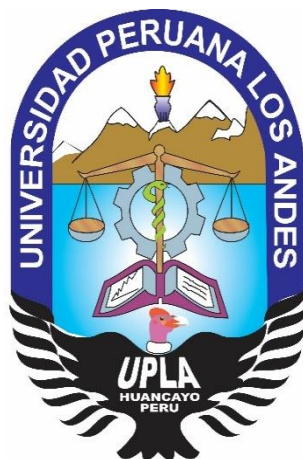


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR
LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA”**

PRESENTADO POR:

Bach. CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO

Línea de Investigación Institucional:

TRANSPORTE Y URBANISMO

Línea de Investigación por Programa de Estudios:

TRANSPORTES

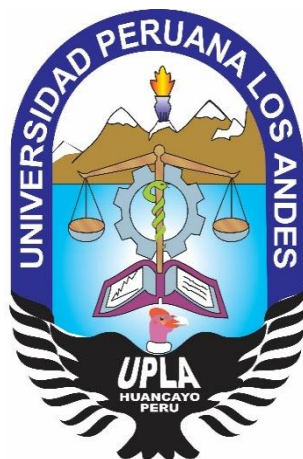
PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019

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



TESIS

**“MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR
LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA”**

PRESENTADO POR:

Bach. CCOYLLO HUAMÁN, José Eduardo

Línea de Investigación Institucional:

TRANSPORTE Y URBANISMO

Línea de Investigación por Programa de Estudios:

TRANSPORTES

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019

ASESORES

ASESOR METODOLÓGICO

Mg. GALLARDO MENDOZA JUAN CARLOS

ASESOR TEMÁTICO

Ing. PAREDES LEÓN JUSSY FERNANDO

DEDICATORIA

A mi amado Dios, todo poderoso, que me dio la vida y me protege desde el cielo.

A mi preciosa madre, Mariela Huamán Condorcule, la persona más importante en mi vida a quien admiro, respeto y amo con todo mi corazón. Todo lo que soy y todo lo que tengo se lo debo a ella. Te amo, mamá.

A mi querido padre, José Eduardo Ccoyllo Lobo, que guarda un lugar muy especial en mi corazón y que, con sus ejemplos de valentía, perseverancia y humildad, me ha instruido por el camino correcto.

A mis adorados hermanos, Mariela Lisbeth Ccoyllo Huamán y Daniel Alexander Quispe Huamán, que dan sentido y alegría a mi vida.

A la memoria de mi tío, Jorge Antonio Castro Rumiche, que desde el cielo cuida de mí y vigila mis pasos.

A mi estimado amigo, Wilfredo Poma Rivas, que forma parte de mi familia y a quien estaré eternamente agradecido por todo lo que ha hecho por mí.

A toda mi hermosa familia, abuelos, abuelas, tíos, tías, primos y primas, a quienes llevo en lo más profundo de mi corazón.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por concederme la oportunidad de culminar esta importante etapa profesional. Gracias, Dios mío, por poner en mi camino a las personas correctas para poder realizar este trabajo de investigación.

A mi madre, Mariela Huamán Condorcule, por su apoyo desinteresado en el financiamiento de los ensayos de laboratorio indispensables para el desarrollo de esta investigación. Gracias, mamá, por todo el sacrificio que haces para ayudarme a cumplir este sueño.

A mi padre, José Eduardo Ccoyllo Lobo, por su apoyo incondicional en la ardua búsqueda de los materiales necesarios para realizar esta investigación. Gracias, papá, por todo el respaldo que me brindaste para no rendirme en esta difícil labor.

A mis hermanos, Mariela Lisbeth Ccoyllo Huamán y Daniel Alexander Quispe Huamán, por ser un apoyo silencioso pero importante en cada día de mi vida.

A mis asesores, Gallardo Mendoza Juan Carlos y Paredes León Jussy Fernando, por su apoyo en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Peruana Los Andes y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por hacer realidad este sueño profesional.

Bach. José Eduardo Ccoyllo Huamán 

JURADOS DE SUSTENTACIÓN

PRESIDENTE

Dr. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ

PRIMER JURADO

Ing. RANDO PORRAS OLARTE

SEGUNDO JURADO

Ing. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES

TERCER JURADO

Ing. JULIO FREDY PORRAS MAYTA

SECRETARIO DOCENTE (E)

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA

ÍNDICE

ASESORES.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
JURADOS DE SUSTENTACIÓN.....	V
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación y sistematización del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Justificación	3
1.3.1. Práctica o social.....	3
1.3.2. Metodológica	3
1.4. Delimitaciones.....	3
1.4.1. Espacial.....	3
1.4.2. Temporal	4
1.4.3. Económica	4
1.5. Limitaciones.....	4
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo general.....	5
1.6.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. Antecedentes nacionales	6
2.1.2. Antecedentes internacionales	9
2.2. Marco conceptual	12
2.2.1. Pavimento.....	12
2.2.1.1. General.....	12
2.2.1.2. Tipos de pavimento	13
2.2.1.2.1. Pavimentos rígidos	13
2.2.1.2.2. Pavimentos flexibles.....	14
2.2.1.2.3. Pavimentos mixtos o compuestos.....	14

2.2.1.3.	Componentes del pavimento	15
2.2.1.4.	Factores de deterioro del pavimento	16
2.2.1.4.1.	Efectos ambientales	17
2.2.1.4.2.	Efectos del tráfico	18
2.2.2.	Materiales pétreos	20
2.2.2.1.	General.....	20
2.2.2.2.	Tipos de materiales pétreos.....	20
2.2.2.3.	Clasificación de los agregados de acuerdo a su tamaño.....	21
2.2.2.4.	Propiedades de los materiales pétreos.....	22
2.2.2.5.	Características de los agregados pétreos	22
2.2.2.6.	Ensayos para los agregados pétreos.....	23
2.2.2.7.	Especificaciones técnicas para los agregados pétreos.....	24
2.2.3.	Materiales asfálticos.....	26
2.2.3.1.	General.....	26
2.2.3.2.	Tipos de materiales asfálticos	27
2.2.3.2.1.	Cementos asfálticos (AC)	27
2.2.3.2.2.	Asfaltos líquidos	27
2.2.3.2.3.	Asfaltos emulsionados	28
2.2.3.3.	Comportamiento del cemento asfáltico.....	28
2.2.3.4.	Ensayos para los materiales asfálticos	29
2.2.4.	Mezclas asfálticas	29
2.2.4.1.	General.....	29
2.2.4.2.	Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura	30
2.2.4.2.1.	Mezclas asfálticas en frío	30
2.2.4.2.2.	Mezclas tibias	31
2.2.4.2.3.	Mezclas en caliente	31
2.2.5.	Diseño de mezclas asfálticas	31
2.2.5.1.	General.....	31
2.2.5.2.	Factores de diseño de mezclas asfálticas.....	32
2.2.5.2.1.	Factores estructurales.....	32
2.2.5.3.	Métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente.....	33
2.2.6.	Asfalto espumado.....	34
2.2.6.1.	General.....	34
2.2.6.2.	Proceso de espumación	34
2.2.6.2.1.	Tipos de proceso de espumación	35
2.2.6.3.	Características del asfalto espumado	36

2.2.6.4.	Factores que influyen en las propiedades de la espuma.....	38
2.2.6.4.1.	Adición de agua.....	38
2.2.6.4.2.	Tipo de asfalto.....	39
2.2.6.5.	Aplicaciones del asfalto espumado.....	40
2.3.	Definición de los términos.....	40
2.4.	Hipótesis.....	41
2.4.1.	Hipótesis general.....	41
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	41
2.5.	Variables.....	42
2.5.1.	Definición conceptual de variable.....	42
2.5.2.	Definición operacional de la variable.....	42
2.5.3.	Operacionalización de la variable.....	43
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		44
3.1.	Método de investigación.....	44
3.2.	Tipo de investigación.....	44
3.3.	Nivel de investigación.....	44
3.4.	Diseño de la investigación.....	45
3.5.	Población y muestra.....	46
3.5.1.	Población.....	46
3.5.2.	Muestra.....	46
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	47
3.7.	Procesamiento de la información.....	49
3.8.	Técnicas y análisis de datos.....	90
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....		91
4.1.	Variable Independiente: Método del asfalto espumado.....	91
4.1.1.	Calidad de espuma asfáltica.....	91
4.1.1.1.	Razón de expansión.....	92
4.1.1.2.	Vida media.....	94
4.1.2.	Calidad de los agregados.....	96
4.1.2.1.	Resistencia a la abrasión.....	96
4.1.2.2.	Partículas chatas y alargadas.....	98
4.1.2.3.	Caras fracturadas.....	100
4.1.2.4.	Gravedad específica y absorción.....	102
4.1.2.5.	Equivalente de arena.....	106
4.1.2.6.	Índice de plasticidad (malla N.º 200).....	109
4.1.2.7.	Análisis granulométrico.....	112

4.2.	Variable Dependiente: Factos de diseño de mezclas asfálticas.....	118
4.2.1.	Factores estructurales	118
4.2.1.1.	Peso unitario de mezclas asfálticas compactadas.....	118
4.2.1.2.	Máxima gravedad específica de mezclas asfálticas – Rice:.....	120
4.2.1.3.	Marshall.....	122
4.2.1.4.	Peso unitario.....	124
4.2.1.5.	Estabilidad	127
4.2.1.6.	Flujo	130
4.2.1.7.	Porcentaje de vacíos con aire	133
4.2.1.8.	Vacíos en el agregado mineral - VMA.....	136
4.2.1.9.	Vacíos llenos con asfalto - VFA	139
4.2.1.10.	Relación estabilidad / flujo.....	142
4.2.2.	Factores económicos.....	143
4.2.2.1.	Rendimiento	143
4.2.2.2.	Cantidad de materiales:.....	144
4.2.2.3.	Consumo de combustible.....	146
4.2.2.4.	Presupuesto	147
4.2.2.5.	Análisis de costos unitarios.....	149
4.2.3.	Factores de medio ambiente	151
4.2.3.1.	Consumo de combustible.....	151
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN.....		152
4.1.	Variable Independiente: Método de asfalto espumado	152
4.1.1.	Calidad de la espuma asfáltica.....	152
4.1.2.	Calidad de los agregados.....	153
4.2.	Variable dependiente: Factores de diseño de mezclas asfálticas.....	154
4.2.1.	Factores estructurales:	154
4.2.2.	Factores económicos.....	156
4.2.3.	Factores de medio ambiente	157
CONCLUSIONES.....		159
RECOMENDACIONES.....		161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		162
ANEXOS.....		164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requerimientos para los agregados gruesos	25
Tabla 2: Requerimientos para los agregados finos	25
Tabla 3: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)	26
Tabla 4: Selección del tipo de cemento asfáltico.....	27
Tabla 5: Valores mínimos para el proceso de espumación	38
Tabla 6: Valores de razón de expansión y vida media por el tipo de asfalto	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Delimitación espacial de la investigación	4
Figura 2: Transferencia de carga en el pavimento	12
Figura 3: Pavimento rígido.....	13
Figura 4: Pavimento flexible.....	14
Figura 5: Componentes del pavimento	15
Figura 6: Deterioro del pavimento	17
Figura 7: Efectos ambientales que deterioran el pavimento.....	18
Figura 8: Efectos del tráfico que deterioran el pavimento.....	19
Figura 9: Comportamiento del asfalto	29
Figura 10: Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura de aplicación	30
Figura 11: Proceso de espumación.....	35
Figura 12: Tipos de proceso de espumación	36
Figura 13: Características del asfalto espumado	37
Figura 14: Relación entre propiedades del asfalto espumado.....	39
Figura 15: Esquema de diseño	45
Figura 16: Procesos para la recolección de datos.....	49
Figura 17: Ubicación de la cantera Jicamarca.....	50
Figura 18: Ubicación de la cantera La Gloria	52
Figura 19: Relación de razón de expansión y vida media	91
Figura 20: Resultados de razón de expansión del asfalto espumado.....	93
Figura 21: Resultados de vida media del asfalto espumado	95
Figura 22: Resultados del ensayo de abrasión Los Ángeles	97
Figura 23: Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas.....	99
Figura 24: Resultados del ensayo de caras fracturadas.....	101
Figura 25: Resultados del ensayo de absorción del agregado grueso	103
Figura 26: Resultados del ensayo de absorción del agregado fino	105

Figura 27: Resultados del ensayo de equivalente de arena	108
Figura 28: Diagrama de fluidez	110
Figura 29: Resultados del ensayo de límites de consistencia	111
Figura 30: Curva granulométrica del agregado grueso	113
Figura 31: Curva granulométrica del agregado fino	115
Figura 32: Curva granulométrica de la mezcla de agregados MAC - 2	117
Figura 33: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica modificada	124
Figura 34: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica convencional.....	125
Figura 35: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Peso unitario	126
Figura 36: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica modificada	127
Figura 37: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica convencional.....	128
Figura 38: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Estabilidad.....	129
Figura 39: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica modificada	130
Figura 40: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica convencional.....	131
Figura 41: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Flujo	132
Figura 42: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica modificada.....	133
Figura 43: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica convencional	134
Figura 44: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - % Vacíos.....	135
Figura 45: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica modificada	136
Figura 46: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica convencional	137
Figura 47: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - % VMA	138
Figura 48: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica modificada.....	139
Figura 49: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica convencional	140
Figura 50: Mezcla asfáltica modificada Vs. Mezcla asfáltica convencional - % VFA	141
Figura 51: M.A. Modificada Vs. M.A. Convencional - Relación de Estabilidad/Flujo.....	142
Figura 52: Consumo de combustible.....	151

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Ingreso de la cantera Jicamarca	51
Fotografía 2: Acopio de agregado grueso - cantera Jicamarca	51
Fotografía 3: Acopio de agregado fino - cantera La Gloria	53
Fotografía 4: Cemento asfáltico caliente a 130 °C	54
Fotografía 5: Inyección de agua fría al asfalto caliente	54
Fotografía 6: Proceso de espumación	55
Fotografía 7: Medida del volumen de máxima expansión	55
Fotografía 8: Selección de muestra representativa del agregado grueso	57
Fotografía 9: Selección de muestra representativa del agregado fino	57
Fotografía 10: Ensayo granulométrico del agregado grueso	59
Fotografía 11: Ensayo de granulometría del agregado grueso	59
Fotografía 12: Ensayo de granulometría del agregado fino	60
Fotografía 13: Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos	61
Fotografía 14: Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos	63
Fotografía 15: Equipos para el peso específico y absorción de agregados gruesos	63
Fotografía 16: Máquina de Los Ángeles	65
Fotografía 17: Abrasión en la máquina de Los Ángeles	65
Fotografía 18: Caras fracturadas	67
Fotografía 19: Partículas chatas y alargadas	68
Fotografía 20: Límite líquido	70
Fotografía 21: Límite plástico	71
Fotografía 22: Equivalente de arena	73
Fotografía 23: Fraccionamiento del agregado grueso y agregado fino	74
Fotografía 24: Calentamiento de los agregados en el horno	76
Fotografía 25: Dosificación de agregados	76
Fotografía 26: Calentado del cemento asfáltico	77
Fotografía 27: Dosificación de cemento asfáltico	77
Fotografía 28: Inyección de agua fría en el asfalto caliente	78
Fotografía 29: Proceso de espumación del cemento asfáltico	78
Fotografía 30: Mezclado de los agregados y asfalto	79
Fotografía 31: Preparación del martillo de compactación Marshall	80
Fotografía 32: Introducción de la mezcla asfáltica en el molde ensamblado	80
Fotografía 33: Chuseado de mezcla asfáltica en el molde ensamblado	81
Fotografía 34: Compactación de los especímenes a 75 golpes	81
Fotografía 35: Proceso de compactación de los especímenes	82

Fotografía 36: Identificación de los especímenes	82
Fotografía 37: Elaboración de briquetas finalizado	83
Fotografía 38: Desmolde y extracción de los especímenes	83
Fotografía 39: Medición de las dimensiones de cada briqueta.....	84
Fotografía 40: Peso de la briqueta en el aire	84
Fotografía 41: Saturación de las briquetas.....	85
Fotografía 42: Peso de la briqueta superficialmente saturado.....	85
Fotografía 43: Peso de la briqueta superficialmente saturado en el agua	86
Fotografía 44: Colocación de briquetas en baño de agua a 60 °C	86
Fotografía 45: Medición de Estabilidad y Flujo en la Máquina Marshall	87
Fotografía 46: Diseño de mezcla asfáltica - Rice	88
Fotografía 47: Pesado de mezcla asfáltica - Rice	88
Fotografía 48: Adición de agua a la mezcla - Rice	89
Fotografía 49: Remoción del aire atrapado a 30 mm de Hg	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de variables.....	43
Cuadro 2: Dosificación de materiales para el diseño de mezcla asfáltica convencional ...	74
Cuadro 3: Dosificación de materiales para el diseño de mezcla asfáltica modificada	75
Cuadro 4: Razón de expansión del asfalto espumado	92
Cuadro 5: Vida media del asfalto espumado.....	94
Cuadro 6: Ensayo de abrasión máquina de Los Ángeles.....	96
Cuadro 7: Ensayo de partículas chatas y alargadas	98
Cuadro 8: Ensayo de caras fracturadas.....	100
Cuadro 9: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso	102
Cuadro 10: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino	104
Cuadro 11: Ensayo de equivalente de arena - Cantera Jicamarca.....	106
Cuadro 12: Ensayo de equivalente de arena - Cantera La Gloria	107
Cuadro 13: Ensayo de límites de consistencia.....	109
Cuadro 14: Análisis granulométrico del agregado grueso	112
Cuadro 15: Análisis granulométrico del agregado fino	114
Cuadro 16: Análisis granulométrico de la mezcla de agregados	116
Cuadro 17: Ensayo de peso unitario de mezclas asfálticas compactadas.....	118
Cuadro 18: Peso unitario de la mezcla asfáltica convencional	119
Cuadro 19: Ensayo de máxima gravedad específica de mezclas asfálticas – Rice.....	120
Cuadro 20: Máxima gravedad de mezcla asfáltica convencional	121
Cuadro 21: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica modificada	122
Cuadro 22: Resultados del ensayo Marshall - Mezcla asfáltica convencional	123
Cuadro 23: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica modificada.....	124
Cuadro 24: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica convencional	125
Cuadro 25: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica modificada.....	127
Cuadro 26: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica convencional	128
Cuadro 27: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica modificada.....	130
Cuadro 28: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica convencional	131
Cuadro 29: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica modificada	133
Cuadro 30: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica convencional.....	134
Cuadro 31: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica modificada	136
Cuadro 32: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica convencional	137
Cuadro 33: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica modificada	139
Cuadro 34: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica convencional.....	140
Cuadro 35: Rendimiento de la planta de asfalto - Mezcla asfáltica modificada	143

Cuadro 36: Rendimiento de la planta de asfalto - Mezcla asfáltica convencional.....	143
Cuadro 37: Cantidad de materiales para 1 m3 de mezcla asfáltica modificada.....	144
Cuadro 38: Cantidad de material para 1 m3 de mezcla asfáltica convencional.....	145
Cuadro 39: Consumo de combustible para 1 m3 de mezcla asfáltica modificada.....	146
Cuadro 40: Consumo de combustible para 1 m3 de mezcla asfáltica convencional.....	146
Cuadro 41: Presupuesto para 1 m3 de mezcla asfáltica modificada.....	147
Cuadro 42: Presupuesto para 1m3 de mezcla asfáltica convencional.....	148
Cuadro 43: APU - Mezcla asfáltica modificada.....	149
Cuadro 44: APU - Mezcla asfáltica convencional.....	150
Cuadro 45: Consumo de combustible - Factores de medio ambiente.....	151
Cuadro 46: Resultados de la calidad de espuma asfáltica.....	153
Cuadro 47: Resultados de la calidad de agregados.....	154
Cuadro 48: Resultado de los factores estructurales.....	156
Cuadro 49: Resultado de los factores económicos.....	157
Cuadro 50: Resultado de los factores ambientales.....	158

RESUMEN

En la presente investigación se planteó como problema general: ¿De qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima?, el objetivo general fue: Determinar de qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexible en Lima, y la hipótesis general que se contrastó fue: El método de asfalto espumado mejorará los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima.

Con respecto a la metodología empleada, el método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación fue descriptiva - explicativa y el diseño fue cuasiexperimental. La población de estudio fueron los tipos de diseño de mezclas asfálticas y la muestra fue de tipo no probabilístico dirigido, conformado por el tipo de diseño de mezcla asfáltica en caliente (convencional).

Finalmente, se llegó a la conclusión de que el método de asfalto espumado mejora de manera notable los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, al evidenciar que, las mezclas asfálticas modificadas optimizan los valores de estabilidad en 24.60%, de flujo en 8.93% y %Vacíos en 11.79% con respecto a las mezclas asfálticas convencionales. Del mismo modo se evidenció una optimización de costos de 6.42%.

Palabras clave: Pavimento, asfalto espumado, diseño de mezclas asfálticas.

ABSTRACT

In the present investigation it was raised as a general problem: How does the foamed asphalt method influence the design factors of asphalt mixtures for flexible pavements in Lima? The general objective was: To determine how the foamed asphalt method influences in the design factors of asphalt mixes for flexible pavements in Lima, and the general hypothesis that was contrasted was: The foamed asphalt method will improve the design factors of asphalt mixes for flexible pavements in Lima.

With respect to the methodology used, the research method is scientific, the type of research was applied, the level of research was descriptive - explanatory and the design was quasi-experimental. The study population are the types of asphalt mix design and the sample was non-probabilistic - directed, consisting of the type of hot (conventional) asphalt mix design.

Finally, it was concluded that the foamed asphalt method significantly improves the design factors of asphalt mixtures for flexible pavements in Lima, showing that modified asphalt mixtures optimize stability values at 24.60% flow in 8.93% and% Empty in 11.79% with respect to conventional asphalt mixtures. Similarly, a cost optimization of 6.42% was evidenced.

Keywords: Pavement, foamed asphalt, asphalt mix design.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación titulada “Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima”, se busca implementar el método de asfalto espumado al proceso de diseño de mezclas asfálticas convencionales (en caliente), atendiendo la necesidad de mejorar sus factores estructurales y sus factores económicos.

En la ciudad de Lima la mayoría de los proyectos viales son de pavimentación flexible con mezclas asfálticas en caliente, sin embargo, los factores ambientales y los efectos del tráfico con el tiempo generan su deterioro, el cual se puede medir de forma directa en la carpeta de rodadura. Además, el diseño de mezclas convencionales (en caliente) requiere de elevadas temperaturas, lo cual genera contaminantes que dañan el medio ambiente y al mismo tiempo causa que los costos de producción también se vean elevadas por el gran consumo de energía.

En tal sentido, esta investigación pretende dar solución a la problemática que se presenta, mediante la aplicación del método de asfalto espumado. De esta manera se busca, ante todo, contribuir a mejorar los factores que influyen en el diseño de mezclas asfálticas convencionales en pavimentos flexibles. Para ello es necesario realizar una comparación entre el diseño de mezcla asfáltica convencional (en caliente) y el diseño de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado); demostrando las bondades que tiene esta nueva tecnología, por medio de ensayos de laboratorio, costos de ejecución y si es menos dañino al medio ambiente.

La presente investigación consta de los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, este capítulo contiene el planteamiento del problema, la formulación del problema (problema general y problemas específicos), la justificación (práctica, científica y metodológica), la delimitación (espacial, temporal y económica), las limitaciones y la formulación de los objetivos (objetivo general y objetivos específicos).

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO, este capítulo contiene los antecedentes del estudio de investigación (nacionales e internacionales), el marco conceptual, la definición de los términos, la formulación de las hipótesis (hipótesis general e

hipótesis específicas) y las variables (definición conceptual, definición operacional y operacionalización de la variable).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA, este capítulo contiene el método de investigación, el tipo de investigación, el nivel de investigación, el diseño de investigación, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procesamiento de la información y las técnicas de análisis de datos.

CAPÍTULO IV RESULTADOS, este capítulo contiene la presentación de los resultados y la información, respecto a los análisis de agregados pétreos, proceso de espumación del asfalto, resultados del ensayo Marshall y formulación de presupuesto.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS, este capítulo contiene el análisis comparativo de los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas convencionales (en caliente), las mezclas asfálticas modificadas (asfalto espumado) y los parámetros de diseño que deben cumplir.

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

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El Perú, como país en desarrollo, basa su progreso principalmente en sus vías de comunicación, debido a que a través de ellos se lleva a cabo sus interrelaciones económicas, sociales y culturales, entre departamentos, provincias y distritos. Según Bituper [1], la Red Vial Nacional en el 2018 se encontraba pavimentada en 75%, sin embargo, de acuerdo a las proyecciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para el 2021 la Red Vial Nacional estará pavimentada al 100%.

En ese sentido, es necesario tomar en cuenta qué es lo más favorable para pavimentar las vías que permitirán integrar nuestro país, ya que los factores ambientales y los efectos del tráfico con el tiempo generan el deterioro del pavimento, el cual es normalmente medido indirectamente por la calidad de la carpeta asfáltica. La mayoría de proyectos viales en nuestro país son de pavimentación flexible, es decir a base de asfalto, el cual se emplea en zonas de abundante tráfico. De acuerdo a Bituper [1], “aproximadamente el 90 % de las vías a nivel mundial están constituidas con productos asfálticos”.

En nuestro país, el diseño de mezclas asfálticas para las estructuras de pavimentos flexibles es realizado utilizando las recomendaciones en el manual

de carreteras “especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 edición de 2013” establecido por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N.º 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional. Sin embargo, existen otros métodos de diseño de mezclas asfálticas para estructuras de pavimento flexible que no han sido utilizados, tal como el método del asfalto espumado.

Los procedimientos de elaboración de las Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) demandan elevadas temperaturas con el propósito de conseguir la fluidez del material asfáltico de tal manera que los materiales se mezclen adecuadamente y consigan óptimas condiciones de trabajabilidad. Esto genera un aumento en la emisión de gases contaminantes y polvo, lo cual provoca un serio daño ambiental y un mayor costo de producción.

En conclusión, con la finalidad de optimizar las condiciones mecánicas, económicas y cuidado del medio ambiente, se ha desarrollado nuevas tecnologías para la producción de mezclas asfálticas, como el asfalto espumado.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cómo actúa la calidad de espuma asfáltica en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?
- 2) ¿Cómo interviene la calidad de los agregados en los factores de diseño mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?
- 3) ¿Cuál es la influencia del método de asfalto espumado en los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?

- 4) ¿Cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?
- 5) ¿De qué forma afecta el método de asfalto espumado los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica o social

El desarrollo de la presente investigación contribuirá a mejorar el diseño de mezclas asfálticas convencionales para pavimentos flexibles en la ciudad de Lima a través de la aplicación del método de asfalto espumado. Esta mejora se verá reflejada en los factores estructurales, los cuales contribuirán en producir una buena calidad de pavimento, y factores económicos, los cuales contribuirán en producir pavimentos más módicos. y factores de medio ambiente.

1.3.2. Metodológica

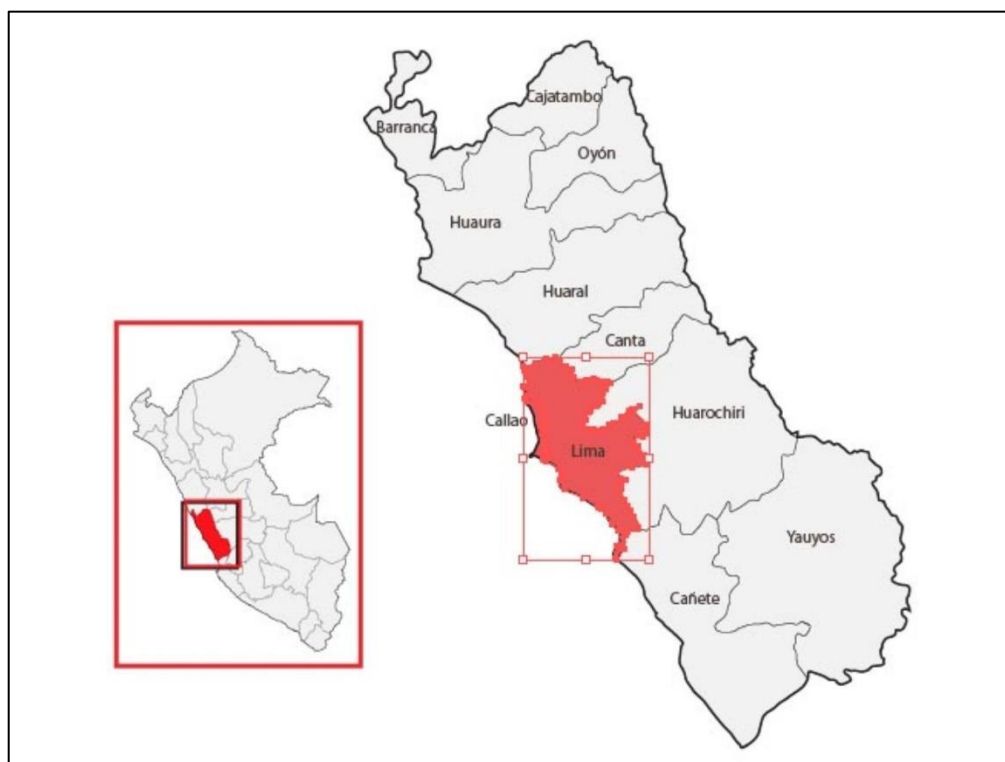
Mediante esta investigación se podrá exponer una nueva metodología en el desarrollo experimental del diseño de una mezcla de asfalto espumado; mediante técnicas, instrumentos, recomendaciones, que servirán de aporte para el estudio y aplicación posterior de investigaciones similares. Asimismo, la información y los resultados compilados en esta investigación suministrarán una fuente académica para servir de antecedente para otros investigadores en el campo del diseño de mezclas asfálticas con el método de asfalto espumado.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

La presente investigación tendrá lugar en todo el espacio geográfico de la provincia de Lima.

Figura 1: Delimitación espacial de la investigación



Fuente: Andina – Agencia Peruana de Noticias

1.4.2. Temporal

Esta investigación se realizará en el año 2019, en un periodo 05 meses, desde el mes de marzo al mes de Julio.

1.4.3. Económica

La disponibilidad de recursos financieros para la ejecución la presente investigación será autofinanciada.

1.5. Limitaciones

- La presente investigación estará enfocada al diseño teórico y de laboratorio de mezclas asfálticas, descartando la ejecución de “tramos de prueba”.
- Al no contar con el equipo de laboratorio necesario para el diseño de asfalto espumado (WLB 10 S), se simulará el procedimiento de forma empírica.
- La falta de experiencia de los laboratorios en la realización de ensayos Marshall modificados con asfalto espumado.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar de qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima.

1.6.2. Objetivos específicos

- 1) Establecer cómo actúa la calidad de espuma asfáltica en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 2) Establecer cómo interviene la calidad de los agregados en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 3) Demostrar cuál es la influencia del método de asfalto espumado en los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 4) Comprobar cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 5) Determinar de qué forma afecta el método de asfalto espumado los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales

- a. Navarro y Morales [2], en su tesis titulada “Contribución del asfalto espumado en el aporte estructural de pavimentos en altura como solución para el proyecto de conservación vial Tacna - Puno, tramo Capazo - Mazocruz”, presentada para optar por el título de Ingeniero Civil, publicado por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, 2018.

En esta investigación se realiza un estudio de los beneficios técnicos y económicos que puede generar el proceso de pavimentación utilizando el asfalto espumado para estabilizar los materiales granulares. Para ello, se efectúa un estudio comparativo del comportamiento estructural de un pavimento convencional frente a uno con asfalto espumado.

El diseño del asfalto espumado se utilizó dos tipos de cemento asfáltico: PEN 85/100 y PEN 120/150. Para el diseño de asfalto espumado con cemento asfáltico PEN 85/100 la temperatura de mezclado será entre 160 °C y 180 °C, mientras que para el diseño con cemento asfáltico PEN 120/150 será entre 160 °C y 190 °C.

Con respecto al porcentaje de agua añadido variará entre 1% y 4% para ambos casos. Asimismo, se realiza una comparación de los valores de resistencia de las muestras obtenidos en el laboratorio y en campo.

Sus principales conclusiones son:

- En el proceso de espumación, el tipo de asfalto influye directamente en las propiedades del asfalto espumado. El asfalto con mejor desempeño fue el cemento asfáltico PEN 120/150, que tiene mayor grado de penetración.
- Para asegurar la calidad de la espumación, las condiciones óptimas fueron a 160 °C de temperatura y 3.0% de agua añadida. El resultado de espumación nos proporcionó una vida media de 15.3 s, y una relación de expansión de 19.0.
- Con un contenido óptimo de asfalto de 2.0% los valores de Resistencia a la Tracción Indirecta de las muestras obtenidas en campo y en el laboratorio muestran una variación porcentual máxima de 11.5% para la condición seca y de 6.3% para la condición húmeda.
- De acuerdo a las pequeñas variaciones encontradas, se puede validar que el diseño de asfalto espumado para estabilizar materiales granulares obtenidos en el laboratorio guardan relación con los obtenidos en campo.

- b. Gonzales [3], en su tesis titulada “Propuesta para la mejora de los pavimentos asfálticos utilizando el método del asfalto espumado”, presentada para optar por el título profesional de Ingeniero Civil, publicado por la Universidad Católica de Santa María (UCSM), Arequipa, 2017.

En esta investigación se muestra las bondades que tiene el asfalto espumado, frente a las mezclas de asfalto en caliente convencional. Para ello se realiza un análisis comparativo entre estos dos tipos de mezclas mediante el diseño de mezclas en caliente convencional a una temperatura de 140 °C y el diseño de asfalto espumado a una temperatura de 132 °C, para estos dos tipos de mezcla se trabajó con diferentes contenidos de asfalto (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%) y en el caso del

asfalto espumado con diferentes porcentajes de agua (1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%). Además de ello se analizó los beneficios económicos y ambientales que ofrece el asfalto espumado en comparación con el asfalto en caliente convencional.

Sus principales conclusiones son:

- Para obtener una mezcla de asfalto espumado de calidad, las condiciones óptimas fueron a 132 °C de temperatura y 2.30% de agua añadida. Asimismo, el porcentaje óptimo de contenido de asfalto fue de 5.72%.
 - A través del ensayo Marshall, el diseño con asfalto espumado expuso una mejora en la estabilidad (1081.15 kg frente a 1018 kg) y en el flujo (3.59 mm frente a 2.80 mm), con respecto al asfalto convencional.
 - Mediante una comparación de presupuestos, se tiene que el presupuesto de producción de 1000 m³ de asfalto en caliente es de S/. 785,540.16 a comparación del presupuesto de 1000m³ asfalto espumado que es de S/. 663,126.96. Esto da una diferencia de S/. 122,413.20.
 - La producción de asfalto espumado, implica menor emanación de gases nocivos al aire (38.150 kg), frente a un asfalto en caliente que produce el doble de emanaciones al medio ambiente (76.300 kg). Esta diferencia se da porque la quema de combustible para la producción de asfalto espumado es menor.
- c. Rojas [4], en su tesis titulada “Aplicación de la tecnología del asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfálticos”, presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil, publicado por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima, 2013. En esta investigación se muestra los resultados de mezclas de material asfáltico reciclado, tratados con asfalto espumado. Para ello se realiza un estudio de las propiedades de espumación del asfalto a diferentes temperaturas de mezclado (160 °C, 170 °C y 180 °C) y diferentes porcentajes de agua (1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5%). Asimismo, se buscó obtener la cantidad óptima de asfalto

para lograr una base tratada de alta calidad y resistencia. Sus principales conclusiones son:

- Para obtener una espumación de alta calidad, las condiciones óptimas fueron a 160 °C de temperatura y 2.5% de agua añadida. El resultado de espumación nos proporcionó una vida media de 10.0 s, y una relación de expansión de 18.3.
- La adición de agua reduce la resistencia de la mezcla, por ellos se emplea 1.0% de Cemento Portland como filler activo para mejorar su resistencia a la tracción.
- La obtención de cantidad óptima de asfalto fue de 2.0%, 2.5% y 3.0%. Sin embargo, con el contenido de asfalto del 2% se mejora las consideraciones económicas.
- Con un contenido óptimo de asfalto de 2.0% se logró alcanzar una Resistencia de Tracción Indirecta Seca de 580.7 kPa y una Resistencia de Tracción Indirecta Saturada de 418.1 kPa, las cuales cumplen con los valores límites propuestos.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Delgado *et al.* [5], en su publicación técnica No. 519 titulada “Diseño de bases estabilizadas con asfalto espumado” publicado por el Instituto Mexicano del Transporte, México, 2017. Esta investigación se enfoca en la utilización de asfalto espumado para la estabilización de bases hidráulicas con material reciclado. Para ello se realiza un estudio de las propiedades mecánicas resultantes de la aplicación del asfalto espumado. Se evalúa el diseño de mezcla a diferentes temperaturas (160 °C, 170 °C y 180 °C) con diferentes contenidos de agua (2%, 3% y 4%) añadidos a cada una de ellas. Asimismo, se buscó obtener el tipo (cal o cemento portland) y la cantidad óptima (1%) de filler activo. Sus principales conclusiones son:

- Es observado que un asfalto PG 64-16 es adecuado para la fabricación de asfalto espumado. Asimismo, nos recuerda que no se pueden utilizar asfaltos modificados.
- Para obtener una espumación de alta calidad, las condiciones óptimas fueron a 170 °C de temperatura con 2.7% de agua añadida. El

resultado de espumación nos proporcionó una vida media de 10.5 s, y una relación de expansión de 12.2 (veces).

