



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO RECICLADO
COMO ADICIONADO EN EL DISEÑO DE CONCRETO
HIDRAÚLICO PARA SU USO EN PAVIMENTOS -
CHICLAYO - PERÚ - 2023**

**PRESENTADA POR
ERNESTO RAFAEL CASTILLO
MONTENEGRO ERNESTO JOAQUÍN RAMOS
ESCALANTE**

**ASESOR
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARIA**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**CHICLAYO – PERÚ
2024**



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO RECICLADO COMO
ADICIONADO EN EL DISEÑO DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA
SU USO EN PAVIMENTOS - CHICLAYO - PERÚ - 2023**

TESIS PARA OPTAR:

EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

ERNESTO RAFAEL CASTILLO MONTENEGRO

ERNESTO JOAQUÍN RAMOS ESCALANTE

ASESOR:

MG. JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARIA

ORCID: 0000-0003-3228-8427

CHICLAYO, PERÚ

2024

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional,
a mis hermanos por su motivación y
a mi novia Marikryss por acompañarme
en el camino de la ingeniería.

Ernesto Castillo

Se lo dedico a mis padres Carla y Ernesto,
y a mis abuelos, quienes han sido
un pilar importante en mi desarrollo
tanto personal como profesional.

Ernesto Ramos

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi familia por brindarme siempre
lo necesario para cumplir mis metas,
y al ing. Oblitas por apoyarme en lograr
este proyecto de investigación.

Ernesto Castillo

A mi familia que en todo momento estuvo
apoyándome, a Dios que me dio la fortaleza
de seguir adelante y al Ing. Oblitas quien supo
dirigir el proceso del presente trabajo.

Ernesto Ramos

ÍNDICE

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la Situación Problemática.....	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
Problema General	2
Problemas Específicos	3
1.3 Objetivos.....	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance y Limitaciones	5
Alcance.....	5
Limitaciones	5
1.6 Viabilidad	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la Investigación	6
2.1.1 Antecedentes Internacionales	6
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	9
2.2 Bases Teóricas.....	11
2.2.1 Caracterización del asfalto reciclado	11
2.2.1.1 Propiedades físicas.....	11
2.2.1.2 Propiedades mecánicas.....	12
2.2.2 Pavimento rígido	13
2.2.2.1 Estructura de pavimento rígido	13
2.2.2.2 Propiedades físicas y mecánicas	16
2.2.2.3 Factor económico.....	18
2.3 Definición de Términos Básicos.....	18
2.3.1 Aglutinante	18
2.3.2 Asfalto reciclado	18
2.3.3 Cantera.....	18
2.3.4 Reciclaje.....	19

2.3.5 Impacto ambiental	19
2.3.6 Diseño de mezcla	19
2.4 Hipótesis	19
Hipótesis general.....	19
Hipótesis específicas.....	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	21
3.1 Diseño Metodológico	21
3.1.1 Enfoque	21
3.1.2 Tipo	21
3.1.3 Nivel	21
3.1.4 Diseño	21
3.2 Población y Muestra	22
3.2.1 Población.....	22
3.2.2 Muestra	22
3.3 Definición de Variables	22
3.3.1 Definición Conceptual.....	22
3.3.2 Definición Operacional	23
3.4 Operacionalización de Variables	23
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	24
3.6 Técnicas e Instrumentos de Procesamiento de Datos.....	26
CAPÍTULO IV. DESARROLLO	27
4.1 Obtención de agregados	27
4.1.1 Asfalto reciclado	27
4.1.2 Agregado fino	28
4.1.3 Agregado grueso.....	29
4.2 Ensayos para los agregados	30
4.2.1 Equivalente de arena.....	30
4.2.2 Granulometría	32
4.2.3 Módulo de fineza	37
4.2.4. Peso unitario	38
4.2.5 Contenido de humedad	41
4.2.6 Resistencia a la abrasión	43
4.2.7 Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	45
4.2.8 Gravedad específica y absorción de la arena	48
4.2.9 Durabilidad	51

4.2.10 Impurezas orgánicas del agregado fino.....	56
4.2.11 Contenido de materia orgánica por ignición	58
4.3 Ensayos para el asfalto reciclado	60
4.3.1 Partículas chatas y alargadas	60
4.3.2 Caras fracturadas.....	62
4.3.3 Granulometría	64
4.3.4 Módulo de fineza	67
4.3.5 Peso unitario	68
4.3.6 Contenido de asfalto.....	70
4.3.7 Resistencia a la abrasión	72
4.3.8 Gravedad específica y absorción	74
4.3.8 Durabilidad	76
4.4 Diseño de mezcla	78
4.4.1 Requerimiento	78
4.4.2 Dosificación	79
4.5 Ensayos para el concreto	87
4.5.1 Elaboración y curado de especímenes de concreto	87
4.5.1.1 Especímenes cilíndricos.....	89
4.5.1.2 Especímenes vigas	90
4.5.2 Temperatura de mezcla de concreto	91
4.5.3 Asentamiento	92
4.5.4 Densidad del concreto endurecido	94
4.5.5 Resistencia a la compresión.....	96
4.5.6 Resistencia a la flexión.....	98
CAPÍTULO V. RESULTADOS	101
5.1 Asentamiento.....	101
5.2 Resistencia a la compresión.....	102
5.3 Resistencia a la flexión	112
5.4 Análisis de costos unitarios	121
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	130
6.1 Contrastación de hipótesis	130
6.1.1 Contrastación de hipótesis general	130
6.1.2 Contrastación de hipótesis específicas.....	130
6.2 Contrastación con antecedentes	134
CONCLUSIONES	137

RECOMENDACIONES.....	139
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	140
ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.	24
Tabla 2. Resultados - Equivalente de Arena.....	32
Tabla 3. Resultado del Análisis Granulométrico del agregado fino.....	35
Tabla 4. Resultado Granulometría del agregado grueso.	36
Tabla 5. Resultados del Módulo de Fineza de los agregados.	37
Tabla 6. Resultado del P.U. Suelto de la piedra.	40
Tabla 7. Resultado del P.U. Varillado de la piedra.....	40
Tabla 8. Resultado del P.U. Suelto de la arena.	40
Tabla 9. Resultado del P.U. varillado de la arena.....	41
Tabla 10. Resultado del Contenido de Humedad de la arena triturada.	42
Tabla 11. Resultado del Contenido de Humedad de la piedra chancada.	42
Tabla 12. Resultado del ensayo de Abrasión del agregado grueso.....	45
Tabla 13. Resultado - Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.	48
Tabla 14. Resultado - densidad relativa y Absorción de la arena.....	51
Tabla 15. Resultado del ensayo de durabilidad de la arena triturada.	55
Tabla 16. Resultado - durabilidad de la piedra chancada.....	56
Tabla 17. Resultado - ensayo de impurezas.....	58
Tabla 18. Resultado del ensayo de materia orgánica por ignición.....	60
Tabla 19. Resultado de porcentaje de partículas chatas.	61
Tabla 20. Resultado de porcentaje de partículas alargadas.	62
Tabla 21. Resultado del Análisis Granulométrico del asfalto reciclado.....	66
Tabla 22. Módulo de fineza del asfalto reciclado.	68
Tabla 23. Resultado – P.U. Suelto del asfalto reciclado.	69
Tabla 24. Resultado del P.U. varillado del asfalto reciclado.	70
Tabla 25. Resultado del Lavado Asfáltico.....	72
Tabla 26. Resultado del ensayo de Abrasión del asfalto reciclado.	74
Tabla 27. Resultado - Gravedad Específica y Absorción del asfalto reciclado.	75
Tabla 28. Características de los agregados.....	79
Tabla 29. F'CR.....	79
Tabla 30. Contenido de aire del concreto.	80
Tabla 31. Límites de slump.....	80

Tabla 32. <i>Volumen unitario de agua.</i>	81
Tabla 33. <i>Relación Agua/Cemento.</i>	81
Tabla 34. <i>Volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto.</i>	82
Tabla 35. <i>Cálculo del Volumen absoluto.</i>	83
Tabla 36. <i>Proporciones de agregados en estado seco.</i>	84
Tabla 37. <i>Ajuste por humedad del agregado.</i>	84
Tabla 38. <i>Aporte de agua de los agregados.</i>	85
Tabla 39. <i>Diseño de mezcla corregido por humedad y absorción.</i>	85
Tabla 40. <i>Dosificación en peso del concreto patrón.</i>	86
Tabla 41. <i>Dosificación en volumen del concreto patrón.</i>	86
Tabla 42. <i>Dosificación del asfalto reciclado.</i>	87
Tabla 43. <i>Resultados de Temperatura del concreto fresco.</i>	92
Tabla 44. <i>Resultados de Densidad del concreto en estado endurecido.</i>	95
Tabla 45. <i>Resultados de Slump.</i>	101
Tabla 46. <i>Rangos de Slump permitidos.</i>	101
Tabla 47. <i>Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión.</i>	103
Tabla 48. <i>Análisis de varianza de muestras de $f'c$.</i>	104
Tabla 49. <i>Promedio de resistencia a la compresión a 28 días.</i>	105
Tabla 50. <i>Análisis Tukey de la resistencia a la compresión.</i>	106
Tabla 51. <i>Análisis del efecto del RAP en el factor de seguridad del $f'c$.</i>	110
Tabla 52. <i>Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión.</i>	112
Tabla 53. <i>Análisis de varianza de muestras de M_r.</i>	113
Tabla 54. <i>Promedio de resistencia a la flexión a 28 días.</i>	115
Tabla 55. <i>Análisis Tukey de la resistencia a la flexión.</i>	115
Tabla 56. <i>Análisis del efecto del RAP en el k del M_r.</i>	119
Tabla 57. <i>Análisis de costos de concreto premezclado de diseño patrón.</i> ...121	
Tabla 58. <i>Determinación del costo unitario del asfalto reciclado.</i>	122
Tabla 59. <i>Conversión de proporción en peso a volumen de agregado grueso por m^3 de concreto.</i>	123
Tabla 60. <i>Análisis de costos de concreto adicionado con asfalto reciclado.</i>	124
Tabla 61. <i>Análisis de costos unitarios de losa de concreto premezclado $e=20cm$.</i>	127
Tabla 62. <i>Costo parcial de losa de concreto premezclado en los diferentes diseños de mezcla.</i>	129
Tabla 63. <i>Contrastación de hipótesis general.</i>	130

Tabla 64. <i>Contrastación de hipótesis específica 1</i>	131
Tabla 65. <i>Contrastación de hipótesis específica 2</i>	131
Tabla 66. <i>Contrastación de hipótesis específica 3</i>	133
Tabla 67. <i>Contrastación de hipótesis específica 4</i>	133
Tabla 68. <i>Contrastación de antecedente internacional 1</i>	135
Tabla 69. <i>Contrastación de antecedente internacional 2</i>	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de pavimento de losa de concreto.....	16
Figura 2. Sistema de transferencia de cargas.	16
Figura 3. Unidad empleada para cargar y transportar el asfalto reciclado....	27
Figura 4. Acopio de asfalto reciclado.....	27
Figura 5. Muestra representativa de asfalto reciclado.	28
Figura 6. Muestra representativa de la arena triturada.	29
Figura 7. Muestra representativa de agregado grueso.	29
Figura 8. Ejecución del ensayo de equivalente de arena.....	31
Figura 9. Lectura de alturas del ensayo de equivalente de arena.	31
Figura 10. Tamizado.....	33
Figura 11. Cuarteo de la piedra.	34
Figura 12. Tamizado de la piedra chancada.....	34
Figura 13. P.U. suelto y compactado de la piedra chancada.....	39
Figura 14. P.U. suelto y compactado de la arena.	39
Figura 15. Muestras llevadas al horno durante 24 horas.....	42
Figura 16. Tamizado de muestra para ensayo.	44
Figura 17. Muestra colocada en la máquina los ángeles.....	45
Figura 18. Secado superficial de piedra chancada.	47
Figura 19. Agregado grueso superficialmente seco saturado.....	47
Figura 20. Realización del test de humedad superficial.....	50
Figura 21. Medición de la masa del picnómetro.....	50
Figura 22. Fracciones de agregado fino para ensayo de durabilidad.	53
Figura 23. Fracciones de agregado fino y grueso inmersos en solución (primera inmersión).....	54
Figura 24. Muestras del ensayo de durabilidad después del tercer ciclo de inmersión y secado.	54
Figura 25. Análisis cualitativo del agregado grueso.....	55
Figura 26. Ensayo - contenido orgánico en la arena.....	57
Figura 27. Análisis cualitativo de impurezas orgánicas con el disco escala Gardner.....	57
Figura 28. Ensayo de materia orgánica por ignición.....	59
Figura 29. Muestras después de la ignición.....	59
Figura 30. Partícula de asfalto reciclado.....	63

Figura 31. Cuarteo de asfalto reciclado.	65
Figura 32. Separación de material fino del grueso del RAP.	65
Figura 33. Tamizado del RAP.	66
Figura 34. P.U. suelto y varillado del asfalto reciclado.	69
Figura 35. Muestra de asfalto reciclado calentada al horno.	71
Figura 36. Introducción del disolvente a la máquina centrífuga.	71
Figura 37. Registro del peso de la muestra lavada.	72
Figura 38. Muestra de asfalto reciclado inmerso en sulfato de magnesio. ...	77
Figura 39. Asfalto reciclado después del segundo ciclo de inmersión y secado.	78
Figura 40. Agregados pesados para posterior mezclado.	88
Figura 41. Tamizado del asfalto reciclado.	88
Figura 42. Producción del concreto en la mezcladora.	89
Figura 43. Elaboración de probetas de concreto.	89
Figura 44. Elaboración de vigas de concreto.	90
Figura 45. Vigas de concreto terminadas.	90
Figura 46. Curado de probetas y vigas de concreto.	91
Figura 47. Toma de temperatura del concreto.	92
Figura 48. Llenado y varillado del Cono de Abrams.	93
Figura 49. Medición de los asentamientos.	94
Figura 50. Medición de los ejemplares.	95
Figura 51. Registro del peso de los elementos de concreto.	95
Figura 52. Medición de los especímenes.	97
Figura 53. Rotura de probetas de concreto.	97
Figura 54. Probetas después de la rotura.	98
Figura 55. Toma de medidas del espécimen.	99
Figura 56. Vigas sometidas a ensayo de resistencia a flexión.	99
Figura 57. Vigas después de ensayo de resistencia a flexión.	100
Figura 58. Análisis del Slump en función al contenido de RAP.	102
Figura 59. Desviación estándar del f_c de cada diseño.	103
Figura 60. Diferencias de las medias de f_c con un nivel de confianza de 95%.	106
Figura 61. Línea de ajuste de puntos de dispersión del f_c	109
Figura 62. Efecto del contenido de asfalto reciclado en el factor de seguridad del f_c	111
Figura 63. Análisis de la resistencia a la compresión de cada diseño.	111

Figura 64. <i>Desviación estándar del Mr de cada diseño.</i>	113
Figura 65. <i>Diferencias de las medias de Mr con un nivel de confianza de 95%.</i>	115
Figura 66. <i>Línea de ajuste de puntos de dispersión del Mr.</i>	118
Figura 67. <i>Efecto del contenido de asfalto reciclado en el k de diseño del Mr.</i>	120
Figura 68. <i>Análisis de la resistencia a la flexión de cada diseño.</i>	120
Figura 69. <i>Proporción en peso de agregado grueso por m3 de concreto.</i> ..	122
Figura 70. <i>Proporción en volumen de agregado grueso por m3 de concreto.</i>	123
Figura 71. <i>Variación del costo unitario del concreto premezclado en función al contenido de RAP.</i>	126
Figura 72. <i>Variación del costo unitario de losa de concreto premezclado en función al contenido de RAP.</i>	128

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar el asfalto reciclado como adicionado en el concreto hidráulico para utilizarlo en pavimentaciones y determinar su límite de adición.

Para el presente trabajo se realizó cinco diseños de mezcla con diferentes porcentajes de *RAP* (0%, 5%, 10%, 15%, 20%). Se desarrollaron los ensayos del slump, la resistencia a la compresión y a la flexión. Además, se elaboró un análisis del costo unitario. Se ensayaron 45 probetas y 45 vigas de concreto, las cuales se evaluaron a edades representativas siendo a los 7, 14 y 28 días.

Para este estudio se empleó una muestra de asfalto reciclado obtenida del fresado de vías en mantenimiento, la cual presentó un contenido de asfalto de 3.80%.

Finalmente, se concluye que el asfalto reciclado influye negativamente en las propiedades físicas y mecánicas del compuesto, estableciendo como límite de uso hasta un 13.8% sustituyendo parcialmente del agregado grueso, lo cual genera un beneficio económico al representar un ahorro y beneficio medioambiental al disminuir la cantidad de residuos.

Palabras clave: pavimento asfáltico reciclado, pavimento rígido, diseño de mezcla, sustitución de agregado grueso.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of characterizing recycled asphalt as additive in the design of hydraulic concrete for use in pavements and determining its addition limit.

For this work, five mixture designs were carried out with different percentages of RAP (0%, 5%, 10%, 15%, 20%). Slump, compression and flexural resistance tests were developed. In addition, a unit cost analysis was prepared. A total of 45 specimens and 45 concrete beams were made, which were evaluated at representative ages, being 7, 14 and 28 days.

For this study, a sample of recycled asphalt obtained from milling roads under maintenance was used, which had an asphalt content of 3.80%.

Finally, it is concluded that recycled asphalt negatively influences the physical and mechanical properties of concrete, establishing a limit of use of up to 13.8% as a partial substitute for coarse aggregate, which generates an economic benefit by representing savings and environmental benefits by reducing the amount of waste.

Key words: reclaimed asphalt pavement, concrete pavement, mix design, replacement of coarse aggregate.

ERNESTO RAFAEL CASTILLO MONTENEGRO / ERN...

CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO RECICLADO COMO ADICIONADO EN EL DISEÑO DE CONCRETO HIDRAÚLICO PA...

 CIVIL
 TESIS
 Universidad de San Martín de Porres

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::29427:411620916

Fecha de entrega
2 dic 2024, 9:17 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
2 dic 2024, 9:31 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS - CASTILLO & RAMOS (APROBADA).pdf

Tamaño de archivo
8.6 MB

199 Páginas

29,779 Palabras

157,498 Caracteres



Biblioteca FIA

Maria Lucero Vasquez Claros
Bibliotecóloga



Página 2 of 211 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::29427:411620916

12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
36 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Chiclayo, ubicada en la provincia homónima, en el departamento de Lambayeque, en épocas de verano y/o por fenómenos climatológicos queda siempre afectada debido a las intensas lluvias, principalmente las vías con grandes volúmenes de tránsito como lo es la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre la cual actualmente presenta huecos, baches, falta de carpeta asfáltica y muchos otros problemas en el pavimento que no permiten la correcta transitabilidad.

En respuesta a lo mencionado, esta investigación propone una solución técnica de emplear el asfalto reciclado que se puede obtener del mantenimiento de dichas vías como adicionado en el concreto como pavimento. Para ello, se requiere de una correcta caracterización de dicho material como agregado grueso. Donde inicialmente se plantea que cumpla con los requisitos mínimos para un pavimento rígido empleando hasta un 20% de asfalto reciclado.

Con esto, logramos una opción sostenible para mejorar la transitabilidad de una avenida importante de la ciudad de Chiclayo, a su vez, reflejando una reducción de costos al emplear un material obtenido del reciclado y la disminución del impacto ambiental al impedir la generación de residuos. De esta forma, se recupera el asfalto que pudo haber sido eliminado en botaderos.

El enfoque de este proyecto es cuantitativo, donde se usó la estadística para conseguir los resultados, con un tipo de diseño metodológico aplicada, realizando un diseño de mezcla de concreto adicionando un material reciclado no perteneciente a la mezcla común. Por otro lado, la metodología experimental permitió emplear nuestra muestra de asfalto reciclado la cual fue obtenida de los volúmenes de asfalto fresado descartado por el aeropuerto José Abelardo Quiñonez Gonzales de la ciudad de Chiclayo, producto del mantenimiento de las pistas de aterrizaje.

El presente estudio comprende seis acápite. Inicialmente se describe la situación problemática además, se presenta el problema, los objetivos, la

justificación, el alcance, las limitaciones y la viabilidad del proyecto. A continuación, se detallan los antecedentes internacionales y nacionales, se presentan las bases teóricas, la definición de términos básicos y la formulación de la hipótesis. Posteriormente, se describe el diseño metodológico, la población y la muestra, la definición de las variables, la identificación de estas. Definición de las metodologías junto a las herramientas de recolección y manejo de datos. Después, se expone el desarrollo de la investigación. Seguidamente, se presentan los resultados obtenidos. Por último, se desarrolla la discusión de resultados, realizando la verificación de hipótesis.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Situación Problemática

Cuando se trata de construcciones viales simultáneamente introducimos el tema de la mezcla asfáltica al ser un compuesto indispensable para ejecutar una autopista, una vía urbana, plataformas, entre otras aplicaciones. Este aglomerado bituminoso posee propiedades mecánicas tan resistentes como el concreto hidráulico, reflejándose en su desempeño ante los esfuerzos móviles y la manera en cómo los transmite hacia el suelo. Sin embargo, con el transcurso del tiempo y la puesta en servicio el pavimento se va desgastando a tal punto de llegar a tener daños irreversibles, y que para su conservación se realizan trabajos menores de bacheo o sellado que terminan en deteriorarse a corto plazo y volviéndose necesario una reconstrucción total de la vía, esto a su vez genera un mayor costo al necesitar de material nuevo. Por otro lado, el avance de la tecnología ha impulsado técnicas innovadoras de reducir el impacto ambiental y económico en cuanto a pavimentos se refiere, y una alternativa es aprovechar el Pavimento de Asfáltico Reciclado (*RAP*) como agregado para su implementación en un pavimento de concreto.

Empresas en el centro del Perú han escogido emplear pavimento reciclado para reducir el costo de fabricación de una nueva mezcla de concreto asfáltico debido al alza de precio constante del combustible y sus derivados. Sin embargo, esto aún no se aplica en el norte del Perú, precisamente en la localidad de Chiclayo, donde aún no se dispone con el equipamiento requerido para el reciclado del asfalto mediante fresado u otras técnicas poco comunes para la zona, por lo que se opta descartar el uso de *RAP* eliminando dicho material en botaderos. En este caso tenemos a la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre (VRHT) una vía muy transitada en la ciudad de Chiclayo, la cual presenta a simple vista un pavimento deteriorado.

La necesidad de tener vías más resistentes en Chiclayo presiona a dejar de lado el uso del asfalto. Una causa relevante es debido a la erosión

de estas por las intensas lluvias originadas por el ciclón del Yaku, que trajo consigo un Niño costero moderado en el norte del Perú. Por consecuencia, las pistas quedaron en mal estado, evidenciándose con la presencia de huecos, la falta de carpeta asfáltica, siendo un peligro para los usuarios.

Existe poca referencia bibliográfica respecto al reciclado del aglomerante con bitumen, mencionando algunos tenemos a Guzmán (2020), quien afirma que los agregados rescatados del *RAP* funcionan de la misma manera y mejor que los agregados vírgenes extraídos de canteras. Por otro lado, se tiene a Fagundes et al. (2023), quienes concluyen en su estudio que el *RAP* como un adicionado cumple en ciertas proporciones las características mecánicas en el concreto.

Por tal motivo, surge la presente proposición, la cual pretende establecer el desempeño del pavimento asfáltico en el concreto aplicado a la elaboración de pavimento rígido para la Av. VRHT, mediante el Manual de Carreteras para la simulación de diseño de pavimento y los ensayos requeridos a realizar al material, considerando las especificaciones técnicas mínimas requeridas de la norma, además que los resultados cumplan con lo estipulado en el expediente técnico del pavimento. Esto permitirá que las empresas puedan reconocer la utilidad del *RAP* en el concreto, la durabilidad del pavimento en función a las particularidades tanto mecánicas, como físicas del concreto con *RAP*, además del beneficio económico obtenido al reciclar dicho material.

1.2 Formulación del Problema

Problema General

Con lo mencionado anteriormente, surge la siguiente interrogante: ¿Hasta qué porcentaje de asfalto reciclado caracterizado se puede adicionar en el diseño de concreto hidráulico?

Problemas Específicos

¿Cuáles son las propiedades físicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?

¿Cómo influye el asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos en las propiedades mecánicas?

¿Cuáles son los costos unitarios del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?

1.3 Objetivos

Objetivo General

Caracterizar del asfalto reciclado para su adición en el diseño de concreto hidráulico.

Objetivos Específicos

Determinar las propiedades físicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos.

Determinar las propiedades mecánicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos.

Determinar la influencia del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos en las propiedades mecánicas.

Determinar el análisis de costos unitarios del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos.

1.4 Justificación

La presente investigación se desarrolla para proponer una opción sostenible para la recuperación de la capa de rodadura flexible deteriorada debido a su puesta en servicio, la cual según Khare (2020) es capaz de generar partículas finas dañinas a la salud respiratoria de la población, de esta manera al reutilizarla como agregado se disminuyen los grandes volúmenes de residuo que se dirigen a los botaderos, cuidando así el medio ambiente y la salud humana. Además del componente ambiental existe un beneficio social, en primer lugar, los residentes de dicha zona tendrán un acceso importante en mejores condiciones, y por otro lado, el centro comercial que se ubica en la avenida de estudio tendrá un flujo continuo de clientes; aplicándose nuestra propuesta mejorara el servicio de transitabilidad disminuyendo el tráfico o embotellamiento en un radio de 850 m de la Av. VRHT representando el bienestar de 2,657 habitantes directamente y de más de 8,340 vehículos, además el centro comercial tendrá un mejor flujo de salida tanto de 600 vehículos por día y 5,500 personas que realizan sus compras en dicho centro. Por último, se traduce como un bien económico para el sector construcción al significar un ahorro en cuanto al costo del agregado virgen con sus respectivos procesos de chancado. De esta forma, se genera un aporte teórico y experimental para la implementación de capas de rodadura de concreto hidráulico con componentes reciclados, en este caso, con *RAP*.

1.5 Alcance y Limitaciones

Alcance

Se busca recuperar el pavimento asfáltico destinado a su eliminación en botaderos para emplearlo parcialmente como agregado en la propuesta de concreto. Se espera que dicha reutilización mantenga los parámetros mínimos requeridos del concreto en comparación al convencional. Así mismo, permitirá el decrecimiento del impacto nocivo al medio ambiente debido a la contaminación que se suprime al reciclar.

Limitaciones

No existe limitación alguna para el desarrollo de la investigación tanto en la parte teórica como en la parte experimental.

