton/h	hm	1	0.0321	530	17.01
					<b>S/59.04</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la investigación de precio de los diferentes materiales e insumos que son utilizados para la mezcla asfáltica. Se obtuvo el costo por m3, que resulta S/.433.93 soles

En el tema de asfalto convencional se puede observar en la tabla que el cemento asfáltico 85/100 es significativamente el que tiene mayor precio, ya que cuesta S/.233.36 soles.

#### 4.5.2. Análisis económico de asfalto modificado con vidrio

##### 4.5.2.1. Costo con 1% de vidrio

**TABLA 107: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 1%**

APU MEZCLA ASFÁLTICA CON 1% DE VIDRIO					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100				
Rendimiento	m3/DÍA				
Costo unitario directo por m3	<b>S/464.41</b>	SIN IGV			
<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
OFICIAL	hh	1	0.0321	15.94	0.51
OPERARIO	hh	1	0.0321	19.23	0.62
CAPATAZ	hh	1	0.0321	23.08	0.74
PEON	hh	3	0.0964	14.33	4.14
					<b>S/6.01</b>
<b>Materiales</b>					
PETROLEO DIESEL N°2	gln		5.80	12.82	74.36
ARENA NATURAL	m3		0.22	40.00	8.86
PIEDRA CHANCADA	m3		0.41	54.00	21.89
ARENA CHANCADA	m3		0.30	60.00	17.81
CEMENTO ASFALTICO 85/100	gln		29.17	8.00	233.36
FILLER(CAL HIDRATADA)	kg		18.10	0.67	12.13
VIDRIO	kg		18.10	1.71	30.95
					<b>S/399.36</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.62	13.10
CARGADOR FRONTAL	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 ton/h	hm	1	0.0321	530	17.01
					<b>S/59.04</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la investigación de precio de los diferentes materiales e insumos que son utilizados para la mezcla asfáltica, incluyendo el



vidrio, en un porcentaje según el diseño Marshall. Se obtuvo el costo por m3, que resulta S/.464.41 soles

En el tema de asfalto con vidrio en 1%, se observa que el aporte en kilogramos del vidrio por metro cubico es de 18.10.

#### 4.5.2.2. Costo con 2% de vidrio

**TABLA 108: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 2%**

APU MEZCLA ASFÁLTICA CON 2% DE VIDRIO					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100				
Rendimiento	m3/DÍA				
Costo unitario directo por m3	<b>S/483.51</b>	SIN IGV			
<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
OFICIAL	hh	1	0.0321	15.94	0.51
OPERARIO	hh	1	0.0321	19.23	0.62
CAPATAZ	hh	1	0.0321	23.08	0.74
PEON	hh	3	0.0964	14.33	4.14
					<b>S/6.01</b>
<b>Materiales</b>					
PETROLEO DIESEL N°2	gln		5.80	12.82	74.36
ARENA NATURAL	m3		0.22	40.00	8.69
PIEDRA CHANCADA	m3		0.41	54.00	21.93
ARENA CHANCADA	m3		0.29	60.00	17.56
CEMENTO ASFALTICO 85/100	gln		27.74	8.00	221.89
FILLER(CAL HIDRATADA)	kg		18.10	0.67	12.13
VIDRIO	kg		36.20	1.71	61.90
					<b>S/418.45</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.62	13.10
CARGADOR FRONTAL	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 ton/h	hm	1	0.0321	530	17.01
					<b>S/59.04</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la investigación de precio de los diferentes materiales e insumos que son utilizados para la mezcla asfáltica, incluyendo el

vidrio, en un porcentaje según el diseño Marshall. Se obtuvo el costo por m3, que resulta S/.483.51 soles

En el tema de asfalto con vidrio en 2%, se observa que el aporte en kilogramos del vidrio por metro cubico es de 36.20, siendo este valor mayor al asfalto convencional y de vidrio con 1%