- El filler activo conveniente es la cal, pues en condición saturada la mezcla con cemento portland pierde considerablemente su resistencia, obteniendo un valor de 13 kPa, a diferencia que la mezcla con cal que obtiene una resistencia de 166kPa.
- El contenido óptimo de asfalto espumado es de 2.4%, La obtención de cantidad óptima de asfalto fue de 2.0%, 2.5% y 3.0%. Sin embargo, con el contenido de asfalto del 2% se mejora las consideraciones económicas.
- Con un contenido óptimo de asfalto de 2.4% se logró alcanzar una Resistencia de Tracción Indirecta Seca de 227 kPa y una Resistencia de Tracción Indirecta Saturada de 197 kPa, las cuales cumplen con los valore límites propuestos.

Méndez et al. [6], en su tesis titulada “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando asfalto espumado”, presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil, publicado por la Universidad de El Salvador, El salvador, 2014. En esta investigación se pretende realizar un estudio del diseño de una mezcla asfáltica tibia con asfalto espumado que permita disminuir las emisiones... Para ello se realiza un estudio de las propiedades de espumación con una dosificación de agua de 2%, 3%, y 4% a una temperatura de 80 °C, 85 °C y 92 °C, respectivamente. Luego se realiza la compactación a distintas temperaturas (de 120 °C a 140 °C) para poder obtener la estabilidad y el flujo de la mezcla por medio del ensayo Marshall. Sus principales conclusiones son:

- Para obtener una espumación de calidad, las condiciones óptimas fueron a 92 °C de temperatura y 4 % de agua añadida. El resultado de espumación nos proporcionó una vida media de 8.0 s, y una relación de expansión de 14.0 (veces).
- Mediante la curva de compactación de las dos mezclas, se obtuvo temperaturas de compactación en campo de 102 °C y 106 °C, para la

mezcla asfáltica tibia y la mezcla asfáltica en caliente, tienen aproximadamente el mismo diferencial de temperatura.

- A través de la carta de viscosidad-temperatura, la temperatura de diseño para la compactación en laboratorio de la mezcla asfáltica en caliente puede ser entre 145 °C y 150 °C, mientras que para la mezcla asfáltica tibia es de 131 °C.
- En la evaluación de la resistencia de la mezcla bituminosa compactada al daño por humedad inducido (TSR), se observa que las mezclas asfálticas tibias son más propensas a sufrir daño por humedad. Para la mezcla asfáltica tibia se obtuvieron valores de TSR de 79.26% y 80.89% con temperaturas de producción de 145 °C y 155 °C, respectivamente. Estos valores son ligeramente menores que los obtenidos para la mezcla asfáltica en caliente que obtuvo un TSR de 86.36%.

Rosales [7], en su tesis titulada “Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente”, presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil, publicado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2011. En esta investigación se realiza una recopilación bibliográfica de las técnicas de reciclado en frío in-situ y la tecnología de asfalto espumado, mostrando los procesos constructivos, las herramientas de laboratorio y maquinarias requeridas para el reciclado del pavimento asfáltico y de esa manera proporcionar una guía para la rehabilitación de pavimentos. Sus principales conclusiones son:

- El diseño de mezclas asfálticas con asfalto espumado asegura la optimización de recursos
- Asegurar el control de calidad de los materiales, del proceso de reciclado, de los agentes estabilizadores a utilizar y del proceso constructivo en sí, proporcionará los resultados esperados de la obra.

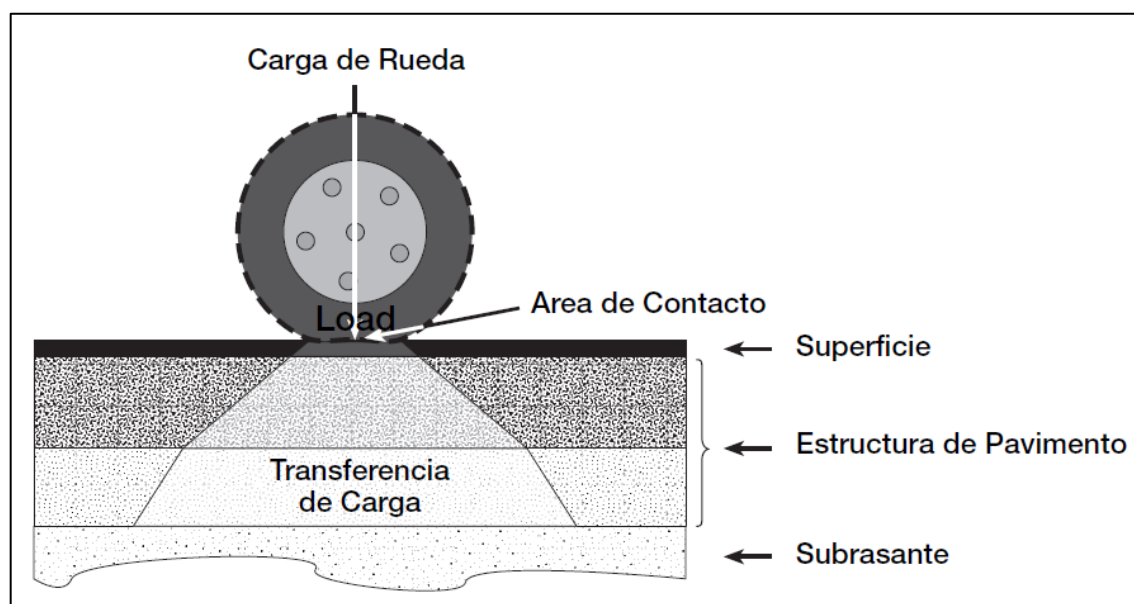
2.2. Marco conceptual

2.2.1. Pavimento

2.2.1.1. General

De acuerdo a Monsalve et al. [8], se puede definir al pavimento como una estructura estratificada horizontalmente, la cual se apoya sobre la subrasante (terreno natural), y que tiene como función resistir adecuadamente los esfuerzos de las cargas repetidas del tránsito y transferirlas a las capas inferiores.

Figura 2: Transferencia de carga en el pavimento



Fuente: Manual de reciclaje en frío - Wirtgen GmbH - 2004

Dependiendo del nivel de tensión a la que será sometida el pavimento, cada una de sus capas variará en el espesor y en el tipo de material para su constitución. De acuerdo a Wirtgen [9], las capas de la superficie con el propósito de soportar las altas tensiones originadas por las cargas de tráfico son construidas utilizando materiales de alta resistencia (por ejemplo, una mezcla asfáltica en caliente). Las capas inferiores pueden estar construidas por materiales de menor calidad (por ejemplo, materiales granulares) ya que a medida que la carga se distribuye en estas capas, el nivel de tensiones disminuye.

2.2.1.2. Tipos de pavimento

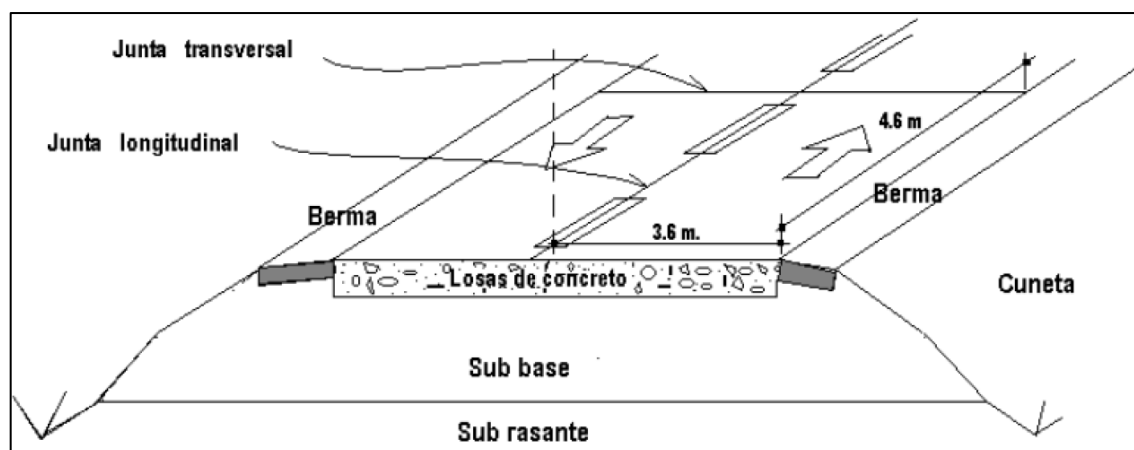
Wirtgen [9], clasifica a los pavimentos en dos tipos básicos: flexibles y rígidos. Sin embargo, Tapia [10], indica que los pavimentos pueden clasificarse en tres tipos: flexibles, rígidos y mixtos o compuestos.

Estos pavimentos se diferencian especialmente por la forma en que distribuyen las cargas y por el bloque estructural que presentan, pues no siempre un pavimento se constituye de las mismas capas.

2.2.1.2.1. Pavimentos rígidos

De acuerdo a Tapia [10], “en los pavimentos rígidos, la capa de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presentan un armado de acero”. Esta losa puede estar apoyada sobre una subbase (capa de material seleccionado) o sobre la subrasante.

Figura 3: Pavimento rígido



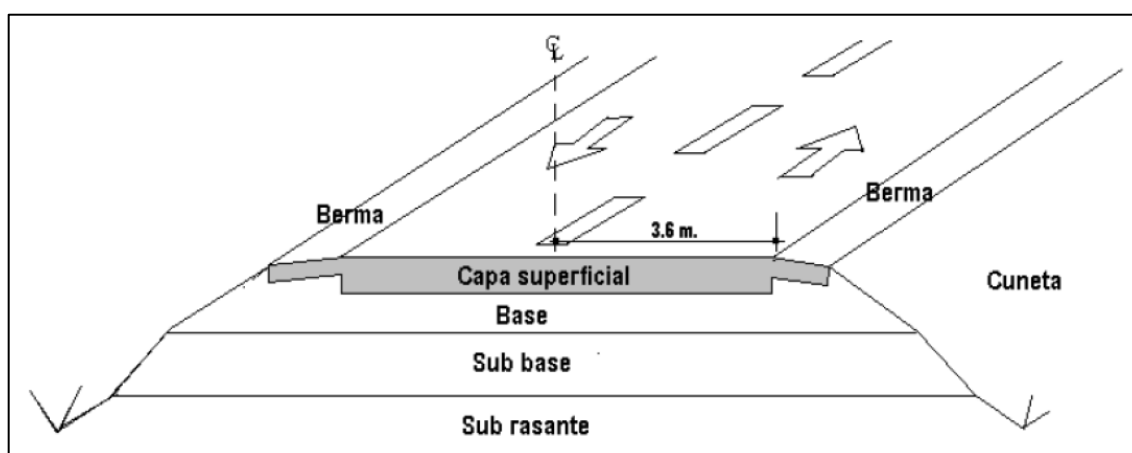
Fuente: *Diseño de pavimento flexible y rígido - Monsalve et al.*

Asimismo, Montejo [11], indica que “debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia”. De esta manera las fuerzas proyectadas por las cargas son asumidas y absorbidas por la losa de concreto. Adicionalmente, el mantenimiento que se requiere es mínimo.

2.2.1.2.2. Pavimentos flexibles

De acuerdo a Montejo [11], “este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra”.

Figura 4: Pavimento flexible



Fuente: Diseño de pavimento flexible y rígido - Monsalve et al.

Los pavimentos flexibles, son también conocidos como pavimentos asfálticos debido a que la capa superficial está constituida por mezcla asfáltica. Esta capa bituminosa se coloca sobre otras dos capas constituidas normalmente por materiales granulares, las cuales son la base y subbase del pavimento flexible. De esta manera las fuerzas proyectadas por las cargas son recibidas por la base granular. Si bien resultan más económicos en su construcción inicial, el mantenimiento que requiere es constante para cumplir con su vida útil.

2.2.1.2.3. Pavimentos mixtos o compuestos

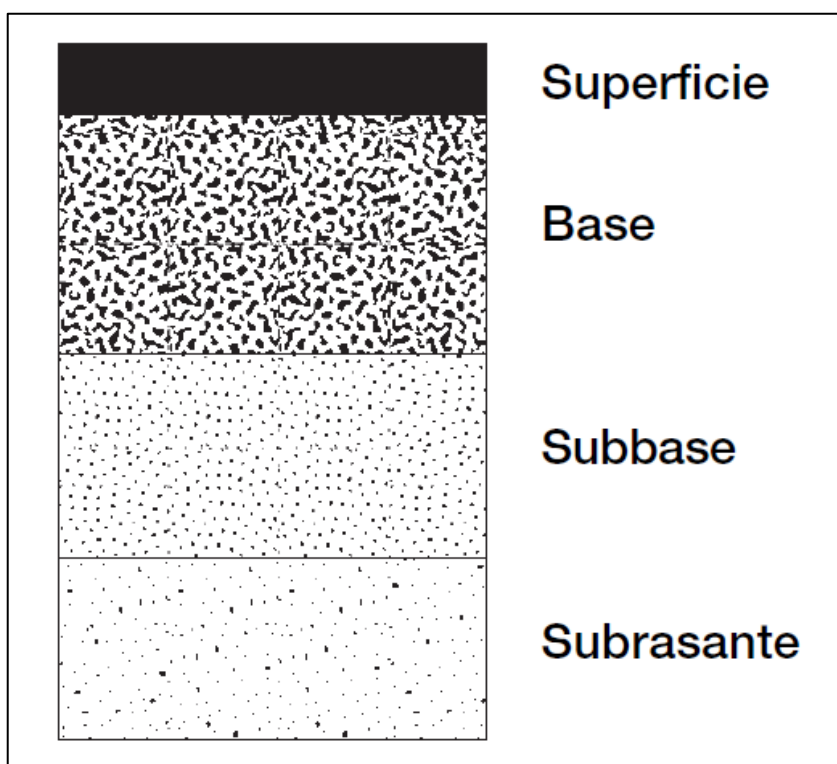
De acuerdo a Tapia [10], este pavimento se distingue por presentar una estructura mixta al estar compuesto por una capa de concreto hidráulico la cual está cubierta por una carpeta asfáltica.

Su empleo se realiza en calles que cuentan con la presencia de redes y servicios subterráneos, las cuales necesitan resguardarse de las fuerzas proyectadas por las cargas tránsito.

2.2.1.3. Componentes del pavimento

De acuerdo a lo que se ha ido mencionando anteriormente, los pavimentos se componen principalmente por: la superficie, la estructura del pavimento y la subrasante. Cada uno de estos componentes tiene un objetivo distinto y se definen a continuación:

Figura 5: Componentes del pavimento



Fuente: Manual de reciclaje en frío - Wirtgen GmbH - 2004

2.2.1.3.1. Carpeta de rodadura

Es la capa superficial del pavimento constituido con concreto hidráulico (rígido) o con mezcla asfálticas (flexible).

Su función principal es la de soportar en forma directa las solicitaciones del tráfico y absorber los esfuerzos horizontales y parte de los verticales [10].

2.2.1.3.2. Base

Es la capa adyacente a la carpeta de rodadura y generalmente está constituido por materiales granulares (para tránsito medio y ligero), sin embargo, también pueden estar constituidos por materiales granulares tratados (tránsito pesado).

Su función principal es absorber y distribuir la mayor parte de los esfuerzos verticales [10].

2.2.1.3.3. Subbase

Es la capa contigua a la base, la cual se construye con materiales cribados sobre la subrasante. Dependiendo de la capacidad de soporte de la subrasante, esta capa puede ser obviada.

Su función principal es otorgar un cimiento uniforme para la colocación de la base y servir como capa de drenaje [10].

2.2.1.3.4. Subrasante

La subrasante es la última capa que sostiene en su totalidad a la estructura del pavimento. Esta capa puede estar formado por dos tipos de materiales: material in-situ (terreno natural) o material importado (material seleccionado).

Su función principal es recibir, soportar y distribuir las cargas del tránsito sin dañar la integridad del pavimento [10].

2.2.1.4. Factores de deterioro del pavimento

Existen varios factores que intervienen en el deterioro del pavimento, sin embargo, Wirtgen [9] y Tapia [10], coinciden en establecer dos factores principales:

Figura 6: Deterioro del pavimento



Fuente: Wirtgen Cold Recycling Technology - Wirtgen GmbH - 2010.

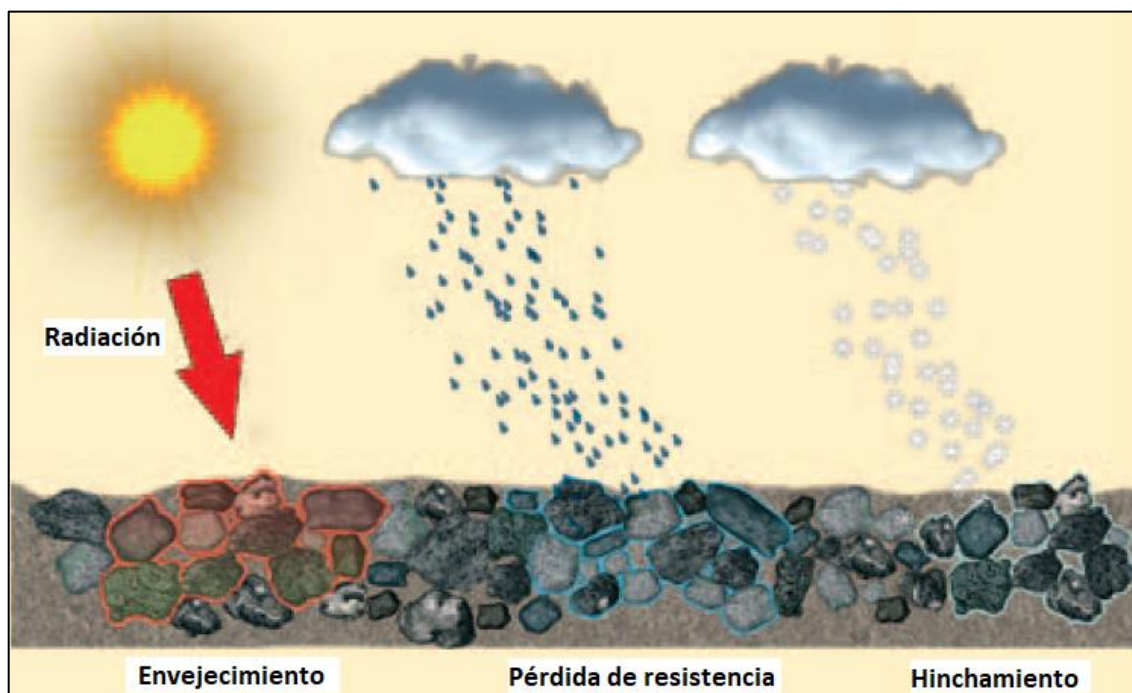
2.2.1.4.1. Efectos ambientales

La superficie de los pavimentos está expuesta a elementos naturales (sol, viento, lluvia y nieve). Estos fenómenos producen los siguientes efectos que son los responsables del deterioro del pavimento:

- Efectos térmicos: producen la dilatación y contracción del pavimento.
- Efectos de congelamiento: producen el fenómeno llamado hinchamiento.
- Efectos de radiación: producen la oxidación del asfalto, el cual lo vuelve frágil y origina un proceso llamado “envejecimiento”.

El agua es un elemento que también genera el deterioro de la estructura de un pavimento, ya que al ser saturado genera que los materiales que lo conforman se tornen deformables y disminuyan la capacidad de soporte [9].

Figura 7: Efectos ambientales que deterioran el pavimento



Fuente: *Wirtgen Cold Recycling Technology - Wirtgen GmbH - 2010*

En ese sentido, podemos decir que los efectos ambientales son los principales responsables de causar el inicio del agrietamiento superficial. Sin embargo, el factor que más contribuye con el deterioro del pavimento es la radiación ultravioleta solar, que provoca el endurecimiento de la capa asfáltica, aminorando su elasticidad y originando así el agrietamiento cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura. Adicionalmente, por medio del agrietamiento, el ingreso del agua a las capas inferiores es más fácil, lo cual acrecienta el proceso de deterioro.

2.2.1.4.2. Efectos del tráfico

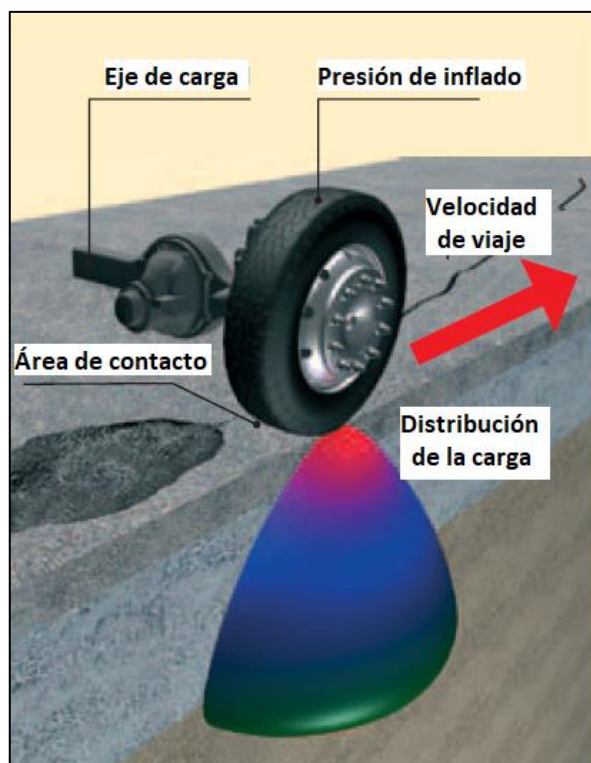
La estructura del pavimento está sometida a cargas que son aplicadas sobre la superficie por los neumáticos de los vehículos. Éste fenómeno es el responsable de la manifestación del ahuellamiento y de las grietas dentro de la estructura del pavimento, además se determina por 3 factores:

- La fuerza: determina la carga que lleva el neumático.
- La presión de inflado: determina el área de contacto.

- La velocidad de viaje: determina el periodo de exposición a una carga.

Claramente, estos efectos dependerán del tipo de vehículo, ya sean pesados o livianos [9].

Figura 8: Efectos del tráfico que deterioran el pavimento



Fuente: Wirtgen Cold Recycling Technology - Wirtgen GmbH

En ese sentido, podemos decir que la carga de tráfico de un vehículo genera una pequeña deformación momentánea en la estructura del pavimento. Esta deformación está condicionada por el tipo de vehículo que lo produzca, por ejemplo, los vehículos livianos generan una deformación insignificante, a comparación de los vehículos pesados que generan grandes deformaciones. Asimismo, es importante añadir que el paso de grandes cantidades de vehículos produce un efecto acumulativo que progresivamente conduce a una deformación permanente y/o agrietamiento de fatiga en el pavimento.

2.2.2. Materiales pétreos

2.2.2.1. General

Padilla [12], define a los materiales pétreos como elementos granulares sólidos inertes que se utilizan ampliamente en la constitución de la estructura (base y subbase) de pavimentos. Estos materiales también se usan en combinación con ligantes asfálticos o con aglomerantes de activación hidráulica (cemento o cal) para la constitución de la carpeta asfáltica.

Asimismo, Castaneda *et al.* [13], menciona que los agregados pétreos constituyen aproximadamente el 95% del peso total del pavimento y el 85% del volumen de la estructura.

2.2.2.2. Tipos de materiales pétreos

De acuerdo al origen del material pétreo y a la técnica empleada para su explotación, Padilla [12] y Castaneda *et al.* [13], determinan los siguientes tipos:

- **Agregados naturales**

“Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final” [12, p. 5].

Podemos expresar que los agregados naturales son usados en su forma natural, es decir, con muy poco o ningún procesamiento. Asimismo, estos agregados son producto de procesos naturales de erosión y degradación.

- **Agregados de trituración**

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales [13].

Podemos expresar que los agregados de trituración o también llamados agregados procesados, se obtienen a través de procesos de desintegración que se aplican a gravas naturales o lechos de rosa, con el fin de reducir su tamaño y volverlas más apropiadas.

- Agregados artificiales

“Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables” [12, p. 5].

Podemos expresar que los agregados artificiales, o también llamados agregados sintéticos, no existen en la naturaleza. Asimismo, estos agregados son producto de procesos industriales, tales como procesos físicos o químicos.

- Agregados marginales

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.2.2.3. Clasificación de los agregados de acuerdo a su tamaño

- Agregado grueso

Padilla [12], menciona que de acuerdo con el SUCS (Sistema de Clasificación de Suelos), se considera agregado grueso al material pétreo retenido en el tamiz N.º 4 (4.75 mm).

Asimismo, podemos mencionar que los agregados gruesos provienen de la trituración de rocas.

- Agregado fino

Padilla [12], menciona que de acuerdo con el SUCS (Sistema de Clasificación de Suelos), se considera agregado fino al material pétreo que pasa el tamiz N.º 4 y queda retenido en el tamiz N.º 200.

Asimismo, podemos mencionar que los agregados finos provienen de la trituración de piedra de cantero o grava natural.

- Polvo mineral (Filler)
Padilla [12], menciona que de acuerdo con el SUCS (Sistema de Clasificación de Suelos), se considera polvo mineral al material pétreo que pasa el tamiz N.º 200.

2.2.2.4. Propiedades de los materiales pétreos

Castaneda *et al.* [13], indica que los agregados poseen dos tipos de propiedades, las cuales son:

- Propiedades individuales
Los agregados como partículas individuales, presentan algunas propiedades físicas, por ejemplo: dimensión, forma, dureza, dilatación, densidad, porosidad y permeabilidad. Asimismo, muestran propiedades químicas, por ejemplo: solubilidad alterabilidad e hinchamiento.
- Propiedades de conjunto
Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. Es decir, las propiedades que presentan entre elementos, por ejemplo: el desgaste de los agregados generado por el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.2.2.5. Características de los agregados pétreos

Padilla [12], describe las principales características que deben poseer los agregados pétreos.

- Forma y angulosidad
De acuerdo a la forma individual de los agregados, se pueden presentar partículas redondeadas, alargadas, cuboides o planas.

Sin embargo, cada una de estas formas en conjunto influirán en la resistencia del esqueleto mineral al ser sometido a procesos de compactación o de tráfico.

- **Resistencia al desgaste**
Los agregados deben ser capaces de tener cualidades de resistencia al desgaste mecánico o químico. La forma indirecta, la evaluación de dicha resistencia se obtiene a través de ensayos de laboratorio donde se somete a los agregados a un proceso de desgaste.

- **Adhesividad**
Para el diseño de mezclas asfálticas, los agregados deben tener características adhesivas frente al ligante asfáltico. Sin embargo, esto dependerá en gran medida de la textura del material pétreo, específicamente de la rugosidad y/o porosidad que presenten.

- **Plasticidad y limpieza**
Para los trabajos de pavimentación, los agregados que conformarán alguna capa de firme, deben estar libres impurezas y de cualquier partícula orgánica, como polvo o arcillas. Asimismo, los finos deben tener valores de plasticidad mínimas.

2.2.2.6. Ensayos para los agregados pétreos

Los ensayos se realizarán de acuerdo con el procedimiento que nos indica el Manual de Ensayo de Materiales, edición Mayo del 2016, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [14]. A continuación, se menciona los ensayos recomendados para los agregados pétreos (finos y gruesos).

SECCIÓN N.º 01 SUELOS:

- MTC E 110: Determinación del límite líquido de los suelos.
- MTC E 111: Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.).

- MTC E 114: Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

SECCIÓN N.º 02 AGREGADOS:

- MTC E 201: Muestreo para materiales de construcción.
- MTC E 204: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- MTC E 205: Gravedad específica y absorción de agregados finos.
- MTC E 206: Peso específico y absorción de agregados gruesos.
- MTC E 207: Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”).
- MTC E 209: Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio.
- MTC E 210: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.
- MTC E 214: Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado.
- MTC E 219: Sales solubles en agregados.
- MTC E 222: Angularidad del agregado fino.
- MTC E 223: Partículas chatas y alargadas en agregados.

2.2.2.7. Especificaciones técnicas para los agregados pétreos

De acuerdo al Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) [15], en el capítulo IV Pavimentos Flexibles, Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente; los agregados deben cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla 1: Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángulos	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 206	1.0% máx.	1.0 % máx.

Fuente: Manual de Carreteras - EG 2013

Tabla 2: Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción**	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de Carreteras - EG 2013

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la

Tabla 3. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones específicas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

Tabla 3: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

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

Fuente: Manual de Carreteras - EG 2013

2.2.3. Materiales asfálticos

2.2.3.1. General

Velázquez [16], define al asfalto como un material aglomerante color negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, constituido principalmente por betunes obtenidos naturalmente o por medio de la destilación de petróleo. Asimismo, The Asphalt Institute [17], menciona que “el asfalto usado en pavimentación, generalmente es llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso.”

En relación a este último, podemos decir que, el asfalto es un estupendo cemento para adherir partículas de agregados durante la producción de mezclas asfálticas, ya que su consistencia viscosa y pegajosa le permite cubrir y adherirse fácilmente a los agregados.

2.2.3.2. Tipos de materiales asfálticos

De acuerdo a Valle [18] y al MTC [15], los asfaltos más comunes son los siguientes:

2.2.3.2.1. Cementos asfálticos (AC)

Valle [18], menciona que el cemento asfáltico es un asfalto refinado, o una mezcla de asfalto refinado y aceite fluidificante, el cual posee una consistencia adecuada para las labores de pavimentación.

Por su parte, el MTC [15], indica que el cemento asfáltico se clasifica en dos grupos:

- Según su grado de penetración:
Se cuenta con los siguientes grados: PEN 40-50, PEN 60-70, PEN 85-100, PEN 120-150 y PEN 200-300.
- Según su grado de viscosidad:
Se cuenta con los siguientes grados: AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20 Y AC-40.

Asimismo, recomienda el empleo de cementos asfálticos por penetración de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona (temperatura media anual).

Tabla 4: Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura media anual			
24 °C o más	24 °C – 15 °C	15 °C – 5 °C	Menos de 5 °C
40-50 60-70 Modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto modificado

Fuente: Manual de Carreteras - EG 2013

2.2.3.2.2. Asfaltos líquidos

De acuerdo a Valle [18], “es un cemento asfáltico licuado mediante la adición de un fluidificante (destilado de petróleo ligero y volátil).

Cuando se halla expuesto a la intemperie, se evapora el destilado volátil, quedando únicamente el cemento asfáltico”. Asimismo, nos menciona que existen tres tipos de asfalto líquido:

- Asfalto líquido de curado rápido (RC - Rapid Cured).
- Asfalto líquido de curado medio (MC – Medium Cured).
- Asfalto líquido de curado lento (SC – Slow Cured).

2.2.3.2.3. Asfaltos emulsionados

Es una emulsión de cemento asfáltico y agua, conteniendo una pequeña cantidad de agente emulsivo. Se cuenta con los siguientes tipos:

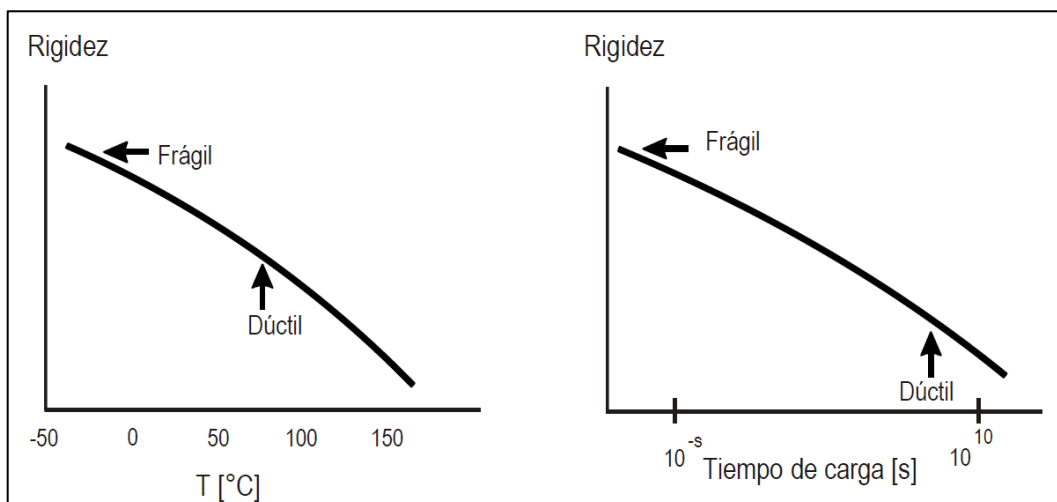
- De asentamiento rápido: RS-1 y RS-2.
- De asentamiento medio: MS-1.
- De asentamiento lento: SS-1.

2.2.3.3. Comportamiento del cemento asfáltico

Los materiales asfálticos tienen una naturaleza viscoelástica, es decir, su comportamiento obedece a dos factores importantes: la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga.

A altas temperaturas el asfalto posee menos rigidez y a manera que la temperatura disminuye el asfalto se torna más rígido. Sin embargo, a temperaturas muy bajas el asfalto se vuelve frágil y puede llegar a agrietarse. Del mismo modo, cuando las cargas que se aplican son lentas el asfalto posee menor rigidez y cuando las cargas son rápidas el asfalto tiene mayor rigidez [19].

Figura 9: Comportamiento del asfalto



Fuente: *Diseño moderno de pavimentos asfálticos* - S. Minaya G. y A. Ordóñez H.

2.2.3.4. Ensayos para los materiales asfálticos

Los ensayos se realizarán de acuerdo con el procedimiento que nos indica el Manual de Ensayo de Materiales, edición Mayo del 2016, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [14]. A continuación, se menciona los ensayos recomendados para los materiales asfálticos:

SECCIÓN N.º 03 BITÚMENES:

- MTC E 301: Muestreo de materiales bituminosos.
- MTC E 302: Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno.
- MTC E 304: Penetración de los materiales bituminosos.
- MTC E 306: Ductilidad de los materiales bituminosos.
- MTC E 310: Viscosidad cinemática de asfaltos.
- MTC E 312: Punto de inflamación mediante la copa abierta TAG.
- MTC E 314: Ensayo de la Mancha (Oliensis) materiales asfálticos.

2.2.4. Mezclas asfálticas

2.2.4.1. General

Las mezclas asfálticas se definen como la combinación de materiales pétreos (agregado grueso y fino) bien graduados y materiales asfálticos (cemento asfáltico) como ligante en proporciones exactas,

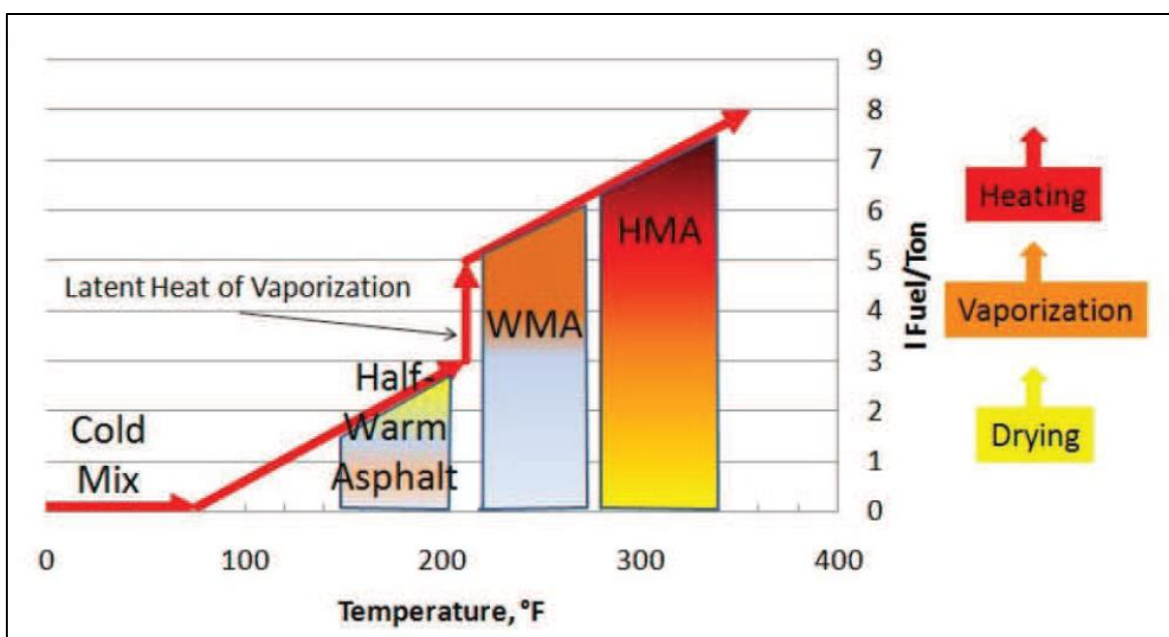
de manera que todas las partículas del agregado queden bien cubiertas por la película homogénea de ligante [20].

Asimismo, Padilla [12], menciona que las mezclas asfálticas presentan una combinación aproximada de 95% de material pétreo y 5% de material asfáltico, además indica que estas mezclas se emplean en la construcción de firmes (capas de rodadura).

2.2.4.2. Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura

De acuerdo a García [21], existen distintas maneras de trabajar con materiales bituminosos para lograr que el agregado sea cubierto por la película de asfalto. La forma de aplicación para producir mezclas asfálticas dependerá de la temperatura con la cual la viscosidad del ligante permita trabajabilidad en la mezcla.

Figura 10: Tipos de mezclas asfálticas según su temperatura de aplicación



Fuente: Comparación del comportamiento mecánico de mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente – M. García C.