1.6 Viabilidad

Para el presente estudio, existe la disponibilidad de un laboratorio particular certificado aledaño para ejecutar las pruebas con el pavimento asfáltico reciclado. Por otro lado, la muestra de *RAP* que se empleará será recuperada de las pistas de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Capitán FAP José Abelardo Quiñones Gonzáles, las cuales se encuentran en rehabilitación, no tendrá ningún costo más que el de movilización hacia el almacén de materiales de donde también se dispondrá de los agregados de manera gratuita. Respecto al tiempo, el laboratorio se encuentra a disposición.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

El estudio de El Euch B., El Euch K. & Loulizi (2018) se realizó con el objetivo de obtener datos sobre los efectos de incorporar *RAP* en el concreto y describir los fenómenos ocurridos. Se desarrollaron los ensayos de calorimetría semi-adiabática, se puso a prueba la tracción. Además, se analizó el módulo elástico y la contracción libre. Para esta investigación experimental, se elaboraron especímenes con tres diseños distintos en función a lo que sustituye el *RAP*; es decir, reemplazando el agregado fino, el agregado grueso o ambos agregados, reemplazando el 20%, 40% 60% 75% y 100%.

Para este estudio que fue elaborado en Túnez, se utilizó la fresadora de pavimento para la extracción de *RAP* y su posterior elaboración de especímenes.

Los autores concluyen que incorporar asfalto reciclado en la mezcla de concreto no afecta en la fase de absorción del cemento. Sin embargo, los atributos del concreto estando sólido se reducen al aumentar la cantidad de *RAP*, poniendo como límite el 40% de incorporación para lograr resultados aceptables para la elaboración de pavimento rígido.

En la investigación de Masi et al. (2022) se buscó determinar la posibilidad real de utilizar pavimento asfáltico recuperado proveniente de cinco lugares distintos de Italia como agregado para el concreto. Se investigó directamente al *RAP*, sus propiedades físicas (granulometría, absorción, porosidad y humectabilidad) y su microestructura mediante microscopio. Además, se evaluó su estabilidad dimensional (retracción por secado de especímenes de concreto con 0% y 100% de *RAP* como agregado) y su durabilidad por ciclos de congelación-descongelación.

Los autores afirman que el uso de pavimento asfáltico reciclado como árido para concreto es viable en términos del desempeño siendo necesario realizar una caracterización completa para garantizar el desempeño del concreto. (Italia)

En el artículo de investigación de Shi, Mukhopadhyay & Zollinger (2018) se realizó un análisis de inventario sobre el ciclo de vida de un concreto con pavimento asfáltico recuperado y recopilar información para llenar los vacíos de investigación sobre evaluaciones cuantitativas de sostenibilidad del uso del *RAP*. Se diseñaron tres distintos tipos de pavimentos, el primero consistió en una losa de concreto simple hecha de una sola capa, el segundo en una sola capa de losa de concreto con asfalto reciclado incorporado y el último, en una losa hecha en dos capas, siendo la capa inferior de concreto con *RAP*. Para evaluar los diseños, se empleó el método de Evaluación del Ciclo de Vida, conocido en sus siglas en inglés como *EIO-LCA*, el cual estima los recursos tanto materiales como energéticos para una determinada actividad económica, así como las emisiones ambientales que resultan de la misma, para esta ocasión, el desarrollo de un pavimento sólido.

Los autores concluyen que dicha alternativa hecha en una capa constituida de concreto con *RAP* incorporado tiene mayores beneficios económicos. Mientras que el pavimento de dos capas desde un punto de vista social y ambiental tiene un mayor impacto. (Estados Unidos)

En la tesis de maestría de Guzmán (2020) se tuvo como objetivo reutilizar los agregados finos de *RAP* realizando previamente un lavado del asfalto que tiene impregnado mediante el ensayo de abrasión para la elaboración de concreto de pavimento rígido. Se evaluó el desempeño del material reciclado mediante el ensayo de oposición a la tensión indirecta del concreto.

La autora determina que el *RAP* como componente fino afecta a la mezcla, específicamente a la resistencia promedio a la tensión indirecta

aumentando en un 7.3%, permitiendo su uso para reducir la explotación de canteras. (México)

En la investigación de Marín & Navarro (2021) se buscó determinar una relación empírica entre la compresión y flexión del concreto con *RAP* incorporado en un 0%, 20%, 50% y 100% en peso, como sustituto de materia granular. Mientras la primer propiedad se midió utilizando especímenes cúbicos y la segunda se midió empleando vigas, semicirculares (SCB) y vigas modificadas.

Para la recolección del material a reciclar, se extrajo de una carretera local y se trituró para separarlos, dependiendo del tamaño de partículas.

Los autores afirman que la flexión y compresión del concreto disminuye partiendo del 20% de incorporación de *RAP*, con correspondencia al diseño sin contenido de pavimento asfáltico recuperado. (Chile)

En el artículo científico de Ceballos, González & Sánchez (2020) se presentó una propuesta de reciclaje de residuos de construcción para ser empleados como agregados en la fabricación de adoquines evaluando su viabilidad mediante la comparación de parámetros como la infiltración, densidad y flexión, respecto a un adoquín tradicional. Los agregados pasaron por un proceso de clasificación, selección, preparación (trituración) y elaboración de adoquines. Por otro lado, el diseño de mezcla para el concreto se realizó en función a la NTC.

Los autores determinan que los agregados obtenidos mediante la trituración poseen un buen desempeño en adoquines. Además, constituyen una alternativa viable debido a su alto impacto ambiental a largo plazo. (Colombia)

En el estudio de Fagundes et al. (2023) se planteó como objetivo el uso de *RAP* como agregado fino en un concreto para reducir la contaminación por

residuos. En la investigación que fue realizada en Brasil se evaluó dicho concreto reemplazando del 10% al 50% del agregado convencional por el *RAP*.

Para extraer el componente a adicionar se utilizó cortadoras de asfalto y luego una trituradora para molerlo hasta llegar a partículas compatibles con el agregado fino y así reemplazarlas.

La muestra se extrajo de una obra realizada por la concesionaria local teniendo como resultado que solo al reemplazar el 10% del agregado cumplía con un concreto estructural de acuerdo a los ensayos mecánicos, significando así una reducción de la contaminación por desechos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En la tesis de Castillo, Chimá & Rondón (2019) se evaluó la alternativa del concreto sostenible empleando reciclados áridos mediante un estudio de mercado teniendo como base de análisis a un conjunto de construcciones civiles y organismos involucrados en la gestión de residuos. Además, se verificó la viabilidad técnica del proyecto de concreto con agregados reciclados. Por último, se realizó una evaluación económica evidenciándose en los Acus elaborados.

Los autores afirman que residuos pétreos pueden tener un segundo uso, logrando reemplazar en un 50% el contenido de material virgen en un concreto sostenible. Por otro lado, afirma que las ventajas económicas van de la mano con la apropiada gestión de los residuos para su reutilización.

En el proyecto de investigación de Anampa & Bernaola (2019) se buscó indicar el efecto del material reciclado de pavimento en la mezcla de concreto a ser empleado en pavimentos. Se elaboraron especímenes de concreto con distintos diseños diferenciados cada uno por la proporción empleada de material reciclado para luego evaluarlo a través de las pruebas correspondientes.

Los autores manifiestan que el componente reciclado satisface con los indicadores exigidos por la norma en su función como agregados, pero no permite al concreto alcanzar el 100% del f'c, obteniendo variaciones del 15% en promedio entre los diseños propuestos. Por otro lado, el hecho de reciclar mitiga eficientemente la contaminación por residuos.

En la investigación de Bejarano (2020), se realizó una recopilación de información respecto a la reutilización de aglomerados bituminosos para la construcción de nuevos pavimentos más económicos mediante una revisión sistemática de casos nacionales e internacionales sobre los métodos de reciclaje y la aplicación del pavimento asfáltico rescatado.

El autor sostiene que reciclar el pavimento es viable técnicamente según los casos que estudió, además reduce el impacto negativo en el medioambiente al emplearse menor material explotado y reducir las cantidades de emisión de CO₂.

En el estudio de Bazalar y Cadenillas (2019), se examinó y contrastó la conducta del concreto diseñado con distintas cantidades de material reciclado en sustitución del agregado grueso con el motivo de alcanzar un diseño de concreto sostenible que disminuya el uso de material virgen. Se desarrolló un estudio a los agregados para obtener el diseño base y en función a este, elaborar especímenes de concreto con distinto porcentaje del material, para luego someterlos a los ensayos de resistencia y durabilidad. Además, se empleó el programa Athena para realizar un análisis de impacto ambiental disponiendo del método Life Cycle Assessment.

Los autores afirman que al emplear de material reutilizado tiene un límite para la sustitución de piedra, ya que las propiedades mecánicas tienden a empeorar superando dicho margen. Por otro lado, emplear agregado reciclado disminuye en gran medida el uso de energías primarias, la generación de smog y el potencial de calentamiento global.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Caracterización del asfalto reciclado

Aguiar & Miranda (2019) mencionan que existen varias formas de extracción de asfalto reciclado en función al área del pavimento a reciclar, puede ser mediante el fresado empleado la máquina fresadora o para casos puntuales con cortadora, minicargador o retroexcavadora, este último amerita llevar el material a un proceso de triturado debido al gran tamaño que resulta del proceso.

Por otro lado, según Kosmatka, et. al. (s.f.) menciona que se trata de recabar información acerca de los materiales pétreos que conforman la mezcla de concreto. Se estudian las particularidades que influyen en las propiedades del mismo, con el fin de dar un buen resultado que se traduce como diseño de mezcla.

2.2.1.1 Propiedades físicas

2.2.1.1.1 Partículas chatas y alargadas

Es el estudio de la forma y el tamaño de las caras de una partícula individual de agregado, parámetros que sirven para determinar el comportamiento del agregado al mezclarlo con otros elementos y/o compactarlos. Para ello existe la norma MTC E 210, la cual explica el procedimiento para la selección de un material adecuado.

2.2.1.1.2 Caras fracturadas

Es la determinación de la cantidad de caras de una partícula con características de haber sido fracturada debido al proceso de trituración. Se puede obtener empleando la norma MTC E 223, contenida en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

2.2.1.1.3 Granulometría

Es el resultado de un análisis mecánico aplicado a la muestra de estudio con el objetivo de precisar el diámetro de las partículas que la conforman. (MTC, 2016).

La norma permite conocer el procedimiento que se debe realizar y los equipos a emplear para un correcto ensayo de muestra. El método explica sobre la preparación de los granos del agregado, el cual se rige por su tamaño, donde el límite es el tamiz N°200.

2.2.1.1.4 Peso unitario

Es una característica física que describe la relación de masa/volumen donde el volumen es representado por las partículas individuales y los vacíos entre dichas unidades generados por la masa. Este valor puede ser obtenido mediante la aplicación de la NTP 400.017.

2.2.1.1.5 Contenido de asfalto

Como se describe en la norma ASTM D2172, es el volumen de aglutinante que compone una muestra de mezcla asfáltica, el cual es expresado en valor porcentual en función a la masa de mezcla sin humedad.

2.2.1.2 Propiedades mecánicas

2.2.1.2.1 Resistencia a la abrasión

Capacidad que tienen los agregados de soportar el desgaste por fricción. El MTC (2016) explica que para definir la resistencia al desgaste se debe emplear un método que consta de unas esferas de acero, representando una carga trituradora, que muelen una muestra representativa dentro de una máquina rotatoria denominada máquina

de los Ángeles, concluyendo con la determinación del porcentaje de desgaste de los agregados.

2.2.1.2.2 Absorción

Se define como la capacidad del agregado de aumentar su masa al absorber agua debido a la presencia de espacios generados por los poros de las partículas del agregado. (INACAL, 2018).

2.2.1.2.3 Durabilidad

Capacidad de los agregados de tolerar los factores ambientales en el tiempo al estar en constante exposición a procesos de desgaste. La NTP 400.016 señala que dicho ensayo se realiza mediante la capacidad de soporte ante soluciones sódicas o de magnesio en un determinado tiempo.

2.2.2 Pavimento rígido

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) describe al pavimento rígido como la producción del concreto portland colocado por encima de estratos prestos para su funcionamiento. Puede llevar o no refuerzo de acero.

La forma de trabajo de estas estructuras es por medio de la distribución de esfuerzos uniformes, esto gracias a su módulo de elasticidad junto a su elevada rigidez, permitiendo así que las cargas impuestas por las ruedas de los vehículos sean menores para los siguientes estratos.

2.2.2.1 Estructura de pavimento rígido

Como se mencionó con anterioridad, existen diversas partes en los pavimentos, base o subbase y carpeta de concreto. Sin embargo, existen otros elementos a considerar en cuanto armazón se refiere.

2.2.2.1.1 Carpeta de rodadura

Como nos aclara Huamán (2020), es el primer estrato conformado por distintos materiales pétreos que a través de un ligante brindan la capacidad necesaria para soportar el paso de los vehículos

Esta carpeta puede ser de asfalto, que es la opción más común por ser más económico en cuanto su preparación y colocación, o puede ser una carpeta de concreto, que provee mayor rigidez a la estructura. Ambas opciones tienen el mismo objetivo, se diferencian en cómo transmiten las cargas a los estratos inferiores.

2.2.2.1.2 Base

Se refiere al estrato granular fundamental para los pavimentos, este puede o no estar mezclado con otros elementos por ejemplo el asfalto, la cal o cemento para su mejoramiento. Tiene la función estructural de transmitir y distribuir los esfuerzos, asimismo en ciertas ocasiones es usado como como estrato drenante. (Instituto de la Construcción y Gerencia, s.f.)

En el caso de trabajar con mezcla asfáltica como calzada, la base se colocaría debajo de dicha carpeta, pero por encima de la subbase. Sin embargo, al tratarse de concreto y al resistir más, la base (que funcionaría igual que una subbase) se colocaría por debajo de la losa.

2.2.2.1.3 Subbase

Rondón, H., y Reyes, F. (2015) aclaran que es un material de suministro ubicado por debajo de la base y por encima de la subrasante, aquí su función puede ser de control del fenómeno de expansión, es decir regula de alguna manera el volumen y su comportamiento elástico por hinchamiento del estrato, también se desempeña como un elemento drenante.

Su composición al tener mayor profundidad es de materiales de menor calidad, lo cual favorece al tema económico, pero debidamente graduados para un buen funcionamiento. De igual manera su función primordial es la transmisión y distribución de esfuerzos desde obtenidos por la base hacia la subrasante.

2.2.2.1.4 Subrasante

Corresponde al terreno natural ya sea cortado o superficial. Se debe tener en cuenta su compactado que para ser vías expresas es de 0.30 m y en caso de ser locales es de 0.20 m. (ICG, s.f.)

Es la última capa que recibirá las cargas de la subbase y las transmitirá al suelo. Cabe recalcar que en esta zona se debe eliminar la mayor cantidad de vacíos posibles y quedar lista para ser la capa de apoyo para las siguientes.

2.2.2.1.5 Juntas

Que pueden ser longitudinales (en dirección paralela a la vía) o transversales (en dirección perpendicular a la vía). Éstas se colocan ya que, al ser un elemento de concreto, sería imposible un vaciado monolítico sin que se agriete. Por ello, para reducir o controlar mejor esos fenómenos lo que se hace es un vaciado por paños.

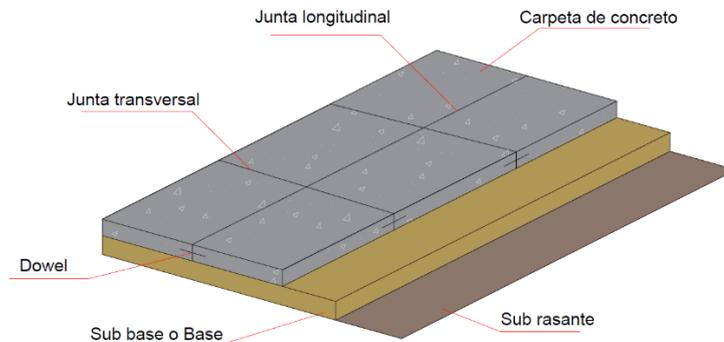
Mallick, R. & El-Korchi, T. (2013) concuerdan que para los pavimentos de concreto estas separaciones deben colocarse entre 12 a 20 pies (3.65 – 6 metros), esto con la funcionalidad de evitar la aparición de grietas, sin embargo, al no llevar malla de refuerzo se colocan unas barras de unión de manera transversal

2.2.2.1.6 Dowels o pasadores

Para garantizar una eficiente transferencia de cargas entre los paños de concreto, se colocan unas barras en cada eje de la junta,

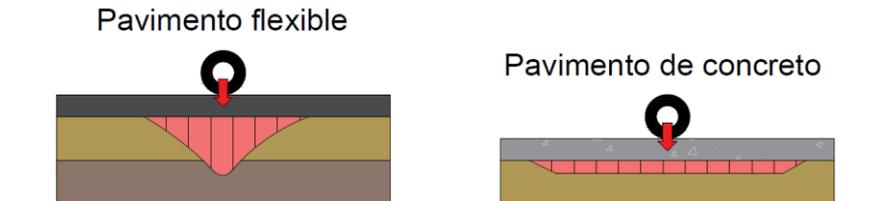
puede ubicarse por encima de una canastilla para mayor precisión. Estas barras son lisas.

Figura 1. Estructura de pavimento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Sistema de transferencia de cargas.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2 Propiedades físicas y mecánicas

2.2.2.2.1 Asentamiento

Según Medina (2016) es la diferencia de altura que se genera entre el concreto en estado plástico desmoldado y el Cono de Abrams. Para determinar dicho valor se realiza la prueba de revenimiento normado por la NTP 339.035, el cual consiste en moldear una muestra de concreto en estado fresco para luego retirar el molde y verificar cuanto de altura se ha asentado dicha mezcla, esto permitirá conocer la consistencia que tiene la misma.

2.2.2.2 Resistencia a la compresión

Es la propiedad mecánica que tiene el concreto de soportar esfuerzos de compresión hasta antes de fallar por rotura o agrietamiento.

El INACAL (2015) en la NTP 339.034 detalla el procedimiento para cuantificar la oposición de la muestra de concreto a esfuerzos de compresión. Para esta prueba se establece que su peso unitario debe ser mayor a 800 kg/m³. Dicha prueba consiste en colocar el elemento de concreto de forma cilíndrica en una compresora, se le impone una carga axial distribuida en la superficie del cilindro, que aumenta hasta que el elemento cede y se destruya.

El Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (2020) menciona las razones por las que el resultado de este ensayo puede alterarse. Puede deberse a una elaboración errónea, quiere decir que no se sigue con la dosificación inicial, también tiene que ver con un erróneo curado de los testigos de concreto, así mismo una mala manipulación de los testigos ocasionando que baje sus resultados. Por último, esclarece que una causa principal es una deficiente ejecución de ensayo, en esta parte suelen darle mal el varillado, o no quitan los vacíos con el martillo de goma y demás.

2.2.2.3 Resistencia a la flexión

También conocido como módulo de rotura, se define como la capacidad del concreto en estado endurecido de soportar esfuerzos de flexión, el cual se puede obtener mediante el ensayo a flexión que consiste en evaluar una muestra de concreto en forma de prisma rectangular, a la cual se le aplican los esfuerzos hasta llegar a su rotura. (Indecopi, 2012)

2.2.2.3 Factor económico

Para evaluar la viabilidad de una obra vial se requiere del presupuesto, el cual es un valor estimado de los trabajos a ejecutar. Para ello se hace un análisis de costos unitarios el cual como lo describe OSCE (s.f.) es la enumeración de la mano de obra, materiales y equipos y demás recursos necesarios para realizar una partida contemplando su costo de acuerdo a una unidad de medida.

Para todos los tipos de pavimentos se realiza dicha cuantificación siendo esta parte de un expediente técnico. Se debe tomar en cuenta los rendimientos de cada cuadrilla para el ACU, así como los costos que sean sin IGV (impuesto general a las ventas) dado que este se le adiciona al final de todo el presupuesto.

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Aglutinante

Es aquel componente bituminoso que sirve para la cohesión de los materiales pétreos en una mezcla asfáltica. (Calisaya et al., 2023)

2.3.2 Asfalto reciclado

Aguiar & Miranda (2019) señalan que es el elemento extraído de la carpeta de rodadura como resultado del recapeo o rehabilitación de una vía.

2.3.3 Cantera

Es la fuente de extracción de materiales provenientes de medio natural, la cual debe cumplir con la calidad y cantidad requerida, además de estar a una distancia cercana a la obra o centro de acopio. (MTC, 2013)

2.3.4 Reciclaje

Es la acción de reutilizar el material obtenido de las capas de rodadura que han cumplido su tiempo de servicio para producir otras capas de igual o mayor resistencia. (Monroy et. al, 2020).

2.3.5 Impacto ambiental

Esa actividad o proyecto genera una alteración beneficiosa o adversa al medio ambiente y al medio socioeconómico, que se puede cuantificar para minimizar dicho impacto. (Vargas, 2020)

2.3.6 Diseño de mezcla

De manera resumida, es el proceso que permite desarrollar las especificaciones del concreto. (Kosmatka, et al., s.f.)

2.4 Hipótesis

Hipótesis general

Caracterizando el asfalto reciclado se puede adicionar hasta un 20% en el diseño de concreto hidráulico.

Hipótesis específicas

Las propiedades físicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.

Las propiedades mecánicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.

El asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos disminuye las propiedades mecánicas.

El costo unitario del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos es bajo.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Diseño Metodológico

3.1.1 Enfoque

La presente investigación está diseñada con el enfoque cuantitativo, pues se basa en recolectar datos numéricos de la realidad objetiva para realizar análisis estadísticos a fin de comprobar la hipótesis propuesta.

3.1.2 Tipo

La presente investigación se ha definido según su propósito de estudio del tipo aplicada ya que según Nicodemes (2018) nos menciona que este tipo de investigación busca resolver un problema presente en la sociedad. Para la presente tesis a desarrollar se tomarán conocimientos teóricos para así poder favorecer cierto sector utilizando asfalto reciclado para el diseño de mezcla de un pavimento rígido completamente nuevo.

3.1.3 Nivel

Se categoriza como descriptiva explicativa, debido a que se iniciará describiendo datos numéricos obtenidos en laboratorio para luego interpretarlos, encontrando así las causas o indicios por los cuales ocurre un fenómeno, el por qué y en qué condiciones se manifiesta.

3.1.4 Diseño

El presente trabajo está bajo la denominación de una investigación experimental, puesto que se ejecutarán pruebas en el laboratorio para alcanzar los objetivos establecidos y se observarán posibles fenómenos. Para ello, se obtendrá una muestra representativa rescatada del mantenimiento de una vía, dicha muestra se analizará para determinar su condición actual enfocado a distintos parámetros como sus propiedades físicas y mecánicas. De acuerdo con los resultados, se empieza con el diseño de concreto con un

porcentaje de la muestra que previamente pasó por un proceso de trituración, con el fin de realizar ensayos correspondientes descritos en el Manual de Carreteras 2013 y así determinar el óptimo diseño.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Se compone de la cantidad total de asfalto recuperado del fresado de las pistas de aterrizaje del aeropuerto José A. Quiñónez González ubicado en la ciudad de Chiclayo, la cual ha tenido una vida útil aproximada de 40 años.

3.2.2 Muestra

De la población se extrajo 20m³, de los cuales 75kg será la muestra representativa empleada para realizar los diversos ensayos de caracterización, se usará la parte gruesa retenida por el tamiz n.º 4. La muestra incluye las pruebas al concreto utilizando nueve testigos de concreto por cada diseño elaborado (5 diseños), obteniendo un total de 45 testigos con edades de 7 días, 14 días y 28 días. Se obtendrán nueve vigas por diseño, consiguiendo 45 vigas, que se evaluarán a las mismas edades que los testigos.

3.3 Definición de Variables

3.3.1 Definición Conceptual

Caracterización del asfalto reciclado

Es la determinación de las características del material extraído de un pavimento flexible que ha cumplido su periodo de servicio.

Diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos

Proceso mediante el cual se determinan las especificaciones de un concreto para pavimento rígido.

3.3.2 Definición Operacional

Caracterización del asfalto reciclado

Se obtendrá una cantidad considerable de asfalto reciclado del aeropuerto internacional José Quiñones de Chiclayo, la muestra estará ya escarificada producto del mantenimiento de vías del lugar. Posteriormente, se determinará sus propiedades físicas como granulometría, resistencia a la abrasión y en función a ello, se le añade materiales pétreos de una cantera escogida de la zona también para combinarlos.

Diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos

Se elaborará un diseño de este elemento utilizando el manual de carreteras MTC 2013 teniendo en cuenta los resultados recogidos de los ensayos. Se tendrá en cuenta la adición del *RAP* extraído a un inicio.

3.4 Operacionalización de Variables

A partir del problema general, del cual se ha obtenido el título, se ha logrado reconocer dos variables, una independiente y la otra dependiente respectivamente.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diseño e Instrumentos
Caracterización del asfalto reciclado	Es la determinación de las características del material extraído de un pavimento flexible que ha cumplido su vida útil.	Propiedades físicas	Partículas chatas y alargadas	NTP 400.040
			Caras fracturadas	MTC E 210
			Granulometría	NTP 400.012
			Peso unitario	NTP 400.017
			Contenido de asfalto	MTC E 502
		Propiedades mecánicas	Resistencia a la abrasión	NTP 400.019
		Absorción	NTP 400.021	
		Durabilidad	NTP 400.016	
Diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos	Proceso mediante el cual se determinan las especificaciones de un concreto para pavimento rígido.	Propiedades físicas y mecánicas	Asentamiento	NTP 339.035
			Resistencia a la compresión	NTP 339.034
			Resistencia a la flexión	NTP 339.078
	Factor económico	Análisis de costos unitarios	Análisis de costos unitarios	

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para lograr las características de la muestra de pavimento a reciclar, respecto a las propiedades físicas, se realizará el ensayo de la determinación de partículas fracturadas, el ensayo de partículas chatas y alargadas, para los cuales se apoyará de las normas NTP 400.040 y MTC E 210 respectivamente. Se realizará el ensayo de granulometría donde se realizará la técnica del tamizado aplicando la norma NTP 400.012 de esta manera evaluar la curva de acuerdo al tamaño del espécimen estudiado, el ensayo de peso unitario utilizando moldes y varilla de compactado, teniendo en cuenta la NTP 400.017 y el contenido de asfalto usando la máquina centrífuga de acuerdo a la MTC E 502.

En cuanto a las propiedades mecánicas, se realizará el ensayo de resistencia a la abrasión, para ello se emplea una máquina giratoria teniendo para el deterioro del agregado teniendo en cuenta la bibliografía de la norma NTP 400.019, por último, el ensayo de absorción, donde se dispondrá de

balanza, horno, canasta de alambre rigiéndose de la NTP 400.021. Además, para el ensayo de durabilidad se empleará la norma NTP 400.016.