#### 4.5.2.3. Costo con 3% de vidrio

**TABLA 109: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS - ASFALTO MODIFICADO CON VIDRIO 3%**

APU MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% DE VIDRIO					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100				
Rendimiento	m3/DÍA				
Costo unitario directo por m3	<b>S/525.37</b>	SIN IGV			
<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
OFICIAL	hh	1	0.0321	15.94	0.51
OPERARIO	hh	1	0.0321	19.23	0.62
CAPATAZ	hh	1	0.0321	23.08	0.74
PEON	hh	3	0.0964	14.33	4.14
					<b>S/6.01</b>
<b>Materiales</b>					
PETROLEO DIESEL N°2	gln		5.80	12.82	74.36
ARENA NATURAL	m3		0.21	40.00	8.48
PIEDRA CHANCADA	m3		0.41	54.00	21.89
ARENA CHANCADA	m3		0.29	60.00	17.25
CEMENTO ASFALTICO 85/100	gln		29.17	8.00	233.36
FILLER(CAL HIDRATADA)	kg		18.10	0.67	12.13
VIDRIO	kg		54.30	1.71	92.85
					<b>S/460.31</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.62	13.10
CARGADOR FRONTAL	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 ton/hr	hm	1	0.0321	530	17.01
					<b>S/59.04</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la investigación de precio de los diferentes materiales e insumos que son utilizados para la mezcla asfáltica, incluyendo el

vidrio, en un porcentaje según el diseño Marshall. Se obtuvo el costo por m<sup>3</sup>, que resulta S/.525.37 soles

En el tema de asfalto con vidrio en 3%, se observa que el aporte en kilogramos del vidrio por metro cubico es de 54.30, se puede dar cuenta que el aumento de la cantidad de vidrio, disminuyó la cantidad de arena chancada y natural, aunque esta disminución no es significativa y no realiza una variación en el precio total.

#### 4.6. Análisis de los resultados por hipótesis

##### 4.6.1. Prueba de Hipótesis de la Investigación

##### 4.6.1.1. Proceso de Prueba de la Hipótesis Principal

##### Paso 1: Planteamiento de la Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa

**Ho:** No existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales- Huancayo.

**Ha:** Existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales- Huancayo.

**TABLA 110: INDICADORES TÉCNICOS**

	Nº indicadores	proporción	Porcentaje
Convencional	8	$3/8 = 0.375$	37,5%
Vidrio	8	$5/8 = 0.625$	62,5%

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 111: ANÁLISIS DE COSTOS**

	costo
Asfalto Convencional	S/.433,93
Asfalto con 2% Vidrio	S/.483,51

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el primer cuadro de la metodología de Marshall se evidencia que existe mayores indicadores que señalan que es mucho más favorable trabajar con la técnica del vidrio en comparación a la metodología convencional, de la misma manera los costos con el sistema convencional es menor que con la técnica del vidrio, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna que menciona que Existe mayor diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

#### 4.6.1.2. Proceso de Prueba de la Hipótesis Especifica 1

##### Paso 1: Planteamiento de la Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa

**Ho:** No existe diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

**Ha:** Existe diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

##### Regla de decisión:

Ho: Proporción de indicadores  $\leq 50\%$

Ha: Proporción de indicadores  $> 50\%$

**TABLA 112: INDICADORES TÉCNICOS**

	N° indicadores	proporción	Porcentaje
Convencional	8	$3/8 = 0.375$	37,5%
Vidrio	8	$5/8 = 0.625$	62,5%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el cuadro comparativo se tiene que el porcentaje de las pruebas con vidrio (62.5%) es mayor al 50%, por tal razón se cumple la hipótesis alterna que plantea que existe diferencias técnicas entre los asfaltos modificados

con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales, es decir las características técnicas son mejores con el uso del vidrio que con el sistema convencional.