Es por ello que de acuerdo a su temperatura de aplicación podemos tener cuatro tipos de mezclas asfálticas, las cuales son:

2.2.4.2.1. Mezclas asfálticas en frío

Las mezclas asfálticas en frío (CMA – Cold Mix Asphalt), se desarrollaron para poder trabajar con el asfalto a temperatura ambiente, inferiores a los 60 °C. Asimismo, en este tipo de mezclas se trabaja con diluidos o con emulsiones asfálticas para conseguir el recubrimiento del ligante sobre los agregados a temperaturas bajas.

2.2.4.2.2. Mezclas tibias

Las mezclas asfálticas tibias (WMA – Warm Mix Asphalt), son mezclas calientes en las cuales, mediante aditivos o agua, se cambian ciertas propiedades físicas del asfalto permitiendo que este se mezcle y compacte a temperaturas inferiores a las de las mezclas calientes.

2.2.4.2.3. Mezclas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente (HWA – Hot Mix Asphalt), son mezclas convencionales de agregados y bitumen que, para lograr un adecuado recubrimiento y compactación, se trabajan a altas temperaturas. Por lo general la temperatura de mezcla es de aproximadamente 160 °C y la temperatura de compactación es de 130 °C.

2.2.5. Diseño de mezclas asfálticas

2.2.5.1. General

“El diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en gran parte, en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas en el pavimento terminado” [17].

En otras palabras, el propósito general del diseño de mezclas asfálticas es determinar una combinación y proporción óptima de agregado y asfalto que cumplan con las características necesarias para producir una mezcla de calidad que garantice el cumplimiento satisfactorio de todos los parámetros y criterios establecidos.

2.2.5.2. Factores de diseño de mezclas asfálticas

La elaboración de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles depende en gran medida de los principios considerados antes, durante y después de su diseño.

Tapia [10], establece tres factores que influyen en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos: factores estructurales, factores económicos y factores de medio ambiente. Estos tres factores son los que configuran el diseño de mezclas asfálticas e influyen directamente en la calidad del pavimento. La correcta consideración de todos los factores que influyen en el diseño de una mezcla asfáltica es fundamental para conseguir un pavimento estable, económico y favorable con el medio ambiente.

2.2.5.2.1. Factores estructurales

De acuerdo a Minaya y Ordóñez [19], las propiedades estructurales consideradas en el diseño de mezclas asfálticas son las siguientes:

- **Estabilidad**
Es la capacidad que posee la mezcla asfáltica para poder soportar las deformaciones que generan las cargas de tránsito. La estabilidad depende proporcionalmente del porcentaje de asfalto añadido, es decir, a mayor porcentaje de asfalto la mezcla asfáltica se vuelve más estable. Sin embargo, esto tiene un punto límite que al ser superado empieza a disminuir su estabilidad.

- **Durabilidad**
Es la capacidad que posee la mezcla asfáltica para poder soportar la desintegración de los agregados pétreos e impedir que se separe la película de asfalto. En ese sentido, la durabilidad de la mezcla asfáltica dependerá de la calidad de los agregados y el espesor de la película de asfalto.

- **Trabajabilidad**
Es la capacidad que posee la mezcla asfáltica para poder facilitar el trabajo de mezclado, colocado y compactado. Esta propiedad depende en gran medida del control de temperatura, ya que a menor temperatura la trabajabilidad de la mezclase hace más difícil.

- **Flexibilidad**
Es la capacidad que posee la mezcla asfáltica para poder resistir deformaciones sin llegar a agrietarse.

- **Resistencia a la fatiga**
Es la capacidad que posee la mezcla asfáltica para poder resistir las flexiones constantes. Esta resistencia está relacionada de manera profunda con el asfalto, pues los asfalto oxidados no presentan resistencia a la fatiga.

2.2.5.3. Métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente

El diseño de mezclas asfálticas en caliente se realiza mediante pruebas de estabilidad, utilizando uno de los siguientes métodos:

- Método Marshall.
- Método de Nottingham.
- Método Hubbard-Field.
- Método Hveem.
- Método Triaxial de Smith.

2.2.6. Asfalto espumado

2.2.6.1. General

De acuerdo a Thenoux y Jamet [22], el asfalto espumado es un método relativamente nuevo que permite producir mezclas asfálticas de una manera diferente, pero con un comportamiento estructural similar al de una mezcla convencional. Asimismo, mencionan que las mezclas con asfalto espumado presentan ventajas de tipo energéticas y ambientales frente a mezclas tradicionales.

El origen de este método se da en el año 1956 con el profesor Ladis Csanyi, quien investigó por primera vez el uso potencial del asfalto espumado en mezclas asfálticas. Posteriormente, en 1968 la organización Mobil Oil mejora esta tecnología al desarrollar la primera cámara de expansión para mezclar agua fría con asfalto para generar espuma. Adicionalmente, “el sistema desarrollado por Wirtgen a mediados de los ‘90 inyecta tanto aire como agua al asfalto en la cámara de expansión” [9, p. 81].

2.2.6.2. Proceso de espumación

La espumación del asfalto es un proceso físico de intercambio de calor que se aplica al asfalto virgen para poder expandirlo. Este proceso consiste en la inyección de una pequeña cantidad de agua fría (generalmente de 1 a 3 % del peso del asfalto) y aire al asfalto caliente dentro de una cámara de expansión. En el momento que el agua fría entra en contacto con el asfalto en caliente, se crean instantáneamente burbujas con una delgada película de asfalto llenas de vapor de agua [22].

Figura 11: Proceso de espumación

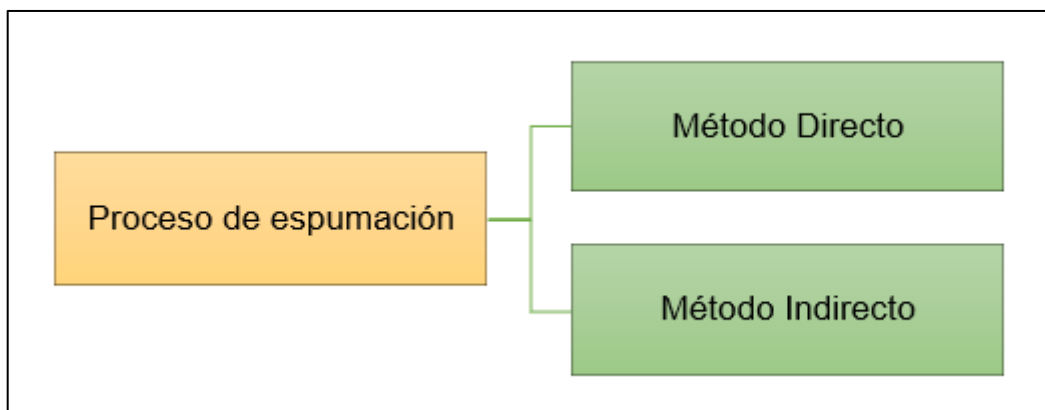


Fuente: Betún espumado – Wirtgen

2.2.6.2.1. Tipos de proceso de espumación

Las técnicas empleadas para el proceso de espumación, se basan en la manera en que se añade el agua en la mezcla. Por su parte, Torres y Noreña [23], mencionan que existen dos métodos:

Figura 12: Tipos de proceso de espumación



Fuente: Elaboración propia

a. Método directo

Consiste en la “inyección” de agua fría de manera directa al asfalto caliente, para ello es necesario que este proceso se lleve a cabo dentro de una cámara de expansión.

b. Método indirecto

Consiste en incluir materiales que contengan agua en su estructura molecular, por ejemplo, Zeolita sintética. De esa manera, al entrar en contacto con el asfalto caliente, de manera indirecta el agua genera una micro espuma en la mezcla.

2.2.6.3. Características del asfalto espumado

Wirtgen [9], indica que el asfalto espumado se caracteriza por dos propiedades fundamentales:

- Razón de expansión

Se define a la razón de expansión como una medida de la viscosidad de la espuma, la cual define el número de veces que se expande el asfalto espumado con respecto a su volumen original. Asimismo, determina la calidad de dispersión del asfalto en la mezcla.

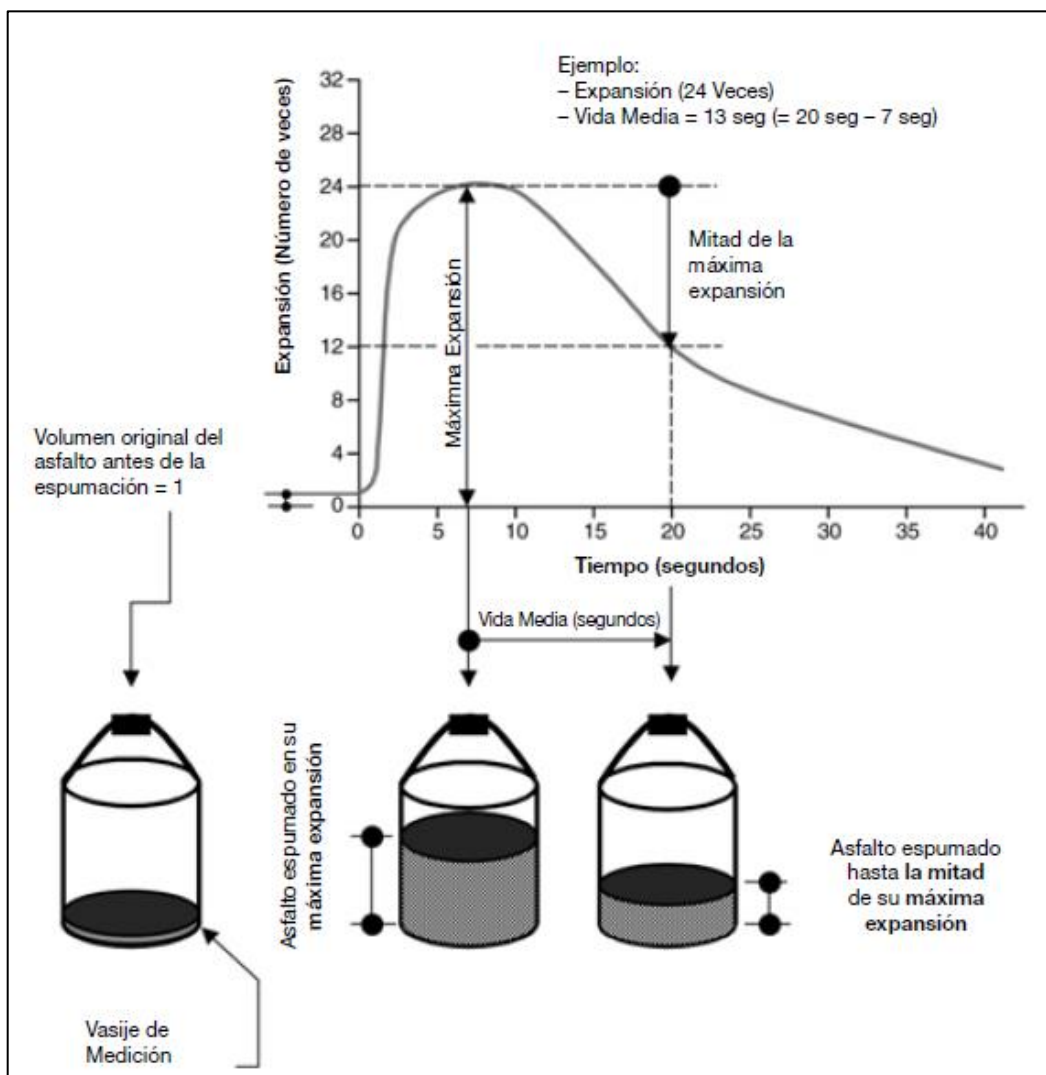
La razón de expansión se calcula al dividir el volumen del asfalto espumado en máxima expansión entre el volumen original del asfalto antes de la espumación.

- Vida media

Se define a la vida media como una medida de la estabilidad de la espuma, la cual proporciona una indicación del tiempo de colapso de la espuma desde su máxima expansión hasta la mitad de ella.

La vida media se calcula como el tiempo, en segundos, que pasa para que la espuma colapse a la mitad de su volumen máximo.

Figura 13: Características del asfalto espumado



Fuente: Manual de reciclaje en frío – Wirtgen

Asimismo, se deben comprobar las propiedades espumantes del asfalto que se pretende usar, con la intención de hallar la combinación correcta entre la temperatura del asfalto y el porcentaje de agua añadido para poder obtener un óptimo espumado.

Si bien, no hay límites superiores para las propiedades de la espuma, existen valores mínimos que deben cumplir para producir una buena calidad de espuma. Estos parámetros hallados en el laboratorio serán utilizados en obra a una escala real.

Tabla 5: Valores mínimos para el proceso de espumación

Temperatura del agregado	10 °C a 25 °C	Mayor a 25 °C
Razón de Expansión (veces)	10	8
Vida Media (segundos)	6	6

Fuente: Wirtgen Cold Recycling Technology – Wirtgen GmbH - 2010

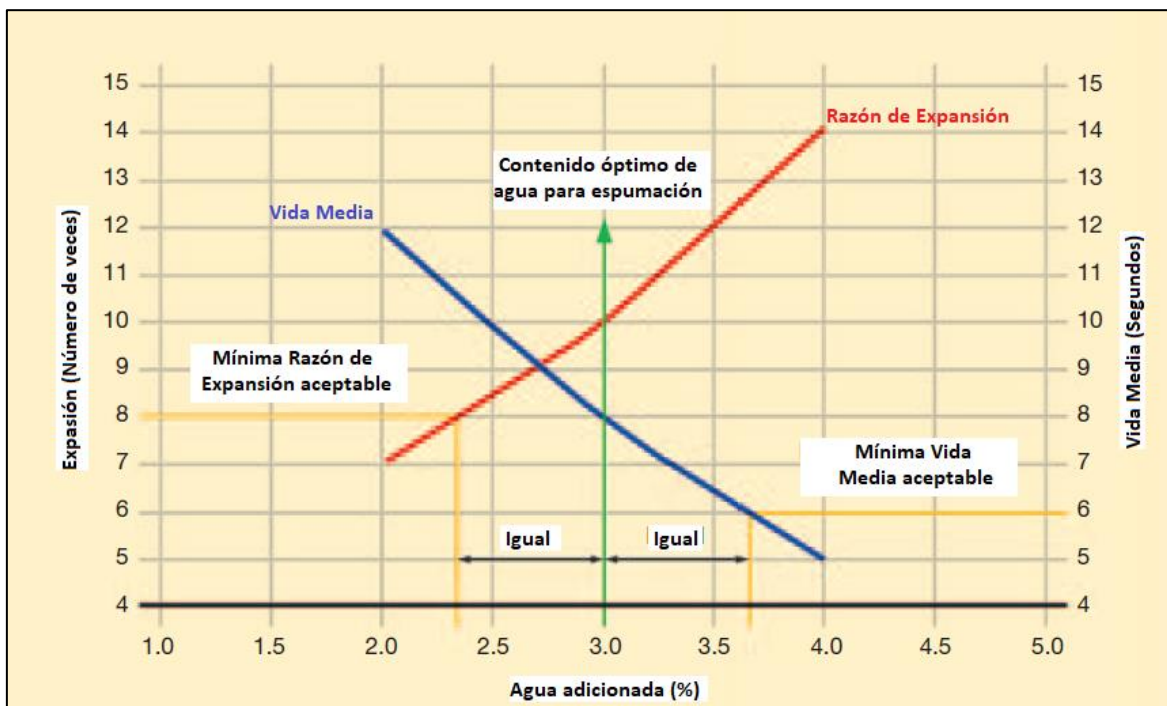
2.2.6.4. Factores que influyen en las propiedades de la espuma

Wirtgen [9], considera que, para obtener una espuma de calidad, es necesario optimizar tanto la expansión como la vida media. Asimismo, la razón de expansión y la vida media del asfalto espumado se ven afectados por los siguientes factores:

2.2.6.4.1. Adición de agua

Incrementar la cantidad de agua que se añade al asfalto aumenta el tamaño de las burbujas creadas, ocasionando que se eleve efectivamente el volumen de espuma (tasa de expansión). Sin embargo, el aumentar el tamaño individual de las burbujas disminuye el espesor de la película del asfalto que las rodea, haciéndolas menos estables y resultando en una reducción de la vida media. Por ello, la razón de expansión y la vida media están relacionados de forma inversa a la cantidad de agua que es añadida [9].

Figura 14: Relación entre propiedades del asfalto espumado



Fuente: Wirtgen Cold Recycling Technology – Wirtgen GmbH - 2010

2.2.6.4.2. Tipo de asfalto

Por lo general se deben utilizar asfaltos con valores de penetración entre 80 y 150 que cumplan con los requisitos mínimos para espumar. Asimismo, se deben evitar los asfaltos muy rígidos ya que producen una espuma de mala calidad, generando una dispersión más pobre [9].

Tabla 6: Valores de razón de expansión y vida media por el tipo de asfalto

Penetración del Asfalto	Razón de Expansión	Vida Media (Seg)
60 / 70	10 - 12	8 - 12
80 / 100	10 - 15	9 - 14
150 / 200	15 - 22	12 - 18

Fuente: Manual de reciclaje en frío Wirtgen - Loundon, A. A. & Partners

2.2.6.5. Aplicaciones del asfalto espumado

Según Thenoux y Jamet [24], mencionan que el asfalto espumado tiene dos tipos de aplicaciones: el reciclado en frío de pavimentos asfálticos y la estabilización de suelos. Asimismo, nos indica que ambas aplicaciones pueden ejecutarse in-situ (mediante tecnología) y en planta.

- **Reciclado en frío de pavimento asfálticos**
Consiste en la recuperación del material de un pavimento existente, el cual es mezclado con asfalto espumado, adiciones (cemento o cal) y agregados nuevos (si es necesario) para formar una base asfáltica que será colocada en el mismo lugar o en otro distinto.
- **Estabilización de suelos**
Consiste en la estabilización de suelos de relativa baja plasticidad ($IP < 16$) con asfalto espumado, en donde los suelos pueden provenir de la recuperación de áridos de un camino sin pavimentar o nuevos pozos.

2.3. Definición de los términos

- **Agregado:** Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- **Asfalto:** Material cementante, entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo.
- **Bitumen:** Tipo de sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semisólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburo de alto peso molecular.
- **Cemento asfáltico:** Asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.
- **Durabilidad:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación que describe su habilidad para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico.

- Estabilidad: Habilidad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
- Flexibilidad: Habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse a asentamientos en la fundación. Generalmente, un alto contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.
- Penetración: Consistencia de un material bituminoso expresada como la distancia, en décimas de milímetros (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente en una muestra de material, bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.
- Polvo mineral: Porción de agregado fino que pasa el tamiz de 0.075 mm (#200).
- Resistencia a la fatiga: Habilidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por el paso de las cargas de las ruedas. Generalmente, entre más alto el contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.
- Tamiz: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.
- Trabajabilidad: Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.
- Viscosidad: Es una medida de la resistencia al flujo. Es un método usado para medir la consistencia del asfalto.
- Volumen de vacíos: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El método de asfalto espumado mejorará los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima.

2.4.2. Hipótesis específicas

- 1) La calidad de espuma asfáltica actuará de manera positiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.

- 2) La calidad de los agregados contribuirá de manera efectiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 3) El método de asfalto espumado mejorará los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 4) El método de asfalto espumado optimizará los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.
- 5) El método de asfalto espumado afectará de manera positiva los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de variable

- Variable independiente (X): Método de asfalto espumado
La técnica de asfalto espumado permite expandir el volumen del asfalto y producir mezclas asfálticas de un modo diferente a las tradicionales. Las mezclas con asfalto espumado presentan ventajas especiales frente a las mezclas tradicionales, las más importantes son las del tipo energéticas y ambientales.
- Variable dependiente (Y): Factores de diseño de mezclas asfálticas
Son elementos que influyen de manera directa en el diseño y elaboración de una mezcla asfáltica. Estos factores se ven reflejados al final en calidad del pavimento.

2.5.2. Definición operacional de la variable

- Variable independiente (X): Método de asfalto espumado
Diseño de mezcla asfáltica a través de un proceso mecánico-energético, en el cual se produce espuma asfáltica para poder mezclar los agregados.
- Variable dependiente (Y): Factores de diseño de mezclas asfálticas
Son principios que configuran el diseño de una mezcla asfáltica e involucran en su diseño consideraciones estructurales, económicos y de medio ambiente.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Cuadro 1: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO	D1: Calidad de espuma asfáltica	I1: Razón de expansión. I2: Vida media.
		D2: Calidad de los agregados	I1: Distribución granulométrica. I2: Plasticidad. I3: Condición de humedad. I4: Resistencia al desgaste. I5: Forma y estructura.
VARIABLE DEPENDIENTE	FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	D1: Factores estructurales	I1: Estabilidad. I2: Flujo. I3: Vacíos. I4: Peso unitario.
		D2: Factores económicos.	I1: Presupuesto. I2: Análisis de costos unitarios.
		D3: Factores de medio ambiente.	I1: Consumo de combustible

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método de investigación seleccionado para el presente estudio fue el método científico, el cual a través de una serie de etapas busca alcanzar un conocimiento válido desde una perspectiva científica.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación para este estudio fue una investigación aplicada, ya que hacemos uso de conocimientos teóricos con el propósito de aplicarlos de una manera práctica para satisfacer una necesidad social o dar solución a un determinado problema.

3.3. Nivel de investigación

Este estudio presentó un nivel de investigación descriptiva – explicativa, debido a las siguientes peculiaridades:

- Es una investigación descriptiva porque nuestra meta inicial consiste en describir los fenómenos y sucesos que se presenten en esta investigación, de igual manera buscamos detallar las características y propiedades de las mezclas asfálticas que se someten a análisis [25].
- Es una investigación explicativa porque nuestra meta va más allá de solo la descripción de los sucesos, si no, también buscamos responder las

causas de los fenómenos y eventos. Es decir, nuestro interés es explicar por qué ocurre esos sucesos [25].

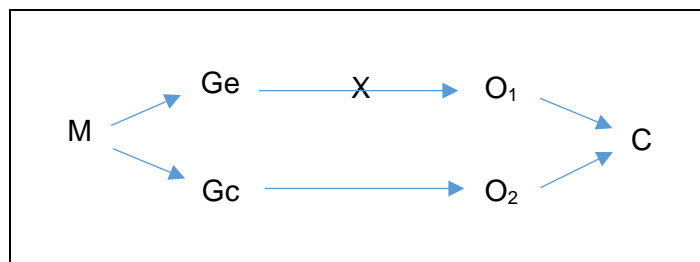
3.4. Diseño de la investigación

Esta investigación presentó un diseño cuasiexperimental, debido a que se manipuló deliberadamente la variable independiente (método de asfalto espumado) para observar el efecto y la relación con la variable dependiente (factores de diseño de mezclas asfálticas) [26]. Asimismo, el diseño que se planteó fue un diseño de comparación con dos grupos estáticos, debido a que presentó las siguientes características:

- Se utilizó un grupo experimental (mezcla asfáltica modificada) y un grupo de control (mezcla asfáltica convencional).
- Las unidades de prueba no se asignaron de manera aleatoria a ningún grupo, ni se realizaron mediciones previas al experimento de la variable dependiente.

Esquema de diseño:

Figura 15: Esquema de diseño



Fuente: elaboración propia

Donde:

M: Muestra (Mezcla asfáltica en caliente).

Ge: Grupo experimental (Mezcla asfáltica modificada - asfalto espumado).

Gc: Grupo control (Mezcla asfáltica convencional - asfalto en caliente).

X: Variable independiente (método de asfalto espumado)

O₁: Medición de la variable dependiente (Factores de diseño de mezclas asfálticas)

O₂: Medición de los factores de diseño de mezclas asfálticas del grupo control.

C: Comparación

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Para esta investigación, la población de estudio fueron los tipos de diseño de mezclas asfálticas aplicados en la provincia de Lima para la construcción de pavimentos flexibles, las cuales son:

- Diseño de mezclas asfálticas en caliente.
- Diseño de mezclas asfálticas en frío.

3.5.2. Muestra

En la presente investigación, la muestra fue de tipo no probabilístico dirigido. En ese sentido, nuestra muestra será el diseño de mezcla asfáltica en caliente, para lo cual se diseñará y evaluarán 6 briquetas de mezclas asfálticas:

- Diseño de mezcla asfáltica convencional: 3 briquetas
- Diseño de mezcla asfáltica modificada: 3 briquetas.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Recolección de datos

La recolección de los datos e información necesarios para lograr los objetivos trazados en esta investigación, se basarán en los siguientes puntos:

- a. Propiedades espumantes del asfalto.
- b. Propiedades mecánicas de los agregados.
- c. Propiedades estructurales de la mezcla asfáltica.
- d. Costo de producción de la mezcla asfáltica.
- e. Consumo de combustible en la producción de mezcla asfáltica.

Asimismo, es necesario detallar las fuentes (hechos o documentos) a las cuales acudiremos para poder adquirir información, las cuales se dividirán en dos:

a. Fuentes primarias

Para esta investigación, la información de primera mano se obtendrá de manera directa y de manera confiable a través de los hechos que se presencien directamente en el trabajo de campo, de laboratorio y de gabinete.

- Trabajo de campo.
 - Canteras de agregados: Jicamarca y La gloria.
 - Laboratorio: Ensayos de agregados y mezclas asfálticas.
- Trabajo de gabinete.

b. Fuentes secundarias

Para esta investigación, las fuentes secundarias a las que se acudirá para obtener información serán los materiales impresos y digitales.

- Material impreso.
 - Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.
 - Manual de ensayo de materiales - MTC.
- Material digital.
 - Manual de reciclado en frío – Wirtgen (asfalto espumado).

3.6.2. Técnicas de recolección

Según Méndez [27, p. 248], “las técnicas son los medios empleados para recolectar la información”.

Las técnicas que utilizaremos para la recolección de datos e información serán las siguientes:

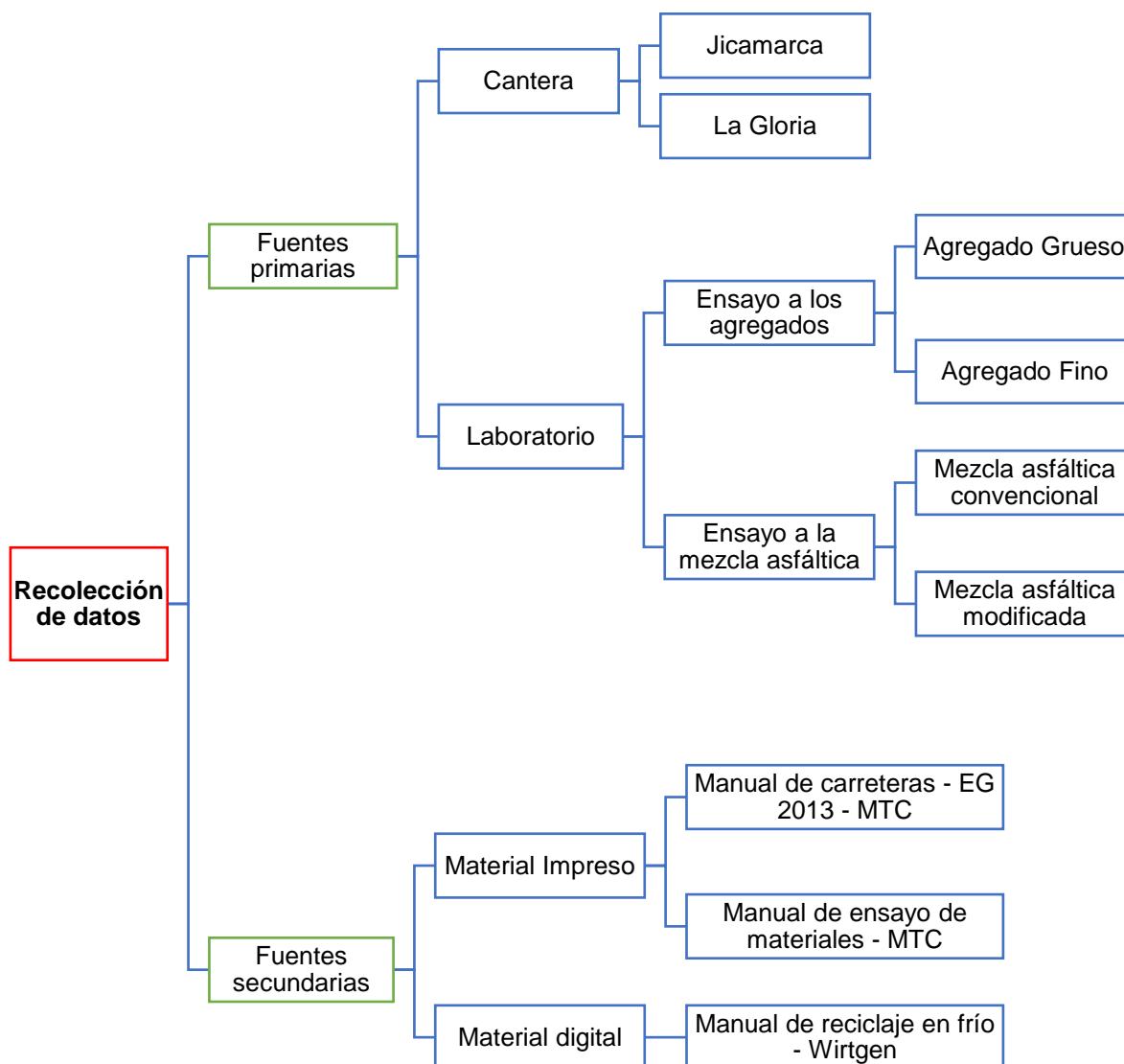
- Observación
Análisis y registro de la calidad de espuma asfáltica, calidad de los agregados y comportamiento de las mezclas asfálticas a investigar, así como como los acontecimientos que ocurran antes, durante y después de su diseño.
- Análisis de contenido
Esta técnica será utilizada para el sondeo y examen cuantitativo de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio.

3.6.3. Instrumentos de recolección

- Instrumentos
 - Guías de observación.
 - Guías de laboratorio (reportes).

3.6.4. Procesos para la recolección

Figura 16: Procesos para la recolección de datos



Fuente: elaboración propia

3.7. Procesamiento de la información

3.7.1. Selección y ubicación de canteras

Los materiales pétreos (agregados minerales grueso y finos) se obtendrán de la cantera Jicamarca.

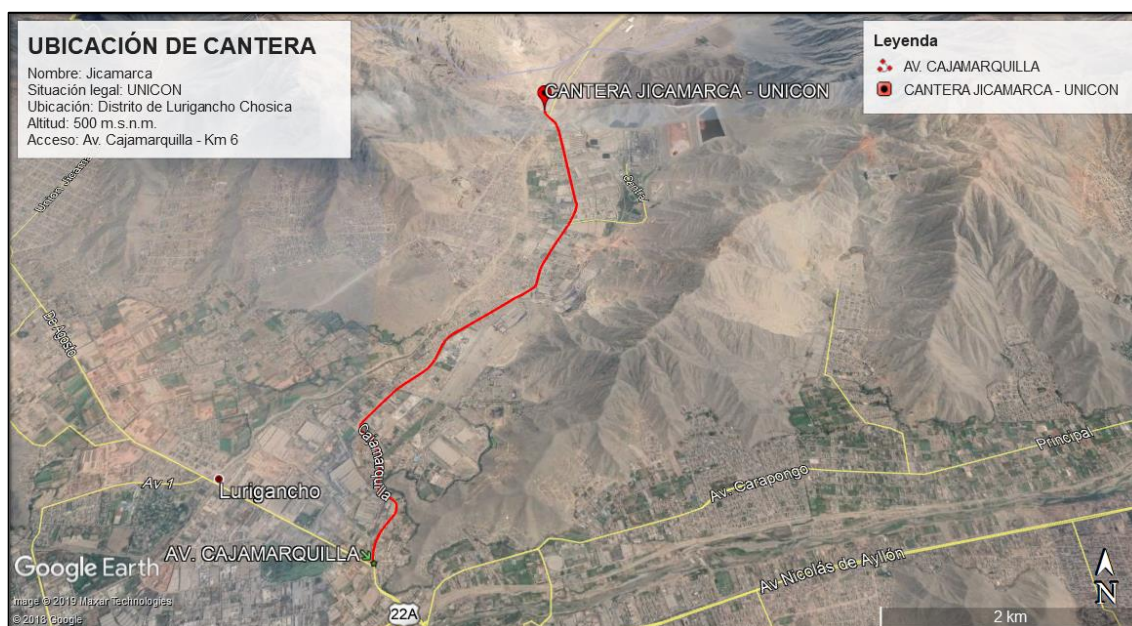
a. Cantera Jicamarca

- Situación legal:

La cantera Jicamarca está gestionada por la empresa UNICON.

- **Ubicación:**
La cantera Jicamarca está ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica, provincia y departamento de Lima.
- **Coordenadas UTM:**
X: 293835.92
Y: 8677248.04
- **Altitud:**
La cantera Jicamarca se encuentra a una altitud aproximada de 500 msnm.
- **Acceso:**
La cantera Jicamarca está ubicada en el kilómetro 6 de la Av. Cajamarquilla del distrito de Lurigancho-Chosica.

Figura 17: Ubicación de la cantera Jicamarca



Fuente: Elaboración propia - Google Earth Pro

Fotografía 1: Ingreso de la cantera Jicamarca



Fuente: Fotografía propia - cantera Jicamarca

Fotografía 2: Acopio de agregado grueso - cantera Jicamarca



Fuente: Fotografía propia - cantera Jicamarca

b. Cantera La Gloria

- Situación legal:

La cantera La Gloria está gestionada por la empresa Firth Industries Perú SA.

- Ubicación:

La cantera La Gloria está ubicada en el distrito de Ate, provincia y departamento de Lima.

- Coordenadas UTM:

X: 298511.00

Y: 8670829.00

- Altitud:

La cantera La Gloria se encuentra a una altitud aproximada de 650 msnm.

- Acceso:

La cantera La Gloria está ubicada en la “Ruta a La Gloria”, que se accede por la Av. Nicolas Ayllón Km 14.8.

Figura 18: Ubicación de la cantera La Gloria



Fuente: Elaboración propia - Google Earth Pro

Fotografía 3: Acopio de agregado fino - cantera La Gloria



Fuente: Fotografía propia - cantera La Gloria

3.7.2. Ensayo de calidad de espuma asfáltica

Para poder determinar las propiedades espumantes del asfalto, se realizó un ensayo para poder medir la razón de expansión (volumen expandido) y la vida media (duración de la expansión máxima).

El diseño de la espuma asfáltica dependerá de:

- El tipo de cemento asfáltico: Cemento asfáltico PEN 60/70.
- La temperatura del asfalto: 130 °C.
- Dosificación de agua: 1.0 %, 2.0 %, 3.0 % y 4.0%.

Fotografía 4: Cemento asfáltico caliente a 130 °C



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 5: Inyección de agua fría al asfalto caliente



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 6: Proceso de espumación



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 7: Medida del volumen de máxima expansión



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3. Ensayo de calidad de los agregados

3.7.3.1. Muestreo para materiales de construcción

- Referencias normativas:
MTC E 201 y NTP 400.010.

- Objetivo:
Determinar el procedimiento de muestreo de los agregados (gruesos y finos) para el control de las fuentes de abastecimiento (canteras) y evaluar su aceptación o rechazo.

- Equipos y materiales:
Sacos o costales, pala, regla de cuarteo.

- Muestra:
Las muestras obtenidas para los ensayos de calidad deben ser confiables y representativas del lugar de abastecimiento. Asimismo, deben ser identificadas y transportadas en sacos que impidan la pérdida o contaminación de la muestra.

- Procedimiento:
Volcar y expandir el material (agregado) en el suelo del laboratorio.
Dividir el material en 4 partes iguales.
Seleccionar 2 partes opuestas (diagonales) y excluir las otras 2.
Se repite el procedimiento hasta conseguir el peso apropiado para realizar los ensayos de caracterización de los agregados.

Fotografía 8: Selección de muestra representativa del agregado grueso



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 9: Selección de muestra representativa del agregado fino



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

- Referencias normativas:
MTC E 204, NTP 400.012 y ASTM C 136.

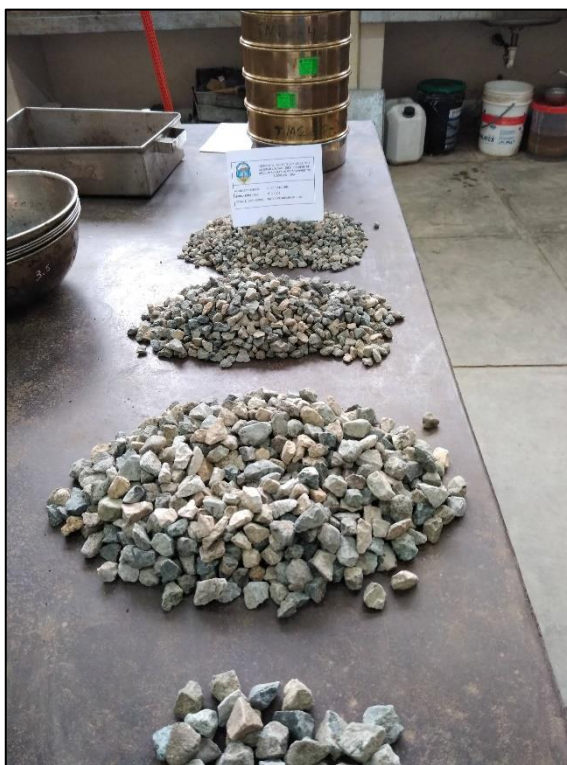
- Objetivo:
Determinar la distribución del tamaño de los fragmentos del agregado por medio de una serie de tamices normalizadas y verificar si cumple con los parámetros exigidos.