Respecto a las propiedades de los agregados, para conseguir los parámetros iniciales se realizará el ensayo de granulometría con la norma NTP 400.012 haciendo uso de los tamices ASTM, el P.U. de los agregados empleando NTP 400.017, la cual se basa en llenar un molde rígido y con una varilla ir compactando por tercios. Se requerirá también hallar el índice de absorción de los materiales, empleando la norma técnica peruana 400.021 y 400.022. Además, la concentración de humedad con la norma NTP 339.185, haciendo uso de un horno. Todo esto siguiendo la norma MTC 2013.

Para la mezcla de concreto se empleará el cemento Portland Tipo MS debido a su moderada resistencia a los sulfatos. A partir de ello y con los resultados de los agregados utilizados, tanto reciclados como vírgenes, se realizará un diseño de mezcla mediante el método ACI, el cual se basa en el uso de tablas con valores definidos para interpolar y realizar distintas operaciones hasta llegar a la dosificación.

Después, se evaluará el asentamiento mediante NTP 339.035 usando el cono metálico y una varilla para medir la diferencia de alturas, el $f'c$ empleando la NTP 339.034 que explica cómo preparar los especímenes de concreto para someterlos a una carga aplicada por una máquina calibrada y el módulo de rotura por medio de la norma NTP 339.078 que detalla los parámetros que se deben registrar antes y después de someter las vigas de concreto al equipo encargado de aplicar la fuerza a flexión, ambas pruebas de resistencia se realizarán a distintas edades de los diseños de mezcla elaborados. Además, se realizará un análisis de costos para verificar el ahorro que podría generarse al emplear material reciclado, el cual se emplearan los costos actuales de cada elemento necesario para realizar el pavimento rígido con cada diseño. Por último, se recopilará los valores de cada ensayo y se interpretarán contrastando con las hipótesis.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Procesamiento de Datos

Todos los datos obtenidos se trasladarán a una base de datos para procesarlos mediante el software Microsoft Excel, del cual se obtendrán los resultados requeridos para determinar la viabilidad del uso de pavimento asfáltico reciclado en el diseño de una mezcla de concreto para la construcción de pavimento rígido.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO

4.1 Obtención de agregados

4.1.1 Asfalto reciclado

Debido al mantenimiento de las pistas de aterrizaje del aeropuerto José A. Quiñones Gonzales de la ciudad de Chiclayo, las cuales mediante el proceso de fresado se obtuvo el asfalto en partículas de tamaño regular similar a la piedra chancada con la diferencia de presentar bitumen adherido. Se tomó una cantidad de 20 m³ del acopio total, el cual fue transportado a un almacén a campo abierto.

Figura 3. *Unidad empleada para cargar y transportar el asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. *Acopio de asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

De los 20m³ cargado, se extrajo una porción representativa de 75 kg para su respectiva caracterización en laboratorio, en función a la cantidad requerida según la NTP 400.010 referente a la extracción y preparación de las muestras. De la muestra mencionada, se usó la parte retenida por la malla n.º 4 tal como se ha recuperado del fresado, sin aplicar ningún tipo de lavado.

Figura 5. *Muestra representativa de asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Agregado fino

Para la obtención del agregado fino, se tomó una selección característica de 50 kg de la cantera Tres Tomas de la provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. Comúnmente por la zona, a este material se le conoce como arena triturada, al proceder de la trituración de la piedra.

Figura 6. *Muestra representativa de la arena triturada.*



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Agregado grueso

Para la obtención del agregado grueso, se tomó como muestra representativa 50 kg de piedra producto de un proceso de chancado de un tamaño máx. de 3/4" de la cantera anteriormente mencionada.

Figura 7. *Muestra representativa de agregado grueso.*



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Ensayos para los agregados

4.2.1 Equivalente de arena

Objetivo:

Determinar la relación de los granos finos y gruesos del agregado fino pasante de la malla n.º 4, con la finalidad de comprobar que dicha relación se encuentre dentro de los índices normales para el diseño de concreto.

Este ensayo tiene como referencia la norma NTP 339.146.

Equipos:

Para este ensayo se requiere del tamiz ASTM n.º 4, tres probetas milimétricas y un contenedor para la solución. Además, agua destilada y solución concentrada (compuesta por calcio cloruro anhidro, glicerina y formaldehído).

Procedimiento:

Se inicia preparando una solución, resultado de la mezcla de 1.014 L de solución concentrada diluida por 3.785 L de agua destilada.

Luego, se escoge una porción de agregado fino y se procede a tamizarlo con la malla n.º 4. Se descarta el retenido y, de las partículas pasantes se toman tres muestras de 160 gramos.

Las muestras obtenidas se colocan dentro de las probetas y se le añade solución preparada hasta una altura de 4 pulgadas. Se deja reposar por 10 minutos y luego se procede a taponar la probeta para realizar un movimiento horizontal de 90 ciclos.

Posteriormente, se limpian los bordes con la solución preparada y se llena la probeta hasta llegar a 15 pulgadas, luego se debe dejar reposar durante 20 minutos.

Finalmente, tras haber transcurrido el tiempo de reposo, se procede a medir las alturas de partículas gruesas y partículas finas.

Cálculo:

Se obtienen los resultados mediante la siguiente formula:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{A_g}{A_f} \times 100\%$$

Donde:

Ag: Altura de partículas gruesas (pulg.)

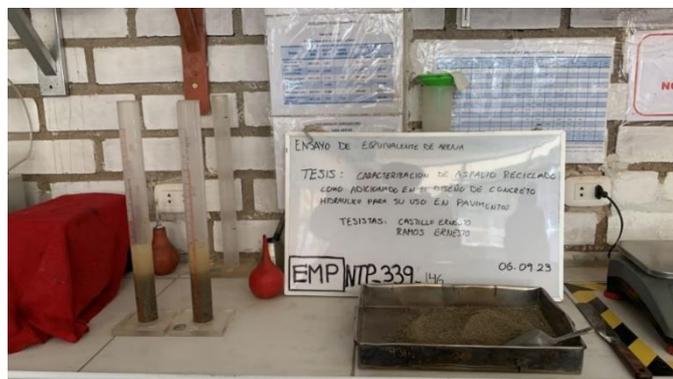
Af: Altura de partículas finas (pulg.)

Figura 8. Ejecución del ensayo de equivalente de arena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Lectura de alturas del ensayo de equivalente de arena.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 2. Resultados - Equivalente de Arena.

Muestra	1	2	3
Altura (Fino) (plg)	4.80	4.70	4.80
Altura (Arena) (plg)	3.60	3.60	3.60
Equivalente de Arena (%)	75.00	76.60	75.00
Promedio (%)	75.53		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se resume el cálculo del equivalente de arena del agregado fino, el cual en promedio resulta 75.53%. Esto significa que cumple satisfactoriamente al ser superior al requisito mínimo de 75% según la NTP 339.146.

4.2.2 Granulometría

Objetivo:

Determinar la gradación de los distintos diámetros de los materiales granulares, mediante la elaboración de la curva granulométrica la cual se adecua al huso requerido para verificar si se encuentra dentro de los límites.

Para esta prueba se considera la norma NTP 400.012.

Equipos:

Se implementaron los tamices ASTM para el agregado fino de n.º: 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Asimismo, para la piedra se utilizaron los siguientes tamices ASTM: 4", 3 ½", 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y n.º 8.

Se empleó tres recipientes, una bandeja, un cucharón, una balanza marca Ohaus modelo Ranger 3000 y un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030.

Procedimiento:

Agregado fino

Se lava la muestra y luego se coloca en el horno para quitar cualquier saturación por humedad a una temperatura perenne de 110°C durante un día.

Luego, se coloca 0.5 kg de muestra previamente pesada en los tamices, correctamente ordenados en forma descendente, y se procede a agitar de manera circular y uniforme.

Por consiguiente, se pesa la masa retenida en cada malla y con las cifras obtenidas se realiza la curva granulométrica.

Figura 10. *Tamizado.*



Fuente: Elaboración propia.

Agregado grueso

La muestra se somete a un proceso de lavado, luego se coloca en un horno a una temperatura permanente de 110°C durante un periodo de 24 horas, con el fin de eliminar cualquier exceso de humedad.

Posteriormente, se cuartea la muestra para escoger la parte más representativa para proceder a tamizar. Por consiguiente, se pesa la

cantidad retenida de cada malla, se registran los datos y se grafica la curva granulométrica. Finalmente, se escoge el huso granulométrico para concreto hidráulico que cumple el agregado, para este proyecto se ha empleado el 57.

Figura 11. *Cuarteo de la piedra.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. *Tamizado de la piedra chancada.*

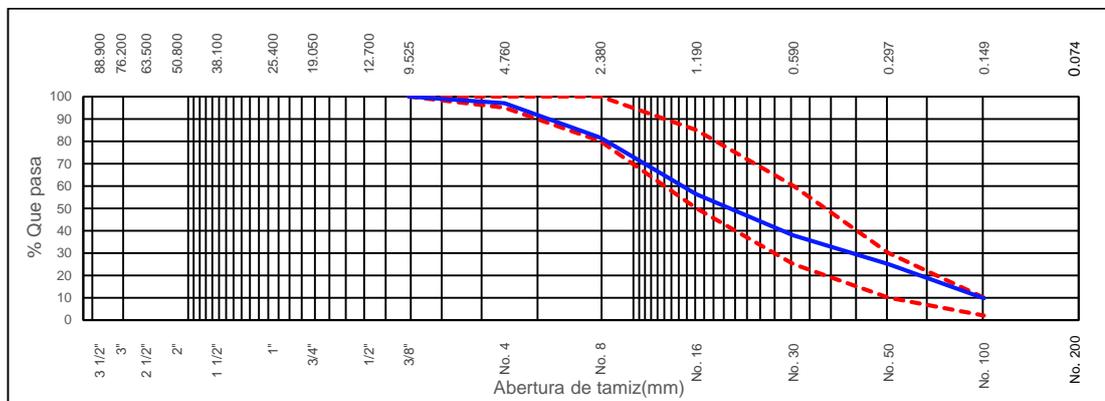


Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 3. Resultado del Análisis Granulométrico del agregado fino.

Abertura de Tamices		Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación	
ASTM	mm					Mínimo	Máximo
4"	101.600	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3 1/2"	88.900	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
No. 4	4.760	25.0	2.9	2.9	97.1	95	100
No. 8	2.380	131.2	15.4	18.4	81.6	80	100
No. 16	1.190	215.0	25.3	43.7	56.3	50	85
No. 30	0.590	157.5	18.5	62.2	37.8	25	60
No. 50	0.297	109.2	12.8	75.0	25.0	10	30
No. 100	0.149	130.0	15.3	90.3	9.7	2	10
No. 200	0.074	65.0	7.6	98.0	2.0	0	0
< No. 200		17.4	2.0	100.0	0.0	0	0
						MF	2.92

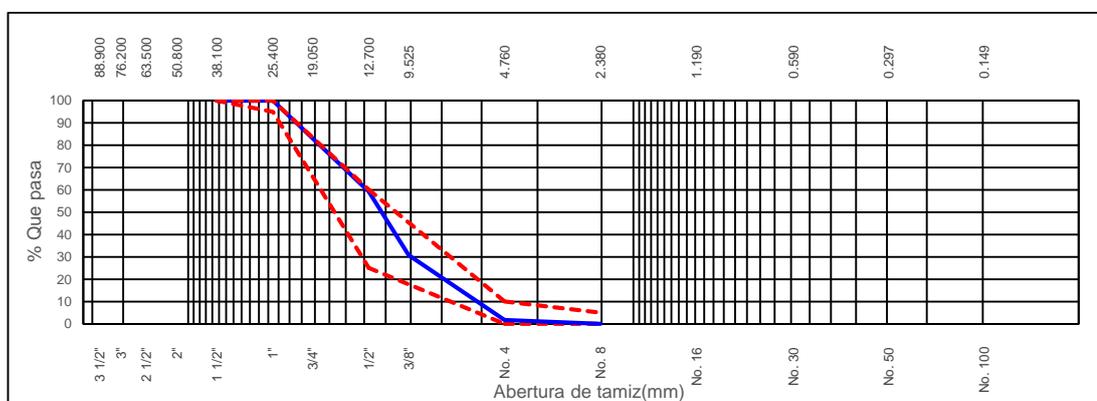


Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestran los datos registrados del análisis partículas finas, el cual permite realizar el gráfico inferior, donde la curva se encuentra dentro de los límites especificados en la Tabla 438-03 del manual de carreteras EG2013.

Tabla 4. Resultado Granulometría del agregado grueso.

Abertura de Tamices		Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación	
ASTM	mm					Mínimo	Máximo
4"	101.600	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3 1/2"	88.900	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	95	100
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.700	3,656.0	40.8	40.8	59.2	25	60
3/8"	9.525	2,545.0	28.4	69.3	30.7		
No. 4	4.760	2,589.0	28.9	98.2	1.8	0	10
No. 8	2.380	163.0	1.8	100.0	0.0	0	5
No. 16	1.190	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 30	0.590	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 50	0.297	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 100	0.149	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 200	0.074	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
< No. 200		0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
						MF	6.67
						TMN	1/2 "
						TM	1 "



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestran los valores registrados del agregado grueso y su respectiva curva granulométrica dentro las especificaciones del huso 57, límites obtenidos de la Tabla 438-05 del manual de carreteras EG2013.

4.2.3 Módulo de fineza

Objetivo:

Determinar el índice del tamaño promedio de las partículas y verificar que este cumpla con lo estipulado en la NTP 400.037.

Para este ensayo se tuvo de referencia la NTP 400.012.

Equipos:

Para el siguiente ensayo se proporcionaron las siguientes mallas ASTM: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", n.º 4, n.º 8, n.º 16, n.º 30, n.º 50 y n.º 100.

Procedimiento:

Se realiza una suma de los acumulados retenidos porcentuales de material de los tamices anteriormente mencionados. Luego, dicho resultado dividirlo entre 100.

Resultados:

Tabla 5. Resultados del Módulo de Fineza de los agregados.

Módulo de Fineza	
A. Fino	A. Grueso
2.92	6.67

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se resume los resultados de módulo de fineza de cada material a emplear. Se aprecia que agregado fino cumple la normativa de calidad determinado por la NTP 400.037, al tener un valor menor a 3. Por otro lado, el módulo de fineza de la piedra chancada sirve como referencia, no es un parámetro requerido para la elaboración de concreto. Sin embargo, nos permite conocer la relación de tamaño de las partículas, donde podemos observar que efectivamente sus partículas son más gruesas que las partículas del agregado fino.

4.2.4. Peso unitario

Objetivo:

Obtener el peso del agregado en un determinado volumen tanto compactado como suelto, así como la cantidad de vacíos que presenta.

Se tuvo de referencia la NTP 400.017.

Equipos:

Se empleó una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, un cucharón, una varilla para el compactado y un molde calibrado, con peso tara de 6,236 g y un volumen de 8,888 cm³.

Procedimiento:

P.U. Suelto

Se llevaron los agregados al horno durante 24 horas a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Una vez seco, se abasteció el molde con el cucharón hasta el tope y enrasar. Finalmente, registrar el peso en una balanza.

P.U. Compactado

Se colocaron los materiales al horno durante 24 horas a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Luego del secado, se llena el molde con el cucharón hasta el primer tercio y luego varillar 25 veces. Repetir el procedimiento de compactado para cada tercio. Por último, se enrasa y se documenta el peso.

Figura 13. *P.U. suelto y compactado de la piedra chancada.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. *P.U. suelto y compactado de la arena.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 6. Resultado del P.U. Suelto de la piedra.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	18.437,0	18.430,0	18.435,0
Peso molde (g)	6.236,0	6.236,0	6.236,0
Peso muestra (g)	12.201,0	12.194,0	12.199,0
Volumen molde (cm ³)	8.888,0	8.888,0	8.888,0
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1,373	1,372	1,373
Promedio (g/cm ³)		1,372	

Fuente: Elaboración propia.

Tras haber evaluado el p.u. suelto de la piedra, se determinó que es 1.372 g/cm³.

Tabla 7. Resultado del P.U. Varillado de la piedra.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	19.235,0	19.233,0	19.234,0
Peso molde (g)	6.236,0	6.236,0	6.236,0
Peso muestra (g)	12.999,0	12.997,0	12.998,0
Volumen molde (cm ³)	8.888,0	8.888,0	8.888,0
Peso Unitario Compactado (g/cm ³)	1,463	1,462	1,462
Promedio (g/cm ³)		1,462	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra el peso unitario compactado del agregado grueso, el cual resulto 1.462 g/cm³.

Tabla 8. Resultado del P.U. Suelto de la arena.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	19.271,0	19.268,0	19.265,0
Peso molde (g)	6.236,0	6.236,0	6.236,0
Peso muestra (g)	13.035,0	13.032,0	13.029,0
Volumen molde (cm ³)	8.888,0	8.888,0	8.888,0
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1,467	1,466	1,466
Promedio (g/cm ³)		1,466	

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla se describen los valores requeridos para determinar el peso unitario suelto del agregado fino, donde el promedio es 1.466 g/cm³.

Tabla 9. Resultado del P.U. varillado de la arena.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	20.920,0	20.930,0	20.925,0
Peso molde (g)	6.236,0	6.236,0	6.236,0
Peso muestra (g)	14.684,0	14.694,0	14.689,0
Volumen molde (cm ³)	8.888,0	8.888,0	8.888,0
Peso Unitario Compactado (g/cm ³)	1,652	1,653	1,653
Promedio (g/cm ³)	1,653		

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar tres muestras de agregado fino, se estableció que su peso unitario compactado es de 1.653 g/cm³.

4.2.5 Contenido de humedad

Objetivo:

Precisar la saturación por agua presente en los agregados a utilizar para la mezcla de concreto a través del secado.

Se utilizó como base lo estipulado en la norma NTP 339.185.

Equipos:

Se empleo una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX con precisión de 1 gramo, dos recipientes y un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030.

Procedimiento:

Se separa la muestra que se necesita para el ensayo, para este caso se utilizó 1,200 gr. de arena y 1,100 gr. de piedra.

Se toma registro del peso húmedo de la muestra.

Luego, se procede a colocar la muestra en recipientes los cuales son introducidos en el horno a 110°C durante 24 horas hasta secar el material.

Por último, se registra del espécimen al salir del horno.

Figura 15. Muestras llevadas al horno durante 24 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 10. Resultado del Contenido de Humedad de la arena triturada.

Agregado Fino	
Peso húmedo (g)	1,078.0
Peso seco al horno (g)	1,070.8
Contenido de Humedad (%)	0.67

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10 se obtiene que el agregado fino presenta una humedad natural de 0.67%.

Tabla 11. Resultado del Contenido de Humedad de la piedra chancada.

Agregado Grueso	
Peso húmedo (g)	986.0
Peso seco al horno (g)	984.0
Contenido de Humedad (%)	0.20

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro anterior resume los datos alcanzados en el laboratorio para la presencia de humedad del agregado grueso, el cual resultó 0.20%.

4.2.6 Resistencia a la abrasión

Objetivo:

Evaluar la capacidad de resistir al desgaste abrasivo del agregado grueso con un diámetro inferior a 1 ½ pulgadas utilizando la máquina de Los Ángeles, y constatar si satisface con los estándares mínimos estipulados para el diseño del concreto.

Para este ensayo se tuvo de referencia la NTP 400.019.

Equipos:

Se empleó principalmente la máquina de Los Ángeles, incluyendo la carga (esferas de acero) con dimensiones estipuladas en la norma anteriormente mencionada. Por otro lado, se empleó los tamices ASTM, una balanza marca Ohaus modelo Ranger 3000 y un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030.

Procedimiento:

Se lava la muestra y luego es llevada al horno a 110°C constante durante 24 horas.

Posteriormente, se separa la muestra en fracciones individuales y se combina hasta alcanzar la gradación seleccionada. Se registra su masa inicial.

Luego, se coloca la muestra y las esferas de acero dentro de la máquina de Los Ángeles para proceder con el ensayo, el cual consiste en rotar la máquina a una velocidad entre 30-33 rpm por 500 revoluciones.

Por último, se retira la muestra de la máquina de Los Ángeles para cernir con el tamiz n.º 12 para separar los finos, resultado del desgaste del agregado grueso. Y se registra su masa final.

Cálculo:

Mediante la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de perdida} = \left[\frac{(C - Y)}{C} \right] \times 100$$

Donde:

C: Masa inicial de la selección (g)

Y: Masa final de la muestra (g)

Figura 16. *Tamizado de muestra para ensayo.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Muestra colocada en la máquina los ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 12. Resultado del ensayo de Abrasión del agregado grueso.

Gradación de muestra	B
Tamaño Máximo Nominal	3/4 "
Masa inicial antes de ensayo (gr)	5,000.0
Masa después de ensayo (gr)	4,102.0
Diferencial de masa (gr)	898.0
Abrasión (%)	17.96

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12 se muestra el resultado del desgaste del agregado grueso luego de haber realizado en ensayo en la máquina de los ángeles, el cual es 17.96% siendo este menor al 40%, límite máximo propuesto por la norma MTC E207.

4.2.7 Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Objetivo:

Determinar el peso específico de la piedra saturada con agua y secado superficialmente, así como su absorción.

Se empleó la NTP 400.021.

Equipos:

Se utilizó una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX para registrar los pesos, horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030 a temperatura constante, un recipiente, una canasta de alambre y un tanque de agua.

Proceso:

Con el método del cuarteo se toma un ejemplar a ensayar y se sitúa en un envase, el cual se lleva a la estufa durante 24 horas.

Luego de las 24 horas de secado, se le añade agua hasta sumergir la muestra en el mismo recipiente durante 24 horas.

Tras haber pasado 24 horas sumergida, se procede a secar superficialmente con un paño hasta desaparecer el brillo por humedad que reflejan los agregados. Se registra el peso del estrato deshumedecido de manera externa en la báscula.

Inmediatamente, se coloca la muestra secada superficialmente en la canasta de alambres para sumergirlo en el tanque de agua y registrar su masa.

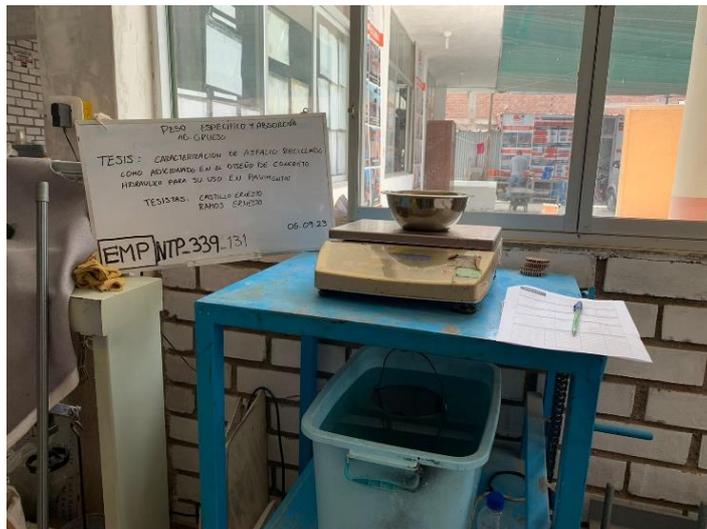
Para finalizar, el agregado se sitúa nuevamente en la estufa y se registra su masa seca.

Figura 18. *Secado superficial de piedra chancada.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. *Agregado grueso superficialmente seco saturado.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 13. Resultado - Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.

Código	Muestra	1	2	
A	Peso muestra seca en aire	999.80	1,000.90	
B	Peso muestra sat. superficialmente seca en aire	1,003.50	1,004.60	
C	Peso muestra sat. superficialmente seca en agua	627.30	628.40	Promedio
	Gravedad Específica A/(B-C)	2.66	2.66	2.66
	Densidad (Kg/m ³)	2,657.63	2,660.55	2,659.09
	Absorción (%)	0.37	0.37	0.37

Fuente: Elaboración propia.

A partir de dos muestras de piedra chancada evaluadas en laboratorio, se determinó su gravedad específica resultando 2.66 g/cm³ y su absorción, la cual resultó 0.37%.

4.2.8 Gravedad específica y absorción de la arena

Objetivo:

Determinar la densidad, el peso específico y la absorción de la arena triturada.

Para este ensayo se tuvo de referencia la NTP 400.022.

Equipos:

Se empleó un molde, una barra compactadora, una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030 y un picnómetro calibrado. Además, se requirió de agua destilada.

Procedimiento:

Se obtiene una muestra representativa en su condición de humedad natural mediante el método de cuarteo.

Luego, se coloca el molde con el diámetro mayor en la parte inferior sobre una superficie lisa no absorbente para proceder a llenarlo

con el agregado fino y se compacta con la barra aplicando 25 golpes en caída libre.

Después del llenado y compactado del material granular fino, se retira el molde y se verifica si el material mantiene su humedad observando si mantiene la forma del molde, de lo contrario se considera una muestra de superficie seca.

Concluida la prueba de humedad superficial, se procede a realizar el ensayo de gravimetría.

Primero, se llena el picnómetro hasta su capacidad de calibración con agua destilada y se procede a medir su masa.

Después, se llena el picnómetro con agua destilada parcialmente para proceder a añadir una cantidad de medio kilo de arena dentro.

Realizar movimientos al picnómetro para suprimir las bolsas de aire. Puede ser invertirlo, agitar, rodarlo, entre otros movimientos mecánicos sin degradar el agregado.

Luego de haber eliminado el aire, se continúa alimentando el picnómetro con solución destilada hasta su capacidad de calibración y se mide la masa.

Para concluir, se debe eliminar la humedad de la muestra usando el horno a una temperatura de 110°C para determinar su masa.

Figura 20. *Realización del test de humedad superficial.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. *Medición de la masa del picnómetro.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 14. Resultado - densidad relativa y absorción de la arena

Código	Arena	1	2	
A	Peso saturado superficial seco	300.00	300.00	
B	Peso de recipiente + Agua	695.10	694.20	
C	(A + B)	995.10	994.20	
D	Peso del agregado + Agua en recipiente	881.00	880.20	
E	Vol. de masa + Vol. de vacío	114.10	114.00	
F	Peso del agregado seco en horno	296.00	296.10	
G	Volumen de masa	110.10	110.10	Promedio
	PE Bulk (Base seca)	2.59	2.60	2.60
	PE Bulk (Base saturada)	2.63	2.63	2.63
	PE aparente	2.69	2.69	2.69
	Absorción (%)	1.35	1.32	1.33

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se detallan los datos de laboratorio requeridos para hallar el peso específico y la absorción del material, los cuales resultan 2.60 g/cm³ y 1.33% respectivamente. Donde la absorción es menor a 4%, límite descrito en la Tabla 438-04 de la manual de carreteras EG2013.