#### 4.6.1.3. Proceso de Prueba de la Hipótesis Específica 2

##### Paso 1: Planteamiento de la Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa

**Ho:** No existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

**Ha:** Existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

##### Regla de decisión

Ho:  $\mu$  costos con vidrio =  $\mu$  costos convencional

Ha:  $\mu$  costos con vidrio > o <  $\mu$  costos convencional

**TABLA 113: ANÁLISIS ECONÓMICO**

	costo
Asfalto Convencional	S/.433,93
Asfalto con 2% Vidrio	S/.483,51

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el cuadro comparativo se tiene que el costo con el sistema convencional (S/. 433.93) es menor que con el sistema con vidrios (S/. 483.51), por lo tanto, en este caso se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna la cual plantea que existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los Resultados de los respectivos ensayos se puede corroborar las diferencias existentes. Según el resumen de datos ensayo Marshall convencional y modificado, como se puede observar en la tabla:

**TABLA 114: RESUMEN DE DATOS ENSAYO MARSHALL CONVENCIONAL Y MODIFICADO**

RESUMEN						
ENSAYO MARSHALL						
	convencional	asfalto +1% vidrio	+2% vidrio	+3% vidrio	REQUERIMIENTOS	
OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO	6.1	6.1	5.9	6.1		
PESO UNITARIO GR/CM3	2.313	2.310	2.311	2.317		
VACIOS %	3.90	3.87	4.21	3.84	3	5
V,M,A, %	17.62	17.96	17.57	17.54	MIN	14
V. LLENADOS C.A.%	77.93	78.06	75.25	78.08		
FLUJO MM	3.38	3.38	3.32	3.97	2	3.56
ESTABILIDAD KG	923	984	992	1015	MIN	780
INDICE DE RIGIDEZ	2734	2837	2879	2798	1700	4000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 124, observamos el resumen de los diseños Marshall y también los requerimientos establecidos por la EG-2013.

Así mismo Según los Resultados de los respectivos precios se puede corroborar las diferencias existentes. Según el resumen del cuadro comparativo en la tabla:

**TABLA 115: CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS**

<b>Resumen de precios</b>			
convencional	1% vidrio	2% vidrio	3% vidrio
S/433.93	S/464.41	S/483.51	S/525.37

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 125, se observa que el asfalto convencional tiene un costo de S/.433.93 soles por metro cubico, por lo cual sería la opción más rentable para ser utilizada, ya que al incrementar vidrio por porcentaje va aumentando su costo por metro cubico. A la vez nos damos cuenta que en el diseño con mezcla asfáltica modificada con vidrio 2%, la participación del cemento asfáltico es de 5.9%.

La mejor opción es el asfalto convencional, pero si se queremos mejorar las propiedades del asfalto para garantizar pavimentos duraderos, lo factible es aumentar el porcentaje de vidrio, lo cual nos da como resultado una mezcla asfáltica modificada con 2% de vidrio, debido a que disminuye la cantidad de los galones de pen a utilizar, a diferencia de 1% y 3% de vidrio que su valor en porcentaje de pen es de 6.1%.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo. Como se observa en el primer cuadro de la metodología de Marshall se evidencia que existe mayores indicadores que señalan que es mucho más técnico trabajar con los asfaltos modificados con vidrio en comparación a los asfaltos convencionales, de la misma manera los costos del asfalto convencional es menor que el asfalto modificado con vidrio, por lo tanto se acepta la hipótesis alterna que menciona que existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.
2. Se Identificó las diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales. Como se observa en el cuadro comparativo se tiene que el porcentaje de las pruebas con vidrio (62.5%) es mayor al 50%, por tal razón se cumple la hipótesis alterna que plantea que existe diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales, es decir las características técnicas son mejores con el uso del vidrio que con el sistema convencional. Las diferencias técnicos variaron de acuerdo al aumento de porcentajes de vidrio, identificando que al adicionar al diseño un 2% de vidrio mejora las propiedades del asfalto a diferencia del asfalto convencional, ya que aumenta la estabilidad en 7.50% en relación al asfalto convencional, generando una mayor resistencia a deformaciones permanentes, estos resultados se ajustan mejor al requerimiento establecidos en EG 2013.
3. Se identificó las diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales. Como se observa en el cuadro comparativo se tiene que el costo con el sistema convencional (s/ 433.93) es menor que con el sistema con vidrios (491.10), por lo tanto, en este caso se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna la cual plantea que existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales. Se concluye que, al modificar el asfalto convencional con el vidrio, permite que se utilice menos