- Equipos y materiales:
Balanzas con sensibilidad de 0.1 gr para agregados finos y 0.5 gr para agregados gruesos.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 °C.
Tamices según las especificaciones del agregado (grueso o fino).

- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa. La cantidad mínima de agregado fino será de 300 gr y para el agregado grueso será de acuerdo a su tamaño máximo nominal, para nuestro caso será de 5000 gr (3/4”).

- Procedimiento:
Secar la muestra en el horno a 110 °C.
Colocar la muestra en la serie de tamices y proceder con el tamizado por un tiempo conveniente.
Continuar con el tamizado individual durante 1 minuto hasta asegurar que no pase más del 1% del peso retenido en cada tamiz.
Comprobar el peso retenido en cada tamiz con la balanza y verificar si el peso total después del tamizado coincide con el peso original antes del ensayo. Si la cantidad varía en más del 0.3%, el resultado no debe ser aceptado.

Fotografía 10: Ensayo granulométrico del agregado grueso



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 11: Ensayo de granulometría del agregado grueso



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 12: Ensayo de granulometría del agregado fino



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos

- Referencias normativas:
MTC E 205, NTP 400.022 y ASTM C 138.
- Objetivo:
Definir los valores de peso específico seco, saturado, aparente y porcentaje de absorción del agregado fino.
- Equipos y materiales:
Balanza con sensibilidad de 0.1 gr y capacidad mínima de 1000 gr.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 °C.
Frasco volumétrico, molde cónico y varilla para apisonado.
- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa, el cual será de aproximadamente 1kg.

Se seca la muestra en el horno a 110 °C y después se satura con agua durante 24 horas. Posteriormente, se decanta el agua, se extiende el agregado y se deja secar. Al final, se coloca la muestra en el molde cónico, se apisona suavemente con la varilla 25 veces y se levanta el molde.

▪ Procedimiento:

Se introduce 500 gr de muestra en el frasco volumétrico, se satura con agua a una temperatura de 23 °C hasta conseguir los 500 cm³ y se sacude el frasco para eliminar en su totalidad las burbujas de aire. Se determina el peso total del frasco, espécimen y agua.

Luego se remueve el agregado fino del frasco y se seca en el horno a 110 ± 5 °C. Finalmente, se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina el peso

Fotografía 13: Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.4. **Peso específico y absorción de agregados grueso**

- **Referencias normativas:**
MTC E 206, NTP 400.021 y ASTM C 127.

- **Objetivo:**
Definir los valores de peso específico seco, saturado, aparente y porcentaje de absorción del agregado grueso.

- **Equipos y materiales:**
Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad mínima de 5000 gr.
Cesta con malla de alambre y depósito de agua.
Tamices: N.º 4 (4.75 mm)
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

- **Muestra:**
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa, la cantidad necesaria será de acuerdo a su tamaño máximo nominal.
Se descartará todo material que pase el tamiz N.º 4. Luego se lava el material para eliminar impurezas y se seca en el horno.

- **Procedimiento:**
Se seca la muestra en el horno a 110 °C y se deja enfriar a temperatura ambiente. Seguidamente se satura el agregado en agua durante un periodo de 24 horas.
Se retira la muestra del agua, se hace rodar sobre un paño absorbente hasta desvanecer toda capa de agua visible y se determina el peso. Inmediatamente se deposita la muestra en la cesta de alambre y se obtiene su peso en agua.
Finalmente, se seca la muestra en el horno a 110 °C, se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina el peso.

Fotografía 14: Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 15: Equipos para el peso específico y absorción de agregados gruesos



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.5. Abrasión máquina Los Ángeles

- Referencias normativas:
MTC E 207, NTP 400.019 y ASTM C 131.

- Objetivo:
Comprobar la resistencia del agregado grueso a la degradación por medio de la máquina de Los Ángeles.

- Equipos y materiales:
Tamices: 1", 3/4", 1/2" y 3/8".
Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad mínima de 5000 gr.
Máquina de Los Ángeles
Esferas de acero de 46.8 mm de diámetro y 390 gr a 445 gr de masa.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa, la cantidad necesaria será de acuerdo al tamaño máximo nominal. Se lava la muestra y se hace secar en el horno a 110 °C.

- Procedimiento:
Se coloca la muestra y las esferas de acero dentro de la máquina de Los Ángeles, para ser rotada a una velocidad de 30 rpm por 500 revoluciones. Luego se descarga el material y se separa a través del tamiz N.º 12 (1.70 mm).
Se lava el material retenido en el tamiz N.º 12, se hace secar en el horno a 110 °C y se determina el peso.

Fotografía 16: Máquina de Los Ángeles



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Fotografía 17: Abrasión en la máquina de Los Ángeles



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.5.1. Determinación del porcentaje de partículas fracturadas

- Referencias normativas:
MTC E 210 y ASTM D 5821

- Objetivo:
Determinar el porcentaje de partículas fracturadas (con una, dos o más caras fracturadas) que contiene la muestra del agregado grueso.

- Equipos y materiales:
Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad mínima de 5000 gr.
Tamices: 3/4", 1/2" y 3/8".
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa.

- Procedimiento:
Se lava la muestra para eliminar impurezas, se deja secar en el horno a 110 °C y se determina el peso. A continuación, se extiende sobre una superficie plana y limpia para su inspección individual.
Se toma una partícula de la muestra y se observa directamente, luego se clasifica y separa en dos clases: partículas que tienen una o más caras fracturadas y partículas que no tienen ninguna cara fracturada. Finalmente, se determina el peso y/o cantidad del total de partículas según la clasificación anterior.

Fotografía 18: Caras fracturadas



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.6. Partículas chatas y alargadas

- Referencias normativas:
MTC E 223 y ASTM D 4791.
- Objetivo:
Determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas que contiene la muestra del agregado grueso.
- Equipos y materiales:
Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad mínima de 5000 gr.
Calibrador proporcional.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa. El peso mínimo de la muestra para el ensayo será de 2kg (según el tamaño máximo nominal).

- Procedimiento:

Se seca la muestra en el horno a 110 °C y luego se registra el peso. Se tamiza la muestra con la malla 3/8" y se divide en fracciones mayores y menores a 3/8" (9.5 mm).

A continuación, con el uso del calibrador proporcional se ensaya individualmente las partículas de cada fracción medida y se clasifica en uno de estos grupos: chatas, alargadas y ni chatas ni alargadas.

Finalmente, se determina el peso total y/o el total de partículas de cada grupo.

Fotografía 19: Partículas chatas y alargadas



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.7. Índice de plasticidad

Para poder determinar el índice de plasticidad del material que pasa la malla N.º 200, es necesario determinar en el laboratorio el límite líquido y el límite plástico.

3.7.3.7.1. Límite líquido

- Referencias normativas:
MTC E 110, NTP 339.129 y AASHTO T 89.
- Objetivo:
Determinar el contenido de humedad con el que el material pasa del estado líquido al plástico.
- Equipos y materiales:
Aparato de copa de Casagrande, acanaladores y calibrador.
Vasijas y recipientes de almacenaje.
Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
Agua destilada o desmineralizada.
- Muestra:
Se trabajará con una muestra representativa de aproximadamente 150gr a 200 gr de material que pase la malla N.º 200. Luego, se procede a humedecer la mezcla con una pequeña cantidad de agua destilada en la vasija y se mezcla hasta conseguir una mezcla homogénea y de consistencia pegajosa.
- Procedimiento:
Se coloca una cantidad de muestra preparada en la copa de la copa Casagrande y se procede a esparcirlo hasta formar una superficie horizontal.
Con el uso del acanalador se divide la muestra desde el punto más alto al más bajo de la copa. Inmediatamente después de formar el surco se gira la manivela de la copa a una velocidad de 2 golpes por segundo, hasta conseguir que el surco cierre en la base.
Se registra el número de golpes en el que cierra la ranura y se toma una parte de la muestra para colocarla en un recipiente.
Finalmente, la muestra se pesa, se seca en el horno y se registran los datos.

Fotografía 20: Límite líquido



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.7.2. Límite plástico

- Referencias normativas:
MTC E 111, NTP 339.129 y AASHTO T 90.
- Objetivo:
Determinar el contenido de humedad más bajo en el que el material pasa del estado plástico al semisólido.
- Equipos y materiales:
Espátula y recipientes de almacenaje.
Una superficie lisa de vidrio.
Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
Agua destilada o desmineralizada.

- **Muestra:**

Se trabajará con una muestra representativa de aproximadamente 20 gr de material que pase la malla N.º 200. Luego, se procede a humedecer la mezclar con una pequeña cantidad de agua destilada en la vasija y se mezcla hasta conseguir una mezcla homogénea y de consistencia pegajosa.
- **Procedimiento:**

Se toma una porción de material preparado, aproximadamente de 1.5 a 2.0 gr, y se moldea con la mano pequeños barras en forma de cilindros en la superficie lisa.

Este proceso se repite hasta lograr conseguir pequeñas barras de 3.2 mm sin que lleguen a desmoronarse. Luego estas muestras se colocan en un recipiente.

Finalmente, la muestra se pesa, se seca en el horno, y se registran los datos.

Fotografía 21: Límite plástico



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.3.8. Equivalente de arena

- Referencias normativas:
MTC E 114, NTP 339.146:2000 y ASTM D 2419.

- Objetivo:
Determinar la proporción o cantidad relativa de material arcilloso (finos plásticos) y polvo en el agregado fino.

- Equipos y materiales:
Cilindro graduado.
Horno con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
Tamiz N.º 04, lata de medición, embudo, botellas y reloj.
Soluciones: Cloruro cálcico Anhidrido, Glicerina USP y Formaldehído.

- Muestra:
A través del muestreo del agregado (cuarteo) se obtiene la muestra representativa. La cantidad mínima de agregado fino será de 1500 gr. Con la ayuda de un mortero y un pisón se desmenuza los grumos que pasen el tamiz N.º 04.

- Procedimiento:
Verter la combinación de soluciones en el cilindro graduado hasta alcanzar los 102 ± 3 mm de altura. Luego, con la ayuda de un embudo se añade el material de ensayo en el cilindro y se golpea ligeramente el fondo para liberar las burbujas de aire.
Se deja reposar por un periodo de 10 ± 1 minuto y posteriormente se invierte parcialmente el cilindro para aflojar el material del fondo.
Se sujeta el cilindro en posición horizontal y se agita con fuerza de extremo a extremo por 90 ciclos en 30 segundos aproximadamente.
Insertamos el tubo irrigador en el cilindro y aplicamos acciones de punzonamiento y giro en el fondo del material. Se sigue con el proceso de irrigación hasta alcanzar una gradación de 15 pulgadas.

Finalmente, se retira el tubo irrigador y por un periodo de 20 min \pm 5 seg se mantiene en reposo. Finalizado los 20 minutos, se procede a la lectura y al registro del nivel superior de la suspensión de arcilla.

Fotografía 22: Equivalente de arena



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

3.7.4. Diseño de mezcla asfáltica

3.7.4.1. Dosificación de materiales

Se realiza la dosificación de los agregados pétreos (piedra chancada 3/4" y arena chancada 3/8"), el ligante (cemento asfáltico PEN 60/70) y el agua.

Cuadro 2: Dosificación de materiales para el diseño de mezcla asfáltica convencional

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA				
ELABORACIÓN DE BRIQUETAS - MARSHALL				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Tipo:	MAC - 2	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica convencional	Fecha:	18/07/2019	
Asfalto:	Cemento asfáltico PEN 60/70	Temperatura:	160 °C	
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				
Materiales		Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
Cemento Asfáltico (%)	-	4.5	5.5	6.5
Piedra chancada (%)	40.00	38.2	37.8	37.4
Arena chancada (%)	60.00	57.3	56.7	56.1
TOTAL	100.00 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 23: Fraccionamiento del agregado grueso y agregado fino



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Cuadro 3: Dosificación de materiales para el diseño de mezcla asfáltica modificada

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA				
ELABORACIÓN DE BRIQUETAS - MARSHALL				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Tipo:	MAC - 2	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica modificada	Fecha:	18/07/2019	
Asfalto:	Cemento asfáltico PEN 60/70	Temperatura:	130 °C	
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				
Materiales		Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
Cemento Asfáltico (%)	-	4.5	5.5	6.5
Piedra chancada (%)	40.00	38.2	37.8	37.4
Arena chancada (%)	60.00	57.3	56.7	56.1
TOTAL	100.00 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Agua (%)		2.0 %	2.0 %	2.0 %

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

3.7.4.2. Ensayo Marshall

- Preparación de los agregados, los agregados se secan en el horno a una temperatura constante de 105 ± 110 °C y posteriormente se tamizan en seco en las fracciones deseadas para poder dosificar una mezcla de 1200 gr. Este proceso es para ambas mezclas asfálticas (convencional y modificada).

Fotografía 24: Calentamiento de los agregados en el horno



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 25: Dosificación de agregados



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Se determina las temperaturas de mezcla y de compactación:
 - Para la mezcla asfáltica convencional la temperatura de mezcla de agregados y cemento asfáltico será de 160 °C.
 - Para la mezcla asfáltica modificada la temperatura de mezcla de agregados, cemento asfáltico y agua, será de 130 °C.

- Se procede a calentar el cemento asfáltico hasta cumplir con la temperatura indicada anteriormente y se realiza la dosificación.

Fotografía 26: Calentado del cemento asfáltico



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 27: Dosificación de cemento asfáltico



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Observación: En la mezcla asfáltica modificada, se debe hacer la inyección del agua fría (2.0 %) momento después de que se hace la dosificación de cemento asfáltico caliente, para poder realizar el proceso de espumación (asfalto espumado).

Fotografía 28: Inyección de agua fría en el asfalto caliente



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 29: Proceso de espumación del cemento asfáltico



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Se procede con la mezcla de agregados y asfalto / asfalto espumado. Con el uso de una espátula se revuelve la mezcla hasta obtener una mezcla homogénea y asegurar que los agregados estén cubiertos por el asfalto.

Fotografía 30: Mezclado de los agregados y asfalto



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Antes del proceso de compactación de los especímenes, se debe garantizar que los moldes y la cara del martillo de compactación se hayan calentado a una temperatura entre 90° y 150 °C. Se coloca un papel circular no absorbente del tamaño de la base del molde y se procede a introducir la muestra en el molde ensamblado.

Fotografía 31: Preparación del martillo de compactación Marshall



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 32: Introducción de la mezcla asfáltica en el molde ensamblado



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Luego, se realiza el proceso de chuseado de la mezcla con la espátula caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Se coloca otro papel circular en la parte superior de la mezcla y se procede con la compactación.

Fotografía 33: Chuseado de mezcla asfáltica en el molde ensamblado



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 34: Compactación de los especímenes a 75 golpes



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- El proceso de compactación consta de 75 golpes constantes con el martillo de compactación. Al finalizar, se remueve el molde y se voltea para poder aplicar el mismo número de golpes de compactación a la cara reversa del espécimen.

Fotografía 35: Proceso de compactación de los especímenes



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 36: Identificación de los especímenes



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Después de que los especímenes fueron compactados, se identifican de acuerdo al contenido de asfalto de cada uno y al contenido de agua añadido. Se deja enfriar a temperatura ambiente y luego se extraen del molde.

Fotografía 37: Elaboración de briquetas finalizado



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 38: Desmolde y extracción de los especímenes



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

3.7.4.3. Ensayo de peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

- De cada briqueta se toma las medidas de sus dimensiones y se luego se procede a registrar su peso seco en el aire.

Fotografía 39: Medición de las dimensiones de cada briqueta



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 40: Peso de la briqueta en el aire



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Luego se sumerge en un baño de agua a 25 °C durante 3 a 5 minutos cada briqueta. Se retira, se seca la superficie rápidamente con una toalla y se procede a registrar el peso de la briqueta superficialmente saturado en el aire.

Fotografía 43: Peso de la briqueta superficialmente saturado en el agua



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

3.7.4.4. Ensayo de estabilidad y flujo

- Las briquetas se colocan en baño de agua a 60 °C durante 30 a 40 minutos.

Fotografía 44: Colocación de briquetas en baño de agua a 60 °C



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Para poder realizar el ensayo en la máquina de carga Marshall, se calienta el cabezal en el horno a una temperatura de 20 a 40 °C.
- Luego se remueve el espécimen del baño de agua y se coloca en el segmento inferior del cabezal. Es importante precisar que el tiempo desde la remoción del espécimen del baño de agua a la determinación de la carga máxima no debe pasar los 30 segundos.
- Se aplica la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min hasta que la carga decrezca.
- Finalmente se registra la máxima carga y el flujo.

Fotografía 45: Medición de Estabilidad y Flujo en la Máquina Marshall



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

3.7.4.5. Ensayo de peso específico máximo teórico de mezclas asfálticas (Rice)

- Este ensayo se realiza con el objetivo de calcular los vacíos de aire en las mezclas compactadas y calcular la cantidad de asfalto absorbido por el agregado.
- Para ello cada muestra asfáltica es enfriada a temperatura ambiente para poder ser colocado en el recipiente.

Fotografía 46: Diseño de mezcla asfáltica - Rice



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Se determina el peso del recipiente más la mezcla asfáltica y se procede a agregar agua a una temperatura de 25 °C lo suficiente para cubrir la muestra.

Fotografía 47: Pesado de mezcla asfáltica - Rice



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Fotografía 48: Adición de agua a la mezcla - Rice



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Inmediatamente se procede a la remoción del aire atrapado de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un periodo de 5 a 15 minutos.

Fotografía 49: Remoción del aire atrapado a 30 mm de Hg



Fuente: Fotografía propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

3.8. Técnicas y análisis de datos

- Microsoft Excel

Para exportar cuadros y datos estadísticos de los resultados y datos obtenidos de los ensayos realizados.

- Microsoft Word

Para la elaboración de la parte descriptiva de la sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos.

- S10 Presupuestos 2005

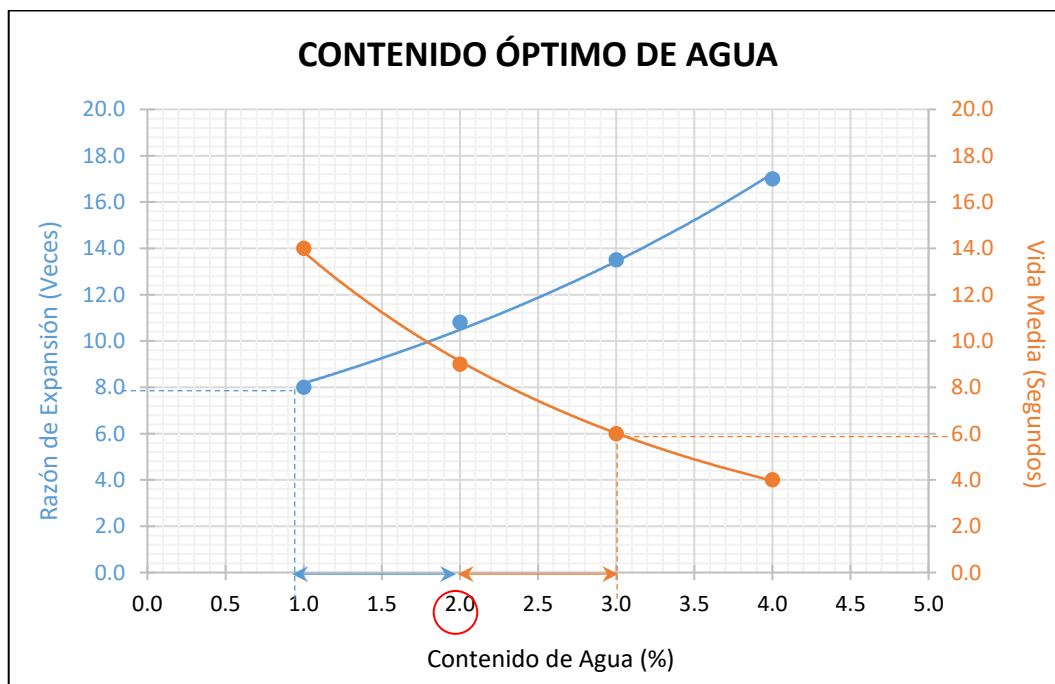
Para la elaboración de presupuestos y análisis de costos unitarios.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Variable Independiente: Método del asfalto espumado

4.1.1. Calidad de espuma asfáltica

Figura 19: Relación de razón de expansión y vida media



Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- En la Figura 19, se muestra la relación de razón de expansión y vida media que se produce de acuerdo al porcentaje de agua añadido.

4.1.1.1. Razón de expansión

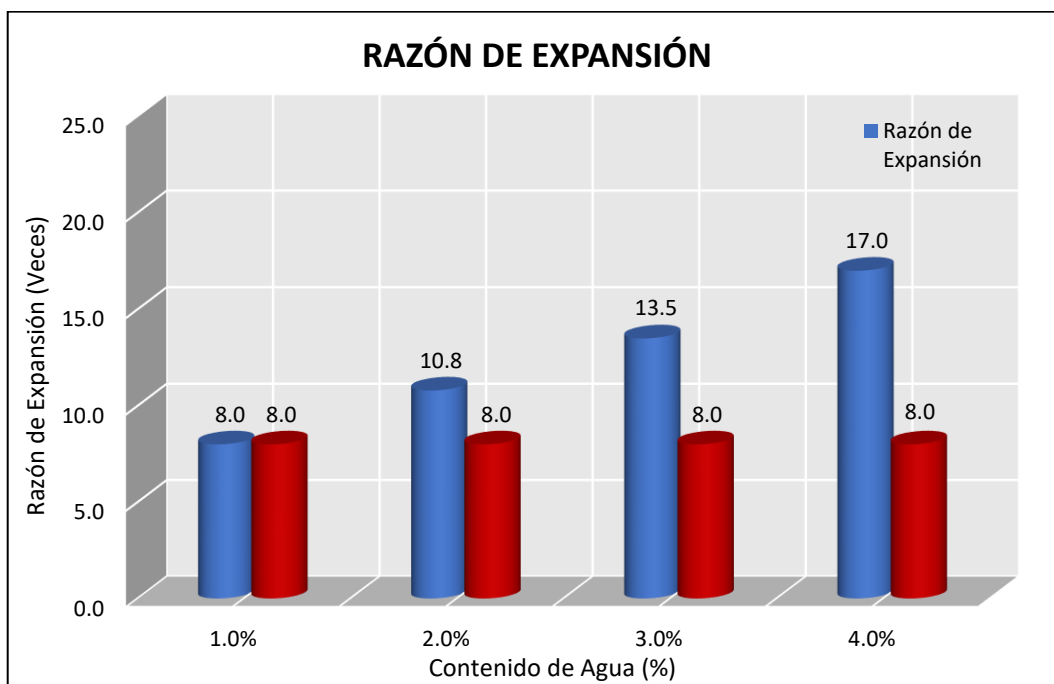
Cuadro 4: Razón de expansión del asfalto espumado

PROPIEDADES ESPUMANTES DEL ASFALTO			
DATOS DE LA MUESTRA			
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"		
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Procedencia:	Petro Perú
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019
Material:	Cemento Asfáltico PEN 60/70	Muestra:	M-1
RAZÓN DE EXPANSIÓN / T = 130 °C			
Contenido de agua (%)	Volumen de asfalto original	Volumen de asfalto expandido	Razón de Expansión
1.0	1.0	8.0	8.0
2.0	1.0	10.8	10.8
3.0	1.0	13.5	13.5
4.0	1.0	17.0	17.0

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- En el Cuadro 4, se muestran los valores de razón de expansión obtenidos de acuerdo al porcentaje de agua añadido al asfalto caliente (130 °C). Según los resultados de razón de expansión del asfalto espumado, se puede señalar que con un contenido de agua de 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 %, se logra satisfacer el valor mínimo de 8 veces. Sin embargo, el porcentaje óptimo de agua que se determina es de 2.0 %.

Figura 20: Resultados de razón de expansión del asfalto espumado



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 20, se observa que los valores de razón de expansión tienen una relación similarmente proporcional al contenido de agua añadido, es decir, el número de veces que se expande la espuma asfáltica es mayor a medida que se inyecta más cantidad de agua.

4.1.1.2. Vida media

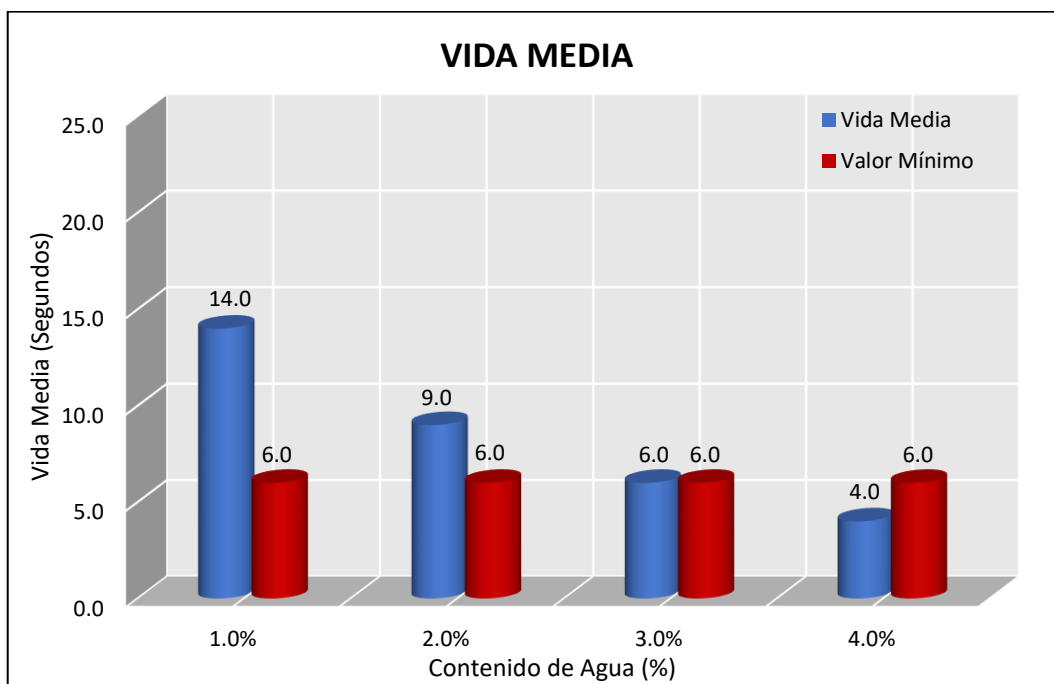
Cuadro 5: Vida media del asfalto espumado

PROPIEDADES ESPUMANTES DEL ASFALTO			
DATOS DE LA MUESTRA			
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"		
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Procedencia:	Petro Perú
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019
Material:	Cemento Asfáltico PEN 60/70	Muestra:	M-1
VIDA MEDIA / T = 130 °C			
Contenido de agua (%)	Tiempo en alcanzar la máxima expansión	Tiempo en alcanzar la mitad de expansión	Vida Media
1.0	10.0	24.0	14.0
2.0	9.0	18.0	9.0
3.0	8.0	14.0	6.0
4.0	6.0	10.0	4.0

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- En el Cuadro 5, se muestran los valores de vida media obtenidos de acuerdo al porcentaje de agua añadido al asfalto caliente (130 °C). Según los resultados de vida media del asfalto espumado, se puede señalar que con un contenido de agua de 1.0, 2.0 y 3.0 %, se logra satisfacer el valor mínimo de 6 seg. Sin embargo, el porcentaje óptimo de agua que se determina es de 2.0 %.

Figura 21: Resultados de vida media del asfalto espumado



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 21, se observa que los valores de vida media tienen una relación inversamente proporcional al contenido de agua añadido, es decir, el tiempo de vida de las burbujas que conforman la espuma asfáltica es menor a medida que se inyecta más cantidad de agua.

4.1.2. Calidad de los agregados

4.1.2.1. Resistencia a la abrasión

Cuadro 6: Ensayo de abrasión máquina de Los Ángeles

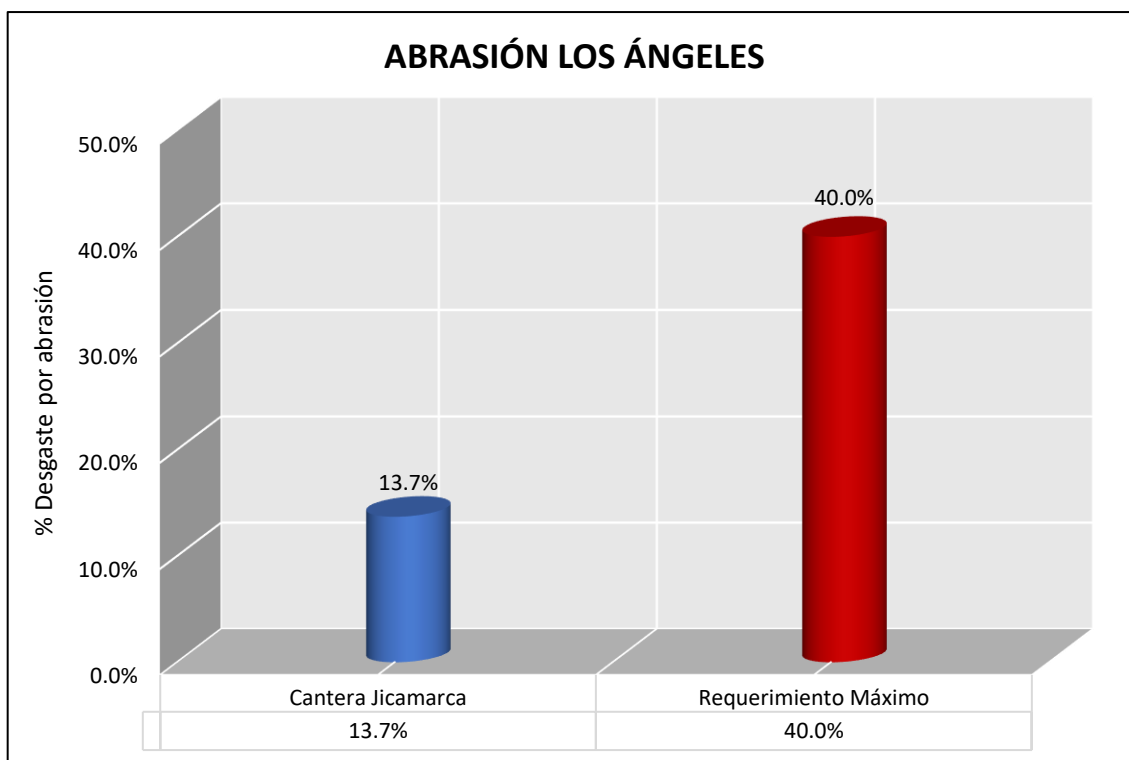
ENSAYO DE ABRASIÓN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-207 / ASTM C-131					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019		
Material:	Piedra Chancada 3/4"	Muestra:	M-1		
GRADACIÓN: B / N.º DE ESFERAS: 11 / N.º REVOLUCIONES: 500					
Tamiz		Peso inicial (gr.)	Peso final (gr.)	Peso perdido (gr.)	Desgaste por abrasión (%)
Pasa	Retiene				
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)				
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)				
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	2500.0	-	-	-
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	2500.0	-	-	-
TOTALES		5000.0	4315.0	685.0	13.7 %
Observaciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Peso final: Peso retenido en la malla N.º 12 después de 500 revoluciones. 				

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado grueso (piedra chancada 3/4") procedente de la cantera Jicamarca al ser sometido al "ensayo de abrasión máquina de Los Ángeles" presenta un porcentaje de desgaste por abrasión de 13.7 %.

- En la Figura 22, se observa que el 13.7 % de desgaste por abrasión que presenta el agregado grueso cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 40.0 % mínimo.

Figura 22: Resultados del ensayo de abrasión Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Partículas chatas y alargadas

Cuadro 7: Ensayo de partículas chatas y alargadas

ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-221 / ASTM D-4791						
DATOS DE LA MUESTRA						
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"					
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca			
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019			
Material:	Piedra Chancada 3/4"	Muestra:	M-1			
PARTÍCULAS CHATAS						
Tamiz		Peso retenido (gr.)	Partículas chatas (gr.)	Partículas chatas (%)	Porcentaje retenido (%)	Partículas chatas (% corregido)
Pasa	Retiene					
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)					
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	-	-	-	4.1	-
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	497.7	6.3	1.27	46.6	0.59
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	206.1	5.1	2.47	30.4	0.75
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	93.8	3.6	3.83	18.9	0.73
TOTALES		-	-	-	100.0	2.07 %
PARTÍCULAS ALARGADAS						
Tamiz		Peso retenido (gr.)	Partículas alargadas (gr.)	Partículas alargadas (%)	Porcentaje retenido (%)	Partículas alargadas (% correg.)
Pasa	Retiene					
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)					
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	-	-	-	4.1	-
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	497.7	0.0	0.0	46.6	0.00
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	206.1	0.0	0.0	30.4	0.00
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	93.8	0.0	0.0	18.9	0.00
TOTALES		-	-	-	100.0	0.00 %

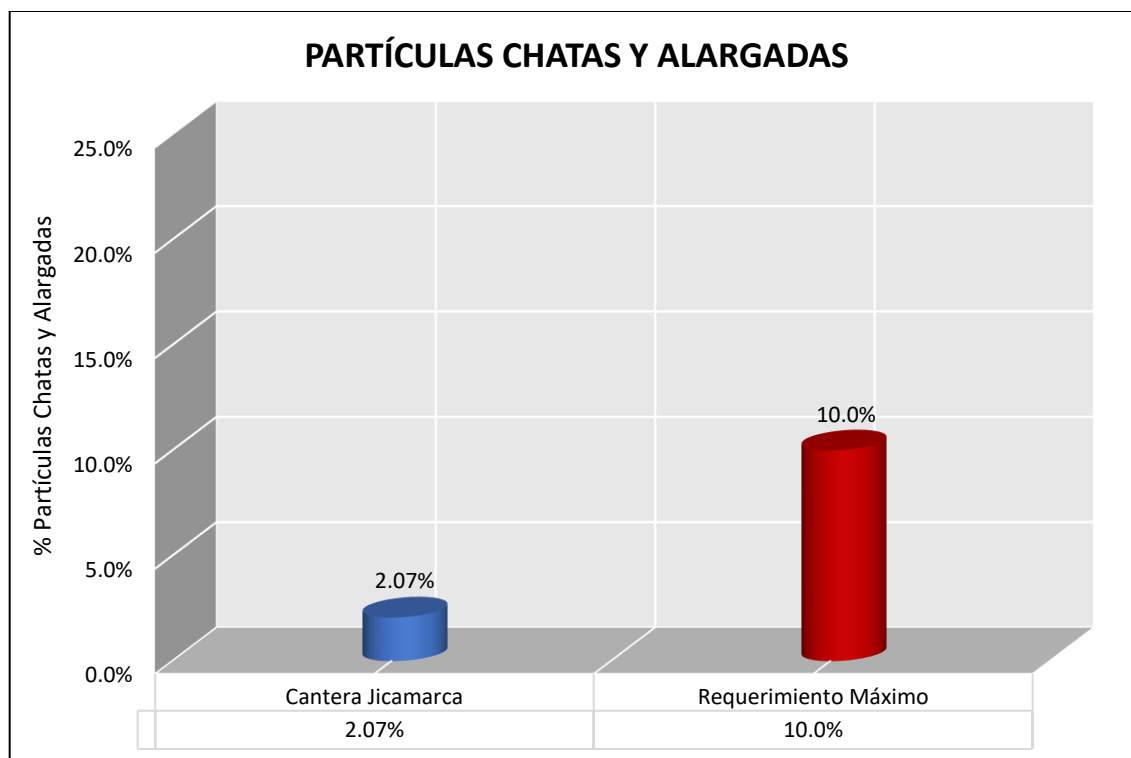
Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado grueso (piedra chancada 3/4”) procedente de la cantera Jicamarca al ser sometido al “ensayo de partículas chatas y alargadas” presentó un porcentaje de partículas chatas de 2.07 % y un porcentaje de partículas alargadas de 0.00 %.

En ese sentido, el porcentaje total de partículas chatas y alargadas es igual a 2.07 %, el cual se obtiene de la suma de ambos porcentajes.

- En la Figura 23, se observa que el 2.07 % de partículas chatas y alargadas que presenta el agregado fino de la cantera Jicamarca cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 10.0 % máximo.