4.2.9 Durabilidad

Objetivo:

Determinar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie.

Para este ensayo se tuvo de referencia la NTP 400.016.

Equipos:

Se empleó recipientes metálicos, los tamices ASTM, una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, un recipiente graduado, un hidrómetro y un termómetro. Además, se utilizó sulfato de magnesio, cloruro de bario y agua destilada.

Procedimiento:

Agregado fino

Inicialmente una muestra representativa se lava completamente y luego se procede a secar para eliminar la humedad adquirida por el lavado a 110°C en el horno.

Luego, la muestra se separa en distintos tamaños obteniendo 100g de cada tamaño, empleando los tamices ASTM n.º 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Cada fracción de 100g retenida en los tamices anteriormente mencionados se coloca por separado en recipientes.

Se continua con la preparación del reactivo, el cual consiste en mezclar sulfato de magnesio con agua en la proporción de 1kg por litro de agua a 25 °C promedio controlada con el termómetro.

Una vez mezclado, se deja enfriar hasta 21°C, y se deja reposar con temperatura constantes durante 48 horas.

Habiendo transcurrido las 48 horas, se evalúa la densidad del reactivo preparado con un hidrómetro, dicha densidad debe permanecer no menos de 1,295 g/cm³ ni mayor de 1,308 g/cm³.

Cumpliendo lo anterior, las fracciones de los finos se sumergen en el sulfato de magnesio preparado durante 16 a 18 horas a 21°C.

Transcurrido este tiempo, se saca la muestra y se deja secar a lo largo de 15 min y luego se procede a secar en el horno hasta mantener un peso homogéneo.

Luego, se deja enfriar al exterior y se repite el mismo procedimiento por cinco ciclos.

Por último, cuando se haya culminado los ciclos, se procede a lavar las fracciones con agua circulante a 43°C, siendo el último lavado

realizado con cloruro de bario disuelto en agua destilada en la proporción de 5 g en 1ml de agua.

Teniendo la muestra lavada, se seca en horno y se anotan los pesos. Luego, se tamiza cada fracción con el tamiz en el que se retenía inicialmente y se vuelve a registrar el nuevo peso debido a las pérdidas.

Figura 22. *Fracciones de agregado fino para ensayo de durabilidad.*



Fuente: Elaboración propia.

Agregado grueso

De la misma manera se aplica para el agregado grueso, la diferencia está en la separación del agregado, el cual se realiza haciendo uso de los tamices ASTM 1/2", 3/8" y n.º 4. Con los cuales se obtiene 670g, 350g y 300g respectivamente.

Luego, se sumerge cada fracción al sulfato de magnesio y se seca en hora por cinco ciclos.

Se registra su peso después de lavado y secado, y luego se tamiza en las mallas anteriormente descritas.

Adicionalmente, las muestras mayores o iguales a 3/4" se analizan cualitativamente, donde se separan sus partículas y se anota la cantidad de partículas que ha sufrido alguna acción, que puede ser rajadura, desintegración, desmenuzamiento, etc.

Figura 23. *Fracciones de agregado fino y grueso inmersos en solución (primera inmersión).*



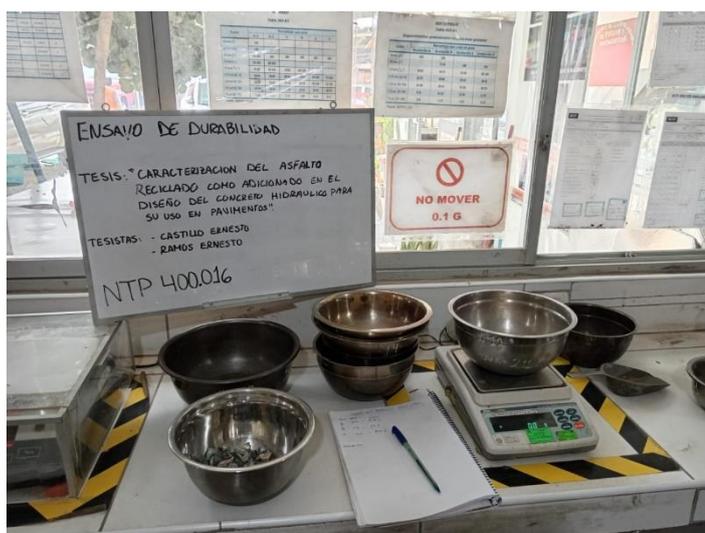
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. *Muestras del ensayo de durabilidad después del tercer ciclo de inmersión y secado.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Análisis cualitativo del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 15. Resultado del ensayo de durabilidad de la arena triturada.

% Pasa	% Retenido	Gradación original		Peso (g)		Pérdida		% de Pérdida corregida
		Masa (g)	Retenido (%)	Inicial	Final	Peso (g)	Porcentaje (%)	
3/8"	No. 4							
No. 4	No. 8	29.5	6.2	100.0	43.8	56.2	56.2	3.49
No. 8	No. 16	82.3	17.3	100.0	75.2	24.8	24.8	4.30
No. 16	No. 30	191.5	40.3	100.0	79.3	20.7	20.7	8.34
No. 30	No. 50	118.9	25.0	100.0	76.6	23.4	23.4	5.86
No. 50	No. 100	52.9	11.1	100.0	80.8	19.2	19.2	2.14
Menos de No. 100								
TOTAL		475.1	100.0					24.12

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15 se aprecia que la pérdida por sulfato de magnesio resultó 24.12%, el cual resulta un valor referencial debido a que el agregado será usado para un concreto a una altura menor a 3,000 msnm.

Tabla 16. Resultado - durabilidad de la piedra chancada.

% Pasa	% Retenido	Gradación original		Peso (g)		Pérdida		% de Pérdida corregida
		Masa (g)	Retenido (%)	Inicial	Final	Peso (g)	Porcentaje (%)	
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	670.0	51.5	670.0	526.4	143.6	21.4	11.05
1/2"	3/8"	330.0	25.4	330.0	171.6	158.4	48.0	12.18
3/8"	No. 4	300.00	23.1	300.0	239.0	61.0	20.3	4.69
TOTAL		1300.0	100.0					27.92

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla, se identifica el porcentaje de disminución de peso del agregado grueso debido a la acción del sulfato de magnesio, el cual resultó 27.92%, siendo mayor al límite propuesto por el MTC de 18% a una altura de 3,000 msnm.

4.2.10 Impurezas orgánicas del agregado fino

Objetivo:

Determinar cualitativamente la cantidad de elementos orgánicos perjudiciales para el concreto del agregado fino.

Se tuvo de referencia la NTP 400.024.

Equipos:

Se usó una botella de vidrio graduada con tapa impermeable y un disco escala Gardner. Además, el concentrado de hidróxido de sodio.

Procedimiento:

Se extrae una muestra representativa de 450 g de arena.

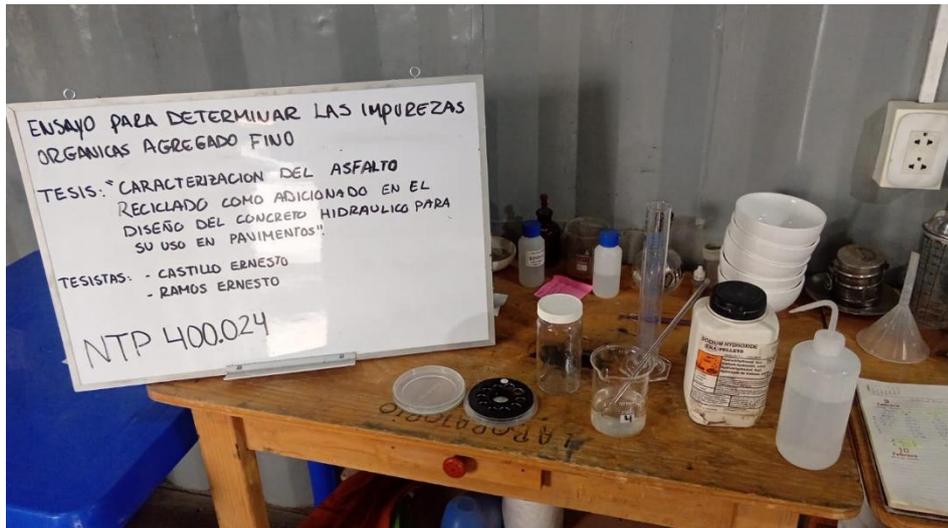
Luego, se llena de agregado fino una botella de vidrio hasta 130ml y se continúa añadiendo la solución de hidróxido de sodio (3

partes de reactivo por 97 de agua) hasta que después de agitar ligeramente la lectura resulte 200ml.

A continuación, se procede a tapar la botella y se agita enérgicamente y se deja reposar por 24 horas.

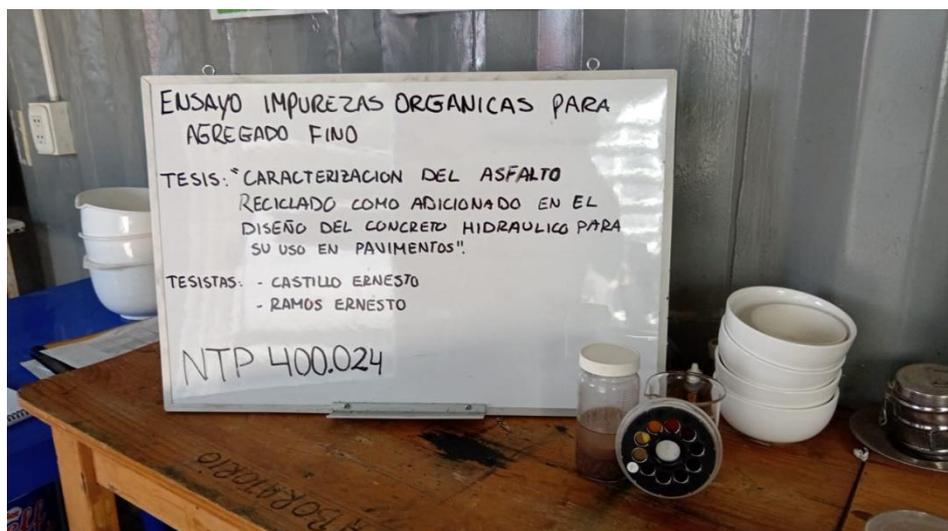
Pasado el tiempo de 24 horas, se analiza el color resultante de la muestra y se compara con los colores del disco escala Gardner.

Figura 26. *Ensayo - contenido orgánico en la arena.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. *Análisis cualitativo de impurezas orgánicas con el disco escala Gardner.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 17. *Resultado - ensayo de impurezas.*

Identificación	Resultado
Agregado fino	Grado 1 

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17, se determina cualitativamente que el agregado fino cumple al haber observado que la muestra tuvo un color estándar 5 en la escala de Gardner, equivalente al grado uno de la placa orgánica, el color más claro, reflejando estar libre de impurezas orgánicas perjudiciales.

4.2.11 Contenido de materia orgánica por ignición

Objetivo:

Determinar cuantitativamente la cantidad de materia orgánica existente en el material mediante la pérdida por ignición.

Se tuvo de referencia la norma MTC E118.

Equipos:

Se empleo un recipiente, un horno, una balanza, una mufla, dos crisoles y un desecador.

Procedimiento:

Se extrae 100 g de agregado fino, pasante del tamiz n.º 10, la se dispone de un secado al horno a 110 °C.

Luego, se retira la muestra del horno y se deja enfriar en el desecador.

A continuación, se escoge una muestra de 20 g, la cual se distribuye en dos crisoles para ser colocado dentro de la mufla durante 6 horas continuas a 445 °C cada muestra.

Por último, se retira el crisol de la mufla y se deja enfriar en el desecador. Una vez enfriado, se toma registro del peso.

Figura 28. *Ensayo de materia orgánica por ignición.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. *Muestras después de la ignición.*



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de materia orgánica} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] \times 100$$

Donde:

A: Masa seca antes de la ignición (g)

B: Masa seca después de la ignición (g)

Resultados:

Tabla 18. Resultado del ensayo de materia orgánica por ignición.

Muestra	1	2
Peso seco antes de ignición (g)	60.60	30.59
Peso seco después de ignición (g)	59.14	29.88
Materia Orgánica (%)	2.41	2.32
Promedio (%)	2.37	

Fuente: Elaboración propia.

Se señala la cantidad de materia orgánica que presenta el agregado fino mediante el método de ignición, resultando 2.37%, siendo un valor referente a lo demostrado en el anterior ensayo.

4.3 Ensayos para el asfalto reciclado

4.3.1 Partículas chatas y alargadas

Objetivo:

Determinar el contenido en porcentaje de la muestra a analizar discriminando si son planas o alargadas.

Se empleó como modelo la norma NTP 400.040.

Equipos:

Para el ensayo se empleó un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un vernier o calibrador para mediciones y un dispositivo de calibrador proporcional por donde pasarán las partículas.

Procedimiento:

Primero la muestra de asfalto recuperado que será reemplazo del agregado grueso se somete al horno a temperatura constante.

Luego se tamiza la muestra con vibraciones moderadas separando así las partículas por tamaños.

Se procede a pasarlas por el dispositivo calibrador ajustando las medidas con el poste de modo que se pueda clasificar cuando sea una partícula plana o alargada.

Cuando se calibre la abertura de mayor tamaño a la longitud del elemento y a la vez su ancho pase por la abertura menor, entonces es una partícula alargada.

En cambio, si se ajusta su abertura mayor con el ancho del elemento y a su vez el espesor pasa por la abertura de menor tamaño, es denominado partícula chata.

Resultados:

Tabla 19. Resultado de porcentaje de partículas chatas.

Tamaño del agregado		Muestra total (g)	Partículas chatas	% Partículas chatas	% Parcial	Promedio de partículas chatas
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2 "	1 "					
1 "	3/4 "					
3/4 "	1/2 "					
1/2 "	3/8 "	816.50	18.50	2.27	100.00	227
		816.50			100.00	227
Promedio de partículas chatas				2.3		

Fuente: Elaboración propia.

Se puede visualizar los resultados del promedio de partículas chatas del asfalto reciclado, el cual resulto 2.3%.

Tabla 20. Resultado de porcentaje de partículas alargadas.

Tamaño del agregado		Muestra total (g)	Partículas alargadas	% Partículas alargadas	% Parcial	Promedio de partículas alargadas
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2 "	1 "					
1 "	3/4 "					
3/4 "	1/2 "					
1/2 "	3/8 "	816.50	41.00	5.02	100.00	502
		816.50			100.00	502
Promedio de partículas alargadas				5.0		

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar la cantidad de partículas alargadas del asfalto reciclado, se pudo determinar que presenta un 5% de este tipo de partículas.

Para el asfalto reciclado, la suma de ambos resultados es de 7.3%, siendo menor al valor máximo de 15% propuesto por el manual de carretera EG2013.

4.3.2 Caras fracturadas

Objetivo:

Precisar el contenido en porcentaje del agregado a analizar que cuentan con elementos fracturados, maximizando así la adherencia de los materiales que componen la mezcla de concreto.

Para este ensayo se tomó de referencia la norma MTC E210.

Equipos:

Para el ensayo se empleó una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, tamices que cumplan con la norma ASTM E 11. Se utiliza también un cuarteador para dividir la muestra a analizar. Finalmente una espátula para la clasificación de las partículas.

Procedimiento:

Primero se tamiza el agregado, por el tamiz 9.5 mm, para separar las partículas de 3/8" con las de 1/2".

Se coloca la porción obtenida en el cuarteador para reducirla y evaluar la restante.

La muestra escogida se lleva a la balanza a pesar.

Se procede inspeccionar las partículas y separarlas según las fragmentadas y las que no. El criterio de la norma es por lo menos $\frac{1}{4}$ de la sección del elemento debe constituir la cara fracturada para ser considerada como tal. Además, que visualmente las partículas no fracturadas o redondeadas, mientras las fracturadas cuentan con bordes agudos o rugosidades.

Resultados:

La muestra estudiada presentó partículas aglomeradas, por lo cual es imposible determinar la cantidad de caras fracturadas. La muestra está conformada por agregado grueso, agregado fino y aglutinante, que al haber sido triturado con una fresadora no presenta formas regulares para determinar si una cara es fracturada o no.

Figura 30. *Partícula de asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Granulometría

Objetivo:

Determinar la gradación de los distintos diámetros del asfalto reciclado, mediante la elaboración de la curva granulométrica la cual se adecua al huso requerido para verificar si se encuentra dentro de los límites.

Para esta prueba se consideró la NTP 400.012.

Equipos:

Para la presente prueba se utilizó las siguientes aberturas ASTM: 4", 3 ½", 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y n.º 8, los mismos empleados para el agregado grueso.

Se empleó tres recipientes, una bandeja, un cucharón, una balanza marca Ohaus modelo Ranger 3000 y un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030.

Procedimiento:

Se extrae la muestra del saco y se cuartea, se escoge la parte más representativa. Como solo se utilizará agregado grueso de este material, se tamiza el asfalto reciclado con la malla n.º 4 y se toma la parte gruesa para evaluar su granulometría.

Después, se empieza a tamizar y pesar la cantidad de masa retenida en los tamices para poder graficar la curva granulométrica con los datos obtenidos, empleando el mismo huso granulométrico de la piedra.

Figura 31. *Cuarteo de asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. *Separación de material fino del grueso del RAP.*



Fuente: Elaboración propia.

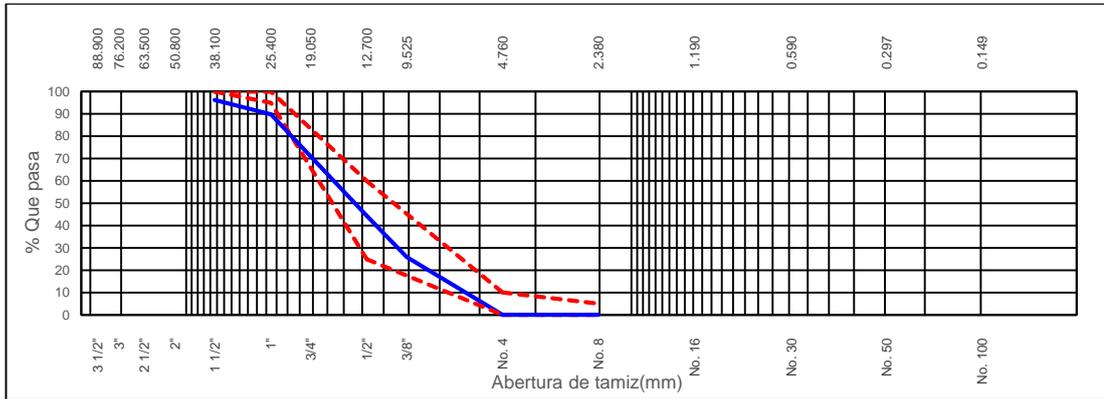
Figura 33. Tamizado del RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resultado del Análisis Granulométrico del asfalto reciclado.

Abertura de Tamices		Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa	Especificación	
ASTM	mm					Mínimo	Máximo
4"	101.600	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3 1/2"	88.900	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.400	228.5	7.1	7.1	92.9	95	100
3/4"	19.050	146.0	4.6	11.7	88.3		
1/2"	12.700	816.5	25.5	37.2	62.8	25	60
3/8"	9.525	567.0	17.7	54.9	45.1		
No. 4	4.760	1,444.5	45.1	100.0	0.0	0	10
No. 8	2.380	0.0	0.0	100.0	0.0	0	5
No. 16	1.190	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 30	0.590	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 50	0.297	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 100	0.149	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
No. 200	0.074	0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
< No. 200		0.0	0.0	100.0	0.0	0	0
						MF	6.67
						TMN	1/2 "
						TM	1 "



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 21 indica el resultado de la granulometría del asfalto reciclado evaluándolo como agregado grueso empleando el huso 57. Se puede observar que la curva se desvía inicialmente, luego vuelve a estar dentro de los parámetros. Esto significa que el asfalto reciclado tiene una mayor cantidad de partículas gruesas que la piedra chancada.

4.3.4 Módulo de fineza

Objetivo:

Determinar el coeficiente del tamaño promedio de las partículas y verificar que este cumpla con lo concertado en la NTP 400.037.

La NTP 400.012 sirvió de apoyo en el ensayo.

Equipos:

Para el siguiente ensayo se proporcionaron las siguientes mallas ASTM: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", n.º 4, n.º 8, n.º 16, n.º 30, n.º 50 y n.º 100.

Procedimiento:

Se realiza la adición del acumulado porcentual de los retenidos en los tamices anteriormente mencionados. Luego, dicho resultado dividirlo entre 100.

Resultados:

Tabla 22. *Módulo de fineza del asfalto reciclado.*

<u>Módulo de Fineza</u>
Asfalto reciclado
<u>6.67</u>

Fuente: Elaboración propia.

Se percibe que el MF del asfalto reciclado es de 6.67, esto significa que contiene partículas gruesas. Comparándolo con el módulo de fineza de la piedra, son relativamente parecidos. Sin embargo, existe una diferencia en la gradación de partículas, evidenciado por el ensayo de granulometría.

4.3.5 Peso unitario

Objetivo:

Obtener el peso del agregado en un determinado volumen tanto compactado como suelto, así como la cantidad de vacíos que presenta.

La NTP 400.017 contribuyó como referencia.

Equipos:

Se empleó una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, un cucharón, una varilla para el compactado y un molde calibrado.

Procedimiento:

P.U. Suelto

Se llevaron los agregados al horno durante 24 horas a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Una vez seco, se llena el molde con el cucharón hasta el tope y enrasar. Finalmente, registrar el peso en una balanza.

P.U. Compactado

Se colocaron los materiales al horno durante 24 horas a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Luego del secado, se llena el molde con el cucharón hasta el primer tercio y luego varillar 25 veces. Repetir el procedimiento de compactado para cada tercio. Por último, se enrasa y se registra el peso en la balanza.

Figura 34. P.U. suelto y varillado del asfalto reciclado.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 23. Resultado – P.U. Suelto del asfalto reciclado.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	18,505.0	18,512.0	18,508.0
Peso molde (g)	6,236.0	6,236.0	6,236.0
Peso muestra (g)	12,269.0	12,276.0	12,272.0
Volumen molde (cm ³)	8,888.0	8,888.0	8,888.0
Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1.380	1.381	1.381
Promedio (g/cm ³)	1.381		

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar el peso unitario suelto del material, arroja 1.381 g/cm³ como resultado.

Tabla 24. Resultado del P.U. varillado del asfalto reciclado.

Muestra	1	2	3
Peso de muestra + molde (g)	19,380.0	19,383.0	19,379.0
Peso molde (g)	6,236.0	6,236.0	6,236.0
Peso muestra (g)	13,144.0	13,147.0	13,143.0
Volumen molde (cm ³)	8,888.0	8,888.0	8,888.0
Peso Unitario Compactado (g/cm ³)	1.479	1.479	1.479
Promedio (g/cm ³)	1.479		

Fuente: Elaboración propia.

De la muestra de asfalto reciclado, se obtuvo un peso unitario varillado de 1.479 g/cm³.

4.3.6 Contenido de asfalto

Objetivo:

Precisar la cantidad de asfalto de una muestra de pavimento flexible, para este caso, la muestra es el material obtenido del reciclado del fresado.

La MTC E502 sirvió de referencia.

Equipos:

Para el ensayo se empleó un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un recipiente para la muestra, un vaso graduado, el aparato de extracción centrifuga, un anillo filtrante y el reactivo, para la presente investigación emplearemos gasolina de 90 octanos.

Procedimiento:

Inicialmente, la muestra de asfalto se pesa y se lleva al horno durante un periodo de tiempo para aumentar la temperatura de la muestra con el objetivo de disminuir la viscosidad del cemento asfáltico.

Se introduce la selección dentro de la máquina centrífuga. Luego, se añade el reactivo para poder disolver el asfalto adherido en la muestra.

Después, se debe poner el filtro en forma de aro en la parte inferior de la tapa de la máquina. Se cierra la máquina y se deja actuar a 3,600 revoluciones por minuto.

Luego, se abre la tapa para verificar el grado de limpieza de los agregados. Se repite el paso anterior hasta verificar que la muestra haya sido lavada en su totalidad.

Por último, se procede con el registro de la masa del anillo filtrante y de la masa lavada.

Figura 35. *Muestra de asfalto reciclado calentada al horno.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. *Introducción del disolvente a la máquina centrífuga.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Registro del peso de la muestra lavada.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 25. Resultado del Lavado Asfáltico.

Peso de material sin lavar (gr)	909.4
Peso de material lavado (gr)	873.8
P. mat. lavado+ Filtro + Extracto (gr)	909.4
P. mat. lavado + Residuo del filtro (gr)	874.8
Peso inicial del filtro (gr)	22.3
Peso final del filtro (gr)	23.3
Peso del filler en filtro (gr)	1.0
Peso del asfalto (gr)	34.6
Contenido de Asfalto (%)	3.80

Fuente: Elaboración propia.

La tabla señala que el contenido de asfalto de la muestra es de 3.80%, siendo un valor por debajo de la media común de 6% debido al nivel de desgaste que ha obtenido durante su desempeño, teniendo una edad entre 30 a 40 años de vida útil.

4.3.7 Resistencia a la abrasión

Objetivo:

Tal como se explica en el ítem 4.2.6 del presente capítulo se tiene como objetivo determinar la oposición al deterioro por abrasión de

la piedra, empleando la máquina de abrasión. En este caso se analizará el asfalto recuperado el cual servirá como reemplazo parcial de la piedra chancada para el concreto.

Para este ensayo se considera la NTP 400.019.

Equipos:

Se emplea principalmente la máquina de Los Ángeles, incluyendo la carga (esferas de acero) con dimensiones estipuladas en la norma anteriormente mencionada. Por otro lado, se empleó los tamices ASTM, una balanza marca Ohaus modelo Ranger 3000 y un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030.

Procedimiento:

Se lava la muestra y luego pasa por un ciclo de secado a 110°C durante 24 horas.

Posteriormente, se separa el espécimen a estudiar en fracciones individuales y se combina hasta alcanzar la gradación seleccionada. Se registra su masa inicial.

Luego, se inserta el agregado y las esferas de acero dentro de la máquina para proceder con el ensayo, el cual consiste en generar un total de 500 rotaciones.

Por último, se aparta la muestra para cernirla con el tamiz n.º 12 para separar los finos, resultado del desgaste del agregado grueso. Y se registra su masa final.