pen 85/100, lo cual genera una disminución en el costo de este insumo, de 29.17 gln/m<sup>3</sup> a 27.74 gln/m<sup>3</sup>. En costo por metro cubico de asfalto modificado con 2% de vidrio, el precio se incrementa en 11.5% en relación al asfalto convencional, el incremento se debe al uso de vidrio que tiene un costo de S/.1.71 por kilogramo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del vidrio en la modificación de los asfaltos convencionales desde el punto de vista técnico mas no del económico.
2. Se recomienda utilizar el vidrio en una proporción de 2% ya que mejora la estabilidad y el flujo, y también disminuye la cantidad de cemento asfáltico. ya que mejora las propiedades físico mecánicas y conlleva a tener caminos duraderos con mayor resistencia a las deformaciones permanentes.
3. Se recomienda reciclar e industrializar el proceso de trituración del vidrio para así poder obtener en mayores cantidades lo que ayudaría a bajar el costo unitario del vidrio y así disminuir los impactos ambientales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Carrasco, (2005), Metodología de la investigación, Lima, editorial San Marcos.
2. Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras (EG-2013)
3. Manual de ensayo de materiales para carreteras (EM - 2016)
4. Salazar Delgado, J. (2008). Evaluación de factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta. Unidad de Investigación. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/publicaciones/ui-01-08.pdf>
5. Reyes, O.J & Troncoso, J.R, (2005). Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras. doi: <https://doi.org/10.18359/rcin.1251>.
6. Marín Hernández, A. (2004). *Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos (Tesis de grado)*. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4496>.
7. Preciado Bolívar. & Sierra Martínez. (2013). *Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas (Tesis de grado)*. Pontificia Universidad Javeriana  
Recuperado de <http://hdl.handle.net/10554/11152>
8. Rolando Franco, F. (2002). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión (Tesis de grado)*. Universidad de Piura. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11042/1334>.
9. Ballena Tapia, C. (2016). *Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío*. Universidad Señor de Sipán.  
Recuperado de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/2256>.
10. Martínez Dongo, R. (2003). *Empleo del polímero SBR en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas de altura*. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3062>

## Anexos

### Matriz de Consistencia

**TITULO: ASFALTOS MODIFICADOS CON VIDRIO Y SU COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO CON LOS ASFALTOS CONVENCIONALES.**

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>P. GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo?</p> <p><b>P. ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál es la diferencia técnico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?</p> <p>¿Cuál es la diferencia económica entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales?</p>	<p><b>O. GENERAL</b></p> <p>Determinar las diferencias técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales - Huancayo.</p> <p><b>O. ESPECÍFICOS</b></p> <p>Establecer las diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales.</p> <p>Analizar las diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio y los asfaltos convencionales.</p>	<p><b>H. GENERAL</b></p> <p>Existe diferencia técnico y económico entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales - Huancayo.</p> <p><b>H. ESPECÍFICAS</b></p> <p>Existe diferencias técnicos entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.</p> <p>Existe diferencias económicas entre los asfaltos modificados con vidrio en comparación con los asfaltos convencionales.</p>	<p><b>V1:</b> Asfaltos convencionales</p> <p><b>V2:</b> Asfaltos modificados con vidrio</p>	<p><b>Método de la investigación</b></p> <p>Método científico</p> <p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Aplicado</p> <p><b>Nivel de la investigación</b></p> <p>Descriptivo - comparativo</p> <p><b>Diseño de la investigación</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>Población</b></p> <p>60 briquetas</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>60 briquetas</p>