Figura 23: Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. Caras fracturadas

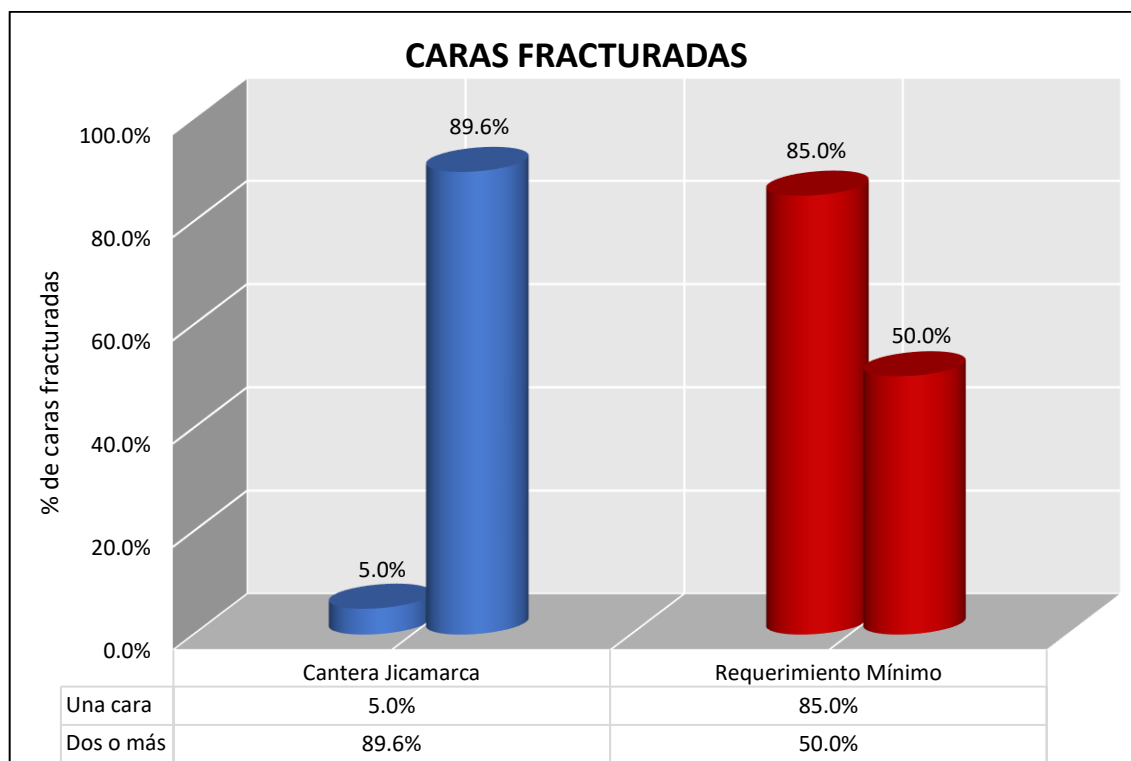
Cuadro 8: Ensayo de caras fracturadas

ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-210 / ASTM D-5821-13					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019		
Material:	Piedra Chancada 3/4"	Muestra:	M-1		
CON UNA CARA FRACTURADA					
Tamiz		Peso de la muestra (gr)	Partículas con caras fracturada (gr)	Partículas con caras fracturada (%)	Promedio de caras fracturada (%)
Pasa	Retiene				
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)				
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)				
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)				
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	5348.0	283.0	5.3	-
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	210.0	8.0	3.8	-
TOTALES		-	-	-	5.0 %
CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS					
Tamiz		Peso de la muestra (gr)	Partículas con caras fracturada (gr)	Partículas con caras fracturada (%)	Promedio de caras fracturada (%)
Pasa	Retiene				
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)				
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)				
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)				
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	5348.0	4749.0	88.8	-
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	210.0	196.0	93.3	-
TOTALES					89.6 %

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado grueso (piedra chancada 3/4") procedente de la cantera Jicamarca al ser sometido al “ensayo de caras fracturadas” presenta un porcentaje de partículas con una cara fracturada de 5.0 % y un porcentaje de partículas con dos o más cara fracturada de 89.6 %.
- En la Figura 24, se observa que el 5.0 % de partículas con una cara fracturada que presenta el agregado grueso de la cantera Jicamarca no cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 85.0 % mínimo. Sin embargo, el 89.6 % de partículas con dos o más caras fracturadas si cumple con el requerimiento mínimo del 50.0 %.

Figura 24: Resultados del ensayo de caras fracturadas



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4. Gravedad específica y absorción

Cuadro 9: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-206 / ASTM C-127					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019		
Material:	Piedra Chancada 3/4"	Muestra:	M-1		
AGREGADO GRUESO					
Ítem	Descripción	Muestra			Promedio
		1	2	3	
1	Peso saturado sup. seco en el aire (gr.)	3051.94	3097.87	3028.70	-
2	Peso material saturado en agua (gr.)	1932.68	1971.35	1899.11	-
3	Peso material seco en el aire (gr.)	3022.34	3064.17	2996.63	-
4	Peso específico Bulk (base seca)	2.700	2.720	2.653	2.691
5	Peso específico Bulk (base saturada)	2.727	2.750	2.681	2.719
6	Peso específico Aparente (base seca)	2.774	2.804	2.730	2.769
7	Porcentaje de absorción (%)	0.98	1.10	1.07	1.05 %
Observaciones:		•			

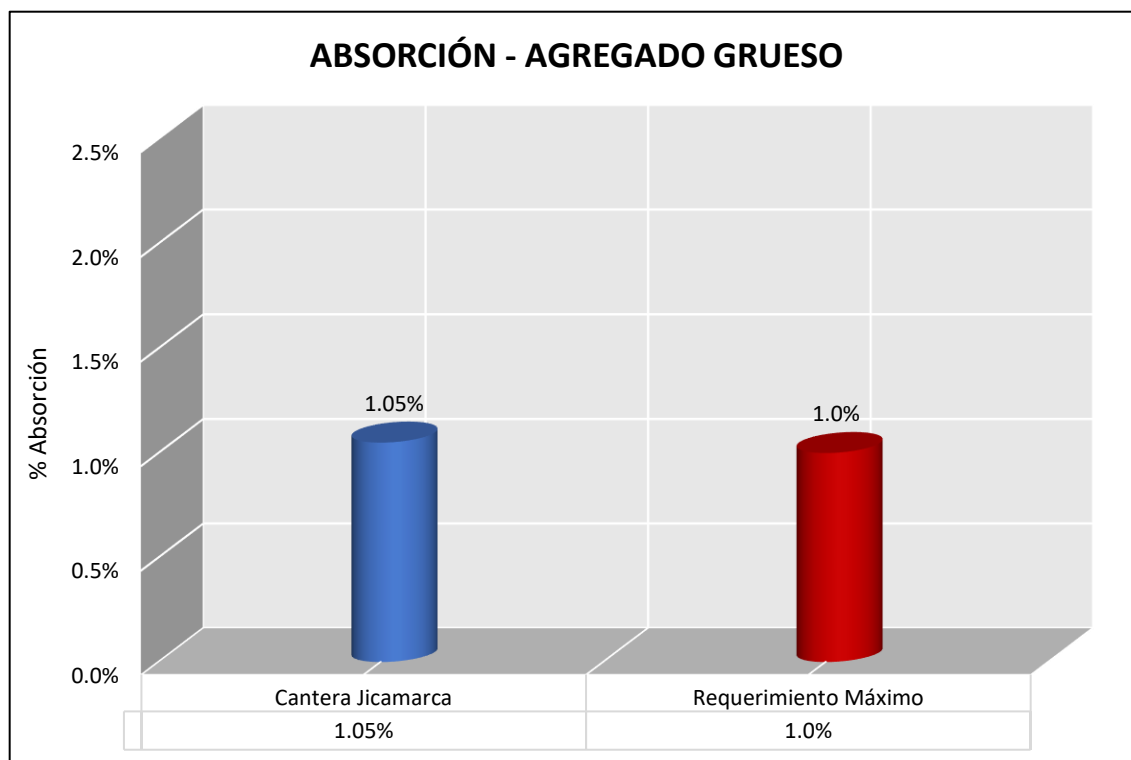
Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado grueso (piedra chancada 3/4") procedente de la cantera Jicamarca al ser sometido al "ensayo de gravedad específica y absorción" presentó tres valores diferentes de porcentaje de absorción, en la

primera muestra se obtuvo un 0.98 %, en la segunda muestra un 1.10 % y en la tercera muestra un 1.07 %. Al final, el porcentaje de absorción promedio es de 1.05 %.

- En la Figura 25, se observa que el 1.05 % de absorción que presenta el agregado grueso no cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 1.0 % máximo. Sin embargo, excepcionalmente se pueden aceptar porcentajes mayores siempre y cuando se asegure las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Figura 25: Resultados del ensayo de absorción del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-205 / ASTM C-128					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	La Gloria		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Arena Chancada 3/8"	Muestra:	M-1		
AGREGADO GRUESO					
Ítem	Descripción	Muestras			Promedio
		1	2	3	
1	Peso saturado sup. seco en el aire (gr.)	500.00	500.00	500.00	-
2	Peso de frasco + agua (gr.)	1265.50	1267.13	1263.88	-
3	Peso de material + agua en el frasco (gr.)	1586.83	1589.37	1584.38	-
4	Peso de material seco (gr.)	495.84	496.12	495.72	-
5	Pe Bulk (base seca)	2.775	2.791	2.762	2.776
6	Pe Bulk (base saturada)	2.799	2.813	2.786	2.799
7	Pe Aparente (base seca)	2.841	2.853	2.829	2.841
8	% de absorción	0.839	0.782	0.863	0.828 %
Observaciones:		•			

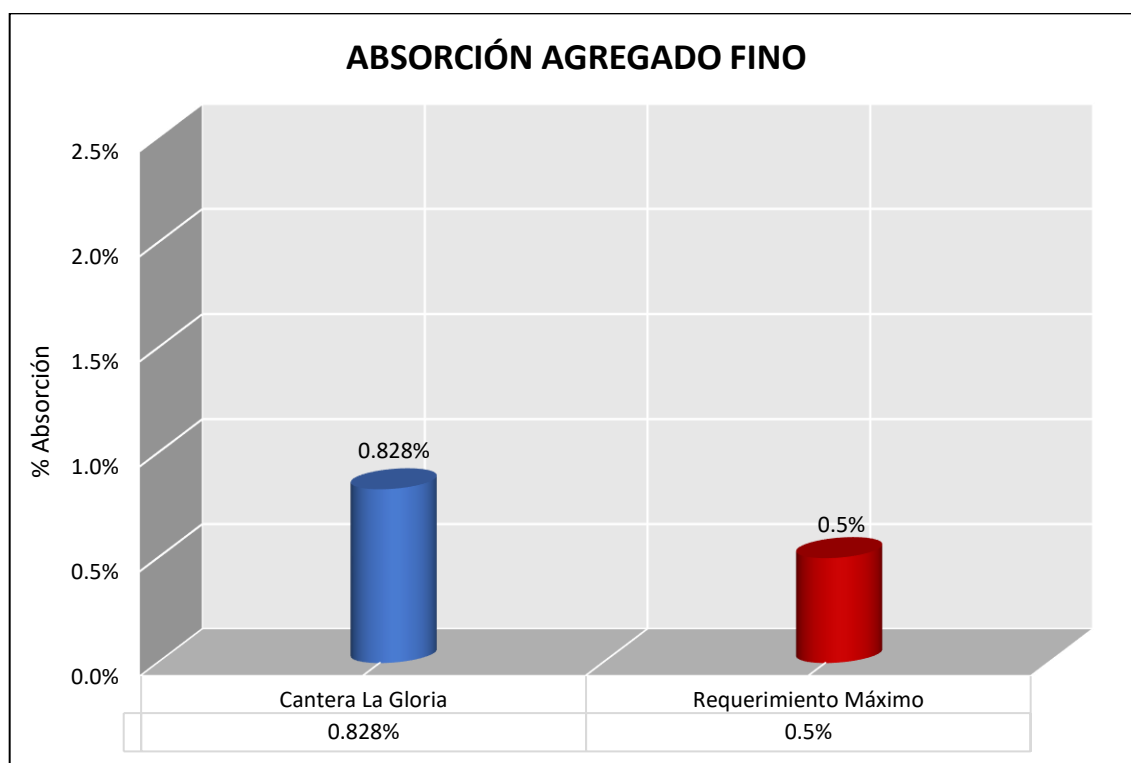
Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado fino (arena chancada 3/8") procedente de la cantera La Gloria al ser sometido al "ensayo de gravedad específica y absorción" presentó tres valores diferentes de porcentaje de absorción, en la primera

muestra se obtuvo un 0.839 %, en la segunda muestra un 0.782 % y en la tercera muestra un 0.863 %. Al final, el porcentaje de absorción promedio es de 0.828 %.

- En la Figura 26, se observa que el 0.828 % de absorción que presenta el agregado fino no cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 0.5 % máximo. Sin embargo, excepcionalmente se pueden aceptar porcentajes mayores siempre y cuando se asegure las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Figura 26: Resultados del ensayo de absorción del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.5. Equivalente de arena

Cuadro 11: Ensayo de equivalente de arena - Cantera Jicamarca

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-114 / ASTM D-2419					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019		
Material:	Arena Chancada 3/8"	Muestra:	M-1		
AGREGADO FINO					
Ítem	Descripción	Muestra			Promedio
		1	2	3	
1	Hora de entrada a saturación	10:28 am	10:30 am	10:32 am	-
2	Hora de salida de saturación	10:38 am	10:40 am	10:42 am	-
3	Hora de entrada a decantación	10:40 am	10:42 am	10:44 am	-
4	Hora de salida de decantación	11:00 am	11:02 am	11:04 am	-
5	Altura de nivel material fino (pulg)	8.5	8.6	8.4	-
6	Altura de nivel arena (pulg) – 10 pulg	2.8	2.7	2.9	-
7	Equivalente de arena (%)	32.9	31.4	34.5	33.0 %
Observaciones:		•			

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado fino (arena chancada 3/8") procedente de la cantera Jicamarca al ser sometido al "ensayo de equivalente de arena" presentó tres valores diferentes de porcentaje de arena, en la primera muestra se obtuvo un

32.9 %, en la segunda muestra un 31.4 % y en la tercera muestra un 34.5 %. Al final, el porcentaje de equivalente de arena promedio es de 33.0 %.

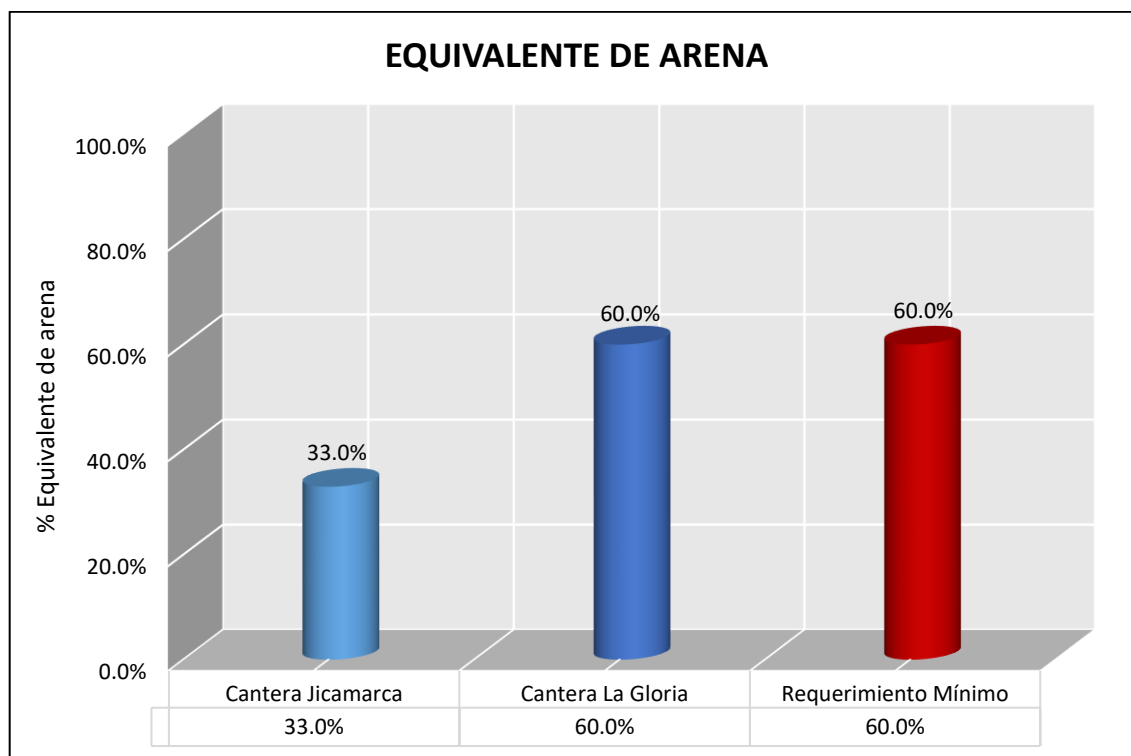
Cuadro 12: Ensayo de equivalente de arena - Cantera La Gloria

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-114, ASTM D-2419					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	La Gloria		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Arena Chancada 3/8"	Muestra:	M-1		
AGREGADO FINO					
Ítem	Descripción	Muestra			Promedio
		1	2	3	
1	Hora de entrada a saturación	09:14 am	09:16 am	09:18 am	-
2	Hora de salida de saturación	09:24 am	09:26 am	09:28 am	-
3	Hora de entrada a decantación	09:26 am	09:28 am	09:30 am	-
4	Hora de salida de decantación	09:46 am	09:48 am	09:50 am	-
5	Altura de nivel material fino (pulg)	5.6	5.7	5.7	-
6	Altura de nivel arena (pulg) – 10 pulg	3.4	3.5	3.3	-
7	Equivalente de arena (%)	60.7	61.4	57.9	60.0 %
Observaciones:		•			

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado fino (arena chancada 3/8”) procedente de la cantera La Gloria al ser sometido al “ensayo de equivalente de arena” presentó tres valores diferentes de porcentaje de arena, en la primera muestra se obtuvo un 60.7 %, en la segunda muestra un 61.4 % y en la tercera muestra un 57.9 %. Al final, el porcentaje de equivalente de arena promedio es de 60.0 %.
- En la Figura 27, se observa que el 33.0 % de equivalente de arena que presenta el agregado fino de la cantera Jicamarca no cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 60.0 % mínimo. En cambio, el 60.0 % de equivalente de arena que presenta el agregado fino de la cantera La Gloria que sí cumple con el requerimiento mínimo.

Figura 27: Resultados del ensayo de equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.6. Índice de plasticidad (malla N.º 200)

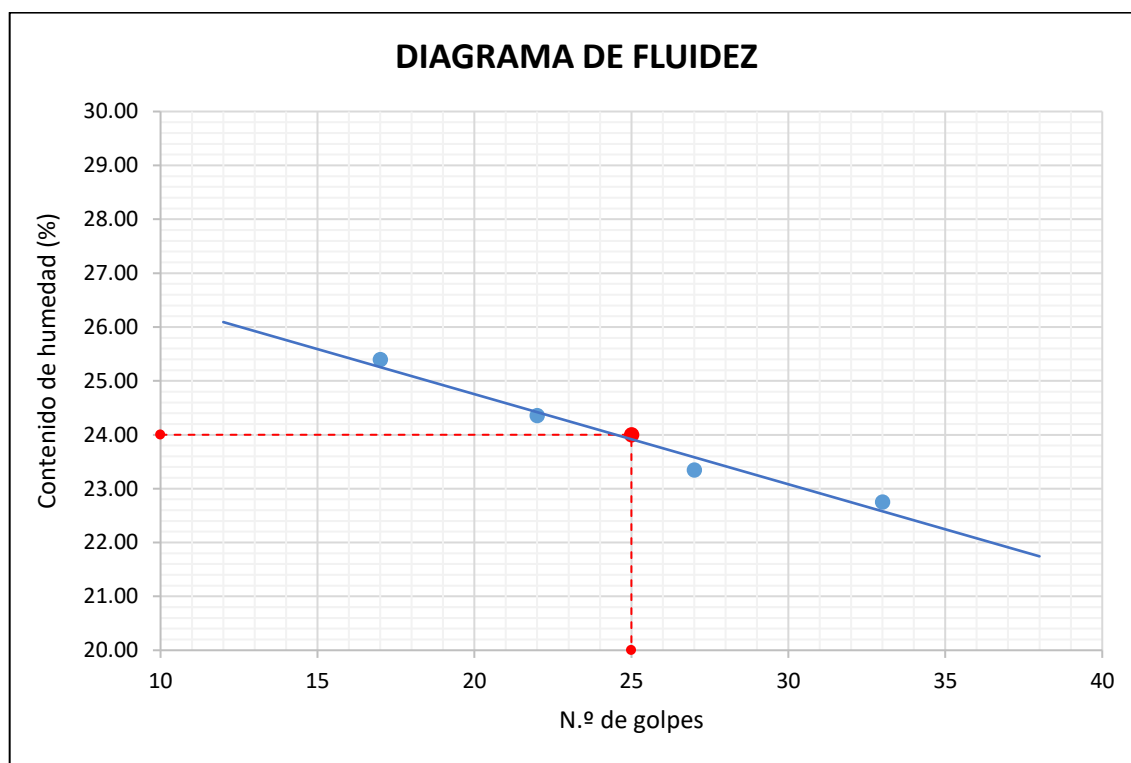
Cuadro 13: Ensayo de límites de consistencia

ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-110, MTC E-111, ASTM D-4318					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	La Gloria		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Arena Chancada 3/8"	Muestra:	M-1		
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110 / AASHTO T 89)					
Ítem	Descripción	Tara			
		T-1	T-2	T-3	T-4
1	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	24.24	23.87	24.61	24.82
2	Peso de la tara + suelo seco (gr)	21.77	21.52	21.98	22.06
3	Peso del agua (gr)	2.47	2.35	2.63	2.76
4	Peso de la tara (gr)	11.19	11.19	11.18	11.19
5	Peso del suelo húmedo (gr)	10.58	10.33	10.80	10.87
6	Contenido de humedad (%)	23.35	22.75	24.35	25.39
7	Número de golpes	27	33	22	17
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111 / AASHTO T 90)					
Ítem	Descripción	Tara			
		T-1	T-2	T-3	T-4
1	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	28.06	27.18	26.45	28.58
2	Peso de la tara + suelo seco (gr)	25.2	24.3	23.9	25.48
3	Peso del agua (gr)	2.86	2.88	2.55	3.1
4	Peso de la tara (gr)	11.17	11.18	11.17	11.18
5	Peso del suelo húmedo (gr)	14.03	13.12	12.73	14.3
6	Contenido de humedad (%)	20.38	21.95	20.03	21.68
ÍNDICE DE PLÁSTICO					
Límite Líquido =	24.0	Límite Plástico =	21.0	Índice Plástico =	3.0

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- Interpretación: El agregado fino (arena chancada 3/8”) procedente de la cantera La Gloria al ser sometido al “ensayo de límites de consistencia” presentó los siguientes resultados:
 - Con respecto al límite líquido, se obtuvo 4 valores diferentes de contenido de humedad (23.35 %, 22.75 %, 24.35 % y 25.39 %) y cada uno de ellos a un determinado número de golpes (27, 33, 22 y 17). Estos resultados se ilustran en el diagrama de fluidez y se halla el contenido de humedad a 25 golpes. Entonces, de acuerdo a la figura 28, podemos decir que el límite líquido es de 24.0%.

Figura 28: Diagrama de fluidez

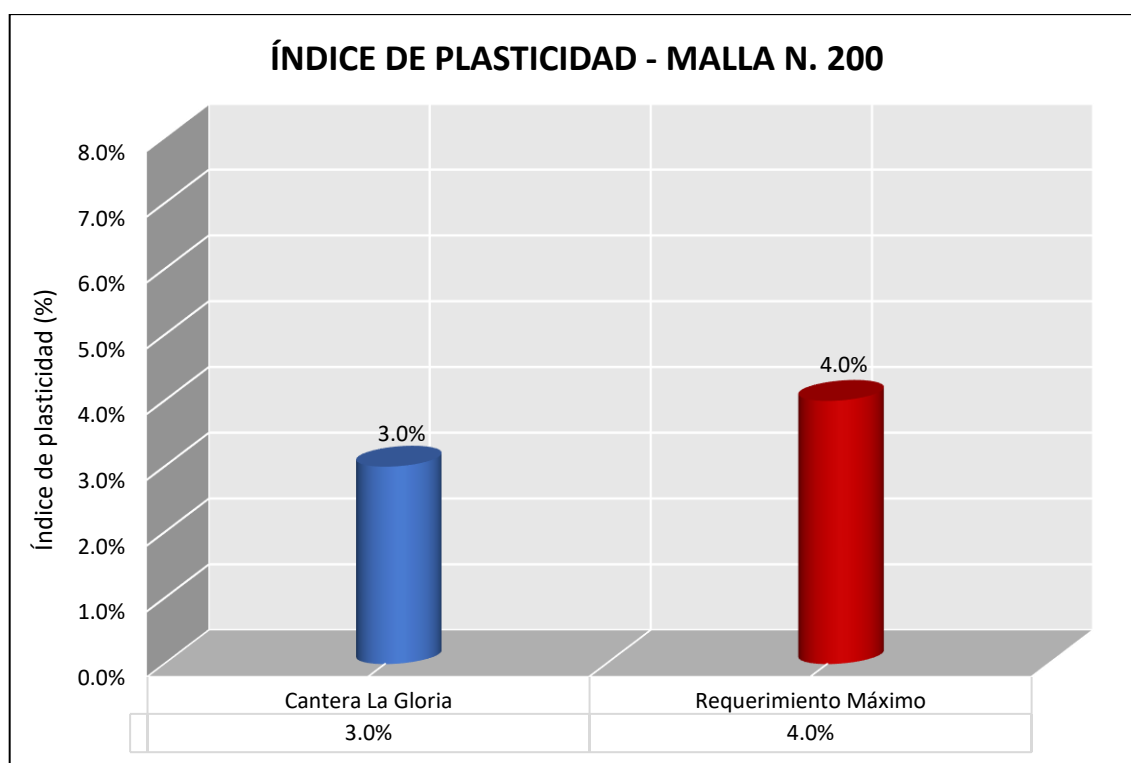


Fuente: Elaboración propia

- Con respecto al límite plástico, se obtuvo 4 valores diferentes de contenido de humedad (20.38 %, 21.95 %, 20.03 % y 21.68 %), estos resultados se promedian y se obtiene el límite plástico, el cual es de 21.0%.

- Finalmente, el índice plástico se obtiene de la resta de los valores del Límite Líquido y Límite Plástico, dando como resultado un índice de plasticidad de 3.0 %.
- Asimismo, en la figura 29, se observa que el 3.0 % de índice de plasticidad (malla N.º 200) que presenta el agregado fino de la cantera Jicamarca sí cumple con el requerimiento que nos exige el Manual de Carreteras EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, que es de 4.0 % máximo.

Figura 29: Resultados del ensayo de límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia

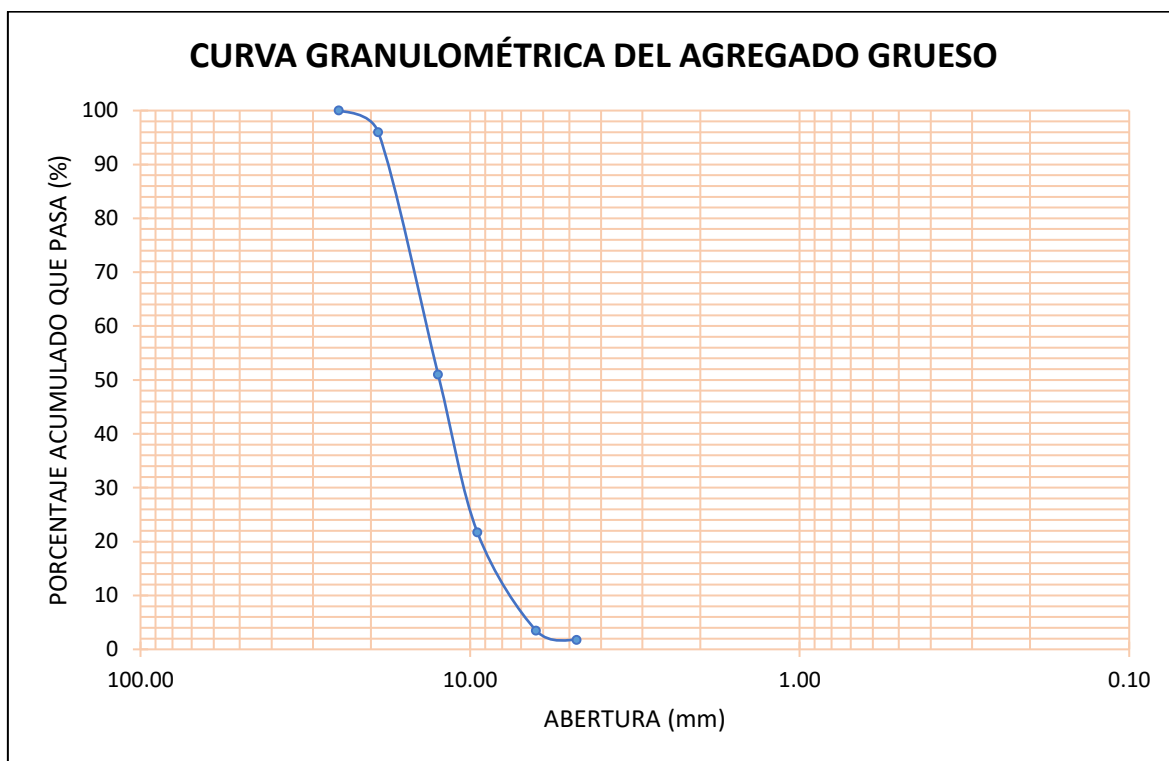
4.1.2.7. Análisis granulométrico

Cuadro 14: Análisis granulométrico del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-204 / ASTM C-136					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	Jicamarca		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	28/06/2019		
Material:	Piedra Chancada 3/4"	Muestra:	M-1		
AGREGADO GRUESO					
Tamiz (puig)	Abertura (mm)	Peso retenido	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	75.000				
2 1/2"	63.000				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				100.0
3/4"	19.000	227.78	4.0	4.0	96.0
1/2"	12.500	2562.48	45.0	49.0	51.0
3/8"	9.500	1668.46	29.3	78.3	21.7
1/4"	6.300	1036.38	18.2	96.5	3.5
N.º 04	4.750	102.50	1.8	98.3	1.7
N.º 10	2.000	-	-	-	-
N.º 40	0.425	-	-	-	-
N.º 80	0.180	-	-	-	-
N.º 200	0.075	-	-	-	-
FONDO	-	96.80	1.7	100.0	-

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Figura 30: Curva granulométrica del agregado grueso



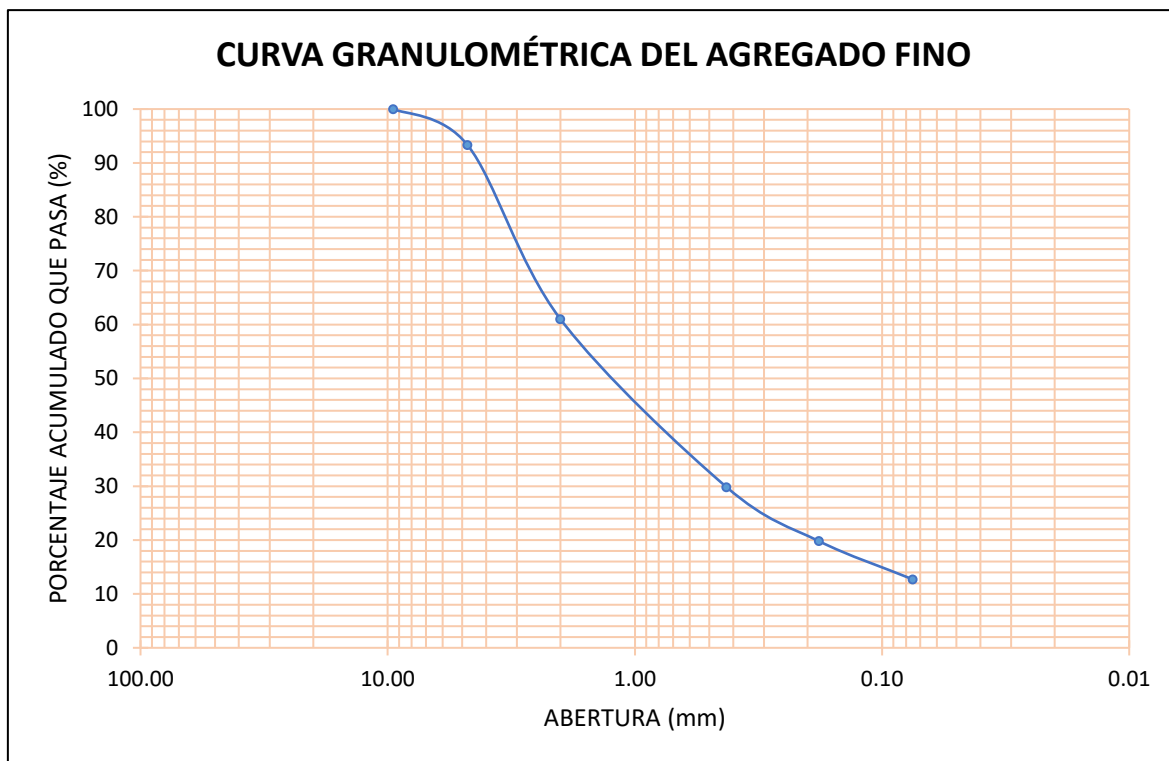
Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Cuadro 15: Análisis granulométrico del agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-204 / ASTM C-136					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	La Gloria		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Arena Chacada 3/8"	Muestra:	M-1		
AGREGADO FINO					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	75.000				
2 1/2"	63.000				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500	1625.8			
1"	25.000				
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.500				
1/4"	6.300				100.0
N.º 04	4.750	108.93	6.7	6.7	93.3
N.º 10	2.000	525.13	32.3	39.0	61.0
N.º 40	0.425	507.25	31.2	70.2	29.8
N.º 80	0.180	160.95	9.9	80.2	19.8
N.º 200	0.075	117.06	7.2	87.3	12.7
FONDO	-	206.48	12.7	-	-

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

Figura 31: Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos N.º 02 UNI

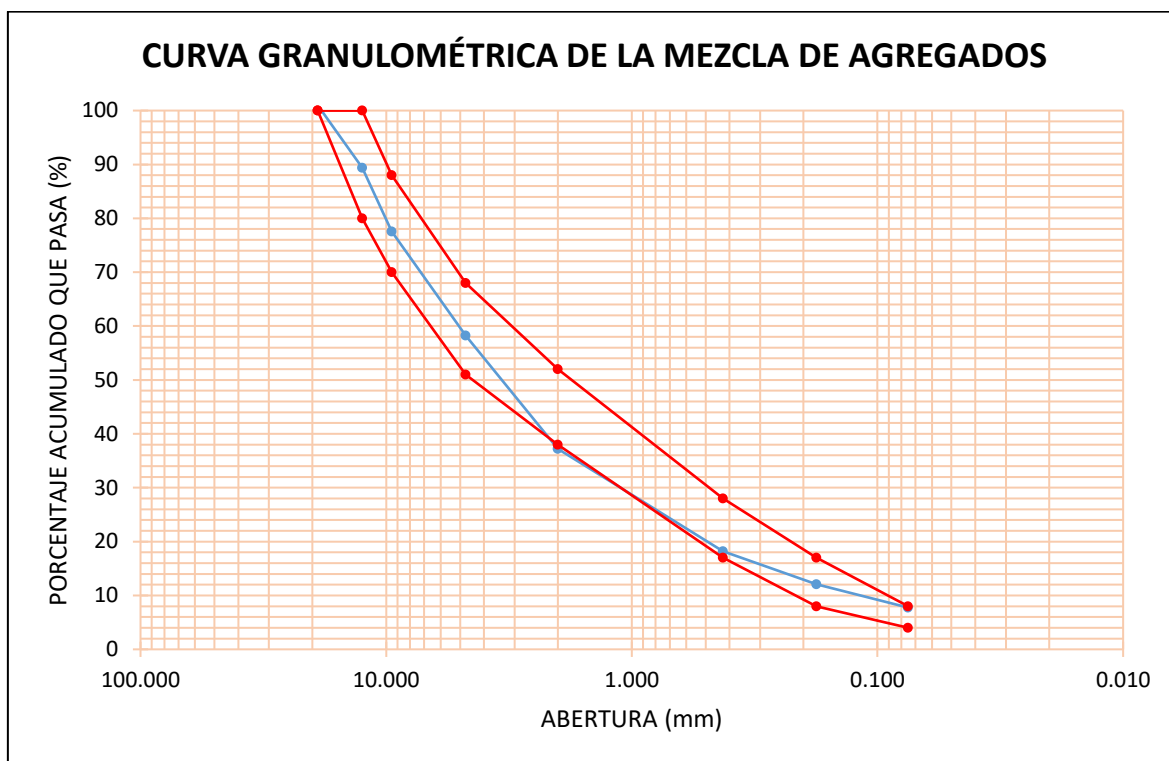
Cuadro 16: Análisis granulométrico de la mezcla de agregados

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-204 / ASTM C-136					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Cantera:	La Gloria		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Arena Chacada 3/8"	Muestra:	M-1		
COMBINACIÓN DE AGREGADOS					
Tamiz	Piedra Ch.	Arena Ch.	Mezcla	Especificación MAC - 2	
	40%	60%	100%	Inferior	Superior
1"					
3/4"	100.00	100.00	100.0	100.0	100.0
1/2"	70.9	100.00	88.4	80.0	100.0
3/8"	41.4	100.00	76.6	70.0	88.0
N.º 04	3.3	93.3	57.3	51.0	68.0
N.º 10	0.0	61.0	36.6	38.0	52.0
N.º 40	0.0	29.8	17.9	17.0	28.0
N.º 80	0.0	19.8	11.9	8.0	17.0
N.º 200	0.0	12.7	7.6	4.0	8.0
FONDO	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos - UNI

- En la Figura 32, se observa que la mezcla de agregados, se encuentra dentro de los límites inferiores y superiores de las especificaciones de MAC-2.