Cálculo:

Mediante la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de perdida} = \left[\frac{(C - Y)}{C} \right] \times 100$$

Donde:

C: Masa inicial de la muestra (g)

Y: Masa final de la muestra (g)

Resultados:

Tabla 26. *Resultado del ensayo de Abrasión del asfalto reciclado.*

Gradación de muestra	A
Tamaño Máximo Nominal	1 1/2 "
Masa inicial antes de ensayo (gr)	5,000.0
Masa después de ensayo (gr)	3,616.5
Diferencial de masa (gr)	1,383.5
Abrasión (%)	27.67

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 26 se puede observar que el desgaste del asfalto reciclado es de 27.67%, siendo este mayor al desgaste de la piedra chancada. Sin embargo, sigue dentro de los parámetros al ser menor del límite de 40% determinado por el manual de carreteras EG2013.

4.3.8 Gravedad específica y absorción

Objetivo:

Determinar la gravedad específica del asfalto reciclado saturado con agua y superficialmente seco, así como el agua en porcentaje puede absorber.

Se tiene como norma guía la NTP 400.021.

Equipos:

Se utilizó una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX para registrar los pesos, horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030 a temperatura constante, un recipiente, una canasta de alambre y un tanque de agua.

Procedimiento:

Se efectúa el cuarteo tomando una muestra seleccionada y se coloca en un recipiente, el cual se lleva al horno durante 24 horas.

Luego de las 24 horas de secado, se le añade agua hasta sumergir la muestra en el mismo recipiente durante 24 horas.

Tras haber pasado 24 horas sumergida, se procede a secar superficialmente con un paño hasta desaparecer el brillo por humedad que reflejan los agregados. Se registra el peso de la porción seca superficialmente en la balanza.

Inmediatamente, se inserta dicha porción en la canasta de alambres para sumergirlo en el tanque de agua y registrar su masa.

Para finalizar, el material se dispone nuevamente en el horno y se registra su masa seca.

Resultados:

Tabla 27. Resultado - Gravedad Específica y Absorción del asfalto reciclado.

Código	Muestra	1	2	
A	Peso muestra seca en aire	771.50	765.60	
B	Peso muestra sat. superficialmente seca en aire	781.50	775.30	
C	Peso muestra sat. superficialmente seca en agua	464.50	459.30	Promedio
	Gravedad Específica A/(B-C)	2.43	2.42	2.43
	Densidad (Kg/m ³)	2,433.75	2,422.78	2,428.27
	Absorción (%)	1.30	1.27	1.28

Fuente: Elaboración propia.

Con dos muestras representativas de asfalto reciclado se determinó la gravedad específica y la absorción, resultando 2.43 g/cm³ y 1.28% respectivamente.

4.3.8 Durabilidad

Objetivo:

Determinar la alterabilidad del asfalto reciclado sometido a la acción de la intemperie.

Se tiene como guía la NTP 400.016.

Equipos:

Se empleó recipientes metálicos, los tamices ASTM, una balanza marca Ohaus modelo Scout SPX, un horno marca Alfa Testing Equipment modelo G-030, un recipiente graduado, un hidrómetro y un termómetro. Además, se utilizó sulfato de magnesio, cloruro de bario y agua destilada.

Procedimiento:

Inicialmente una muestra representativa se lava completamente y luego se procede a secar a 110°C en el horno.

Luego, la muestra se separa en distintos tamaños empleando los tamices ASTM 1/2", 3/8" y n.º 4, con los cuales se obtiene 670g, 350g y 300g respectivamente. Cada fracción se coloca en un recipiente individual.

Se continúa con la preparación del reactivo, el cual consiste en mezclar sulfato de magnesio con agua en la proporción de 1kg por litro de agua.

Una vez mezclado, se deja enfriar hasta 21°C, y se deja reposar con temperatura constantes durante 48 horas.

Habiendo transcurrido las 48 horas, se evalúa la densidad del reactivo preparado con un hidrómetro, dicha densidad debe permanecer no menos de 1,295 ni mayor de 1,308 g/cm³.

Cumpliendo lo anterior, las fracciones de asfalto reciclado se sumergen en el sulfato de magnesio preparado durante 16 a 18 horas a 21°C.

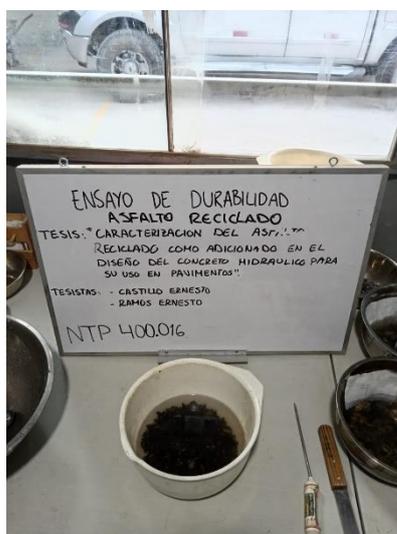
Transcurrido el tiempo de infiltración, se saca la muestra y se escurre por 15 min y luego se procede a secar en el horno a 110°C. Posteriormente, se deja enfriar a la intemperie y se repite por cinco ciclos.

Por último, cuando se haya culminado los ciclos, se procede a lavar las fracciones con agua circulante a 43°C para eliminar el sulfato de magnesio que esta adherido al agregado, siendo el último lavado realizado con cloruro de bario disuelto en agua destilada en la proporción de 5 g en 1ml de agua.

Teniendo la muestra lavada, se seca en horno y se registra su peso. Luego, se tamiza cada fracción con el tamiz en el que se retenía inicialmente y se vuelve a registrar el nuevo peso debido a las pérdidas.

Adicionalmente, las muestras mayores o iguales a 3/4" se analizan cualitativamente, donde se separan sus partículas y se anota la cantidad de partículas que ha sufrido alguna acción, que puede ser rajadura, desintegración, desmenuzamiento, etc.

Figura 38. Muestra de asfalto reciclado inmerso en sulfato de magnesio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. *Asfalto reciclado después del segundo ciclo de inmersión y secado.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

El índice de pérdida de peso del asfalto reciclado debido a la presencia del sulfato de magnesio no se logró determinar. Esto se debió a que el ensayo no puede aplicarse al RAP, por la diferencia de propiedades que tiene en comparación a un agregado natural, pues contiene asfalto, el cual se pierde al realizar el lavado final e implica la posibilidad de precisar incorrectamente la pérdida de peso.

4.4 Diseño de mezcla

Se empleó el Método ACI para el cálculo del diseño de mezcla de concreto, el cual se explicará su desarrollo a continuación:

4.4.1 Requerimiento

Se desarrolló un diseño de mezcla de concreto con $f'c$ igual a 280 kg/cm² para uso de pavimento rígido empleando los siguientes materiales: cemento Tipo MS de la marca Pacasmayo, el cual tiene una densidad de 2.9 g/cm³ y los agregados (arena triturada y piedra chancada) adquiridos de “Tres Tomas” la cantera, situada en Ferreñafe, departamento de Lambayeque.

Tabla 28. Características de los agregados.

Características	A. Fino	A. Grueso
Humedad natural (%)	0.67	0.20
Absorción (%)	1.33	0.37
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.60	2.66
Peso unitario compactado (g/cm ³)	1.65	1.46
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.47	1.37
Módulo de fineza	2.92	6.67
Tamaño máximo nominal (")	-	1/2 "

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 28 comprende las particularidades que presentan los materiales pétreos consideradas para elaborar el diseño de mezcla, dichos valores se obtuvieron mediante los ensayos explicados en el apartado anterior.

4.4.2 Dosificación

Inicialmente se calcula la resistencia promedio requerida. Para ello, empleamos la Tabla 29.

Tabla 29. F'_{CR} .

f_c	f_{cr}
Menos de 210	$f_c + 70$
210 - 350	$f_c + 84$
Más de 350	$f_c + 98$

Fuente: ACI 211

Por lo tanto, el valor es de 364 kg/cm².

Luego, se determina la cantidad de aire según el Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso, el cual es 1/2". Para ello, se emplea la Tabla 30.

Tabla 30. Contenido de aire del concreto.

TMN agregado grueso (plg)	Aire (%)
3/8	3.00
1/2	2.50
3/4	2.00
1	1.50
1 1/2	1.00
2	0.50
3	0.30
4	0.20

Fuente: ACI 211

Por lo tanto, el total de aire contenido en el elemento es de 2.50%.

A continuación, se determina el contenido de agua, el cual se escoge en función al asentamiento del concreto y al TMN de la piedra. Para ello, nos guiamos de la Tabla 31.

Tabla 31. Límites de slump.

Tipo de Construcción	Asentamiento	
	Máx	Mín
Zapatas y Muros	3 "	1 "
Zapatas simples, Caissones y Muros de subestructura	3 "	1 "
Vigas y Muros reforzados	4 "	1 "
Columnas de edificios	4 "	1 "
Pavimentos y Losas	3 "	1 "
Concreto Masivo	2 "	1 "

Fuente: ACI 211.

Se puede apreciar que dicho límite de slump se encuentra entre 1" a 3". Con ello, se procede a determinar el volumen del agua haciendo uso de la Tabla 32.

Tabla 32. Volumen unitario de agua.

Asentamiento	TMN de agregado grueso							
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
Concreto sin aire incorporado								
1 " a 2 "	207	199	190	179	166	154	130	113
3 " a 4 "	228	216	205	193	181	169	145	124
6 " a 7 "	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1 " a 2 "	181	175	168	160	150	142	122	107
3 " a 4 "	202	193	184	175	165	157	133	119
6 " a 7 "	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: ACI 211

Los límites de asentamiento en la Tabla 32 son distintos a los determinados anteriormente con la Tabla 31. Sin embargo, se escoge el asentamiento máximo de 3" y en función a este valor se toma el límite de asentamiento de 3" a 4". Por otro lado, tenemos el valor de TNM, con ello se halla la cantidad de agua para el concreto, el cual resulta 216 L.

Prosiguiendo con el método ACI, se obtiene la relación agua cemento con la siguiente Tabla 33.

Tabla 33. Relación Agua/Cemento.

f'cr	Relación Agua/Cemento	
	Sin aire	Con aire
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: ACI 211

Se usó un concreto con relación A/C sin aire. Teniendo en cuenta la tabla anterior, se requiere de una interpolación para la resistencia promedio requerida de 364 kg/cm². De esa manera, se obtiene la relación A/C igual a 0.466.

A continuación, se delimita el contenido de cemento, el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de Cemento} = \text{Contenido de Agua} / A/C$$

Donde:

Contenido de Agua: Volumen unitario de agua (L)

A/C: Relación Agua/Cemento

Aplicando la fórmula resulta 463.5 kg de cemento, dicho valor se divide entre la capacidad de un saco de cemento de 42.5 kg para determinar la suma de sacos por metro cúbico de concreto, obteniéndose 10.9 bolsas/m³ de concreto.

Continuando con el desarrollo del método ACI, se procede a calcular el contenido de piedra, con ese propósito, se orienta mediante la siguiente tabla.

Tabla 34. *Volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto.*

Tamaño máximo del agregado grueso	Vol. de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.

Teniendo como factor de fineza de la arena 2.92 y un tamaño máximo de la piedra de 1/2", se verifica la necesidad de realizar una

interpolación. Por consiguiente, se obtiene el factor de volumen de 0.538. Dicho valor, se aplica a la siguiente formula:

$$\text{Peso de Agregado Grueso} = P. U. C. \times \text{Volumen}$$

Donde:

P.U.C.: Peso Unitario Compactado (Kg/m³)

Volumen: Factor de volumen (m³)

Se conoce que el P. U. varillado es de 1.46 g/cm³, multiplicado por el factor de volumen resulta un valor de 786.09 kg que corresponde al peso de agregado grueso.

Posteriormente, se cuantifica la cantidad de la arena, para ello se necesita cubicar los materiales calculados inicialmente.

Tabla 35. *Cálculo del Volumen absoluto.*

Material	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	463.52	2900	0.160
Agua	216.00	1000	0.216
Aire	2.50%	1	0.025
Agregado grueso	786.09	2659	0.296
		Volumen absoluto	0.696

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, la operación realizada para obtener el volumen absoluto, donde la cantidad en kilogramos de los materiales se divide entre su peso específico para obtener el volumen que representa cada uno en el volumen unitario de concreto, siendo la diferencia lo que representa el agregado fino en volumen resultando 0.304 m³.

Por lo tanto, multiplicando el volumen de agregado fino y su gravedad específica de 2.60 g/cm³, resulta un peso de 787.93 Kg siendo este el total del árido en la mezcla.

Tabla 36. *Proporciones de agregados en estado seco.*

Proporciones en seco por m3 de concreto		
Agua	216.00	L
Cemento	463.52	Kg
Agregado Grueso	786.09	Kg
Agregado Fino	787.93	Kg

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 36 resume las proporciones de los componentes en peso, en estado seco. Sin embargo, se debe corregir dichas proporciones realizando un ajuste por la humedad propia de los agregados, el cual consiste en aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Peso humedo} = \text{Peso seco} \times \left(\frac{\%w}{100} + 1 \right)$$

Donde:

Peso seco: Peso seco del agregado (Kg)

%w: Humedad del agregado (%)

Tabla 37. *Ajuste por humedad del agregado.*

	Peso seco (Kg)	Humedad (%)	Peso humedo (Kg)
Agregado Grueso	786.09	0.20	787.69
Agregado Fino	787.93	0.67	793.21

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 37 demuestra que la humedad aumenta el peso de los agregados, resultando para la piedra un peso húmedo de 787.69 Kg y para la arena un peso húmedo de 793.21 Kg. Por otro lado, los agregados también presentan absorción, por lo que se requiere calcular el aporte de agua. Para ello, se emplea la formula presentada a continuación:

$$\text{Aporte de agua} = \frac{(\%w - \%abs) \times \text{Peso humedo}}{100}$$

Donde:

%w: Humedad del agregado (%)

%abs: Absorción del agregado (%)

Peso húmedo: Peso húmedo del agregado (Kg)

Tabla 38. *Aporte de agua de los agregados.*

	Peso húmedo (Kg)	Humedad (%)	Absorción (%)	Aporte de agua (L)
Agregado Grueso	787.69	0.20	0.37	-1.31
Agregado Fino	793.21	0.67	1.33	-5.27
			Total	-6.58

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 38 se puede percibir un aporte necesario de agua de 6.58 L debido a la propiedad de absorción de los agregados, esta cantidad se debe aumentar al contenido de agua calculado inicialmente resultando 222.58 L, este último se considera agua efectiva para el mezclado.

Tabla 39. *Diseño de mezcla corregido por humedad y absorción.*

Proporciones corregidas por humedad y absorción por m ³ de concreto	
Agua efectiva	222.58 L
Cemento	463.52 Kg
Agregado Grueso (Húmedo)	787.69 Kg
Agregado Fino (Húmedo)	793.21 Kg

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior especifica las cantidades corregidas de los componentes para un m³ de concreto, donde las cifras han aumentado debido a la absorción y humedad de estos.

Por último, se obtiene la dosificación del concreto dividiendo las proporciones entre la cantidad de cemento cada uno. Con ello,

obtendremos la dosificación en peso de diseño patrón, el cual nos permite determinar un estándar para analizar las variaciones que presenten las muestras de concreto empleando el asfalto reciclado como adicionado.

Tabla 40. *Dosificación en peso del concreto patrón.*

Dosificación en Peso							
1	:	1.71	:	1.70	:	20.4	L/saco

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la Tabla 40, en ella se detalla la dosificación en peso del concreto, donde 1 es la cantidad de cemento, 1.71 es la proporción de arena, 1.70 es la cantidad de piedra y 20.4 L es la cantidad de agua por saco de cemento.

Tabla 41. *Dosificación en volumen del concreto patrón.*

Dosificación en Volumen							
1	:	1.72	:	1.84	:	20.4	L/saco

Fuente: Elaboración propia.

Tras haber realizado la conversión de la dosificación en peso a volumen, se obtiene por unidad de cemento, 1.72 partes de árido fino, 1.84 partes de árido grueso y 20.4 L de agua por saco de cemento.

Para la evaluación del concreto con asfalto reciclado adicionado, se procede a sustituir parte del agregado grueso en distintas proporciones, las cuales son en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Cabe recalcar que, solo se usa la parte gruesa del asfalto reciclado; es decir, se separan los finos con un tamiz antes de realizar la mezcla de concreto.

Tabla 42. *Dosificación del asfalto reciclado.*

Contenido de Agregado Grueso inicial (Kg)	Contenido de Asfalto Reciclado		Contenido de Agregado Grueso final (Kg)
	(%)	(Kg)	
	0.0	0.0	787.69
	5.0	39.38	748.30
787.69	10.0	78.77	708.92
	15.0	118.15	669.54
	20.0	157.54	630.15

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 42 sirve de guía para aplicar las cantidades requeridas de asfalto reciclado en cada diseño propuesto.

4.5 Ensayos para el concreto

4.5.1 Elaboración y curado de especímenes de concreto

Objetivo:

Determinar los protocolos a seguir para preparar las muestras de concreto necesarias en el presente trabajo, así como su curado.

Para el presente ensayo se referencia la NTP 339.033.

Equipos:

Se empleó una balanza con mínimo tres dígitos de precisión.

Para las probetas se empleó formas cilíndricas con 10 cm de diámetro y 20 cm de altura y, para las vigas se usó moldes prismáticos de sección de 15 cm x 15 cm y un largo de 53 cm. Además, una varilla lisa de acero con punta redonda de 60 cm de largo y 5/8" de diámetro para las vigas, una segunda varilla de 30 cm de largo y 3/8" de diámetro para probetas, y un martillo de goma. Por último, un espacio habilitado para el curado.

Procedimiento:

Inicia con la dosificación de los áridos a emplear. Se separa la arena triturada, piedra chancada, cemento y asfalto reciclado. Este último se tamiza previamente por la malla n°4 para utilizar solo el retenido, de esta manera aseguramos el reemplazo parcial del agregado grueso.

Figura 40. *Agregados pesados para posterior mezclado.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. *Tamizado del asfalto reciclado.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Producción del concreto en la mezcladora.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.1 Especímenes cilíndricos

Se tiene preparado los moldes cilíndricos engrasados para evitar que se adhiera el concreto al endurecerse.

Se empieza a llenar las probetas en tres capas similares equivalente cada una a un tercio de la altura del molde y, por cada vaciado se debe varillar 25 veces en espiral y luego aplicar 15 golpes con el martillo revestido de caucho para evitar los vacíos por aire.

Para finalizar, la última capa se enrasa empleando la varilla de acero y se espera el fraguado de un mínimo de 24 horas para desmoldar.

Figura 43. Elaboración de probetas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.2 Especímenes vigas

Se tiene impermeabilizados los moldes prismáticos con petróleo para evitar la adhesión del concreto durante el desmoldeo.

Se empezó a llenar en tres capas iguales y por cada una de ellas, se varilla con 50 golpes alrededor de la viga. Al finalizar el varillado, se procede con el martillo de caucho a dar 15 golpes directamente al exterior del molde con el objetivo de disminuir la cantidad de los espacios vacíos con aire. Esto se aplica para cada capa.

Se culmina con el enrasado de la viga empleando la varilla de acero y codificando el espécimen. Se esperan las 24 horas mínimas para poder desmoldar.

Figura 44. *Elaboración de vigas de concreto.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. *Vigas de concreto terminadas.*



Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber desmoldado las muestras de concreto, tanto las probetas como las vigas, se procede a colocarlas en una cámara de curado, de esta manera incrementan su resistencia hasta llegar a la requerida.

Figura 46. Curado de probetas y vigas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Temperatura de mezcla de concreto

Objetivo:

Determinar la temperatura en las muestras de concreto en estado fresco.

En este ensayo se consideró la NTP 339.184.

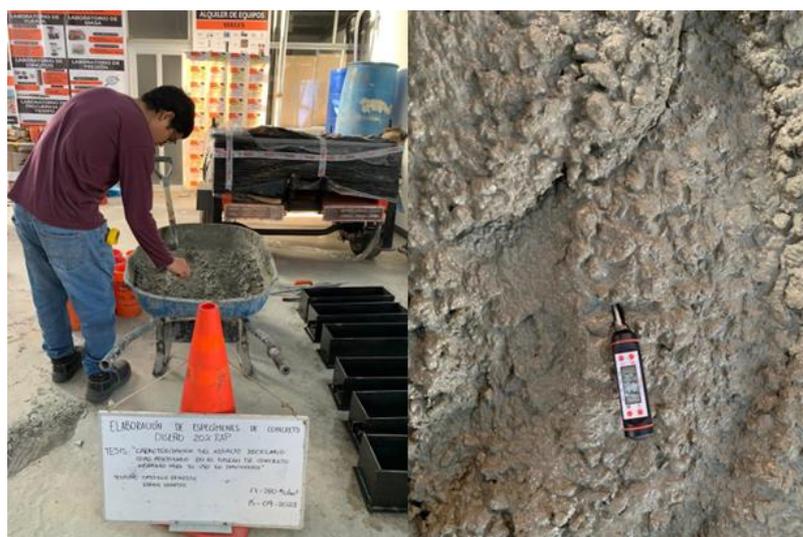
Equipos:

Un recipiente donde colocar el material, que no absorba el agua del concreto. Además, un termómetro calibrado de variación 0.5 °C para medir la temperatura.

Procedimiento:

Una vez acabado con el mezclado de la muestra en el trompo, se vacía el concreto en un recipiente, previamente hidratado con el fin de preservar el volumen de agua de la mezcla. Se introduce el medidor de temperatura cubriéndose alrededor como mínimo 7.5 cm. Se espera la estabilización de lectura 2 min. Se procede a su registro.

Figura 47. Toma de temperatura del concreto



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 43. Resultados de Temperatura del concreto fresco.

Diseño	Temperatura (°C)
Patrón	24.9
5% RAP	25.3
10% RAP	25.1
15% RAP	25.4
20% RAP	25.6

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 43 registra los datos medidos en laboratorio respecto a la temperatura de los diversos diseños de concreto en estudio durante su estado fresco, donde la temperatura máxima es 25.6°C, siendo este menor al límite propuesto por ACI 318 S-19 de 35°C.

4.5.3 Asentamiento

Objetivo:

Precisar el asentamiento del concreto en la inmediatez de su elaboración, ello influirá en su trabajabilidad y si cumple con lo requerido para su uso (pavimento).

Se toma como base la NTP. 339.035.

Equipos:

Se empleó el Cono de Abrams, es un molde de metal que cuenta con 20 cm y 10 cm de diámetro inferior y superior respectivamente, además de contar con una altura de 30 cm. Por otro lado, una varilla lisa de acero con punta redonda para el chuseado de 60 cm de longitud y diámetro de 5/8". Una bandeja metálica y una cinta métrica.

Procedimiento:

De la misma manera que las probetas, el cono se engrasa para evitar adherencias.

Se fijan las pestañas del cono y se mantiene con firmeza para evitar fugas al realizar el ensayo. Se empieza a llenar el primer tercio (1/3) del cono y se le chusea 25 veces formando una trayectoria en espiral. Se repite este proceso en los dos siguientes tercios.

Finalmente, se engrasa con la varilla para luego retirar el cono y por consiguiente, medir el asentamiento con la cinta métrica.

Figura 48. *Llenado y varillado del Cono de Abrams.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Medición de los asentamientos.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Densidad del concreto endurecido

El presente ensayo se guía de la norma NTP 339.046 el cual habla sobre el peso unitario de la mezcla recién elaborada. Para el presente trabajo se ha utilizado los especímenes en estado sólido, los cuales tienen un volumen ya definido para poder determinar su densidad.

Equipos:

Se utilizará una cinta métrica o vernier para medir sus dimensiones de cada espécimen ya sea probeta o viga de concreto. Así como una balanza calibrada de la marca Ohaus modelo Scout SPX.

Procedimiento:

Habiéndose retirado el espécimen de concreto de la piscina de curado, se deja secar hasta que no queden rastros de humedad.

Se procede a medir las dimensiones de cada cuerpo y poder calcular su volumen.

Se pesa en la balanza cada ejemplar y se registra.

Por último, se divide la masa entre su volumen y se consigue el peso unitario o densidad del mismo.

Figura 50. *Medición de los ejemplares.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. *Registro del peso de los elementos de concreto.*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 44. *Resultados de Densidad del concreto en estado endurecido.*

Diseño	Densidad (g/cm ³)
Patrón	2.40
5% RAP	2.39
10% RAP	2.37
15% RAP	2.35
20% RAP	2.33

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 44 indica que la tendencia del valor de la densidad del concreto disminuye en función al aumento de contenido de asfalto reciclado.

4.5.5 Resistencia a la compresión

Objetivo:

Señalar la capacidad de resistir de la muestra de concreto ante una carga axial de compresión que actúa sobre el área superficial del mismo.

Se empleó como base la NTP. 339.034.

Equipos:

Una prensa de concreto calibrada de marca ELE Internacional, un vernier para la medición de las muestras a romper y los platos para la distribución de la carga axial.

Procedimiento:

Las muestras de concreto a ensayar permanecen durante 7, 14 o 28 días, cual sea el caso, en curado dentro de una poza o piscina con agua.

Una vez retiradas del curado se retiran al exterior para que se sequen. Luego se procede a colocarlas en la compresora, limpiando la superficie de las probetas con agua.

Luego, se verificaron las medidas de las probetas con el vernier, el diámetro y el largo.

Por último, se aplica la carga hasta llegar a su rotura y se registra la carga máxima resistida.

Para definir el $f'c$ se divide la fuerza aplicada hasta su rotura entre el área de superficie de la probeta.

Figura 52. Medición de los especímenes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Rotura de probetas de concreto



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. *Probetas después de la rotura.*



Fuente: Elaboración propia.

Cada diseño de concreto contempla 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de contenido de asfalto reciclado. Se evaluaron tres muestras a la edad de 7, 14 y 28 días por cada diseño.

4.5.6 Resistencia a la flexión

Objetivo:

Determinar la capacidad de resistir a la flexión de la muestra de concreto usando el procedimiento de la carga a los tercios de la longitud.

Se empleó la NTP. 339.078.

Equipos:

Se empleo un pórtico de flexión marca ELE Internacional respectivamente calibrado. Que cuenta con un plato de carga superior e inferior con unos cilindros de acero ubicados estratégicamente a los tercios de tramo para la aplicación de carga.

Procedimiento:

Se retira el prisma del centro de curado para que seque antes de someterlo al ensayo.

La muestra por ensayar debe cumplir con las medidas estipuladas en la norma. Siendo sus extremos dejando una longitud de 2.5 cm, a partir de ahí dividir a viga en partes iguales tres tercios.

Se coloca la viga dentro del pórtico de flexión para después aplicar una carga constante sin sobresaltos hasta que ocurra el fallo.