Figura 32: Curva granulométrica de la mezcla de agregados MAC - 2



Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de Mecánica de Suelos N.º 02 UNI

4.2. Variable Dependiente: Factos de diseño de mezclas asfálticas

4.2.1. Factores estructurales

4.2.1.1. Peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

Cuadro 17: Ensayo de peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 514 / ASTM D 2726				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	130 °C	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	18/07/2019	
Material:	Mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado)	Agua:	+ 2.0 %	
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				
Ítem	Descripción	Briqueta		
		1	2	3
1	Cemento asfáltico	4.5 %	5.5 %	6.5 %
2	Diámetro promedio de la briqueta (mm)	101.5	101.7	101.5
3	Altura promedio de la briqueta (mm)	59.4	57.4	58.4
4	Peso de la briqueta en aire (gr)	1157.6	1145.2	1154.2
5	Peso de la briqueta SSS en aire (gr)	1158.6	1145.7	1154.5
6	Peso de la briqueta SSS en agua (gr)	685.9	685.3	685.8
7	Volumen de la briqueta (cm ³)	472.7	460.4	468.7
8	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm ³)	2.4489	2.4874	2.4626

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Interpretación: Las briquetas elaboradas con mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) al ser sometidas al "ensayo de peso unitario de mezclas asfálticas compactadas" presentaron los siguientes valores de peso específico bulk: el primer espécimen muestra 2.4489 gr/cm³, el segundo espécimen muestra 2.4874 gr/cm³ y el tercer espécimen muestra 2.4626 gr/cm³.

Cuadro 18: Peso unitario de la mezcla asfáltica convencional

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 514 / ASTM D 2726				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	160 °C	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	18/07/2019	
Material:	Mezcla asfáltica convencional (en caliente)	Agua:	-	
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				
Ítem	Descripción	Briqueta		
		1	2	3
1	Cemento asfáltico	4.50%	5.50%	6.50%
2	Diámetro promedio de la briqueta (mm)	101.6	102	101.6
3	Altura promedio de la briqueta (mm)	59.8	59.2	59.4
4	Peso de la briqueta en aire (gr)	1176.4	1181.1	1181.7
5	Peso de la briqueta SSS en aire (gr)	1177.2	1181.8	1182
6	Peso de la briqueta SSS en agua (gr)	698.2	705.5	704.7
7	Volumen de la briqueta (cm ³)	479	476.3	477.3
8	Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm ³)	2.4559	2.4797	2.4758

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Interpretación: Las briquetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) al ser sometidas al "ensayo de peso unitario de mezclas asfálticas compactadas" presentaron los siguientes valores de peso específico bulk: el primer espécimen muestra 2.4559 gr/cm³, el segundo espécimen muestra 2.4797 gr/cm³ y el tercer espécimen muestra 2.4758 gr/cm³.

4.2.1.2. Máxima gravedad específica de mezclas asfálticas – Rice:

Cuadro 19: Ensayo de máxima gravedad específica de mezclas asfálticas – Rice

ENSAYO DE MÁXIMA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - RICE				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 508 / ASTM D 2041				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	130 °C	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	18/07/2019	
Material:	Mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado)	Agua:	+ 2.0 %	
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				
Ítem	Descripción	Muestra		
		1	2	3
1	Cemento asfáltico	4.5 %	5.5 %	6.5 %
2	Peso matraz (gr.)	3000.0	3000.0	3000.0
3	Peso matraz + Mezcla asfáltica (aire) (gr)	4455.0	4456.0	4457.0
4	Peso matraz + Mezcla asfáltica + agua (gr)	8306.0	8297.0	8285.0
5	Peso de mezcla asfáltica (gr)	1455.0	1456.0	1457.0
6	Volumen de mezcla asfáltica (cm ³)	565.0	575.0	588.0
7	Peso matraz con agua a 25 °C (gr)	7416.0	7416.0	7416.0
8	P. E. Máximo de mezcla asfáltica (gr/cm³)	2.575	2.532	2.478

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Interpretación: La mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) al ser sometida al "ensayo de máxima gravedad específica de mezclas asfálticas - Rice" presentó los siguientes valores de peso específico máximo: la primera muestra obtuvo 2.575 gr/cm³, la segunda muestra obtuvo 2.532 gr/cm³ y la tercera muestra 2.478 gr/cm³.

Cuadro 20: Máxima gravedad de mezcla asfáltica convencional

ENSAYO DE MÁXIMA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - RICE				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 508 / ASTM D 2041				
DATOS DE LA MUESTRA				
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	160 °C	
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	18/07/2019	
Material:	Mezcla asfáltica convencional (en caliente)	Agua:	-	
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				
Ítem	Descripción	Muestra		
		1	2	3
1	Cemento asfáltico	4.50%	5.50%	6.50%
2	Peso matraz (gr.)	3000	3000	3000
3	Peso matraz + Mezcla asfáltica (aire) (gr)	4458	4459	4458
4	Peso matraz + Mezcla asfáltica + agua (gr)	8309	8302	8291
5	Peso de mezcla asfáltica (gr)	1458	1459	1458
6	Volumen de mezcla asfáltica (cm ³)	565	573	583
7	Peso matraz con agua a 25 °C (gr)	7416	7416	7416
8	P. E. Máximo de mezcla asfáltica (gr/cm³)	2.581	2.546	2.501

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

- Interpretación: La mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) al ser sometida al "ensayo de máxima gravedad específica de mezclas asfálticas - Rice" presentó los siguientes valores de peso específico máximo: la primera muestra obtuvo 2.581 gr/cm³, la segunda muestra obtuvo 2.546 gr/cm³ y la tercera muestra 2.501 gr/cm³.

4.2.1.3. Marshall

Cuadro 21: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica modificada

ENSAYO MARSHALL					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-504 / ASTM D-1559 / AASHTO T-245					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	130 °C		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado)	Agua:	+ 2.0 %		
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA					
Ítem	Descripción	Unidad	1	2	3
1	Cemento asfáltico	%	4.5	5.5	6.5
2	Piedra chancada	%	38.2	37.8	37.4
3	Arena chancada	%	57.3	56.7	56.1
4	Peso específico del cemento asfáltico - Aparente	gr/cm3	1.021	1.021	1.021
5	Peso específico de la piedra chancada - Bulk	gr/cm3	2.691	2.691	2.691
6	Peso específico de la arena chancada - Bulk	gr/cm3	2.776	2.776	2.776
7	Peso de briqueta en el aire	gr	1157.6	1145.2	1154.2
8	Peso de briqueta saturada	gr	1158.6	1145.7	1154.5
9	Peso de briqueta en el agua	gr	685.9	685.3	685.8
10	Volumen de briqueta por desplazamiento	cm3	472.7	460.4	468.7
11	Peso específico bulk de briqueta	gr/cm3	2.449	2.487	2.463
12	Peso específico máximo – Rice	gr/cm3	2.575	2.532	2.478
13	Vacíos	%	4.9	1.8	0.6
14	Peso específico bulk del agregado total	gr/cm3	2.741	2.741	2.741
15	Vacíos en el agregado mineral (VMA)	%	14.69	14.26	16.01
16	Vacíos llenos con asfalto (VFA)	%	66.61	87.60	96.13
17	Peso específico del agregado total	gr/cm3	2.774	2.771	2.751
18	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.43	0.39	0.12
19	Asfalto efectivo	%	4.09	5.14	6.39
20	Flujo	mm	5	5.5	7.25
21	Estabilidad sin corregir	kg	1561.40	964.71	837.82
22	Factor de estabilidad (tabla)	-	1.14	1.19	1.19
23	Estabilidad corregida	kg	1780.00	1148.00	997.00

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

Cuadro 22: Resultados del ensayo Marshall - Mezcla asfáltica convencional

ENSAYO MARSHALL					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E-504 / ASTM D-1559 / AASHTO T-245					
DATOS DE LA MUESTRA					
Proyecto de Investigación:	"Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima"				
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo	Temperatura:	160 °C		
Concepto:	Diseño de mezcla asfáltica	Fecha:	10/07/2019		
Material:	Mezcla asfáltica convencional (en caliente)	Agua:	-		
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
Ítem	Descripción	Unidad	1	2	3
1	Cemento asfáltico	%	4.5	5.5	6.5
2	Piedra chancada	%	38.2	37.8	37.4
3	Arena chancada	%	57.3	56.7	56.1
4	Peso específico del cemento asfáltico - Aparente	gr/cm3	1.021	1.021	1.021
5	Peso específico de la piedra chancada - Bulk	gr/cm3	2.691	2.691	2.691
6	Peso específico de la arena chancada - Bulk	gr/cm3	2.776	2.776	2.776
7	Peso de briqueta en el aire	gr	1176.4	1181.1	1181.7
8	Peso de briqueta saturada	gr	1177.2	1181.8	1182.0
9	Peso de briqueta en el agua	gr	698.2	705.5	704.7
10	Volumen de briqueta por desplazamiento	cm3	479.0	476.3	477.3
11	Peso específico bulk de briqueta	gr/cm3	2.456	2.480	2.476
12	Peso específico máximo – Rice	gr/cm3	2.581	2.546	2.501
13	Vacíos	%	4.8	2.6	1.0
14	Peso específico bulk del agregado total	gr/cm3	2.741	2.741	2.741
15	Vacíos en el agregado mineral (VMA)	%	14.44	14.52	15.56
16	Vacíos llenos con asfalto (VFA)	%	66.58	82.01	93.56
17	Peso específico del agregado total	gr/cm3	2.781	2.789	2.781
18	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.51	0.62	0.52
19	Asfalto efectivo	%	4.01	4.92	6.02
20	Flujo	mm	4.5	5.75	7.5
21	Estabilidad sin corregir	kg	2405.26	1578.07	1061.40
22	Factor de estabilidad (tabla)	-	1.14	1.14	1.14
23	Estabilidad corregida	kg	2742.00	1799.00	1210.00

Fuente: Elaboración propia - Laboratorio N.º 02 - Mecánica de Suelos – UNI

4.2.1.4. Peso unitario

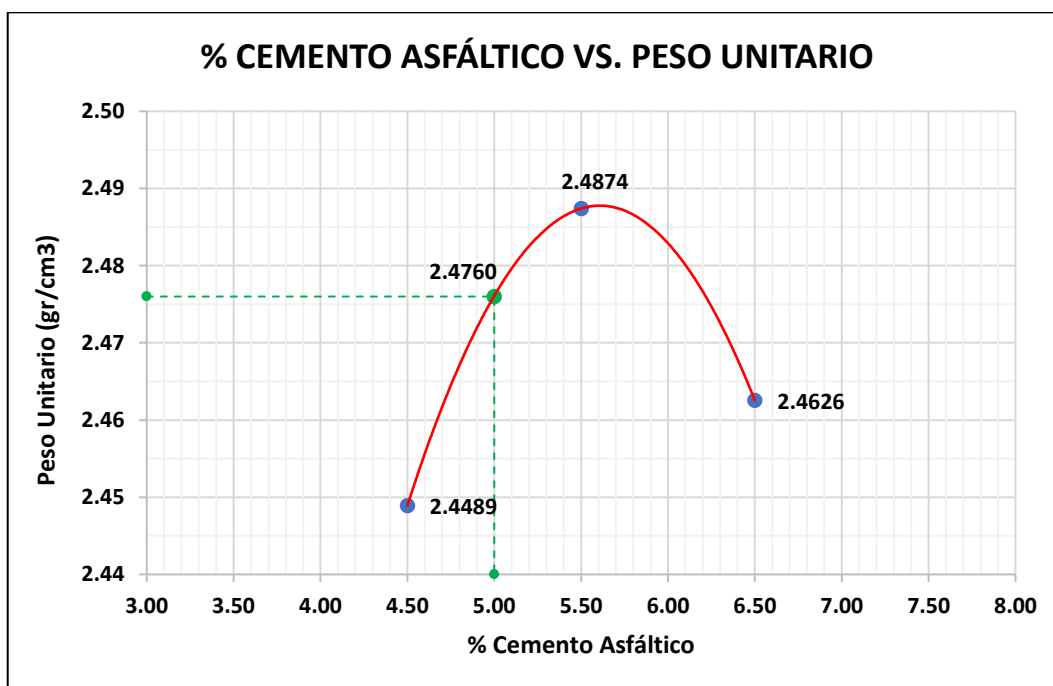
Cuadro 23: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica modificada

% CEMENTO ASFÁLTICO VS. PESO UNITARIO MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Peso Unitario (gr/cm ³)
1	4.5	2.4489
2	5.5	2.4874
3	6.5	2.4626
% Cemento Asfáltico Óptimo		5.0 %
Peso Unitario (gr/cm ³)		2.4760 gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 23, se expone el resultado del peso unitario de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 33, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el peso unitario para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo un peso unitario de 2.4760 gr/cm³.

Figura 33: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 24: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica convencional

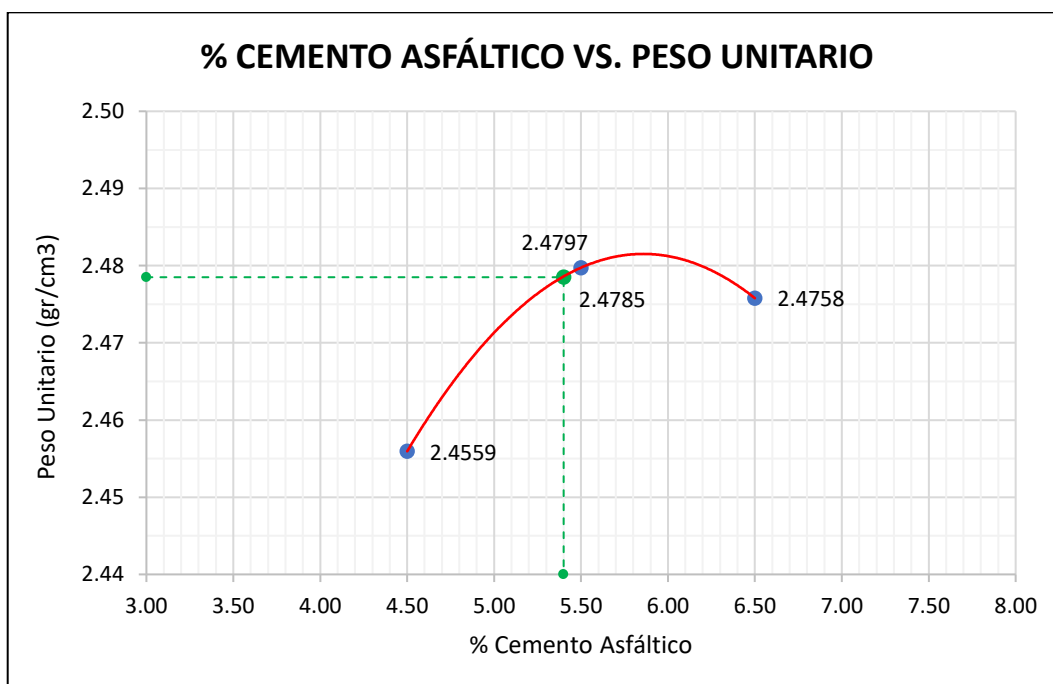
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. PESO UNITARIO MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Peso Unitario (gr/cm ³)
1	4.5	2.4559
2	5.5	2.4797
3	6.5	2.4758

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.4 %
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.4785 gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 24, se expone el resultado del peso unitario de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 34, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el peso unitario para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo un peso unitario de 2.4785 gr/cm³.

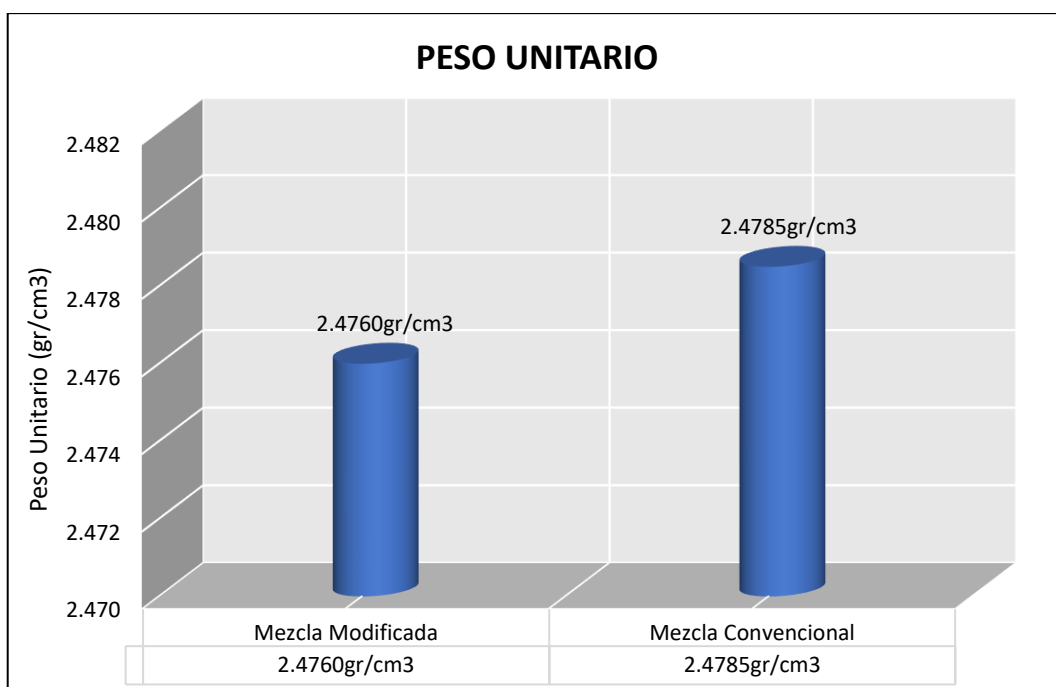
Figura 34: % Cemento asfáltico Vs. Peso unitario - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 35, se representa los resultados del ensayo Marshall (Peso Unitario) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra un peso unitario de 2.4760 gr/cm³
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra un peso unitario de 2.4785 gr/cm³.
 - La mezcla asfáltica convencional presenta un peso unitario mayor frente a la mezcla asfáltica modificada. La diferencia de valores es de 0.0016 gr/cm³.

Figura 35: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Peso unitario



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5. Estabilidad

Cuadro 25: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica modificada

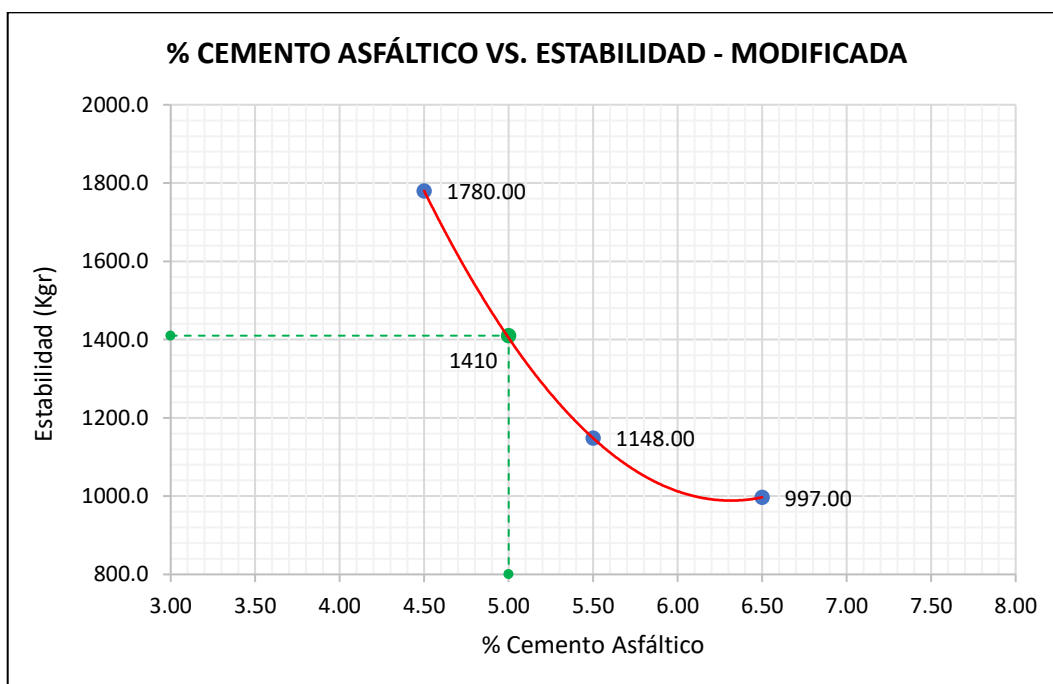
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. ESTABILIDAD MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Estabilidad (Kgr)
1	4.5	1780.0
2	5.5	1148.0
3	6.5	997.0

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.0 %
Estabilidad (kgr)	1410.0 kgr

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 25, se expone el resultado de estabilidad de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 36, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar la estabilidad para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo una estabilidad de 1410.0 kgr.

Figura 36: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica convencional

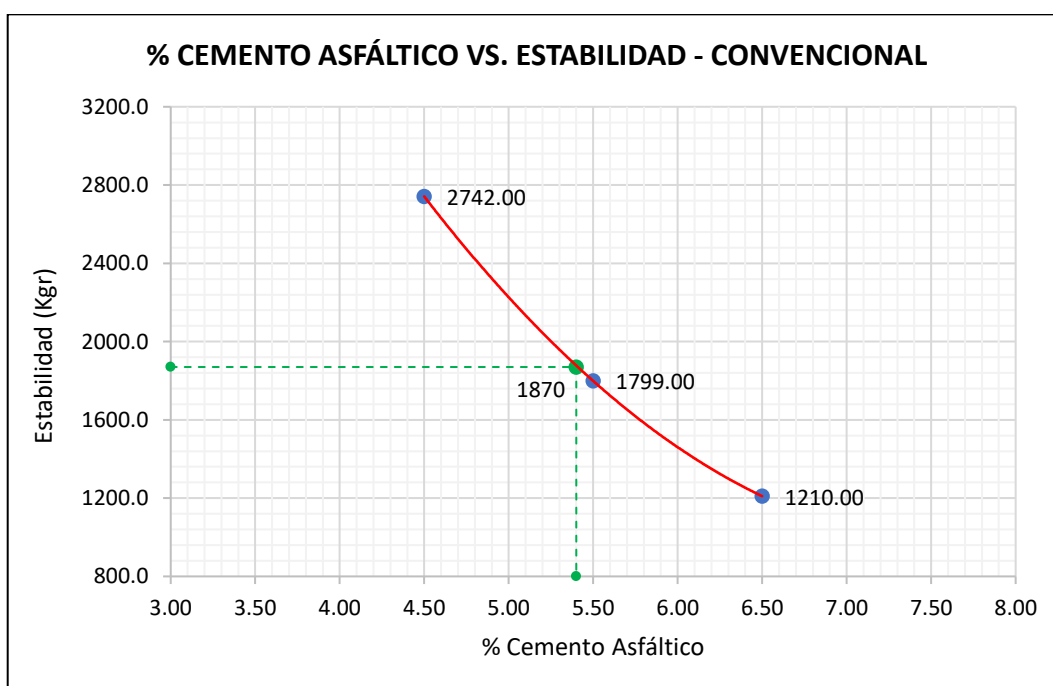
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. ESTABILIDAD MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Estabilidad (Kgr)
1	4.5	2742.0
2	5.5	1799.0
3	6.5	1210.0

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.4 %
Estabilidad (Kgr)	1870.0 kgr

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 26, se expone el resultado de estabilidad de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 37, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar la estabilidad para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo una estabilidad de 1870.0 kgr.

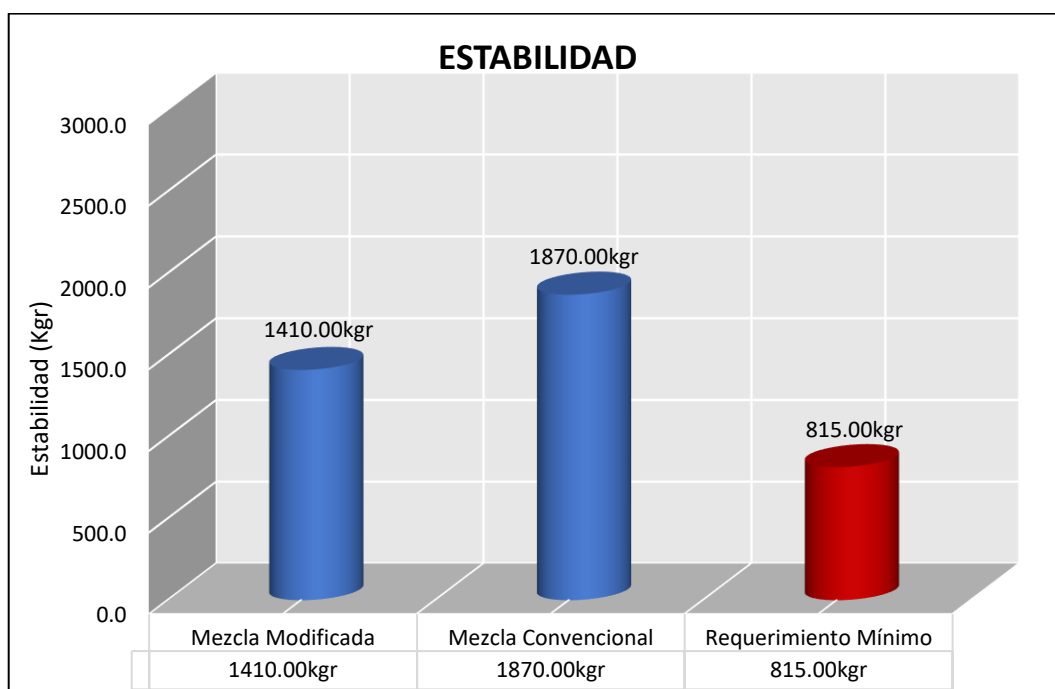
Figura 37: % Cemento asfáltico Vs. Estabilidad - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 38, se representa los resultados del ensayo Marshall (Estabilidad) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra una estabilidad de 1410.0 kgr, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 831.0 kgr.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra una estabilidad de 1870.0 kgr, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 831.0 kgr.
 - La mezcla asfáltica convencional presenta un valor de estabilidad mayor frente a la mezcla asfáltica modificada. La diferencia de valores es de 460 kgr.

Figura 38: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Estabilidad



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.6. Flujo

Cuadro 27: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica modificada

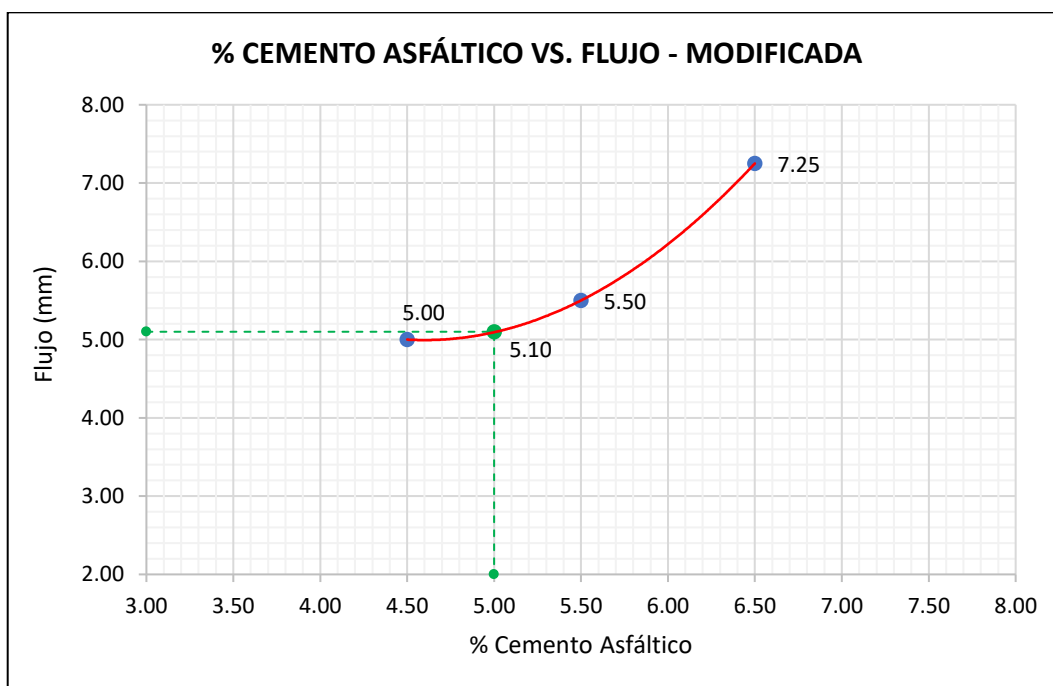
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. FLUJO MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)
1	4.5	5.00
2	5.5	5.50
3	6.5	7.25

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.0 %
Flujo (mm)	5.10 mm

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 27, se expone el resultado de flujo de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 39, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el flujo para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo un flujo de 5.10 mm.

Figura 39: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica convencional

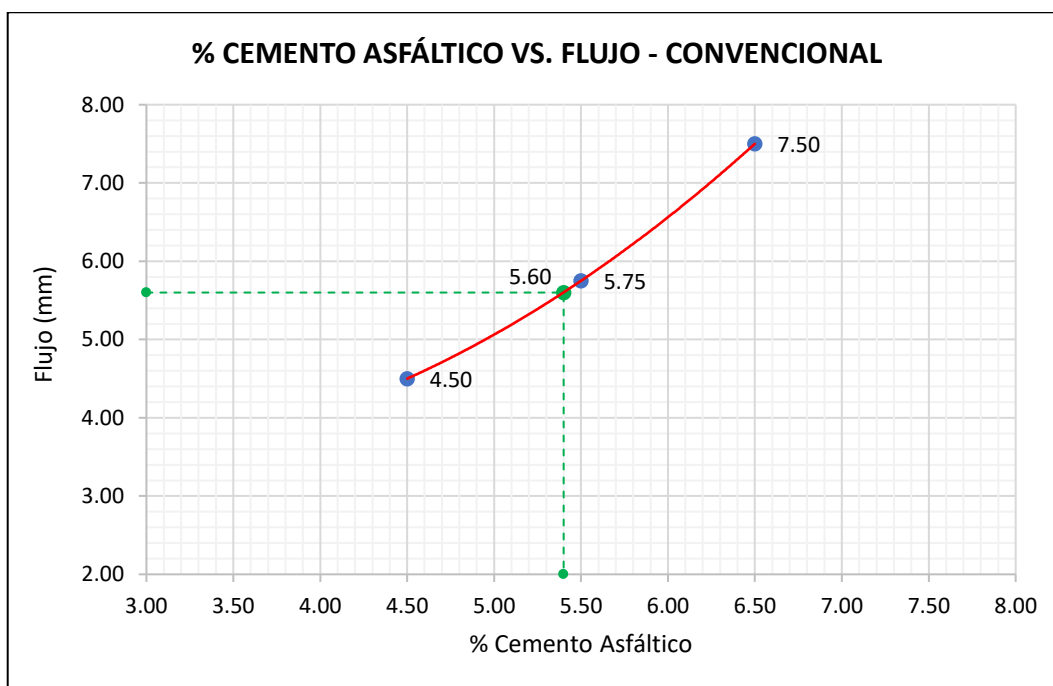
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. FLUJO MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)
1	4.5	4.50
2	5.5	5.75
3	6.5	7.50

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.4 %
Flujo (mm)	5.60 mm

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 28, se expone el resultado de flujo de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 40, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el flujo para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo un flujo de 5.60 mm.

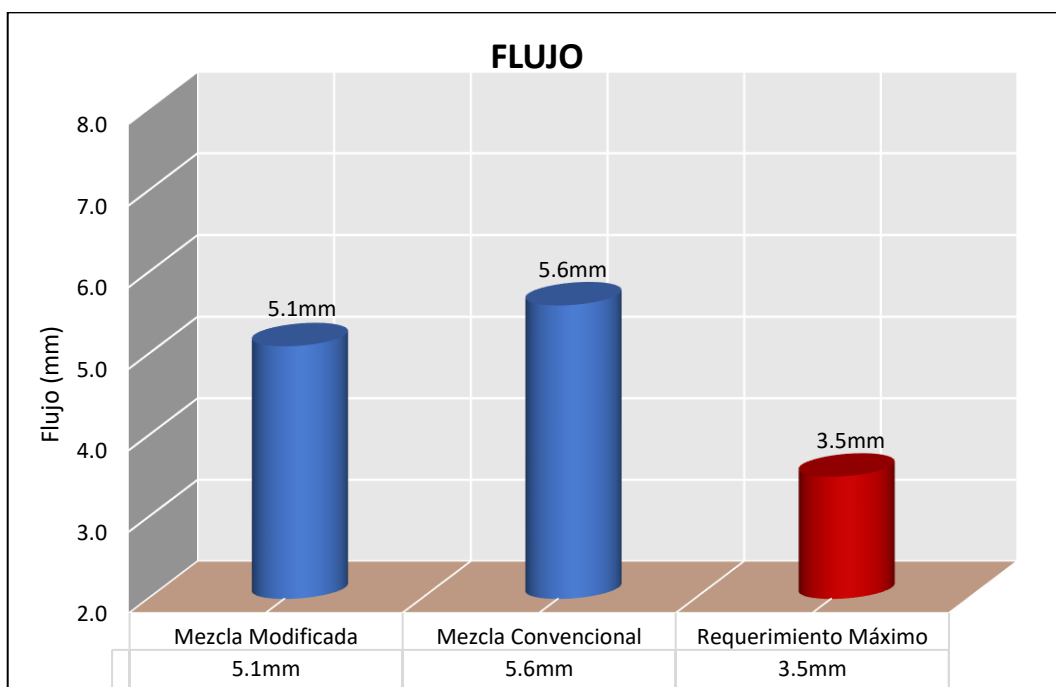
Figura 40: % Cemento asfáltico Vs. Flujo - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 41, se representa los resultados del ensayo Marshall (Flujo) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra un flujo de 5.1 mm, el cual no cumple con el parámetro de diseño mínimo de 2.0 mm y máximo de 3.5 mm.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra un flujo de 5.6 mm, el cual no cumple con el parámetro de diseño mínimo de 2.0 mm y máximo de 3.5 mm.
 - La mezcla asfáltica convencional presenta un valor de flujo mayor frente a la mezcla asfáltica modificada. La diferencia de valores es de 0.5 mm.

Figura 41: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - Flujo



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.7. Porcentaje de vacíos con aire

Cuadro 29: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica modificada

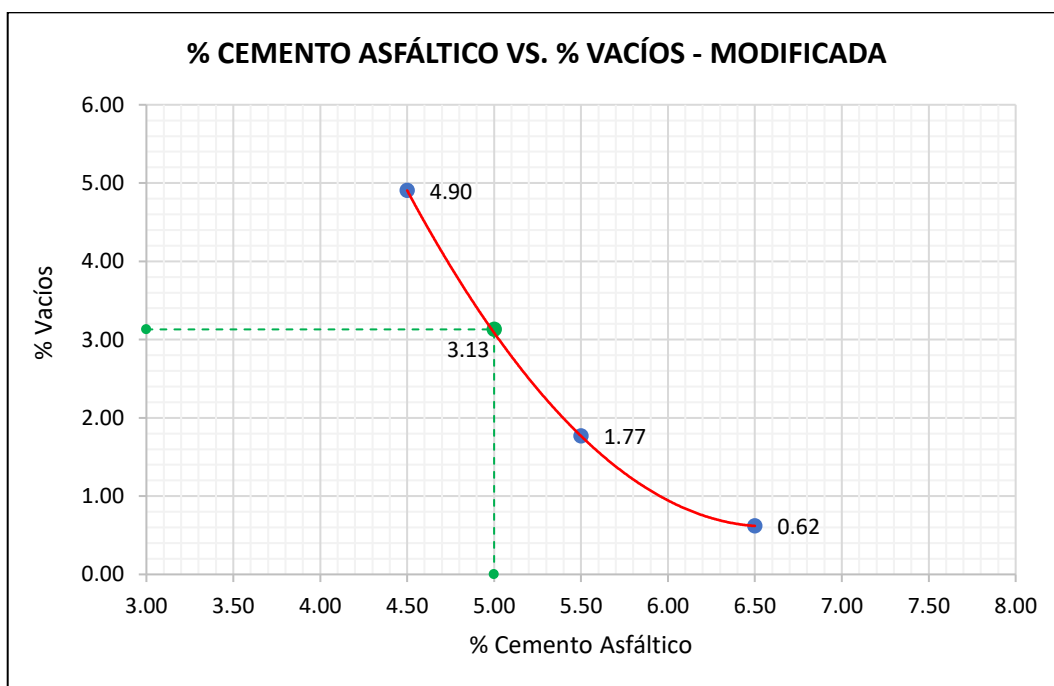
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VACÍOS MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% Vacíos
1	4.5	4.90
2	5.5	1.77
3	6.5	0.62

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.0 %
% Vacíos	3.13 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 29, se expone el resultado del % de vacíos con aire de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 42, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % de vacíos para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo un % de vacíos con aire de 3.13 %.