Luego, se verifica en qué tercio del elemento se realizó el fallo y se prosigue a computar el módulo de rotura.

Figura 55. Toma de medidas del espécimen.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Vigas sometidas a ensayo de resistencia a flexión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Vigas después de ensayo de resistencia a flexión.



Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera que las probetas, los diseños evaluados fueron 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de contenido de *RAP*. Se analizaron a sus tres edades representativas de 7, 14 y 28 días.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 Asentamiento

Una vez habiendo preparado la mezcla y antes del moldeo de testigos, se prosiguió a ejecutar el ensayo de asentamiento o slump, el cual se explicó en el capítulo anterior. En la siguiente tabla se detallan los resultados.

Tabla 45. Resultados de Slump.

Diseño	Slump (pulg.)
Patrón	2.0
5% RAP	3.0
10% RAP	3.0
15% RAP	3.0
20% RAP	4.0

Fuente: Elaboración propia.

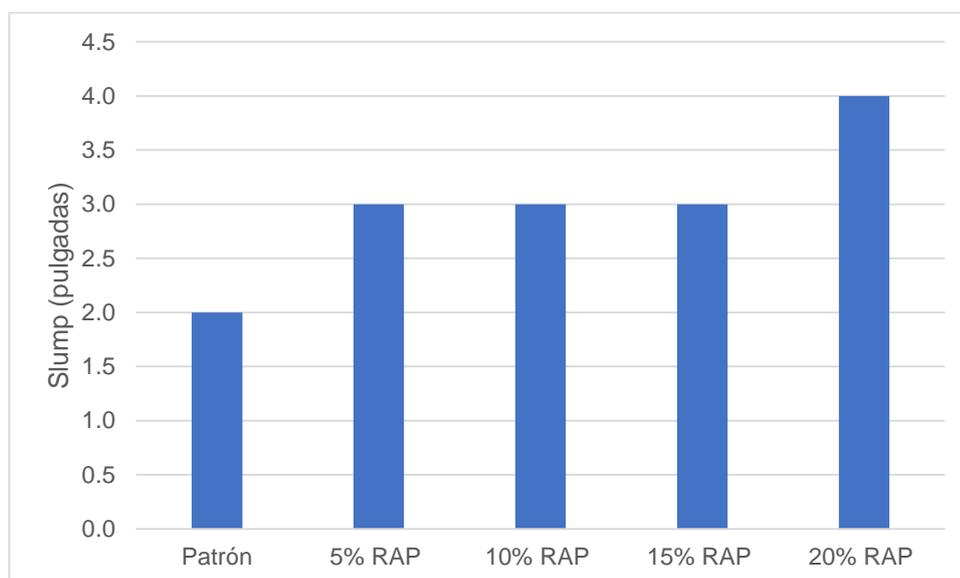
En la Tabla 45 podemos observar que, el diseño con 0% RAP presenta un asentamiento de 2 pulgadas inicialmente y, a medida que se adiciona RAP aumenta el slump, llegando a 4 pulgadas con el diseño de 20% RAP mientras que los diseños con 5%, 10% y 15% de RAP se mantienen en 3 pulgadas. Por ello, se puede decir que las mezclas realizadas se ubican entre los límites dispuestos por la normativa EG 2013 Manual de Carreteras, la cual menciona que para losas y pavimentos el asentamiento debe tener un valor entre 1" y 3", exceptuando el diseño con 20% RAP.

Tabla 46. Rangos de Slump permitidos.

Tipo de construcción	Asentamiento (")	
	Máximo	Mínimo
Zapata y muro de cimentación armada	3	1
Cimentaciones simples, cajones, y sub-estructuras de muros	3	1
Losas y pavimento	3	1
Viga y muro armado	4	1
Columna de edificios	4	1
Concreto ciclópeo	2	1

Fuente: MTC (2015).

Figura 58. *Análisis del Slump en función al contenido de RAP.*



Fuente: Elaboración propia.

Se visualiza en la Figura 58 que, el slump cumple hasta emplear 15% de asfalto reciclado como adicionado del concreto para ser empleado en pavimentos según el manual de carreteras EG2013.

5.2 Resistencia a la compresión

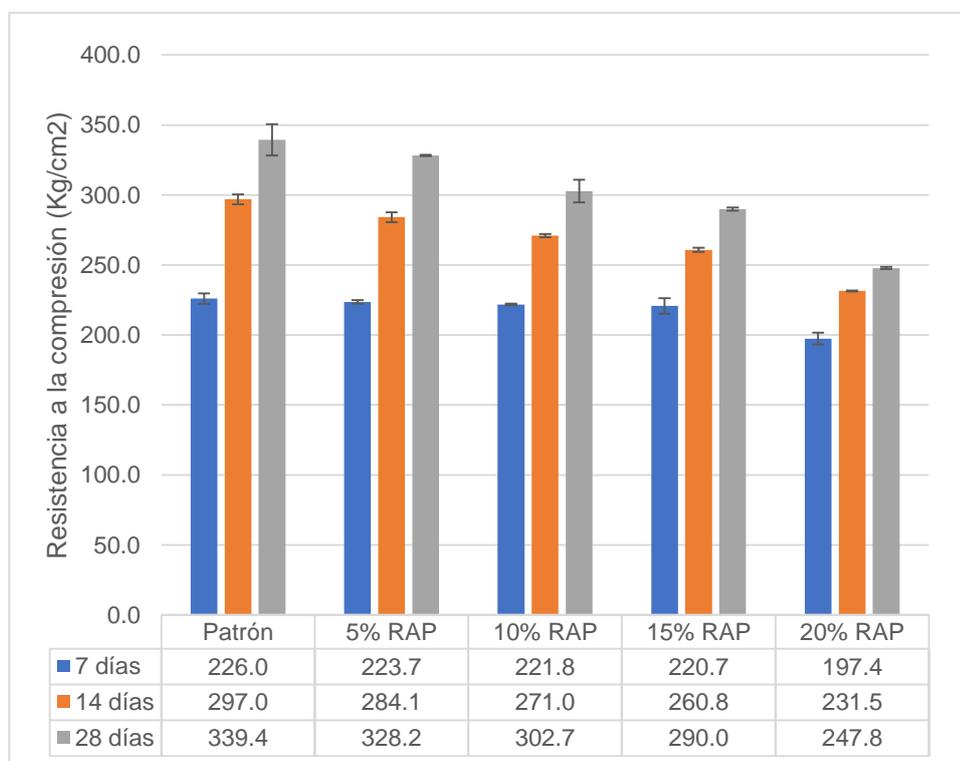
Se desarrolló la fractura de probetas como ensayo destructivo al concreto con el propósito de hallar su capacidad de resistir a esfuerzos de compresión (kg/cm²). En total se sometió 45 muestras a la rotura, a edades de 7 días, 14 días y 28 días, haciendo un promedio de tres probetas para cada rotura. Se colocaron en una prensa hidráulica, la cual arrojó los resultados a continuación:

Tabla 47. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Diseño	Edad (días)	fc1	fc2	fc3	Promedio	Desviación estándar
Patrón	7	222.3	229.7	225.9	226.0	3.70
	14	300.6	293.5	296.9	297.0	3.54
	28	328.3	350.5	339.6	339.4	11.10
5% RAP	7	222.9	223.0	225.1	223.7	1.28
	14	288.2	281.6	282.6	284.1	3.54
	28	327.8	328.6	328.4	328.2	0.43
10% RAP	7	221.3	221.7	222.6	221.8	0.65
	14	272.2	270.8	269.9	271.0	1.17
	28	311.0	294.9	302.4	302.7	8.08
15% RAP	7	215.0	226.4	220.8	220.7	5.66
	14	262.0	261.3	259.2	260.8	1.47
	28	291.0	290.4	288.7	290.0	1.19
20% RAP	7	202.2	195.5	194.4	197.4	4.24
	14	231.9	231.2	231.5	231.5	0.35
	28	248.6	247.1	247.6	247.8	0.76

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Desviación estándar del fc de cada diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Disponiendo de los datos de la Tabla 47, procedemos a realizar el análisis estadístico mediante el método ANOVA para determinar si las medias poblacionales son iguales. Para este estudio se considera el análisis de varianza de dos factores (diseño de mezcla con cierto contenido porcentual de RAP y edad de rotura de muestra) con tres muestras por agrupación.

Tabla 48. Análisis de varianza de muestras de f'c.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Diseños de mezcla	20,571.436	4	5142.859	270.528	4.54x10 ⁻²³	2.690
Edades	53,421.614	2	26710.807	1405.060	2.27x10 ⁻³⁰	3.316
Interacción	4,055.960	8	506.995	26.669	1.30x10 ⁻¹¹	2.266
Dentro del grupo	570.313	30	19.010			
Total	78,619.323	44				

Fuente: Elaboración propia.

La anterior tabla muestra la obtención de tres factores F, los cuales son mayores que los valores críticos correspondientemente. Analizando en función a los diseños de mezcla, podemos determinar que el contenido de asfalto reciclado interviene en la resistencia a compresión. En otro orden de cosas, existe una segunda variación del f'c debido a la edad de rotura, siendo 7, 14 y 28 días, las condicionantes que influyen. Por último, se observa que la interacción entre el contenido de RAP en el diseño y la edad de rotura influye significativamente en los resultados descritos en la Tabla 47.

Por consiguiente, al haber determinado que no existe igualdad de medias, procedemos a realizar el análisis Tukey, el cual se basa en el uso de la siguiente formula:

$$w = q_{(t,glee,\alpha)} * \sqrt{\frac{CMee}{r}}$$

Donde:

w : Valor crítico Tukey

q : Amplitud

t : N° de tratamientos

glee : Grados de libertad de error experimental

α : Nivel de significancia

CMee : Cuadrado medio del error experimental

r : N° de repeticiones de las medias de los tratamientos

Con los valores de “t” y “ α ” se obtiene el “q” empleando la tabla de cuantiles de la distribución de Tukey registrado como Anexo 22, resultando para “q” un valor de 4.1, considerando un 95% de confiabilidad. Luego, se reemplaza en la fórmula anteriormente presentada de la siguiente forma:

$$w = q_{(5,30,0.05)} * \sqrt{\frac{19.010}{3}}$$

$$w = 4.1 * \sqrt{\frac{19.010}{3}}$$

$$w = 10.32$$

Teniendo el valor crítico “w” de 10.32, se procede a realizar las comparaciones con el promedio de cada grupo. Las muestras representativas son las correspondientes a la edad de rotura de 28 días.

Tabla 49. Promedio de resistencia a la compresión a 28 días.

Diseño	Promedio f'c a 28 días
Patrón	339.428
5% RAP	328.240
10% RAP	302.740
15% RAP	289.999
20% RAP	247.792

Fuente: Elaboración propia.

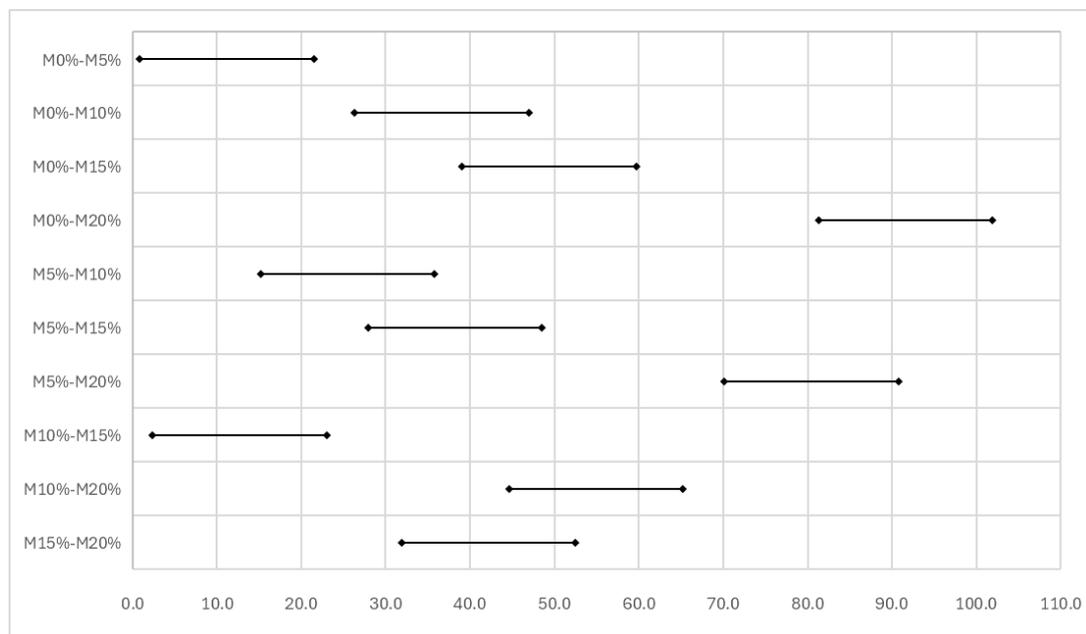
Con los promedios de f_c de cada diseño, se realiza la comparación entre muestras, además se determinará su condición respecto al valor de Tukey.

Tabla 50. *Análisis Tukey de la resistencia a la compresión.*

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Condición
M0%-M5%	11.19	>w
M0%-M10%	36.69	>w
M0%-M15%	49.43	>w
M0%-M20%	91.64	>w
M5%-M10%	25.50	>w
M5%-M15%	38.24	>w
M5%-M20%	80.45	>w
M10%-M15%	12.74	>w
M10%-M20%	54.95	>w
M15%-M20%	42.21	>w

Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. *Diferencias de las medias de f_c con un nivel de confianza de 95%.*



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 50, define que la diferencial muestral de las comparaciones evaluadas resulta mayor al valor de Tukey calculado, representando la presencia de desigualdades significativas entre los grupos. Sin embargo, la diferencia muestral que mayor semejanza presenta al valor crítico es el diseño

con 5% RAP. Esto quiere decir que, el contenido de asfalto reciclado influye significativamente en la resistencia a esfuerzos de compresión.

Por último, se determina cuantitativamente la proporción de variabilidad de las muestras empleando la siguiente fórmula:

$$SS_{modelo} = SS_{factor1} + SS_{factor2} + SS_{interacción}$$

$$R^2 = \frac{SS_{modelo}}{SS_{total}}$$

Donde:

R² : Variación porcentual

SSmodelo: Sumatoria de cuadrados de los factores evaluados

SStotal : Sumatoria total de cuadrados

Reemplazando se obtiene los siguiente:

$$SS_{modelo} = SS_{Diseño} + SS_{Edad} + SS_{Interacción}$$

$$SS_{modelo} = 20,571.436 + 53,421.614 + 4,055.960$$

$$SS_{modelo} = 78,049.01$$

$$R^2 = \frac{SS_{modelo}}{SS_{total}}$$

$$R^2 = \frac{78,049.01}{78,619.32}$$

$$R^2 = 0.993$$

Por lo tanto, el 99.3% de la variabilidad del f'c es explicada por el volumen de asfalto reciclado contenido en el diseño de mezcla, la edad a la que se evalúa y la interacción de ambos factores.

A continuación, se realiza el ajuste del coeficiente de correlación para verificar que nuestro modelo sea eficiente mediante la siguiente fórmula:

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) * \left(\frac{n - 1}{n - k - 1} \right)$$

Donde:

Ra2 : Coeficiente de correlación ajustado

R2 : Coeficiente de correlación

n : N° de observaciones de la muestra

k : N° de variables independientes

Reemplazando los valores incógnitos en la fórmula obtenemos lo siguiente:

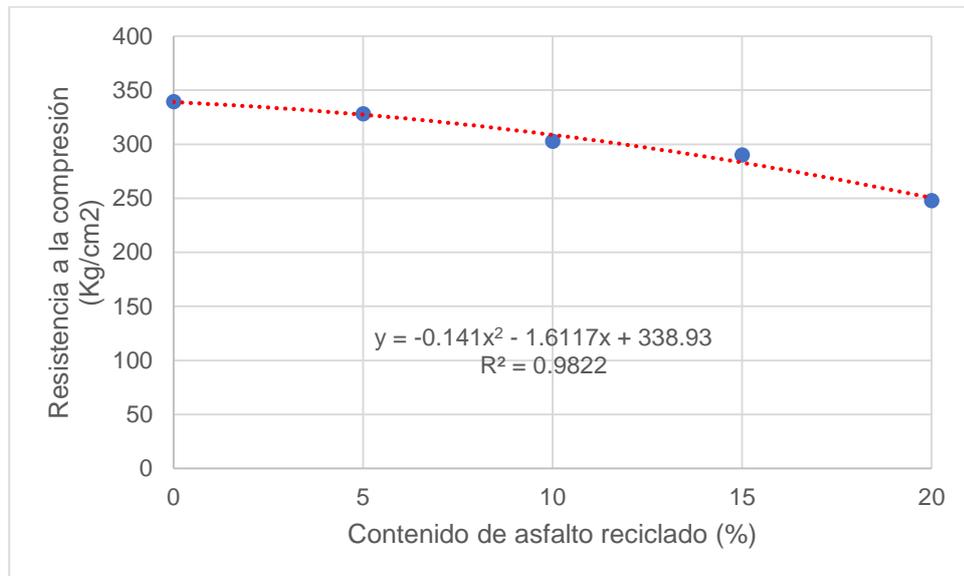
$$R_a^2 = 1 - (1 - 0.993) * \left(\frac{3 - 1}{3 - 1 - 1} \right)$$

$$R_a^2 = 0.985$$

El valor conseguido de 98.5% de ajuste del R2, nos demuestra que el modelo empleado es eficiente. Es decir, que las muestras presentan una variancia significativa como se demostró con el análisis de Tukey.

Por consiguiente, determinamos la línea de ajuste de los resultados de f'c mediante el programa Excel, empleando la función línea de tendencia en la gráfica de puntos de dispersión.

Figura 61. Línea de ajuste de puntos de dispersión del f'_c .



Fuente: Elaboración propia.

A través de la Figura 61 visualizamos que el programa Excel predice un R^2 igual a 98.2%, similar al R^2 calculado mediante el análisis ANOVA. Esto quiere decir que, la línea de ajuste planteada (función cuadrática) se asemeja a los resultados reales, los cuales difieren entre si debido al contenido de asfalto reciclado, el cual tiene un impacto negativo en la capacidad del concreto de resistir a la compresión.

Por consiguiente, con la ecuación de la línea de ajuste podemos determinar el límite de adición de RAP en un diseño de concreto para pavimento realizando la siguiente operación.

Primero se despeja "x" de la función:

$$y = -0.141x^2 - 1.6117x + 338.93$$

$$280 = -0.141x^2 - 1.6117x + 338.93$$

$$= -0.141x^2 - 1.6117x + 338.93$$

$$0 = -0.141x^2 - 1.6117x + 58.93$$

Luego, se hallan las raíces empleando la fórmula cuadrática:

$$x_1 = \frac{-(-1.6117) + \sqrt{(-1.6117)^2 - 4(-0.141)(25.07)}}{2(-0.141)}$$

$$x_1 = -26.94$$

$$x_2 = \frac{-(-1.6117) - \sqrt{(-1.6117)^2 - 4(-0.141)(25.07)}}{2(-0.141)}$$

$$x_2 = 15.51$$

Se obtienen dos raíces debido a la condición propia de una función cuadrática, una positiva y una negativa. Donde se toma el valor positivo, siendo 15.51%, lo que representa el límite de adición de asfalto reciclado en un diseño de mezcla de concreto para su uso en pavimento.

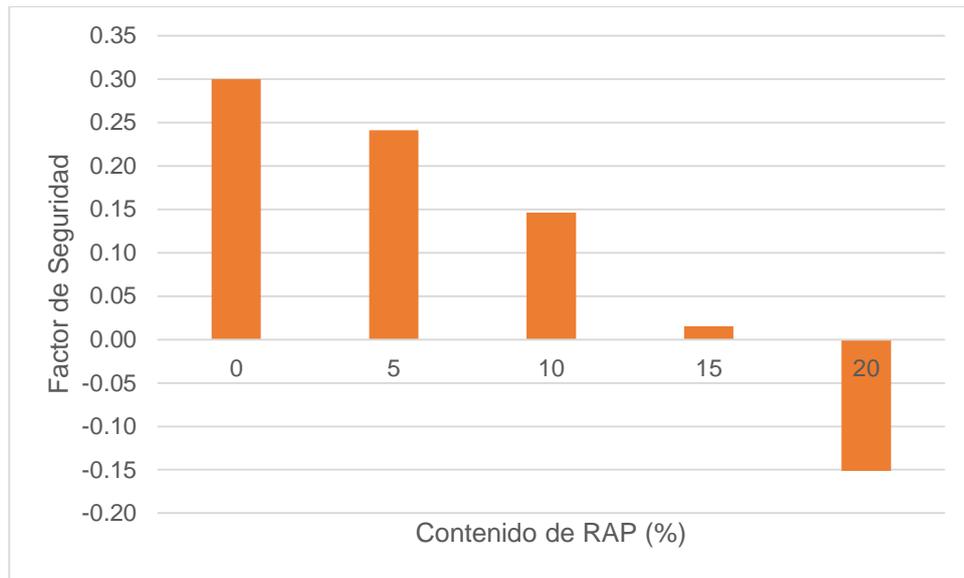
Por otra parte, analizamos el efecto del asfalto reciclado en el factor de seguridad empleado para el diseño de concreto en función al f'c, siendo este de 0.30. Para ello, consideramos los valores ajustados obtenidos a través de la sustitución de los valores en la función que describe la línea de ajuste.

Tabla 51. *Análisis del efecto del RAP en el factor de seguridad del f'c.*

% RAP	FS ajustado	FS equivalente	Δ FS	Efecto
0	0.21	0.30	0.00	Ninguno
5	0.17	0.24	-0.06	Disminuye
10	0.10	0.15	-0.15	Disminuye
15	0.01	0.02	-0.28	Disminuye
20	-0.11	-0.15	-0.45	Disminuye

Fuente: Elaboración propia.

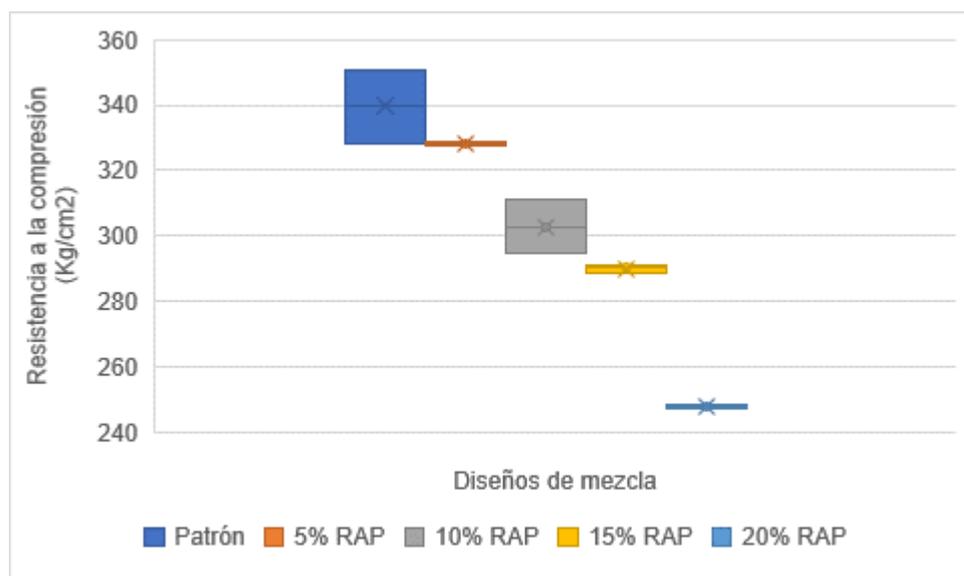
Figura 62. Efecto del contenido de asfalto reciclado en el factor de seguridad del f_c .



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la Tabla 51 que el factor de seguridad disminuye en función al contenido de asfalto reciclado. Esto significa que, el diseño con cierto porcentaje de RAP requiere de un factor de seguridad mayor a 0.30 para tener mayor certeza en lograr la resistencia a la compresión objetivo, para este estudio 280 kg/cm².

Figura 63. Análisis de la resistencia a la compresión de cada diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Figura 63 podemos determinar que único diseño que no cumple con la resistencia mínima de 280 kg/cm² a los 28 días aquel con 20% RAP, lo cual refuerza el planteamiento del límite de uso de asfalto reciclado para un concreto de uso en pavimento es de 15.51%, considerando un factor de seguridad de 0.30.

5.3 Resistencia a la flexión

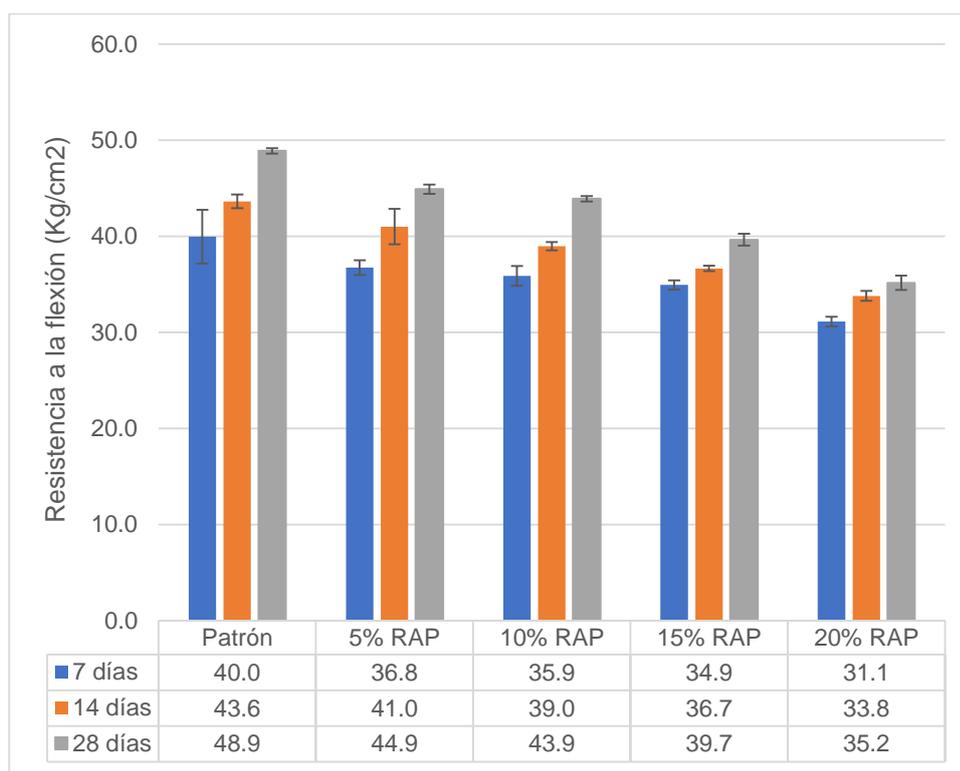
Los ejemplares de concreto se evaluaron a flexión para hallar su resistencia, teniendo una totalidad de 45 muestras evaluadas a las edades de 7, 14 y 28 días, realizándose tres vigas por cada fecha de rotura por diseño. Se sometieron a carga de flexión resultando lo descrito en la tabla siguiente.