Figura 42: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica convencional

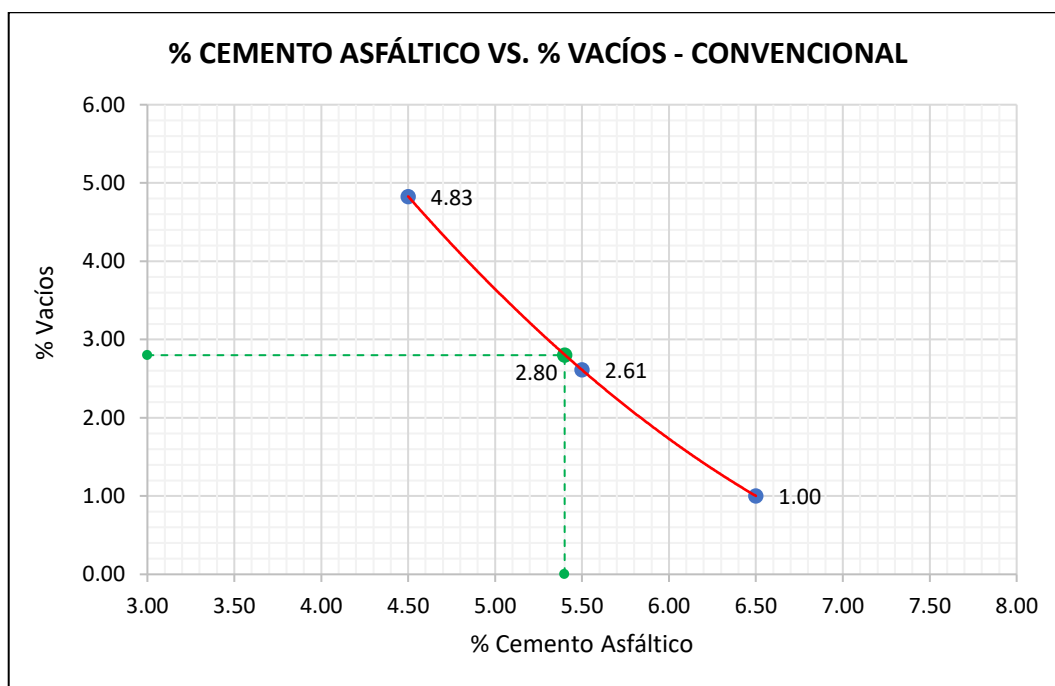
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VACÍOS MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% Vacíos
1	4.5	4.83
2	5.5	2.61
3	6.5	1.00

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.4 %
% Vacíos	2.80 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 30, se expone el resultado del % de vacíos con aire de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 43, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % de vacíos para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo un % de vacíos con aire de 2.80 %.

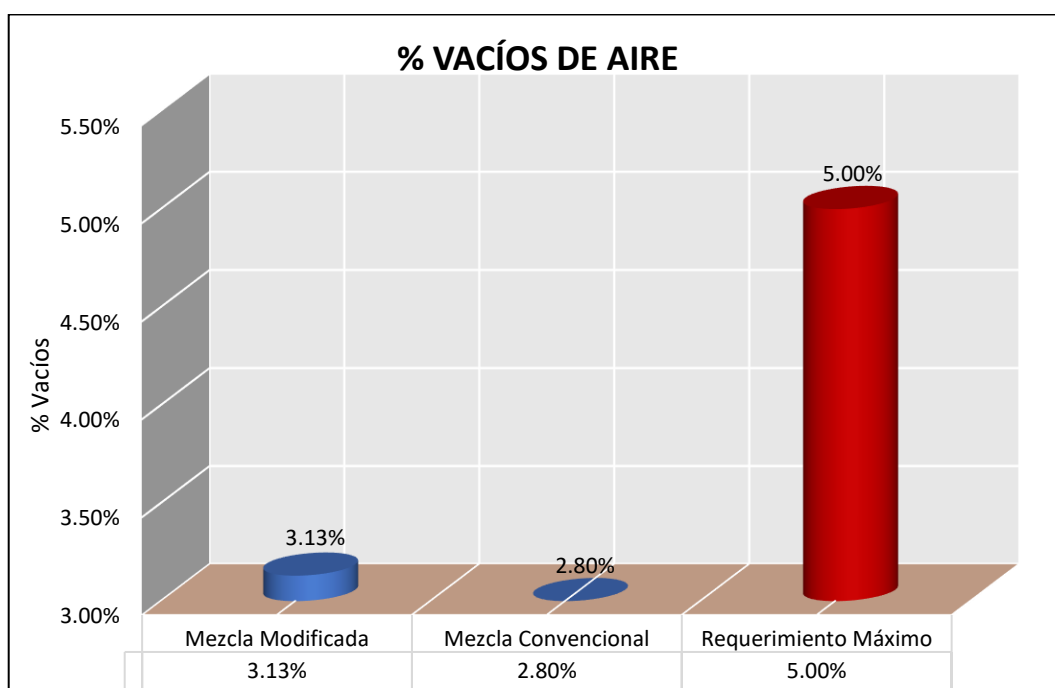
Figura 43: % Cemento asfáltico Vs. % Vacíos - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 44, se representa los resultados del ensayo Marshall (% Vacíos con aire) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra un porcentaje de vacíos con aire de 3.13 %, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 3.0 mm y máximo de 5.0 %.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra un porcentaje de vacíos con aire de 2.80 %, el cual no cumple con el parámetro de diseño mínimo de 3.0 mm y máximo de 5.0 %.
 - La mezcla asfáltica modificada presenta un porcentaje de vacíos de aire mayor frente a la mezcla asfáltica convencional. La diferencia de valores es de 0.33 %.

Figura 44: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - % Vacíos



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.8. Vacíos en el agregado mineral - VMA

Cuadro 31: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica modificada

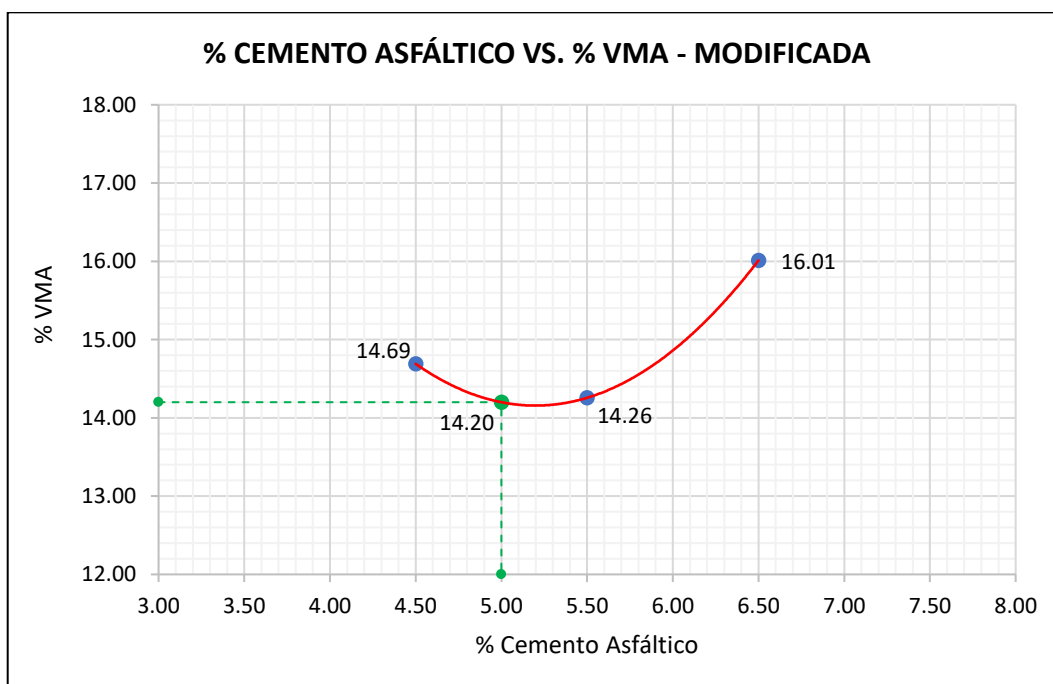
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VMA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% VMA
1	4.5	14.69
2	5.5	14.26
3	6.5	16.01

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.0 %
% VMA	14.20 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 31, se expone el resultado de % VMA (vacíos en el agregado mineral) de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 45, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % VMA para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo un % VMA de 14.20 %.

Figura 45: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 32: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica convencional

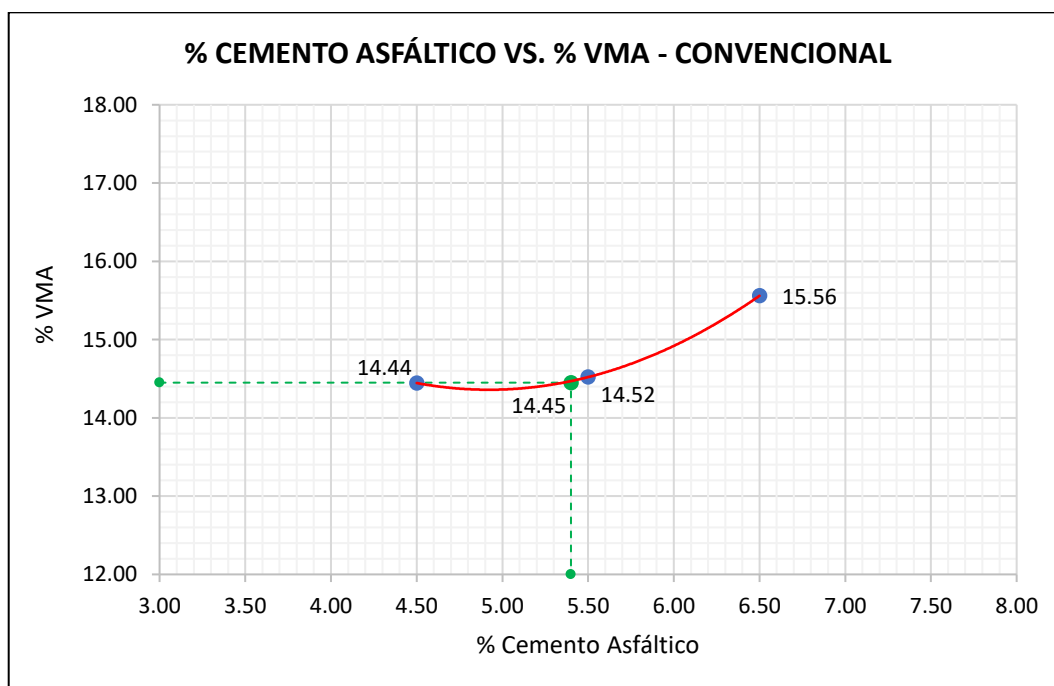
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VMA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% VMA
1	4.5	14.44
2	5.5	14.52
3	6.5	15.56

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.5 %
% VMA	14.45 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 32, se expone el resultado de % VMA (vacíos en el agregado mineral) de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 46, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % VMA para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo un % VMA de 14.45 %.

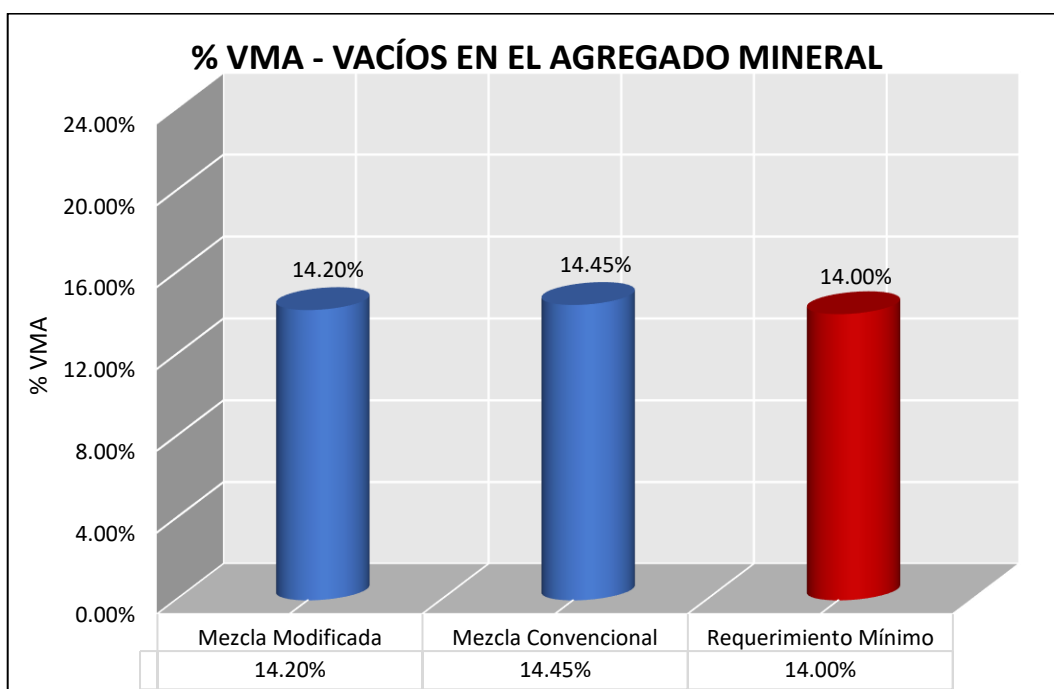
Figura 46: % Cemento asfáltico Vs. % VMA - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 47, se representa los resultados del ensayo Marshall (% VMA) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra un % VMA (vacíos en el agregado mineral) de 14.20 %, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 14.00 %.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra un % VMA (vacíos en el agregado mineral) de 14.45 %, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 14.00 %.
 - La mezcla asfáltica modificada presenta un porcentaje de vacíos en el agregado menor frente a la mezcla asfáltica convencional. La diferencia de valores es de 0.25 %.

Figura 47: Mezcla A. Modificada Vs. Mezcla A. Convencional - % VMA



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.9. Vacíos llenos con asfalto - VFA

Cuadro 33: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica modificada

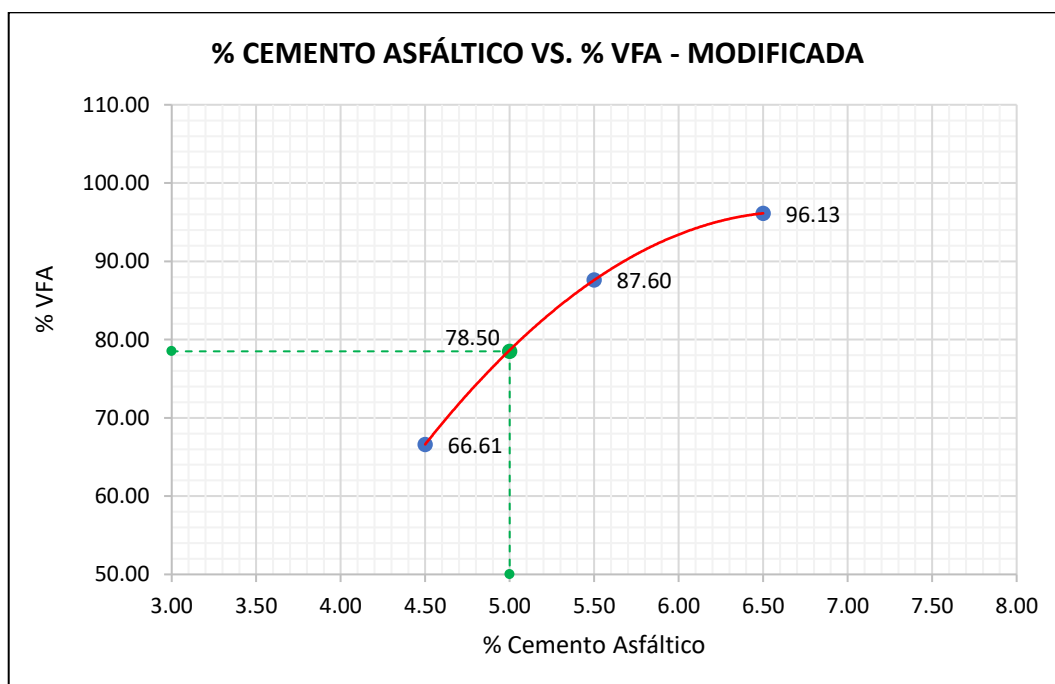
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VFA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% VFA
1	4.5	66.61
2	5.5	87.60
3	6.5	96.13

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.0 %
% VFA	78.50 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 33, se expone el resultado de % VFA (vacíos llenos con asfalto) de cada briqueta de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 48, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % VFA para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 %, obteniendo un % VFA de 78.50 %.

Figura 48: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica modificada



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 34: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica convencional

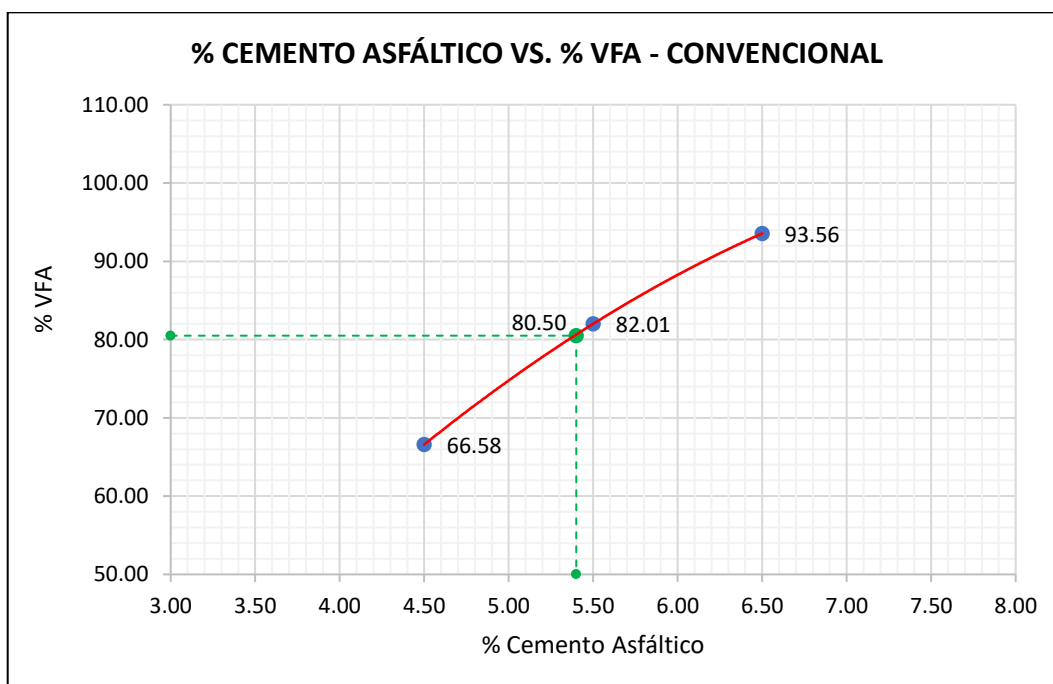
% CEMENTO ASFÁLTICO VS. % VFA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL		
Briqueta	% Cemento Asfáltico	% VFA
1	4.5	66.58
2	5.5	82.01
3	6.5	93.56

% Cemento Asfáltico Óptimo	5.4 %
% VFA	80.50 %

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 34, se expone el resultado de % VFA (vacíos llenos con asfalto) de cada briqueta de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) de acuerdo a su % de cemento asfáltico. Asimismo, en la Figura 49, se grafica cada uno de estos valores con la intención de hallar el % VFA para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 %, obteniendo un %VFA de 80.50 %.

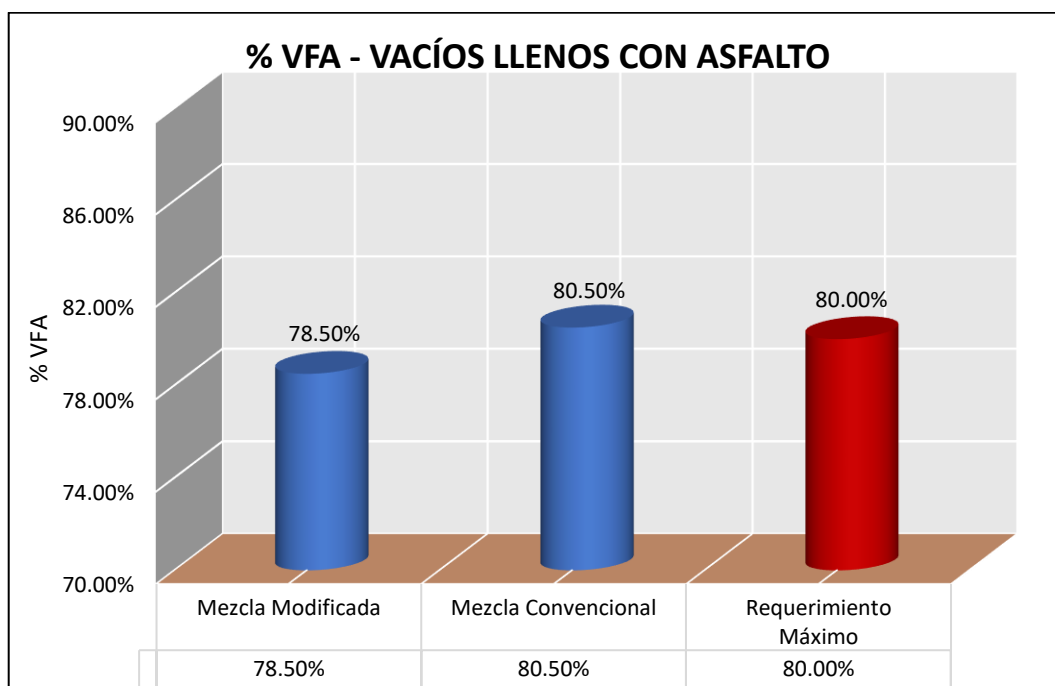
Figura 49: % Cemento asfáltico Vs. % VFA - Mezcla asfáltica convencional



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 50, se representa los resultados del ensayo Marshall (% VFA) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra un % VFA (vacíos llenos con asfalto) de 78.50 %, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 70 % y máximo de 80 %.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra un % VFA (vacíos llenos con asfalto) de 80.50 %, el cual no cumple con el parámetro de diseño mínimo de 70 % y máximo de 80 %.
 - La mezcla asfáltica modificada presenta un porcentaje de vacíos en el agregado menor frente a la mezcla asfáltica convencional. La diferencia de valores es de 2.00 %.

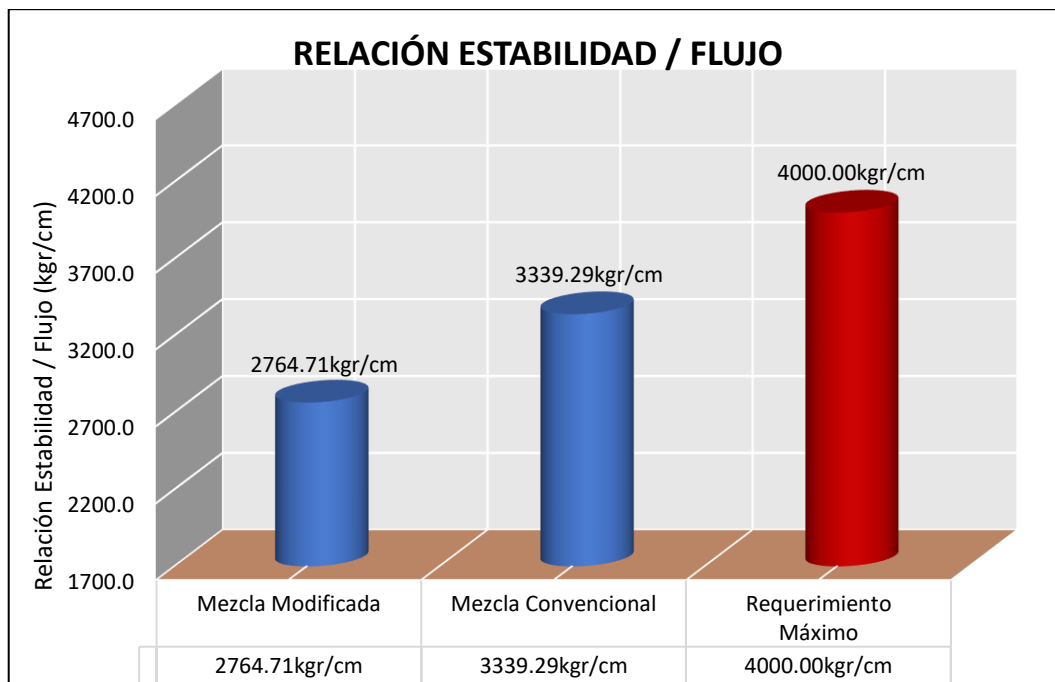
Figura 50: Mezcla asfáltica modificada Vs. Mezcla asfáltica convencional - % VFA



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.10. Relación estabilidad / flujo

Figura 51: M.A. Modificada Vs. M.A. Convencional - Relación de Estabilidad/Flujo



Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 51, se representa los resultados del ensayo Marshall (Relación Estabilidad / Flujo) obtenidos de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) y la mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente). A partir de estos resultados, se puede indicar lo siguiente:
 - La mezcla asfáltica modificada para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.0 % muestra una relación estabilidad / flujo de 2764.71 kg/cm³, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 1700.00 kg/cm³ y máximo de 4000.00 kg/cm³.
 - La mezcla asfáltica convencional para un % de cemento asfáltico óptimo de 5.4 % muestra una relación estabilidad / flujo de 3339.29 kg/cm³, el cual cumple con el parámetro de diseño mínimo de 1700.00 kg/cm³ y máximo de 4000.00 kg/cm³.
 - La mezcla asfáltica modificada presenta una relación estabilidad / flujo menor frente a la mezcla asfáltica convencional. La diferencia de valores es de 574.58 kg/cm³.

4.2.2. Factores económicos

4.2.2.1. Rendimiento

Cuadro 35: Rendimiento de la planta de asfalto - Mezcla asfáltica modificada

RENDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA			
PLANTA DE ASFALTO			
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Capacidad de la planta	100	tn/h
2	Eficiencia del equipo	85	%
3	Tiempo útil	90	%
4	Peso específico (% 5.0 C.A.)	2.555	tn/m3
5	Horas de trabajo (día)	8	hr
6	Rendimiento	239.53	m3/día

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 35, se expone el cálculo del rendimiento de la planta de asfalto para la preparación de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado), obteniendo como resultado un rendimiento de 239.53 m3/día.

Cuadro 36: Rendimiento de la planta de asfalto - Mezcla asfáltica convencional

RENDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA			
PLANTA DE ASFALTO			
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Capacidad de la planta	100	tn/h
2	Eficiencia del equipo	85	%
3	Tiempo útil	90	%
4	Peso específico (5.5 % C.A.)	2.550	tn/m3
5	Horas de trabajo (día)	8	hr
6	Rendimiento	240.00	m3/día

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 36, se expone el cálculo del rendimiento de la planta de asfalto para la preparación de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente), obteniendo como resultado un rendimiento de 240.00 m³/día.

4.2.2.2. Cantidad de materiales:

Cuadro 37: Cantidad de materiales para 1 m³ de mezcla asfáltica modificada

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA				
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	
1	Peso unitario de mezcla asfáltica	2476.00	kg/m ³	
2	Porcentaje óptimo de agua	2.0	%	
3	Porcentaje óptimo de cemento asfáltico	5.0	%	
4	Peso de cemento asfáltico	123.80	kg	
5	Peso específico del cemento asfáltico - Aparente	1021.40	kg/m ³	
6	Volumen de cemento asfáltico	0.121	m ³	
7	Peso de agregados	2352.20	kg	
8	Peso unitario de agregados	1500.00	kg/m ³	
9	Volumen de agregados	1.568	m ³	
10	Dosificación			
10.1	Piedra chancada 3/4"	38.00 %	0.627	m³
10.2	Arena chancada 3/8"	57.00 %	0.941	m³
10.3	Sub total	95.00 %		
10.4	Cemento asfáltico PEN 60/70	5.00 %	32.019	(a) gln
10.5	Total	100.00 %		
10.6	Agua	(b) 2.00 %	0.050	m³
Observaciones:		(a) 1 m ³ = 264.172 gln (b) 2.00 % del P.U. de mezcla asfáltica en lt		

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 37, se expone el cálculo de los materiales para para la preparación de 1m³ de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado).

Cuadro 38: Cantidad de material para 1 m³ de mezcla asfáltica convencional

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA				
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				
Ítem	Descripción		Cantidad	Unidad
1	Peso unitario de mezcla asfáltica		2478.50	kg/m ³
2	Porcentaje óptimo de cemento asfáltico		5.4	%
3	Peso de cemento asfáltico		133.84	kg
4	Peso específico del cemento asfáltico - Aparente		1021.40	kg/m ³
5	Volumen de cemento asfáltico		0.131	m ³
6	Peso de agregados		2344.66	kg
7	Peso unitario de agregados		1500.00	kg/m ³
8	Volumen de agregados		1.563	m ³
9	Dosificación			
9.1	Piedra chancada 3/4"	37.84 %	0.625	m³
9.2	Arena chancada 3/8"	56.76 %	0.938	m³
9.3	Sub total	94.60 %		
9.4	Cemento asfáltico PEN 60/70	5.40 %	34.616	(a) gln
9.5	Total	100.00 %		
Observaciones:		(a) 1 m ³ = 264.172 gln		

Fuente: *Elaboración propia*

- En el Cuadro 38, se expone el cálculo de los materiales para para la preparación de 1m³ de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente).

4.2.2.3. Consumo de combustible

Cuadro 39: Consumo de combustible para 1 m³ de mezcla asfáltica modificada

CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA 1 M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA			
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Temperatura de mezclado	130.0	°C
2	Regresión logarítmica (a)	$Y = 5.1753 * \ln(x) - 18.967$	
3	Y = Consumo de combustible	6.219	gln
Observaciones:		(a) El valor de "x" se reemplaza por el valor de la temperatura de mezclado.	

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 39, se expone el cálculo del consumo de combustible (Petróleo D-2) para producir 1m³ de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) a una temperatura de mezclado de 130 °C, obteniendo como resultado un consumo de 6.219 gln.

Cuadro 40: Consumo de combustible para 1 m³ de mezcla asfáltica convencional

CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA 1 M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA			
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Temperatura de mezclado	160.0	°C
2	Regresión logarítmica (a)	$Y = 5.1753 * \ln(x) - 18.967$	
3	Y = Consumo de combustible	7.293	gln
Observaciones:		(a) El valor de "x" se reemplaza por el valor de la temperatura de mezclado.	

Fuente: Elaboración propia

- En el Cuadro 40, se expone el cálculo del consumo de combustible (Petróleo D-2) para producir 1m³ de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente) a

una temperatura de mezclado de 160 °C, obteniendo como resultado un consumo de 7.293 gln.

4.2.2.4. Presupuesto

Cuadro 41: Presupuesto para 1 m³ de mezcla asfáltica modificada

PRESUPUESTO - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA					
Presupuesto:	Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima				
Sub presupuesto:	Mezcla asfáltica modificada	Fecha:	16/07/2019		
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo				
Cliente:	Universidad Peruana Los Andes	Lugar:	Lima - Lima		
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				617.25
01.01	Preparación de mezcla asfáltica 2"	m3	1.00	575.53	575.53
01.01	Transporte de mezcla asfáltica 2"	m3	1.00	41.72	41.72
	COSTO DIRECTO				617.25
	GASTOS GENERALES (10%)				61.73
	UTILIDADES (10%)				61.73
	SUBTOTAL				740.71
	IMPUESTO (IGV 18%)				133.33
	PRESUPUESTO TOTAL				874.04
SON: OCHOCIENTOS SETENTICUATRO Y 04/100 NUEVOS SOLES					

Fuente: Elaboración propia - S10

- En el Cuadro 41, se expone el cálculo del presupuesto para producir 1m³ de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado), obteniendo un costo directo de S/. 617.25 y un presupuesto total de S/. 874.04.

Cuadro 42: Presupuesto para 1m³ de mezcla asfáltica convencional

PRESUPUESTO - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL						
Presupuesto:	Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima					
Sub presupuesto:	Mezcla asfáltica convencional	Fecha:	16/07/2019			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo					
Cliente:	Universidad Peruana Los Andes	Lugar:	Lima - Lima			
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				659.58	
01.01	Preparación de mezcla asfáltica 2"	m3	1.00	617.86	617.86	
01.01	Transporte de mezcla asfáltica 2"	m3	1.00	41.72	41.72	
	COSTO DIRECTO				659.58	
	GASTOS GENERALES (10%)				65.96	
	UTILIDADES (10%)				65.96	
	SUBTOTAL				791.50	
	IMPUESTO (IGV 18%)				142.47	
	PRESUPUESTO TOTAL				933.97	
SON: NOVECIENTOS TRENTITRES Y 97/100 NUEVOS SOLES						

Fuente: Elaboración propia - S10

- En el Cuadro 42, se expone el cálculo del presupuesto para producir 1m³ de mezcla asfáltica convencional (asfalto en caliente), obteniendo un costo directo de S/. 659.58 y un presupuesto total de S/. 933.97.

4.2.2.5. Análisis de costos unitarios

Cuadro 43: APU - Mezcla asfáltica modificada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA						
Presupuesto:	Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima					
Sub presupuesto:	Mezcla asfáltica modificada	Fecha:	16/07/2019			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo					
Partida:	Preparación de mezcla asfáltica 2"					EQ: 239.5300
Rendimiento:	m3/día	MO: 239.5300	Costo unitario directo por m3:		575.53	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Capataz	hh	1.0000	0.0334	28.07	0.94	
Operario	hh	1.0000	0.0334	21.59	0.72	
Oficial	hh	1.0000	0.0334	17.37	0.58	
Peón	hh	3.0000	0.1002	15.7	1.57	
					3.81	
Materiales						
Petróleo D-2	gal		6.2190	10.97	68.22	
Piedra chancada 3/4"	m3		0.6270	25.47	15.97	
Arena chancada 3/8"	m3		0.9410	61.24	57.63	
Agua puesta en obra	m3		0.0500	31.38	1.57	
Cemento asfáltico PEN 60/70	gal		32.0190	12.5	400.24	
					543.63	
Equipos						
Herramientas manuales	%mo		5.0000	3.81	0.19	
Cargador sobre llantas de 125-135 hp	hm	1.0000	0.0334	182.53	6.10	
Grupo electrógeno de 150 kw	hm	1.0000	0.0334	131.61	4.40	
Planta para asfalto	hm	1.0000	0.0334	521.09	17.40	
					28.09	
Partida:	Transporte de mezcla asfáltica 2"					EQ: 50.0000
Rendimiento:	m3/día	MO: 50.0000	Costo unitario directo por m3:		41.72	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Oficial	hh	1.0000	0.1600	17.37	2.78	
					2.78	
Equipos						
Herramientas manuales	%mo		5.0000	2.78	0.14	
Camión volquete de 15 m3	hm	1.0000	0.1600	242.52	38.80	
					38.94	

Fuente: Elaboración propia - S10

Cuadro 44: APU - Mezcla asfáltica convencional

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS – MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL						
Presupuesto:	Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima					
Sub presupuesto:	Mezcla asfáltica convencional	Fecha:	16/07/2019			
Elaborado por:	Ccoyllo Huamán José Eduardo					
Partida:	Preparación de mezcla asfáltica 2"					EQ: 240.0000
Rendimiento:	m3/día	MO: 240.0000	Costo unitario directo por m3:		617.86	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Capataz	hh	1.0000	0.0333	28.07	0.93	
Operario	hh	1.0000	0.0333	21.59	0.72	
Oficial	hh	1.0000	0.0333	17.37	0.58	
Peón	hh	3.0000	0.1000	15.7	1.57	
					3.80	
Materiales						
Petróleo D-2	gal		7.2930	10.97	80.00	
Piedra chancada 3/4"	m3		0.6250	25.47	15.92	
Arena chancada 3/8"	m3		0.9380	61.24	57.44	
Cemento asfáltico PEN 60/70	gal		34.6160	12.5	432.70	
					586.06	
Equipos						
Herramientas manuales	%mo		5.0000	3.80	0.19	
Cargador sobre llantas de 125-135 hp	hm	1.0000	0.0333	182.53	6.08	
Grupo electrógeno de 150 kw	hm	1.0000	0.0333	131.61	4.38	
Planta para asfalto	hm	1.0000	0.0333	521.09	17.35	
					28.00	
Partida:	Transporte de mezcla asfáltica 2"					EQ: 50.0000
Rendimiento:	m3/día	MO: 50.0000	Costo unitario directo por m3:		41.72	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Oficial	hh	1.0000	0.1600	17.37	2.78	
					2.78	
Equipos						
Herramientas manuales	%mo		5.0000	2.78	0.14	
Camión volquete de 15 m3	hm	1.0000	0.1600	242.52	38.80	
					38.94	

Fuente: Elaboración propia - S10

4.2.3. Factores de medio ambiente

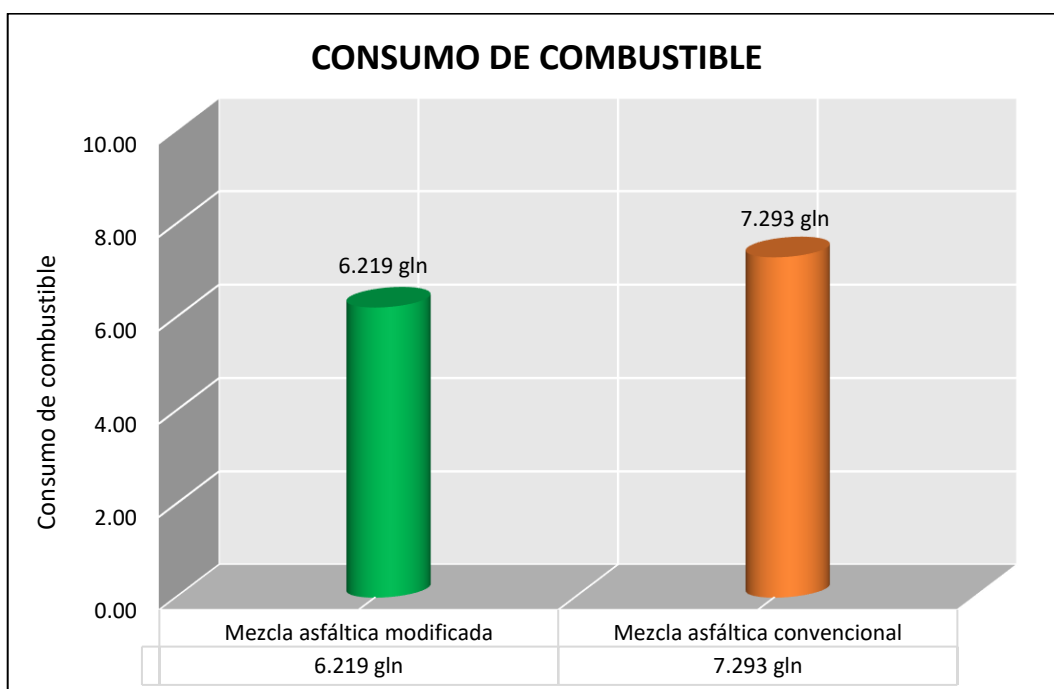
4.2.3.1. Consumo de combustible

Cuadro 45: Consumo de combustible - Factores de medio ambiente

CONSUMO DE COMBUSTIBLE			
1 M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Mezcla asfáltica modificada	6.219	gln
2	Mezcla asfáltica convencional	7.293	gln

Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Consumo de combustible



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

4.1. Variable Independiente: Método de asfalto espumado

4.1.1. Calidad de la espuma asfáltica

Los resultados obtenidos en el cuadro 46, evidencian que la calidad de espuma obtenida con una cantidad óptima de agua del 2.0 %, cumplen con los valores mínimos de razón de expansión (08 veces) y vida media (06 segundos) que nos exige el Manual de reciclado en frío - Wirtgen.

En ese sentido, con estos resultados podemos comprobar que la calidad de espuma asfáltica influye de manera positiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas.

Cuadro 46: Resultados de la calidad de espuma asfáltica

CALIDAD DE ESPUMA ASFÁLTICA						
RAZÓN DE EXPANSIÓN – VIDA MEDIA						
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70 (T = 130 °C)						
Contenido de agua (%)	Razón de Expansión	Valor mínimo de R.E.	Evaluación	Vida Media	Valor mínimo de V.M.	Evaluación
1.0	8.0	8.0	Cumple	14.0	6.0	Cumple
2.0	10.8	8.0	Cumple	9.0	6.0	Cumple
3.0	13.5	8.0	Cumple	6.0	6.0	Cumple
4.0	17.0	8.0	Cumple	4.0	6.0	No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Calidad de los agregados

Los resultados obtenidos en el Cuadro 47, se evidencia que la calidad del agregado grueso obtenido de la cantera Jicamarca y la calidad del agregado fino de la cantera la Gloria, cumplen con casi la totalidad de los parámetros requeridos por el Manual de Carreteras EG 2013, a excepción del porcentaje de absorción, en los que no cumple con el requerimiento máximo. Sin embargo, excepcionalmente se pueden aceptar porcentajes mayores, siempre que se aseguren las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

En ese sentido, con estos resultados podemos establecer que la calidad de los agregados contribuye de manera efectiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas.

Cuadro 47: Resultados de la calidad de agregados

CALIDAD DE AGREGADOS					
Ensayos	Requerimiento ≤ 3000 msnm	Cantera Jicamarca	Evaluación	Cantera La Gloria	Evaluación
AGREGADOS GRUESOS					
Abrasión Los Ángeles	40.0 % máximo	13.70%	Cumple	-	-
Partículas chatas y alargadas	10.0 % máximo	2.07%	Cumple	-	-
Caras fracturadas	85 / 50 mínimo	5.0 / 89.6	Cumple	-	-
Absorción	1.0 % máximo	1.05%	No cumple	-	-
AGREGADOS FINOS					
Equivalente de arena	60.0 % mínimo	33.00%	No cumple	60.00%	Cumple
Índice de plasticidad (malla N.º 200)	4.0 % máximo	-	-	3.00%	Cumple
Absorción	0.5 % máximo	-	-	0.828%	No cumple

Fuente: Elaboración propia

4.2. Variable dependiente: Factores de diseño de mezclas asfálticas

4.2.1. Factores estructurales:

Los resultados obtenidos en el cuadro 48, evidencian una mejora en las propiedades estructurales de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) - 130 °C en comparación a la mezcla asfáltica convencional (en caliente) - 160 °C. A continuación, analizaremos cada una de estas propiedades:

- **Estabilidad:** La estabilidad de la mezcla asfáltica convencional (1870 kg) presenta un valor mayor a la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada (1410 kg). Si bien, ambas mezclas cumplen con el parámetro de diseño mínimo de 831.00 kg, “valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado” [17, p. 61]. En ese sentido, podemos

verificar que el método de asfalto espumado mejora las propiedades de estabilidad.

- **Flujo:** El flujo de la mezcla asfáltica convencional (5.6 mm) presenta un valor mayor al flujo de la mezcla asfáltica modificada (5.1 mm). Ambas mezclas asfálticas no cumplen con el parámetro de diseño de 2 - 3.5 mm, sin embargo, “aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo cargas de tránsito”, por lo cual se puede considerar que el método de asfalto espumado mejora las propiedades de flujo.
- **Vacíos con aire:** El porcentaje de vacíos con aire de la mezcla asfáltica convencional (2.80 %) no cumple con el parámetro de diseño de 3 - 5 %, a diferencia del porcentaje de vacíos con aire de la mezcla asfáltica modificada (3.13 %) que sí está en el rango permitido. En ese sentido, podemos verificar que el método de asfalto espumado mejora la propiedad de vacíos con aire.
- **Vacíos en el agregado mineral:** El porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla asfáltica convencional (14.45 %) presenta un valor mayor al porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla asfáltica modificada (14.20 %). Ambas mezclas cumplen con el parámetro de diseño mínimo de 14 %.
- **Vacíos llenos con asfalto:** El porcentaje de vacíos llenos con asfalto de la mezcla asfáltica convencional (80.5 %) no cumple con el parámetro de diseño de 70 - 80 %, a diferencia del porcentaje de vacíos llenos de asfalto de la mezcla asfáltica modificada (78.5 %) que sí está en el rango permitido. En ese sentido, podemos verificar que el método de asfalto espumado mejora la propiedad de vacíos llenos con asfalto.

Por todo lo expuesto, con estos resultados podemos demostrar que el método de asfalto espumado mejora los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas.

Cuadro 48: Resultado de los factores estructurales

FACTORES ESTRUCTURALES					
DISEÑO – MÉTODO MARSHALL					
Parámetro de diseño		Mezcla asfáltica convencional - 160 °C	Evaluación	Mezcla asfáltica modificada 130 °C	Evaluación
Compactación, número de golpes por lado	75	75	Cumple	75	Cumple
Estabilidad (kgr)	831 mínimo	1870	Cumple	1410	Cumple
Flujo (mm)	2 - 3.5 mm	5.6	No cumple	5.1	No cumple
Vacios con aire (%)	3 - 5 %	2.80	No cumple	3.13	Cumple
Vacios en el agregado mineral - VMA (%)	14 % mínimo	14.45	Cumple	14.20	Cumple
Vacios llenos con asfalto - VFA (%)	70 - 80 %	80.5	No cumple	78.5	Cumple
Relación Estabilidad / Flujo (kgr/cm)	1700 - 4000	3339.29	Cumple	2764.71	Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Factores económicos

Los resultados obtenidos en el cuadro 49, evidencian una reducción en los costos de producción para 1m³ de mezcla asfáltica, ya que la mezcla asfáltica convencional (en caliente) presenta un costo de producción de S/.933.97 en comparación a la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) que tiene un costo de producción de S/.874.04.

Asimismo, es necesario observar que la disminución económica se provoca en la partida de “preparación de mezcla asfáltica”, con una diferencia de S/.42.33.

En ese sentido, podemos comprobar que el método de asfalto espumado optimiza los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas, específicamente en el proceso de preparación de mezcla asfáltica.

Cuadro 49: Resultado de los factores económicos

FACTORES ECONÓMICOS			
PRESUPUESTO			
PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA (1 M3)			
Ítem	Partidas	Mezcla asfáltica convencional - 160 °C	Mezcla asfáltica modificada - 130 °C
1	Preparación de mezcla asfáltica	S/.617.86	S/.575.53
2	Transporte de mezcla asfáltica	S/.41.72	S/.41.72
3	Presupuesto Total	S/.933.97	S/.874.04

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Factores de medio ambiente

Los resultados obtenidos en el Cuadro 50, evidencian una reducción en el consumo de combustible para producir 1m3 de mezcla asfáltica, ya que la mezcla asfáltica convencional (en caliente) presenta un consumo de combustible de 7.293 gln en comparación a la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) que presenta un consumo de combustible de 6.219 gln.

En ese sentido, podemos verificar que el método de asfalto espumado afecta de manera positiva los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas, ya que se reduce el consumo de combustible para la producción de mezcla asfáltica y por consecuencia se reduce la emisión de gases contaminantes.

Cuadro 50: Resultado de los factores ambientales

FACTORES AMBIENTALES			
CONSUMO DE COMBUSTIBLE			
(1M3 DE MEZCLA ASFÁLTICA)			
Ítem	Descripción	Mezcla asfáltica convencional - 160 °C	Mezcla asfáltica modificada - 130 °C
1	Consumo de combustible	7.293 gln	6.219 gln

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. El método de asfalto espumado mejora los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, ya que las mezclas asfálticas modificadas presentan una mejora en las propiedades estructurales, en los costos de producción y en el cuidado del medio ambiente, en comparación a las mezclas asfálticas convencionales.
2. La calidad de espuma asfáltica que se produce al añadir 2.0 % de agua fría al cemento asfáltico PEN 60/70 caliente a una temperatura de 130 °C influye de manera positiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, ya que cumple de manera óptima con los valores mínimos de razón de expansión y vida media.
3. La calidad de los agregados de la cantera Jicamarca y la cantera La Gloria contribuyen de manera efectiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, ya que cumplen con los requerimientos establecidos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.
4. El método de asfalto espumado mejora los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexible en Lima, ya que las mezclas asfálticas modificadas (asfalto espumado) presentan mejores valores de estabilidad en 24.60%, de flujo en 8.93% y %Vacíos en 11.79% en comparación a las mezclas asfálticas convencionales (en caliente).
5. El método de asfalto espumado optimiza los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, ya que el costo de producción de 1 m³ de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) es menor en 6.85% al costo de producción de 1 m³ de mezcla asfáltica convencional (en caliente).
6. El método de asfalto espumado afecta de manera positiva en los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima, ya que el consumo de combustible para producir 1 m³ de mezcla

asfáltica modificada (asfalto espumado) es menor en 14.73% al consumo de combustible para producir 1m³ de mezcla asfáltica convencional (en caliente) y con ello se disminuye la emisión de gases contaminantes en el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Ejecutar tramos de prueba que permitan medir el desempeño de la mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) ante las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.
2. Realizar el proceso de espumación con equipos de mayor precisión y de alta tecnología, como el equipo de laboratorio WLB 10 S, con el fin de evitar errores y tener mayor veracidad en los resultados.
3. Evaluar la calidad de los agregados a través de análisis químicos como: durabilidad al sulfato de magnesio, índice de durabilidad, azul de metileno y sales solubles totales, con el fin de tener mayor veracidad en los resultados.
4. Complementar la evaluación de las propiedades estructurales de la mezcla asfáltica modificada a través de ensayos de resistencia a la compresión simple y ensayos de tracción indirecta.
5. Elaborar un análisis de costos unitarios de mayor detalle en la producción de mezcla asfáltica modificada (asfalto espumado) en planta de asfalto, incluyendo los procesos de elaboración, transporte, colocado y compactado.
6. Realizar una medición de emisión de gases contaminantes (CO₂, CO, NO_x y SO₂) durante el proceso de elaboración de mezclas asfálticas para poder comprobar el impacto que genera en el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bituper, «Pavimento rígidos y flexibles,» *Perú Construye*, nº 51, pp. 56-61, 2018.
- [2] P. R. Navarro Vásquez y E. A. Morales Gazco, Contribución del asfalto espumado en el aporte estructural de pavimentos en altura como solución para el proyecto de conservación vial Tacna - Puno, tramo Capazo - Mazocruz, Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2018.
- [3] M. H. Gonzales Remond, Propuesta para la mejora de los pavimentos asfálticos utilizando el método del asfalto espumado, Arequipa: Universidad Católica de Santa María (UCSM), 2017.
- [4] M. A. Rojas Rojas, Aplicación de la tecnología del asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfálticos, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), 2013.
- [5] H. Delgado Alamilla, F. García Hernández y D. E. Campos Hernández, «Diseño de bases estabilizadas con asfalto espumado,» Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, 2017.
- [6] G. R. Méndez González, J. E. Morán Gutiérrez y L. C. Pineda Ramos, «Diseño de mezcla asfáltica tibia utilizando la metodología Marshall, utilizando asfalto espumado,» Universidad de El Salvador, El salvador, 2014.
- [7] V. A. Rosales Castañeda , Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, 2011.
- [8] L. M. Monsalve Escobar, L. C. Giraldo Vasquez y J. Maya Gaviria, Diseño de pavimento flexible y rígido, Armenia: Universidad del Quindío, 2012.
- [9] Wirtgen GmbH, Manual de reciclado en frío, Segunda ed., Alemania: Wirtgen GmbH, 2004.
- [10] M. A. Tapia García, Pavimentos, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- [11] A. Montejó Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2002.
- [12] A. Padilla Rodríguez, Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista, España: Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), 2004.
- [13] C. A. Castaneda Siete, G. A. Escobar Aguilar y L. A. López Lemus, Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con emulsión asfáltica, San Salvador: Universidad de El Salvador , 2011.
- [14] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Manual de Ensayo de Materiales, Lima: Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2016.
- [15] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2013.

- [16] M. Velázquez, Manual del asfalto - The Asphalt Institute, España: URMO, 1972.
- [17] Asphalt Institute, Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, U.S.A.: Serie de Manuales No. 22 (MS-22).
- [18] R. Valle Roda, Carreteras, Calles y Aeropistas, Caracas: El Ateneo, 1963.
- [19] S. Minaya Gonzáles y A. Ordóñez Huamán, Diseño moderno de pavimentos asfálticos, Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), 2006.
- [20] UMSS Facultad de Ciencias y Tecnología, Manual completo - Diseño de pavimentos, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón (UMSS), 2014.
- [21] M. L. García Cucalón, Comparación del comportamiento mecánico de mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2010.
- [22] G. Thenoux Z. y A. Jamet A., «Tecnología del asfalto espumado,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 17, nº 2, pp. 84-92, 2002.
- [23] E. G. Torres Velandia y A. J. Noñera Cifuentes, Mezclas tibias: una nueva tecnología para el mejoramiento de mezclas asfálticas convencionales, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2012.
- [24] G. Thenounx Z. y A. Jamet A., «Afalto Espumado: Tecnología y Aplicaciones,» *Revista BIT*, nº 26, pp. 26-28, 2002.
- [25] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, México D.F.: Mc Graw Hill, 2014.
- [26] C. A. Bernal Torres, Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales, Colombia: Pearson Educación, 2010.
- [27] C. E. Méndez Álvarez, Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales, México: Limusa, 2011.

ANEXOS

Anexo N.º 1: Matriz de consistencia.

Anexo N.º 2: Reportes de ensayos de laboratorio.

Anexo N.º 3: Presupuesto y análisis de costos unitarios - S10.

ANEXO N.º 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES – LIMA”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE (X)	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	<p align="center">Variable Independiente (X):</p> <p>Método del asfalto espumado.</p>	<p>D1: Calidad de espuma asfáltica</p>	<p>I1: Razón de expansión. I2: Vida media.</p>	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS				
¿De qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima?	Determinar de qué manera el método de asfalto espumado influye en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima.	El método de asfalto espumado mejorará los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Lima.				
¿Cómo actúa la calidad de espuma asfáltica en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Establecer cómo actúa la calidad de espuma asfáltica en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	La calidad de espuma asfáltica actuará de manera positiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.		D2: Calidad de los agregados	I1: Distribución granulométrica. I2: Plasticidad. I3: Condición de humedad. I4: Resistencia al desgaste. I5: Forma y estructura.	<p>Método de investigación: Científico</p> <p>Tipo de investigación: Aplicada</p>
¿Cómo interviene la calidad de los agregados en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Establecer cómo interviene la calidad de los agregados en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	La calidad de los agregados contribuirá de manera efectiva en los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	VARIABLE (Y)	DIMENSIONES	INDICADORES	<p>Nivel: Descriptiva - Explicativa</p> <p>Diseño: Cuasiexperimental</p> <p>Población: Tipos de diseño de mezclas asfálticas.</p> <p>Muestra: Diseño de mezcla asfáltica en caliente</p>
¿Cuál es la influencia del método de asfalto espumado en los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Demostrar cuál es la influencia del método de asfalto espumado en los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	El método de asfalto espumado mejorará los factores estructurales en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.		D1: Factores estructurales	I1: Estabilidad I2: Flujo I3: Vacíos I4: Peso unitario	
¿Cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Comprobar cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	El método de asfalto espumado optimizará los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	Variable dependiente (Y):			
¿Cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Comprobar cuál es la incidencia del método de asfalto espumado en los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	El método de asfalto espumado optimizará los factores económicos en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	Factores de diseño de mezclas asfálticas	D2: Factores económicos.	I1: Presupuesto. I2: Análisis de costos unitarios.	
¿De qué forma afecta el método de asfalto espumado los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles?	Determinar de qué forma afecta el método de asfalto espumado los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.	El método de asfalto espumado afectará de forma positiva los factores de medio ambiente en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.		D3: Factores de medio ambiente.	I1: Consumo de combustible.	

ANEXO N.º 02

**REPORTES DE ENSAYOS DE
LABORATORIO**



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 558-1

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 28 DE JUNIO 2019

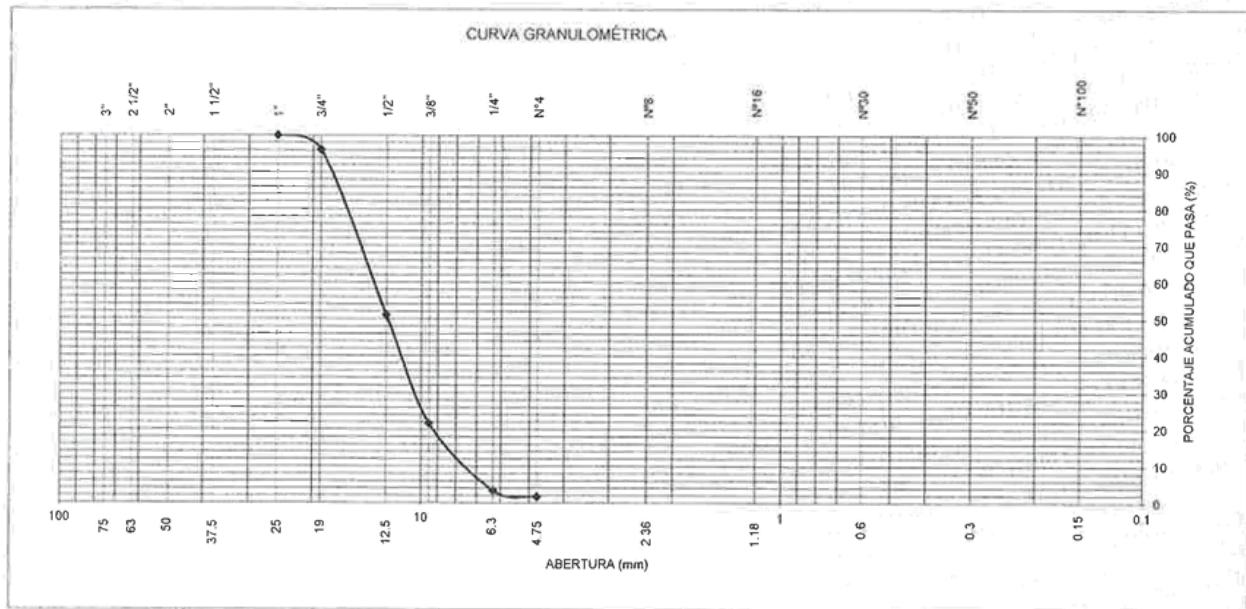
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
Muestra : M-1
Referencia : 500 m.s.n.m.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM C 136

Table with 5 columns: Tamiz, Abertura (mm), (%) Parcial Retenido, (%) Acumulado Retenido, (%) Acumulado Pasa. Rows include sieve sizes from 3" down to FONDO.

Módulo de Fineza ASTM C-125 : 6.7



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Téc. R. Puchun P
Revisión : Ing. D. Basurto R.



Handwritten signature of Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI





Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 558-2

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES
DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 28 DE JUNIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
Muestra : M-1
Referencia : 500 m.s.n.m.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO ASTM C - 127

P.e. BULK (BASE SECA) : 2.691
P.e. BULK (BASE SATURADA) : 2.719
P.e. APARENTE (BASE SECA) : 2.769
% DE ABSORCIÓN : 1.05

Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Revisión : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 558-3

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 28 DE JUNIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
Muestra : M-1
Referencia : 500 m.s.n.m.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS NORMA ASTM D5821-13 / MTC E 210 - 2016

TOTAL AGREGADO CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS (%) : 94.7

Agregado con Una Cara Fracturada (%)	Material > 3/8"	Material < 3/8"
Peso de la Muestra (g)	5348	210
Peso de Partículas con caras fracturadas (g)	283	8
Peso de Partículas sin caras fracturadas (g)	5065	202
Porcentaje de Partículas con caras fracturadas (%)	5.3	3.8
Promedio de Caras Fracturadas (%)	5.0	

Porcentaje con una Cara Fracturada : 5.0

Agregado con Dos o Más Caras Fracturadas (%)	Material > 3/8"	Material < 3/8"
Peso de la Muestra (g)	5348	210
Peso de Partículas con caras fracturadas (g)	4749	196
Peso de Partículas sin caras fracturadas (g)	599	14
Porcentaje de Partículas con caras fracturadas (%)	88.8	93.3
Promedio de Caras Fracturadas (%)	89.6	

Porcentaje con dos o más Caras Fracturadas : 89.6

Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. R. Puchun P.
Revisado por : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 558-4

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES
DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 28 DE JUNIO 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
Muestra : M-1
Referencia : 500 m.s.n.m.

ENSAYO DE ABRASIÓN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES ASTM C- 131

Gradación : B
Revoluciones : 500
Desgaste : 13.7%

Nota - La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecución : Téc. R. Puchun P.
Revisión : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 558-5

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
 PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
 UBICACIÓN : LIMA
 FECHA : 28 DE JUNIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
 Muestra : M-1
 Referencia : 500 m.s.n.m.

ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS ASTM D 4791

Relación Espesor/Longitud 1/3

PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS (%) : 2

Tamiz		Total Partículas		Partículas Chatas		Porcentaje Chatas Fracción (%)	Granulometria (%) retenido	Porcentaje Chatas corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-	-	-
1"	3/4"	-	-	-	-	-	4.1	-
3/4"	1/2"	497.7	100	6.3	2	1	46.6	0.59
1/2"	3/8"	206.1	100	5.1	3	2	30.4	0.75
3/8"	1/4"	93.8	100	3.6	5	4	18.9	0.73
TOTALES							100.0	2.07

PORCENTAJE DE PARTICULAS ALARGADAS (%) : 0

Tamiz		Total Partículas		Partículas Alargadas		Porcentaje Alargamiento Fracción (%)	Gradación original (%)	Porcentaje Alargamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-	-	-
1"	3/4"	-	-	-	-	-	4.1	-
3/4"	1/2"	497.7	100	0.0	0	0	46.6	0.00
1/2"	3/8"	206.1	100	0.0	0	0	30.4	0.00
3/8"	1/4"	93.8	100	0.0	0	0	18.9	0.00
TOTALES							100.0	0.00

Nota. El ensayo se realizó teniendo como referencia la Norma ASTM D 4791 - Método A

La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante

Ejecutado por: Téc. R. Puchuri P.

Revisado por: Ing. D. Basurto R.




 Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 583

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 28 DE JUNIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : Jicamarca
Muestra : M-1
Referencia : 500 m.s.n.m.

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D-2419


Agregado : Fino
Equivalente de Arena (%) : 33.0

Nota. La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Téc. W. Oblitas H.

Revisión : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.




Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (a) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 594-1

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : "MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA"
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 10 DE JULIO 2019

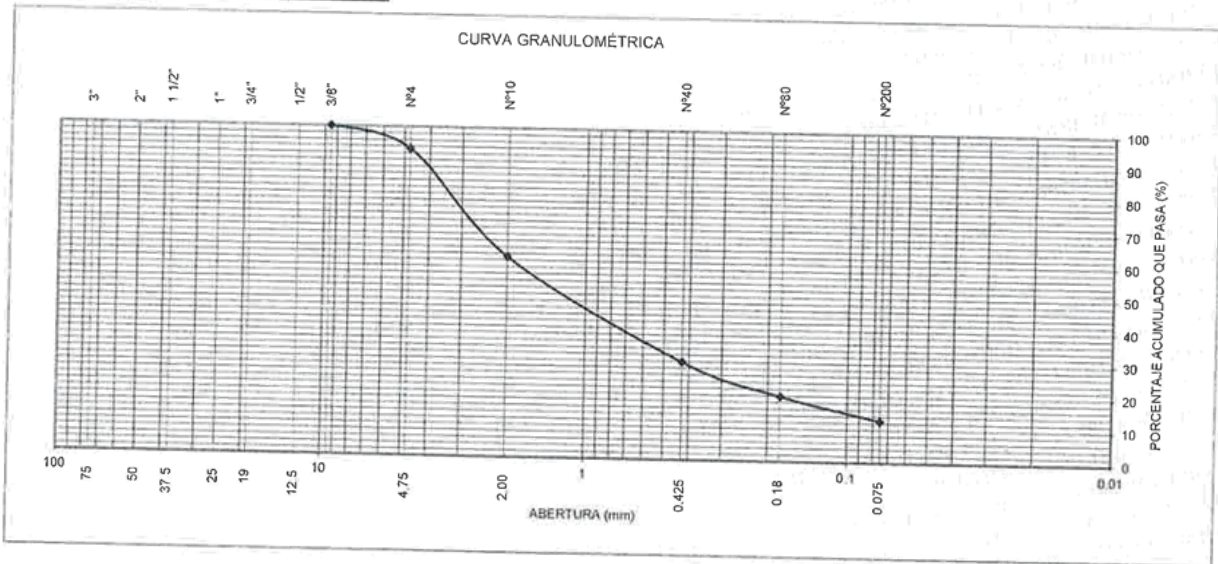
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : La Gloria
Muestra : M-1
Referencia : 650 m.s.n.m.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Table with 5 columns: Tamiz, Abertura (mm), (%) Parcial Retenido, (%) Acumulado Retenido, (%) Acumulado Pasa. Rows include various sieve sizes from 1 inch down to FONDO.

Summary table: % Grava : 6.7, % Arena : 80.6, % Finos : 12.7



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.
Ejecución : Téc. R. Puchuri P.
Aprobación : Ing. L.S.L. / Ing. B.R.P.



Handwritten signature of Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering Technology Accreditation Commission



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 594-2

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : "MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA"
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 10 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : La Gloria
Muestra : M-1
Referencia : 650 m.s.n.m.

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D2419

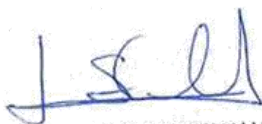
Agregado : Fino
Equivalente de Arena (%) : 60.0

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.
Aprobación : Ing. L.S.L. / Ing. B.R.P.




Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

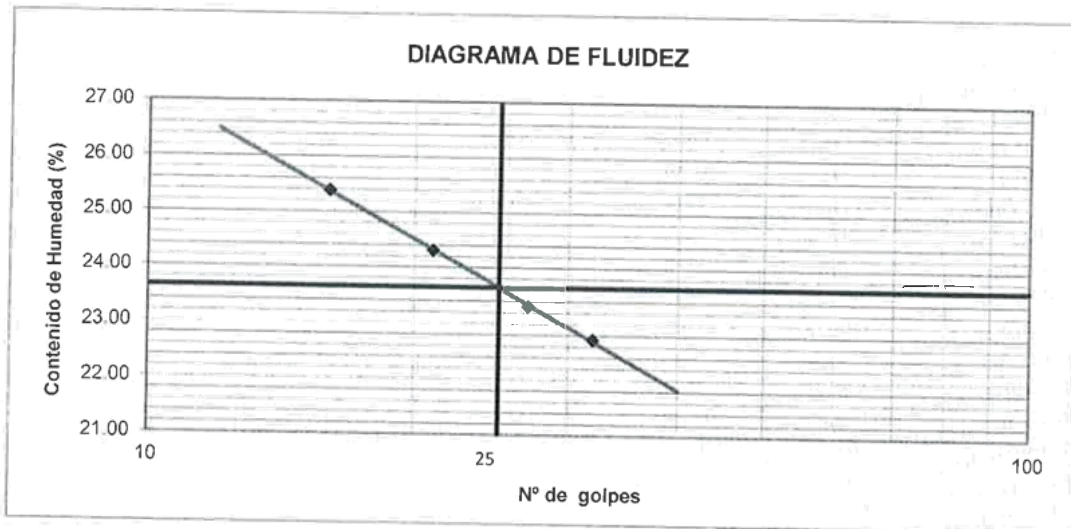
INFORME N° S19 - 594-3

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : "MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA"
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 10 DE JULIO 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : La Gloria
Muestra : M-1
Referencia : 650 m.s.n.m.

I. ENSAYO LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318
MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200



LÍMITE LÍQUIDO : 24
LÍMITE PLÁSTICO : 21
ÍNDICE PLÁSTICO : 3

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.
Aprobación : Ing. L.S.L. / Ing. B.R.P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 594-4

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : "MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA"
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 10 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Cantera : La Gloria
Muestra : M-1
Referencia : 650 m.s.n.m.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM C128

P.E. BULK (BASE SECA) : 2.776
P.E. BULK (BASE SATURADA) : 2.799
P.E. APARENTE (BASE SECA) : 2.841
% DE ABSORCIÓN : 0.828

Nota:


Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. L.S.L. / Ing. B.R.P.




Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-1-3

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-4
Muestra : 4.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
1	1780	20	5.00

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME Nº S19 - 620-2-3

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-5
Muestra : 5.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA Nº	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
2	1148	22	5.50

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-3-3

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-6
Muestra : 6.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
3	997	29	7.25

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-4

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-1
Muestra : 4.5 % de C.A.
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
4	2742	18	4.50

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-5

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-2
Muestra : 5.5 % de C.A.
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
5	1799	23	5.75

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-6

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-3
Muestra : 6.5 % de C.A.
Referencia : Briqueta

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D6927

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
6	1210	30	7.50

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramírez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

**Facultad de Ingeniería Civil****Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos****INFORME N° S19 - 620-1-1**

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS EN MEZCLA ASFÁLTICA

Sondaje : M-4
Muestra : 4.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS ASFALTICAS RICE - ASTM D2041 / MTC E508

MUESTRA	Prueba N°1
Peso matr�az (gr.)	3000
Peso matr�az + Mezcla Asf�altica (aire) (gr.)	4455
Peso matr�az + Mezcla Asf�altica + agua (gr.)	8306
Peso de Mezcla Asf�altica (gr.)	1455
Volumen de mezcla Asf�altica (cm3)	565
Peso Matr�az con agua a 25°C (Calibraci�n) (gr.)	7416
Peso espec�fico M�ximo de Mezcla Asf�altica (gr/cm3)	2.575

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchun P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramírez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-2-1

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS EN MEZCLA ASFÁLTICA

Sondaje : M-5
Muestra : 5.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS ASFALTICAS RICE - ASTM D2041 / MTC E508

MUESTRA	Prueba N°1
Peso matr�az (gr.)	3000
Peso matr�az + Mezcla Asf�altica (aire) (gr.)	4456
Peso matr�az + Mezcla Asf�altica + agua (gr.)	8297
Peso de Mezcla Asf�altica (gr.)	1456
Volumen de mezcla Asf�altica (cm3)	575
Peso Matr�az con agua a 25°C (Calibraci�n) (gr.)	7416
Peso espec�fico M�ximo de Mezcla Asf�altica (gr/cm3)	2.532

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingenieria Civil - UNI

**Facultad de Ingeniería Civil**
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 620-3-1

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

REPORTE DE ENSAYOS EN MEZCLA ASFÁLTICA

Sondaje : M-6
Muestra : 6.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

MAXIMA GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS ASFALTICAS RICE - ASTM D2041 / MTC E508

MUESTRA	Prueba N°1
Peso matrás (gr.)	3000
Peso matrás + Mezcla Asfáltica (aire) (gr.)	4457
Peso matrás + Mezcla Asfáltica + agua (gr.)	8285
Peso de Mezcla Asfáltica (gr.)	1457
Volumen de mezcla Asfáltica (cm3)	588
Peso Matrás con agua a 25°C (Calibración) (gr.)	7416
Peso específico Máximo de Mezcla Asfáltica (gr/cm3)	2.478

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME S19 - 620-1-2

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-4
Muestra : 4.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ASTM 2726 / MTC E 514

Gravedad Específica Bulk a 25 °C : 2.4489
Densidad de la Mezcla Asfáltica a 25 °C : 2.442

Nota:


Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.




Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME S19 - 620-2-2

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-5
Muestra : 5.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ASTM 2726 / MTC E 514

Gravedad Especifica Bulk a 25 °C : 2.4874
Densidad de la Mezcla Asfáltica a 25 °C : 2.480

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME S19 - 620-3-2

SOLICITANTE : CCOYLLO HUAMÁN, JOSÉ EDUARDO
PROYECTO : MÉTODO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 18 DE JULIO 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Sondaje : M-6
Muestra : 6.5 % de C.A. + 2 % de Agua
Referencia : Briqueta

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ASTM 2726 / MTC E 514

Gravedad Específica Bulk a 25 °C : 2.4626
Densidad de la Mezcla Asfáltica a 25 °C : 2.455

Nota:


Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Puchuri P.

Aprobación : Ing. D. Basurto R / Ing. B. Ramirez P.




Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

ANEXO N.º 03

**PRESUPUESTO Y ANÁLISIS
DE COSTOS UNITARIOS - S10**

Elaborado por: Ccoyllo Huamán José Eduardo

Presupuesto

Presupuesto 1101001 MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA
 PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
 Subpresupuesto 001 MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL
 Cliente UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES Costo al 16/07/2019
 Lugar LIMA - LIMA - LIMA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL				659.58
01.01	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA 2"	m3	1.00	617.86	617.86
01.02	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA 2"	m3	1.00	41.72	41.72
	COSTO DIRECTO				659.58
	GASTOS GENERALES (10%)				65.96
	UTILIDADES (10%)				65.96
	SUBTOTAL				791.50
	IMPUESTO (IGV 18%)				142.47
	TOTAL PRESUPUESTO				933.97

SON : NOVECIENTOS TRENTITRES Y 97/100 NUEVOS SOLES

Elaborado por: Ccoyllo Huamán José Eduardo

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1101001 MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA

Subpresupuesto 001 MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Fecha presupuesto 16/07/2019

Partida 01.01 PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA 2"

Rendimiento m3/DIA MO. 240.0000 EQ. 240.0000 Costo unitario directo por : m3 617.86

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	28.07	0.93
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0333	21.59	0.72
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0333	17.37	0.58
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.1000	15.70	1.57
						3.80
Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		7.2930	10.97	80.00
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.6250	25.47	15.92
02070200010003	ARENA CHANCADA 3/8"	m3		0.9380	61.24	57.44
02130100060001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal		34.6160	12.50	432.70
						586.06
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.80	0.19
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0333	182.53	6.08
03012500010004	GRUPO ELECTROGENO DE 150 KW.	hm	1.0000	0.0333	131.61	4.38
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.0000	0.0333	521.09	17.35
						28.00

Partida 01.02 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA 2"

Rendimiento m3/DIA MO. 50.0000 EQ. 50.0000 Costo unitario directo por : m3 41.72

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.1600	17.37	2.78
						2.78
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.78	0.14
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.1600	242.52	38.80
						38.94

Presupuesto

Presupuesto 1102001 MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS AFÁLTICAS PARA
 PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA
 Subpresupuesto 001 MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA
 Cliente UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES Costo al 16/07/2019
 Lugar LIMA - LIMA - LIMA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA				617.25
01.01	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA 2"	m3	1.00	575.53	575.53
01.02	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA 2"	m3	1.00	41.72	41.72
	COSTO DIRECTO				617.25
	GASTOS GENERALES (10%)				61.73
	UTILIDADES (10%)				61.73
	SUBTOTAL				740.71
	IMPUESTO (IGV 18%)				133.33
	TOTAL PRESUPUESTO				874.04

SON : OCHOCIENTOS SETENTICUATRO Y 04/100 NUEVOS SOLES

Elaborado por: Ccoyllo Huamán José Eduardo

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1102001 MÉTODO DE ASFALTO ESPUMADO PARA MEJORAR LOS FACTORES DE DISEÑO DE MEZCLAS AFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - LIMA

Subpresupuesto 001 MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA Fecha presupuesto 16/07/2019

Partida 01.01 PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA 2"

Rendimiento m3/DIA MO. 239.5300 EQ. 239.5300 Costo unitario directo por : m3 575.53

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0334	28.07	0.94
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0334	21.59	0.72
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0334	17.37	0.58
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.1002	15.70	1.57
3.81						
Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		6.2190	10.97	68.22
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.6270	25.47	15.97
02070200010003	ARENA CHANCADA 3/8"	m3		0.9410	61.24	57.63
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0500	31.38	1.57
02130100060001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gal		32.0190	12.50	400.24
543.63						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.81	0.19
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0334	182.53	6.10
03012500010004	GRUPO ELECTROGENO DE 150 KW.	hm	1.0000	0.0334	131.61	4.40
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.0000	0.0334	521.09	17.40
28.09						

Partida 01.02 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA 2"

Rendimiento m3/DIA MO. 50.0000 EQ. 50.0000 Costo unitario directo por : m3 41.72

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.1600	17.37	2.78
2.78						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.78	0.14
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.1600	242.52	38.80
38.94						