Tabla 52. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión.

Diseño	Edad (días)	Mr 1	Mr 2	Mr 3	Promedio	Desviación estándar
Patrón	7	42.69	37.12	40.11	40.0	2.79
	14	44.46	43.10	43.37	43.6	0.72
	28	48.67	49.22	48.81	48.9	0.28
5% RAP	7	35.89	37.39	36.98	36.8	0.77
	14	42.83	39.16	41.06	41.0	1.84
	28	45.41	44.46	44.87	44.9	0.48
10% RAP	7	36.85	36.03	34.81	35.9	1.03
	14	39.16	38.48	39.29	39.0	0.44
	28	44.19	43.64	43.92	43.9	0.27
15% RAP	7	34.53	35.49	34.81	34.9	0.49
	14	37.0	36.4	36.6	36.7	0.28
	28	39.02	40.24	39.70	39.7	0.61
20% RAP	7	31.00	31.68	30.73	31.1	0.49
	14	34.40	33.45	33.58	33.8	0.51
	28	34.40	35.89	35.21	35.2	0.75

Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Desviación estándar del Mr de cada diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Tomando los valores de la Tabla 52, aplicamos el método ANOVA para determinar si las medias poblacionales son iguales. Al igual que el análisis presentado anteriormente de resistencia a compresión, se realizará para el Mr, considerando dos factores (diseño de mezcla con cierto contenido porcentual de RAP y edad de rotura de muestra) con tres muestras por grupo.

Tabla 53. Análisis de varianza de muestras de Mr.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Diseños de mezcla	596.114	4	149.029	142.961	4.44x10 ⁻¹⁹	2.690
Edades	344.907	2	172.454	165.432	6.26x10 ⁻¹⁷	3.316
Interacción	33.588	8	4.199	4.028	2.39 x10 ⁻³	2.266
Dentro del grupo	31.273	30	1.042			
Total	1,005.883	44				

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 53 muestra que, para los tres análisis, los valores de F teóricos son mayores que sus respectivos F crítico. Por lo tanto, podemos determinar que la proporción de RAP en el diseño de mezcla, así como la edad a la que se sometió a rotura cada viga y la interacción entre ambos factores, influyen significativamente en la resistencia a esfuerzos de flexión, lo cual se demuestra en la Tabla 52.

A continuación, al no tener homogeneidad en las medias, se procede a realizar el análisis Tukey, iniciando con la siguiente formula:

$$w = q_{(t, glee, \alpha)} * \sqrt{\frac{CMee}{r}}$$

Donde:

w : Valor crítico Tukey

q : Amplitud

t : N° de tratamientos

glee : Grados de libertad de error experimental

α : Nivel de significancia

CMee : Cuadrado medio del error experimental

r : N° de repeticiones de las medias de los tratamientos

A partir de “t” y “ α ” calculados del análisis ANOVA, se obtiene el “q” empleando la tabla referencial del Anexo 22, obteniéndose un valor de “q” igual a 4.1 con un nivel de confianza de 95%, siendo este igual al resultado de la amplitud de las muestras sometidas a compresión debido a la presencia de la misma cantidad de muestras evaluadas.

Siguiendo el procedimiento analítico, se reemplaza en la fórmula anteriormente presentada de la siguiente forma:

$$w = q_{(5,30,0.05)} * \sqrt{\frac{1.042}{3}}$$

$$w = 4.1 * \sqrt{\frac{19.010}{3}}$$

$$w = 2.42$$

Habiendo conseguido el valor crítico de Tukey, se procede a realizar las comparaciones con la media aritmética de cada grupo. Las muestras representativas son las correspondientes a la edad de rotura de 28 días.

Tabla 54. Promedio de resistencia a la flexión a 28 días.

Diseño	Promedio Mr a 28 días
Patrón	48.901
5% RAP	44.913
10% RAP	43.916
15% RAP	39.656
20% RAP	35.169

Fuente: Elaboración propia.

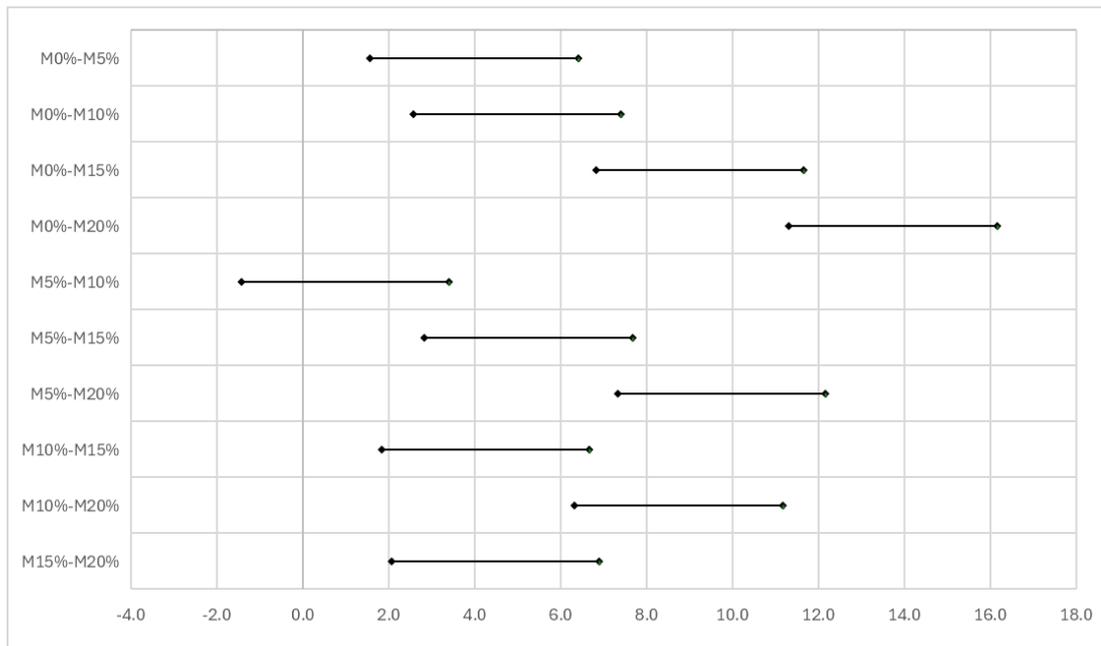
Con los promedios de Mr de cada diseño, se realiza la comparación entre muestras, teniendo de referencia el valor de Tukey para determinar su grado de significancia.

Tabla 55. Análisis Tukey de la resistencia a la flexión.

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Condición
M0%-M5%	3.99	>w
M0%-M10%	4.99	>w
M0%-M15%	9.25	>w
M0%-M20%	13.73	>w
M5%-M10%	1.00	<w
M5%-M15%	5.26	>w
M5%-M20%	9.74	>w
M10%-M15%	4.26	>w
M10%-M20%	8.75	>w
M15%-M20%	4.49	>w

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Diferencias de las medias de Mr con un nivel de confianza de 95%.



Fuente: Elaboración propia.

Observamos en la Tabla 55 que la diferencial muestral de las comparaciones evaluadas resulta mayor al valor de Tukey calculado, representando una variación significativa entre los grupos. Además, vemos una variación no significativa entre los diseños con 5% y 10%. Por lo tanto, podemos decir que el contenido de asfalto reciclado influye significativamente en la capacidad de resistir a flexión.

Por último, se calcula el coeficiente de determinación de las muestras empleando las siguientes fórmulas:

$$SS_{modelo} = SS_{factor1} + SS_{factor2} + SS_{interacción}$$

$$R^2 = \frac{SS_{modelo}}{SS_{total}}$$

Donde:

R² : Variación porcentual

SSmodelo: Sumatoria de cuadrados de los factores evaluados

SStotal : Sumatoria total de cuadrados

Reemplazando se obtiene los siguiente:

$$SS_{modelo} = SS_{Diseño} + SS_{Edad} + SS_{Interacción}$$

$$SS_{modelo} = 596.114 + 334.907 + 33.588$$

$$SS_{modelo} = 974.610$$

$$R^2 = \frac{SS_{modelo}}{SS_{total}}$$

$$R^2 = \frac{974.610}{1,005.883}$$

$$R^2 = 0.969$$

Por lo tanto, el 96.9% de la variabilidad del Mr es explicada por la proporción de asfalto reciclado en la mezcla de concreto, la edad a la que se evalúa y la interacción de ambos factores.

Prosiguiendo en el análisis estadístico, determinamos el ajuste del coeficiente de correlación para verificar que nuestro modelo sea eficiente mediante la siguiente fórmula:

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) * \left(\frac{n - 1}{n - k - 1} \right)$$

Donde:

Ra2 : Coeficiente de correlación ajustado

R2 : Coeficiente de correlación

n : N° de observaciones de la muestra

k : N° de variables independientes

Reemplazando los valores en la fórmula obtenemos lo siguiente:

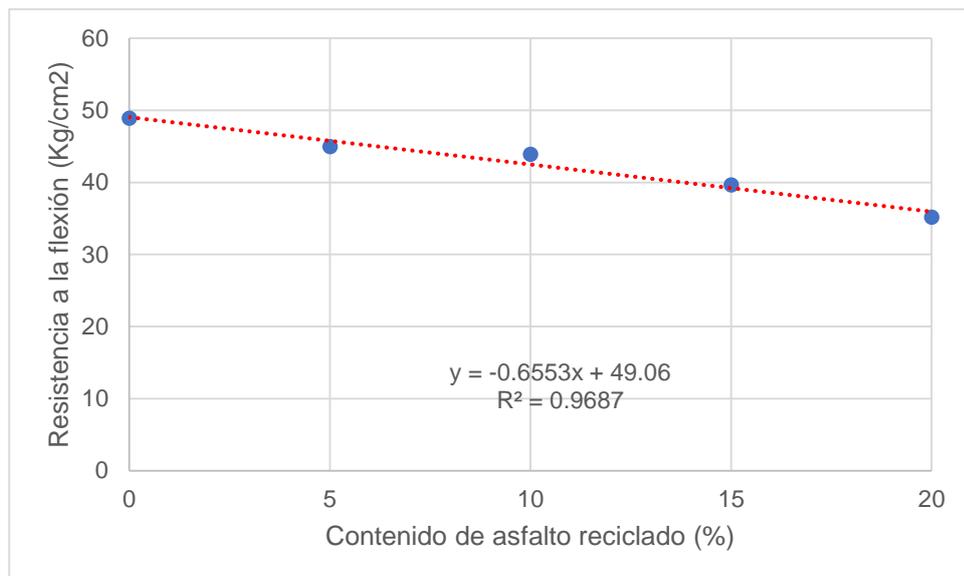
$$R_a^2 = 1 - (1 - 0.969) * \left(\frac{3 - 1}{3 - 1 - 1} \right)$$

$$R_a^2 = 0.938$$

El valor conseguido de 93.8% de ajuste del R2, nos demuestra que el modelo empleado es eficiente. Es decir, que los ejemplares presentan una desigualdad significativa entre las muestras.

Por consiguiente, determinamos la línea de ajuste de los resultados de f'c mediante el programa Excel, empleando la función línea de tendencia en la gráfica de puntos de dispersión.

Figura 66. Línea de ajuste de puntos de dispersión del Mr.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 66 se puede observar que el programa Excel predice un R2 igual a 96.8%, presentando gran similitud al R2 calculado mediante el análisis ANOVA. Explicado de otra manera, la línea de ajuste planteada (función lineal) se asemeja a los resultados de las muestras, los cuales demuestran una alteración negativa en la resistencia a esfuerzos de flexión.

Por consiguiente, con la ecuación de la línea de ajuste podemos determinar el límite de añadidura de RAP en el diseño de mezcla en función al Mr, realizando la siguiente operación.

Despejamos “x” de la función:

$$y = -0.6553x + 49.06$$

$$40 = -0.6553x + 49.06$$

$$0.6553x = -40 + 49.06$$

$$x = \frac{9.06}{0.6553}$$

$$x = 13.83$$

Habiendo calculado el “x”, el cual representa al límite de añadidura de RAP el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimento rígido en función al Mr, podemos adicionar hasta un 13.83%.

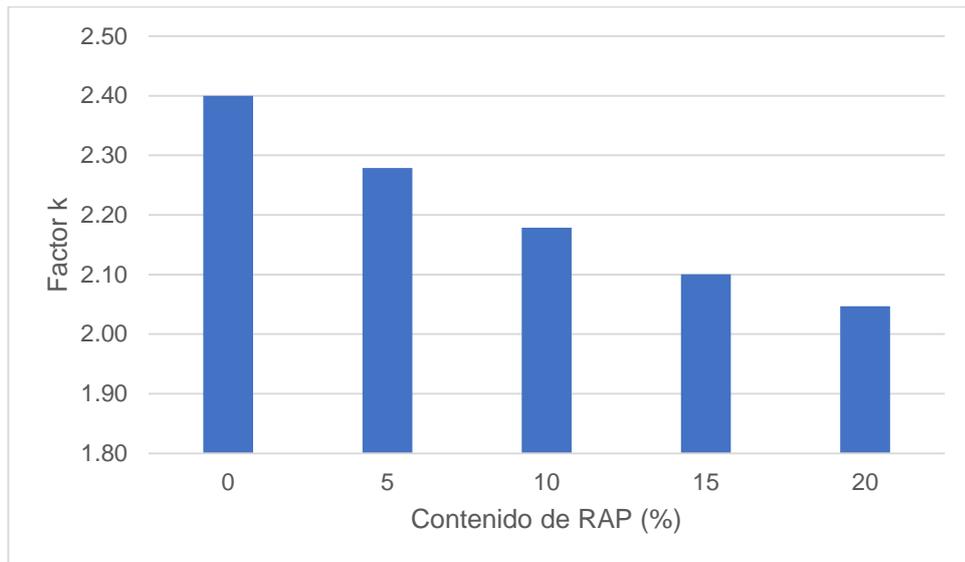
Por otro lado, analizamos el efecto del asfalto reciclado en el factor k de correlación para estimar el f’c, siendo 2.4 el valor empleado para el presente estudio. Para ello, consideramos los valores ajustados obtenidos a través de la sustitución en la ecuación obtenida de la línea de ajuste.

Tabla 56. *Análisis del efecto del RAP en el k del Mr.*

% RAP	f’c ajustado	Mr ajustado	k ajustado	k equivalente	Δ k	Efecto
0	338.9	49.06	2.66	2.40	0.00	Ninguno
5	327.3	45.78	2.53	2.28	-0.12	Disminuye
10	308.7	42.51	2.42	2.18	-0.22	Disminuye
15	283.0	39.23	2.33	2.10	-0.30	Disminuye
20	250.3	35.95	2.27	2.05	-0.35	Disminuye

Fuente: Elaboración propia.

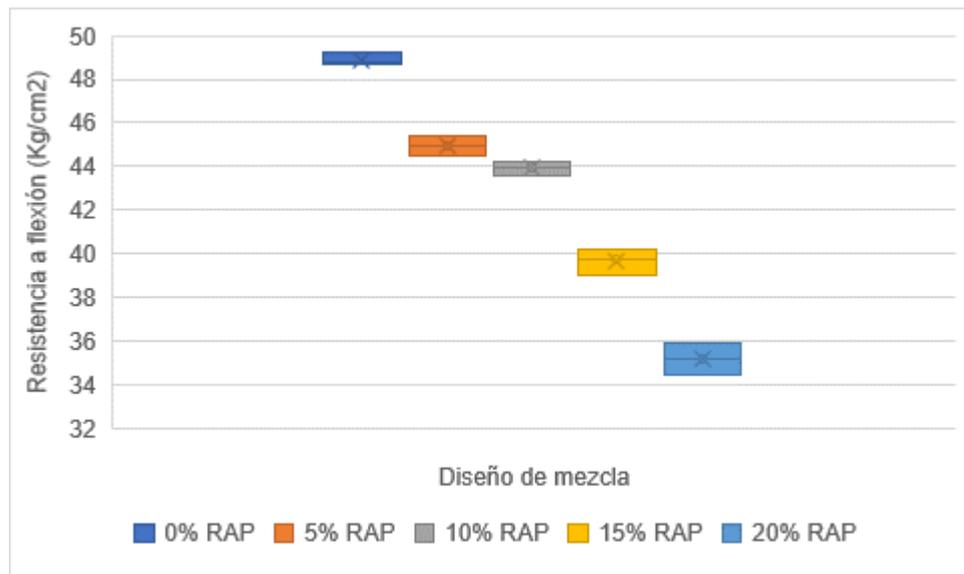
Figura 67. Efecto del contenido de asfalto reciclado en el k de diseño del Mr.



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 56 muestra que el factor k disminuye en función al contenido de asfalto reciclado. Por ende, para estimar el $f'c$ en función al Mr requiere de un factor de correlación mayor a 2.40 para los diseños con cierto contenido de asfalto, y puedan lograr la resistencia requerida para este estudio de 40 kg/cm².

Figura 68. Análisis de la resistencia a la flexión de cada diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 68 podemos ver que los diseño con 15% y 20% RAP no cumplen con la resistencia mínima de 40 kg/cm² a los 28 días. Cabe destacar que, la variabilidad del diseño con 15% RAP se encuentra en la resistencia mínima. Sin embargo, su media aritmética no cumple. Por lo tanto, el límite de adición de RAP del 13.83% en función al Mr calculado concuerda con lo observado, considerando un factor k de 2.40 para la estimación del f'c.

5.4 Análisis de costos unitarios

Se realizó el análisis de costos en referencia a los precios actualizados a noviembre de 2023, para identificar el precio que supone adicionar asfalto reciclado al diseño convencional de concreto hidráulico.

Para determinar los costos de concreto premezclado Mr=4.0MPa (Diseño Patrón), se consideró una producción máxima diaria de 48m³, la mano de obra, los insumos y la maquinaria requerida para su elaboración.

Tabla 57. Análisis de costos de concreto premezclado de diseño patrón.

CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - PATRÓN							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			618.46
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.5386	59.32	31.95
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 40 HP		HM	1.0000	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
							258.03

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 57 podemos observar que el costo de concreto premezclado con 0% RAP resulta s/.618.46 (seiscientos dieciocho con 46/100 soles) por metro cúbico. Donde la mano de obra, determinada en horas hombre, representa s/.4.92, los materiales comprenden más del 50% del costo, sumando un total de s/.355.51 y, por último, los equipos que constituyen s/.258.03. Los costos anteriormente mencionados no incluyen el IGV.

Continuando con el Análisis de Costos, se procede a determinar los costos que componen el asfalto reciclado, los cuales se resume en su costo de traslado del centro de acopio hacia la planta dosificadora de concreto.

Tabla 58. *Determinación del costo unitario del asfalto reciclado.*

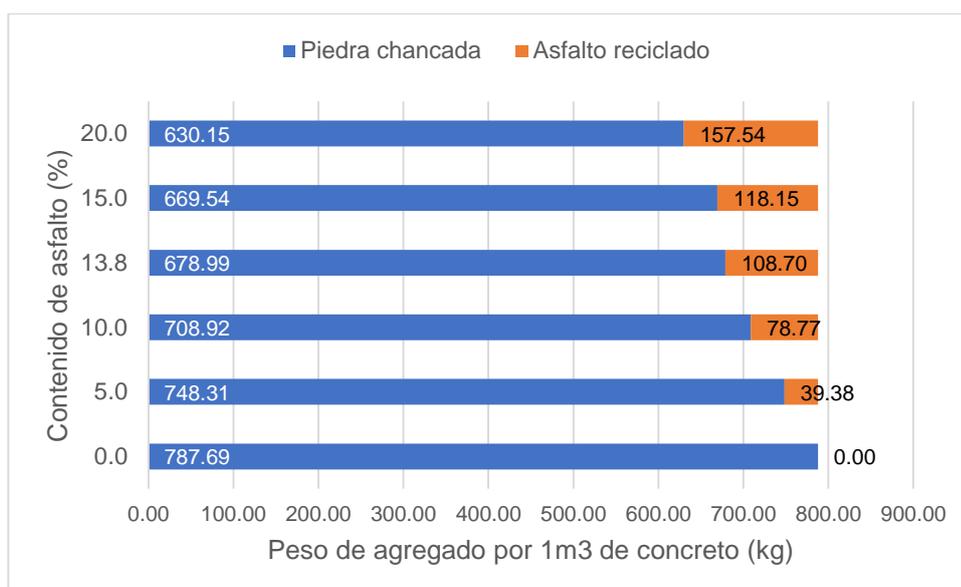
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Fórmula
A	Consumo promedio de combustible	0.42	glns/km	
B	Distancia de traslado	10.00	km	
C	Cantidad de combustible	4.20	glns/viaje	AxB
D	Precio unitario de combustible (Noviembre 2023)	16.15	soles/gln	
E	Costo de combustible	67.83	soles/viaje	CxD
F	Costo de conductor	60.00	soles/viaje	
G	Costo de transporte	127.83	soles/viaje	E+F
H	Capacidad de unidad+carreta	37.00	m3	
I	Costo unitario de RAP por m3	3.45	soles/m3	G/H

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se determina el costo del asfalto reciclado, obteniéndose un precio de s/.3.45 (tres con 45/100 soles) por metro cúbico. Dicho costo depende directamente del precio del combustible y de la distancia entre el centro de acopio y el lugar de producción.

Teniendo el costo del asfalto reciclado, procedemos a determinar la proporción en volumen del asfalto reciclado y la piedra chancada. Inicialmente analizamos la proporción en peso para convertirla en volumen.

Figura 69. *Proporción en peso de agregado grueso por m3 de concreto.*



Fuente: Elaboración propia.

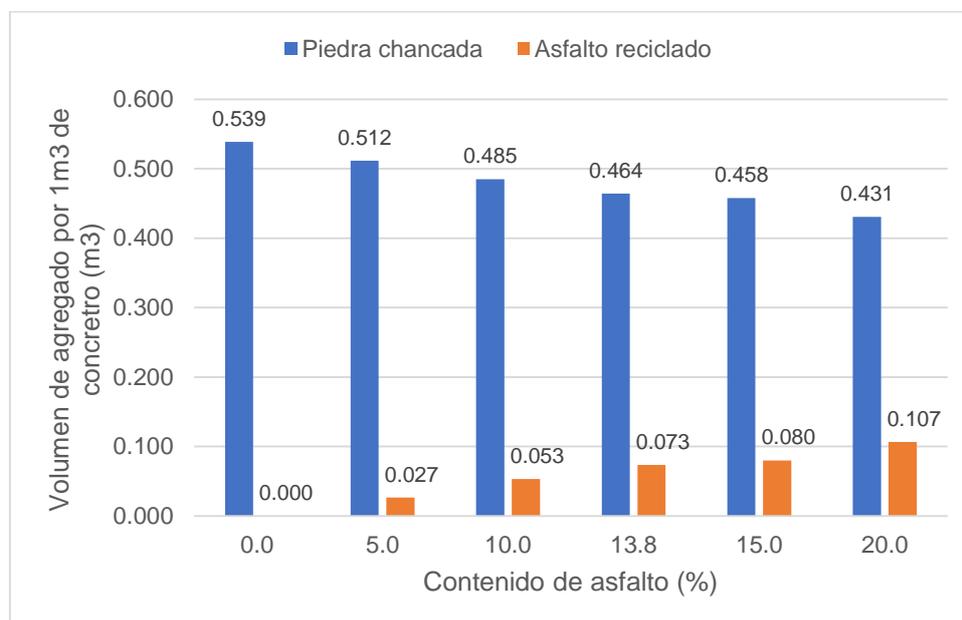
Luego de haber verificado que las proporciones mantienen el 100% de la cantidad en peso de árido grueso para un metro cubico de concreto, se realiza la conversión a volumen dividiendo cada peso entre su peso unitario varillado, aplicando la división de 1,462 kg/m³ para la piedra chancada y 1,479 kg/m³ para el RAP.

Tabla 59. Conversión de proporción en peso a volumen de agregado grueso por m³ de concreto.

Contenido de Piedra Chancada (m ³)	Contenido de Asfalto Reciclado (%)	Contenido de Asfalto Reciclado (m ³)
0.539	0.0	0.000
0.512	5.0	0.027
0.485	10.0	0.053
0.458	15.0	0.080
0.450	16.5	0.088
0.431	20.0	0.107

Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Proporción en volumen de agregado grueso por m³ de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Habiendo obtenido las proporciones en volumen tanto del agregado grueso como del asfalto reciclado de cada diseño, se procede a determinar el costo de metro cubico de concreto premezclado con RAP adicionado teniendo como base el ACU del diseño con 0% de asfalto reciclado.

Tabla 60. Análisis de costos de concreto adicionado con asfalto reciclado.

CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 5% RAP							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			616.94
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.5117	59.32	30.35
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
	ASFALTO RECICLADO		M3		0.0266	2.93	0.08
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 60 HP		HM	1.0000	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
258.03							

CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 10% RAP							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			615.42
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.4848	59.32	28.76
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
	ASFALTO RECICLADO		M3		0.0533	2.93	0.16
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 60 HP		HM	1.0000	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
258.03							

CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 13.8% RAP							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			614.26
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.4643	59.32	27.54
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
	ASFALTO RECICLADO		M3		0.0735	2.93	0.22
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 60 HP		HM	1.0000	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
258.03							

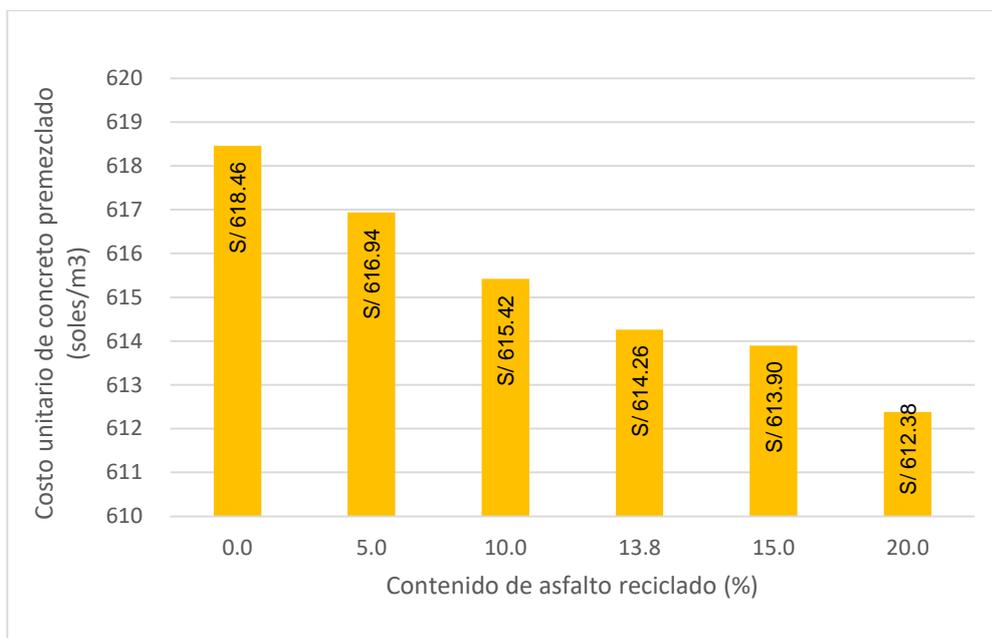
CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 15% RAP							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			613.90
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.4578	59.32	27.16
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
	ASFALTO RECICLADO		M3		0.0799	2.93	0.23
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 60 HP		HM	1.0000	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
							258.03

CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 20% RAP							
RENDIMIENTO	M3/DIA	MO. 48.00	EQ. 48.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3			612.38
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101020002	OPERADOR ELECTROMECHANICO		HH	1.0000	0.1667	29.50	4.92
MATERIALES							
0220010002	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		M3		0.4309	59.32	25.56
0220010003	ARENA TRITURADA		M3		0.4799	55.08	26.43
0221000011	CEMENTO PORTLAND TIPO MS (BLS.:42.5 KG)		BLS		10.9064	27.12	295.77
0238270001	AGUA		M3		0.2226	6.13	1.36
	ASFALTO RECICLADO		M3		0.1065	2.93	0.31
EQUIPOS							
0301280003	DOSIFICADORA DE CONCRETO M.E. 60 HP		HM	1	0.1667	103.42	17.24
0302110011	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3YD3		HM	1.0000	0.1667	259.52	43.25
0301050001	CAMION CONCRETERO 330HP 8M3		HM	3.0000	0.1667	395.07	197.54
							258.03

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 60 precisa el análisis de costos unitarios de cada de diseño de concreto propuesto. Se observa que, el aumento de contenido de asfalto reciclado disminuye el costo por 1m3 de concreto debido a la sustitución parcial del agregado grueso natural por asfalto reciclado, el cual presenta únicamente costo de transporte a diferencia de la piedra chancada que adicionalmente tiene costo de producción.

Figura 71. Variación del costo unitario del concreto premezclado en función al contenido de RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el beneficio económico en volumen de concreto premezclado, haciendo uso del diseño con 13.8% RAP, se tiene una diferencia respecto al diseño convencional de S/. 4.19 soles/m³, representando un 0.68% de reducción al costo del concreto patrón.

Seguidamente, se prosigue a realizar el ACU de la losa de concreto premezclado $M_r=4.0\text{Mpa}$ con espesor 20cm, requerida para el pavimento rígido en la Av. VRHT. Para la determinación de su precio, se considera el costo del concreto premezclado anteriormente definido, la cuadrilla requerida conformada por once personas, los equipos necesarios para la colocación del concreto, por último, se toma como rendimiento la misma cantidad de la producción máxima diaria en m².

Tabla 61. Análisis de costos unitarios de losa de concreto premezclado e=20cm.

LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - PATRÓN							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			143.04
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
	MANO DE OBRA						
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
							6.53
	MATERIALES						
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPa		M3		0.2200	618.46	136.06
							136.06
	EQUIPOS						
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
							0.45

LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 5% RAP							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			142.71
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
	MANO DE OBRA						
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
							6.53
	MATERIALES						
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPa		M3		0.2200	616.94	135.73
							135.73
	EQUIPOS						
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
							0.45

LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 10% RAP							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			142.37
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
	MANO DE OBRA						
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
							6.53
	MATERIALES						
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPa		M3		0.2200	615.42	135.39
							135.39
	EQUIPOS						
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
							0.45

LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 13.8% RAP							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			142.12
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
	MANO DE OBRA						
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
							6.53
	MATERIALES						
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPa		M3		0.2200	614.26	135.14
							135.14
	EQUIPOS						
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
							0.45

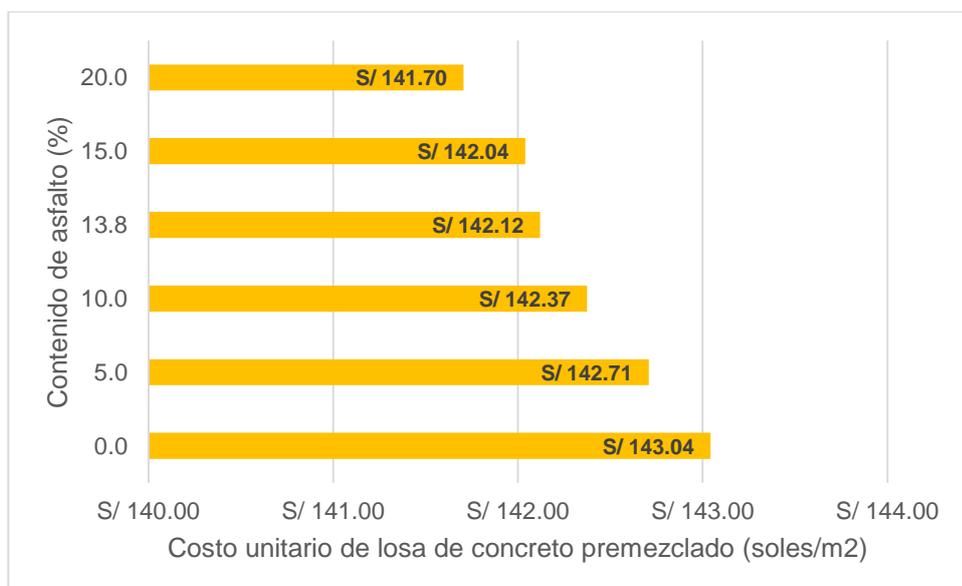
LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 15% RAP							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			142.04
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
6.53							
MATERIALES							
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPA		M3		0.2200	613.90	135.06
135.06							
EQUIPOS							
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
0.45							

LOSA DE CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.00MPa E=0.20M - 20% RAP							
RENDIMIENTO	M2/DIA	MO. 240.00	EQ. 240.00	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2			141.70
CODIGO	DESCRIPCION RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
MANO DE OBRA							
0101010002	OPERARIO		HH	2.0000	0.0667	27.49	1.83
0101010003	OFICIAL		HH	2.0000	0.0667	21.61	1.44
0101010004	PEON		HH	5.0000	0.1667	19.56	3.26
6.53							
MATERIALES							
0221990044	CONCRETO PREMEZCLADO MR=4.0MPA		M3		0.2200	612.38	134.72
134.72							
EQUIPOS							
0391010101	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	6.53	0.20
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 1.5"		HM	1.0000	0.0333	7.57	0.25
0.45							

Fuente: Elaboración propia.

Se detallan en la tabla 61, los costos que conforman la losa de concreto premezclado de cada diseño, representado en unidad de área.

Figura 72. Variación del costo unitario de losa de concreto premezclado en función al contenido de RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo los valores presentados con anterioridad, se procede a computar el valor de la losa para la avenida en estudio mediante la multiplicación del precio unitario de losa por el área obtenida del metrado.

A continuación, se detalla cada costo parcial de losa empleando las distintas proporciones de *RAP*.

Tabla 62. Costo parcial de losa de concreto premezclado en los diferentes diseños de mezcla.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	P.U. S/.	PARCIAL S/.
1.00	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
1.01	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 0%RAP	M2	4,049.00	143.04	579,177.59
1.02	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 5%RAP	M2	4,049.00	142.71	577,823.93
1.03	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 10%RAP	M2	4,049.00	142.37	576,470.27
1.04	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 13.8%RAP	M2	4,049.00	142.12	575,441.48
1.05	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 15%RAP	M2	4,049.00	142.04	575,116.61
1.06	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO MR=4.0MPa E=0.20M 20%RAP	M2	4,049.00	141.70	573,762.94

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 62, el costo parcial de losa de concreto premezclado disminuye con el aumento de volumen de *RAP*. Considerando que el límite es 13.8% *RAP*, el cual cumple con las particularidades físico-mecánicas del concreto, se realiza una comparativa de costos respecto a la losa de concreto convencional obteniendo un beneficio económico de S/. 3,736.11 soles; es decir, existe un beneficio económico de S/. 0.92 soles/m² de losa de concreto, lo cual representa un 0.65% de reducción al costo de una losa de concreto con 0% *RAP*.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis

6.1.1 Contrastación de hipótesis general

Caracterizando el asfalto reciclado se puede adicionar hasta un 20% en el diseño de concreto hidráulico.

La caracterización del asfalto reciclado permitió definir que el límite de adición para que la mezcla cumpla con los indicadores mínimos de la normativa nacional de pavimento rígido es del 13.8%. Esto se explica dado que los comportamientos físicos y mecánicos del concreto se ven perjudicados significativamente al aumentar el contenido de asfalto reciclado.

Tabla 63. *Contrastación de hipótesis general.*

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Caracterizando el asfalto reciclado se puede adicionar hasta un 20% en el diseño de concreto hidráulico.	Ensayos de laboratorio.	Se obtuvo que caracterizando el asfalto reciclado no se puede adicionar hasta un 20%.	La hipótesis general no es válida. Se puede adicionar hasta un 13.8%.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Contrastación de hipótesis específicas

H1: Las propiedades físicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.

Tras haber evaluado al asfalto reciclado como un agregado grueso, podemos definir que sus características físicas se mantienen conformes en función a los límites de la norma. Se pudo observar que la granulometría combinada cumple hasta emplear un 20% de RAP teóricamente, debido a su semejanza granulométrica del agregado grueso natural. La cantidad de partículas alargadas y chatas cumple a grandes rasgos. Por otro lado, la cantidad de caras fracturadas es imposible de definir debido a que una

partícula de asfalto reciclado está conformada por fino y grueso debido a su singularidad de contener bitumen en una proporción de 3.80% en peso, resultando una forma irregular.

Tabla 64. *Contrastación de hipótesis específica 1.*

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
H1: Las propiedades físicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.	Ensayos de laboratorio para agregados.	Se obtuvo que la mayoría de las propiedades físicas son adecuadas al adicionar hasta el 20%.	La hipótesis específica no es válida. La granulometría, las partículas chatas y alargadas cumplen hasta adicionar 20% de asfalto reciclado. Sin embargo, no se puede determinar las caras fracturadas.

Fuente: Elaboración propia.

H2: Las propiedades mecánicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.

Luego de evaluar la abrasión y la absorción del asfalto reciclado, se pudo observar que dichas propiedades cumplen con los requerimientos normativos. La abrasión resultó 27.7%, siendo menor a 40%, valor estipulado por el MTC. En cuanto a la absorción, debido al contenido de líquido asfáltico de la muestra, lo cual genera que sus partículas se conforman por agregado fino y grueso, permite que su capacidad de absorber sea similar al de un agregado fino en consecuencia de la generación de vacíos resultando mayor al valor de absorción del agregado grueso natural, teniéndose 1.28%. Por otro lado, la durabilidad del asfalto frente a la acción de sulfato de magnesio no generó una reacción, pero al momento del lavado final, se presentó una pérdida de contenido de bitumen, lo cual imposibilita determinar la durabilidad correctamente.

Tabla 65. *Contrastación de hipótesis específica 2.*

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
H2: Las propiedades mecánicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico.	Ensayos de laboratorio para agregados.	Se obtuvo que las propiedades mecánicas son adecuadas hasta el 20%.	La hipótesis específica es válida. Las propiedades mecánicas son adecuadas hasta el 20%. Sin embargo, no se pudo determinar la durabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

H3: El asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos disminuye las propiedades físicas y mecánicas.

Habiendo evaluado el slump, el $f'c$ y el Mr del concreto se pudo observar que el aumento de asfalto reciclado incrementa el valor del asentamiento, siendo el diseño de 20% el único que sobrepasa los límites permitidos logrando un slump de 4". En cuanto al $f'c$, disminuye significativamente en función al contenido de asfalto reciclado. Sin embargo, la capacidad de soportar la compresión de la muestra patrón se encuentra superior al mínimo de 280kg/cm², determinando la posibilidad de emplear hasta un 15.5% en peso de asfalto reciclado. Por último, la oposición a la flexión se ve perjudicada luego de adicionar asfalto reciclado, teniendo un valor base de 48.90kg/cm² que disminuye hasta 35.20kg/cm², observando una diferencia de 13.7kg/cm² fijando como límite de uso de asfalto reciclado el 13.8% en peso para que cumpla el Mr mínimo de 40 kg/cm².

Tabla 66. Contrastación de hipótesis específica 3.

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
H3: El asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos disminuye las propiedades mecánicas.	Ensayos de laboratorio para concreto.	Se obtuvo que el asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico disminuye las propiedades mecánicas.	La hipótesis específica es válida.

Fuente: Elaboración propia.

H4: El costo unitario del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos es bajo.

Luego de realizar y evaluar los costos unitarios, el ACU del concreto con asfalto reciclado adicionado en comparación al convencional es menor, teniendo una variación de 4.19 soles/m³ de concreto respecto al diseño con 13.8% de RAP, representando un 0.68% del costo. Debiéndose a la disminución de la cantidad de agregado grueso natural, el cual tiene un costo mayor que el asfalto reciclado.

Tabla 67. Contrastación de hipótesis específica 4.

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
H4: El costo unitario del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos es bajo.	Análisis de costos unitarios.	Se obtuvo que el costo unitario del asfalto reciclado como adicionado en el concreto hidráulico es bajo.	La hipótesis específica es válida.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Contrastación con antecedentes

Se efectuó el contraste de los antecedentes internacionales y nacionales con los resultados alcanzados en el capítulo anterior.

En la investigación de Marín & Navarro (2021) se buscó determinar una relación empírica entre el $f'c$ y el M_r del concreto con *RAP* incorporado en un 0%, 20%, 50% y 100% en peso, como sustituto de árido natural. La resistencia a la compresión se midió utilizando especímenes cúbicos y la resistencia a la flexión se midió para tres tipos de especímenes; viga, semicircular (SCB) y viga modificada. Para la recolección del material a reciclar, se extrajo de una carretera local y se trituró para separar los materiales granulares de mayor y menor tamaño. Los autores afirman que la capacidad mecánica de la mezcla disminuye a partir del 20% de incorporación de *RAP*, con relación al diseño sin contenido de pavimento asfáltico reciclado.

Contrastando con nuestra investigación, la muestra de asfalto reciclado es similar tras haberla obtenido del fresado de una pista. Además, el haber determinado su influencia como adicionado en el concreto hidráulico, donde el límite del autor es el 20% mientras que el nuestro es 13.8%. Esto se debe a que las muestras que evaluaron los autores presentaban un contenido de asfalto de 7% y 4%, siendo mayor a la nuestra la cual nos resultó 3.80%. Otra diferencia que se pudo apreciar fue el $f'c$ para el diseño patrón, donde nosotros planteamos 280 kg/cm² y los autores 350 kg/cm², esto influye debido a la cantidad de cemento por m³ de concreto, donde una resistencia mayor requiere de un contenido mayor de cemento.

Tabla 68. *Contrastación de antecedente internacional 1.*

Antecedente internacional	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Marín & Navarro (2021)	Ensayos de laboratorio para concreto	Se obtuvo que el límite de adición de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico es del 20%.	Los resultados contrastan. El límite de adición es del 13.8%, siendo 20% un límite similar al resultado nuestro.

Fuente: Elaboración propia.

En el artículo científico de Fagundes et al. (2023) se realizó un estudio comparativo de una mezcla de concreto utilizando residuos de la extracción de pavimentos de las vías extraídas, las cuales se convierten en residuos contaminantes con el paso del tiempo. Los investigadores realizan una dosificación con un diseño de mezcla patrón y varios diseños adicionando el 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de recuperado de pavimento asfáltico reemplazándolo como agregado fino. Dentro de los resultados más notorios se encuentra la prueba del asentamiento, el cual se comprueba que la trabajabilidad decrece con el aumento de cantidad de *RAP*. Por otro lado, el *f'c* en dicho trabajo comprueba que solo el 10% cumple con pasar de los 20 MPa que tienen establecidos como indicador.

Con respecto al presente trabajo de investigación se obtienen resultados similares, siendo la compresión y flexión las propiedades que disminuyen, resultando como el límite de uso de *RAP* el 13.8%, el cual cumplía con todos los indicadores necesarios para su funcionamiento estructural. La causante de no haber sido el 10% como lo describe el antecedente es la forma de obtener la muestra, la cual fue el resultado de un pavimento asfáltico fresado y posteriormente triturado, esto perjudica a la mezcla porque aumenta la cantidad de finos al triturar el material reciclado, en cambio nuestra muestra simplemente fue fresada y clasificada por el tamiz nro. 4. Por otro lado, los autores emplearon el asfalto reciclado como agregado fino, a diferencia nuestro objetivo de usar solo la parte gruesa. Además, su *f'c* patrón fue 210

kg/cm² en tanto que la nuestra es de 280 kg/cm², donde la totalidad de cemento por 1m³ de concreto es mayor para nuestra resistencia base que la de los autores.

Tabla 69. *Contrastación de antecedente internacional 2.*

Antecedente internacional	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
Fagundes et al. (2023)	Ensayos de laboratorio	Tras evaluar distintos porcentajes de adición de RAP en el concreto, se obtuvo que hasta el 10% contempla el buen desempeño de las propiedades físicas y mecánicas.	Los resultados obtenidos en el antecedente son similares a la investigación realizada.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se logró caracterizar del asfalto reciclado para su adición en el diseño de concreto hidráulico.

Se determinó las propiedades físicas del asfalto reciclado evaluándolo como un agregado grueso. El material reciclado al estar conformado por un aglutinante en un 3.80% en peso, esto le permite contener partículas finas y gruesas resultando un peso unitario de 1.479 g/cm³, ligeramente mayor al peso unitario del agregado grueso. Además, esta singularidad configura drásticamente la forma de sus partículas imposibilitando la determinación de caras fracturadas. Sin embargo, es posible medir la cantidad de partículas chatas y alargadas, resultando 2.3% y 5% respectivamente. Por último, se logró determinar su granulometría, la cual combinada con el agregado natural cumple empleando hasta un 20%.

Se determinó las propiedades mecánicas del RAP como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos. Donde su resistencia a la abrasión es 27.67% siendo un valor considerable debido a la conformación de sus partículas, las cuales contienen una parte fina que se desprende al ser golpeado. Por otro lado, su capacidad de absorción es 1.33%, similar al agregado fino debido a los vacíos de aire contenido entre las partículas finas y gruesas adheridas mediante el bitumen presente en las partículas de RAP. Además, se estudió la durabilidad, la cual no se logró determinar debido a la reacción del aglutinante frente al calor del horno y del lavado final, lo cual generaba pérdida en peso, perjudicando en el resultado final.

Se determinó la influencia del asfalto reciclado. El impacto de adicionar este material se traduce como la disminución de las particularidades del concreto proporcionalmente a la cantidad de adición. El slump cumple hasta un 15% de RAP, llegando al límite de 3 pulgadas de asentamiento. Sin embargo, las propiedades más afectadas son las mecánicas, considerando el diseño patrón de $f'c=280\text{kg/cm}^2$ con un FS (Factor de Seguridad) de 0.30 y un $M_r=40\text{kg/cm}^2$ con un factor k de correlación de 2.4, dichas propiedades

cumplen hasta emplear 15.5% en función a la resistencia a la compresión y 13.8% en función a la resistencia a la flexión.

Se determinó el análisis de costos unitarios del asfalto reciclado como adicionado del concreto en pavimentación, manteniéndose favorables en cuanto a costo-beneficio del cliente al representar un ahorro del 0.68% del precio normal por metro cúbico de concreto premezclado empleando un 13.8% de RAP, sumándole el impacto positivo al medioambiente con la disminución de residuos de carpeta asfáltica.

RECOMENDACIONES

Para obtener una buena caracterización del asfalto reciclado se recomienda una buena extracción de la muestra, conservarla inalterada, para determinar resultados más precisos.

Se recomienda aplicar el procedimiento descrito en las normas correctamente tanto para la realización de los ensayos como la evaluación de los resultados, para la determinación de las propiedades físicas.

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas se recomienda un correcto control de calidad de los agregados para obtener un resultado certero de diseño de concreto hidráulico, la uniformidad en la preparación de los testigos y la calibración de los equipos a emplear antes para el ensayo.

Se recomienda realizar más de tres especímenes por ensayo de concreto, con el fin de observar a mayor detalle el impacto del asfalto reciclado en la elaboración de un diseño con RAP.

Se recomienda actualizar los precios para un correcto análisis de costos unitarios y emplear de referencia los precios que se determinan en los expedientes técnicos de un proyecto.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Aguiar, J. & Miranda, F. (2019). *Mezclas asfálticas con RAP: Pavimentos asfálticos reciclados*. *Pitira*, 10(1), 1-9.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1421/Boletin%201%20%20Mezclas%20asf%C3%A1lticas%20con%20RAP.pdf?sequence=1>
- Anampa, M. & Bernaola, E. (2019). *Influencia del material reciclado proveniente del pavimento deteriorado en el Jr. Puno y Av. Abancay de la ciudad de Abancay para la elaboración de concreto nuevo a ser reutilizado en pavimentos*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].
<https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/212>
- Bazalar, L. & Cadenillas, M. (2019). *Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280$ kg/cm² en estructuras aperticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar_LPL.pdf?sequence=3
- Bejarano, W. (2020). *Aplicación de Pavimentos Flexibles Reciclados en la Construcción de Nuevos Pavimentos Economicos en el Perú – 2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24758>
- Calisaya, Maria & Gómez, Piero (2023). *Propuesta de elaboración de un bloque de adobe incorporando fibras de totora y aglutinante de cal para reducir la capacidad de absorción de agua de las viviendas en Ajuyani, Puno*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667622>

- Castillo, A., Chimá, A. & Rondón, G. (2019). *Estudio de Prefactibilidad de Concreto Sostenible usando agregado grueso reciclado en Barranquilla*. [Tesis de Pregrado, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/3271/1/143268329-1140884780-1045751850.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ceballos, S., Gonzáles, D. & Sánchez J. (2020). Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. *Revista Ion*, 34(1), 27-35. <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021003>
- El Euch, B., El Euch, K. & Loulizi, A. (2018). Experimental Investigation of PCC Incorporating RAP. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12, 8. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0227-x>
- Fagundes, K., Wally, G., Tessaro, A., Silva, L., de Oliveira, J., de Mattos, F., Nunes, J. & Bandeira, J. (2023). Propiedades del hormigón producido con cortadora de asfalto en sustitución de áridos finos. *Revista Brasileira de Desarrollo*, 9 (3), 8885–8899. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-004>
- Guzmán, D. (2020). *Concreto Hidráulico Utilizando Agregados de Reciclado de Pavimento Asfáltico para un Pavimento Rígido*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2395>
- Huamán, E. (2020). *Evaluación de la carpeta de rodadura asfáltica aplicando las metodologías de Índice de Condición del Pavimento (PCI) y Visión e Inspección de Zonas e Itinerarios en Riesgo (VIZIR)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3428>

Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. (4ta edición). (NTP 339.034). Aprobado por R. N° 015-2015-INACAL/DN. (Perú).

Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2018). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. (3ra edición). (NTP 400.021). Aprobado por R. D. N°016-2018-INACAL/DN. (Perú).

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [Indecopi]. (2012). *Concreto. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*. (3era edición). (NTP 339.078). Aprobado por R.0092-2012/CNB-INDECOPI. (Perú).
<https://www.udocz.com/apuntes/108486/ntp-339-078-ensayo-de-flexion-pdf>

Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (2020). *Factores que pueden afectar los resultados de resistencia a compresión y flexión de los especímenes de concreto*. *Boletín técnico* 13.
<https://www.iccg.org.gt/index.php/noticias-y-boletines/boletines-tecnicos>

Instituto de la Construcción y Gerencia (s.f.). *Norma Técnica C.E. 010 Pavimentos urbanos*.
http://www3.vivienda.gob.pe/documentos/documentos_ds_010/1/PAVIMIENTOS_URBANOS.pdf

Khare P. (2020). Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors. *Science Advances*, 6 (36). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abb9785>

- Komastka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. & Tanesi, J. (s.f.). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. *Portland Cement Association*.
<https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/files/original/4e03b9ddedc81f98353a2e65478f0c50.pdf>
- Mallick, R. & El-Korchi, R. (2013) *PAVEMENT ENGINEERING. Principles and Practice*. (2da edición). CRC Press.
- Marín, C. & Navarro, R. (2021). Empirical relationships between compressive and flexural strength of concrete containing recycled asphalt material for pavement applications using different specimen configurations. *Materiales De Construcción*, 71(342), e249.
<https://doi.org/10.3989/mc.2021.11520>
- Masi, G., Michelacci, A., Manzi, S. & Bignozzi, M. (2022). Assessment of reclaimed asphalt pavement (RAP) as recycled aggregate for concrete. *Construction and Building Materials*, 341.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127745>
- Medina, R. (2016, noviembre). *Construyendo con Juan Segura*, 30.
<https://acerosarequipa.com/pe/es/download/file/BOLETIN-CONSTRUYENDO-30.pdf/boletines/archivos/2020-03>
- Monroy, M., León, J. & Ramos, M. (2020). *Monografía del uso de RAP (Pavimentos Asfáltico Reciclados) para la rehabilitación de vías urbanas del municipio de Girardot – Cundinamarca*. Girardot: Corporación Universitaria Minuto de Dios.
https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/12063/1/T.IC_MonroyMarily-LeonJhon-RamosMiller_2020.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). *Manual De Carreteras Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción* (edición Septiembre 2015). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual De Ensayos De Materiales* (edición Mayo 2016). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Nicomedes, E. (2018). Tipos de investigación. <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- OSCE (s.f.). *Contratación de obras públicas. Material para el participante*. Subdirección de desarrollo y capacidades.
- Rondón, H. & Reyes, F. (2015). *Pavimentos Materiales construcción y diseño*. (1era edición). ECOE Ediciones.
- Shi, X., Mukhopadhyay, A. & Zollinger, D. (2018). Sustainability assessment for portland cement concrete pavement containing reclaimed asphalt pavement aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 192, 569-581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.004>
- Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción petrolera de Colombia y su relación con la innovación tecnológica en los últimos quince años. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7843/1/463974-2020-I-GA.pdf>

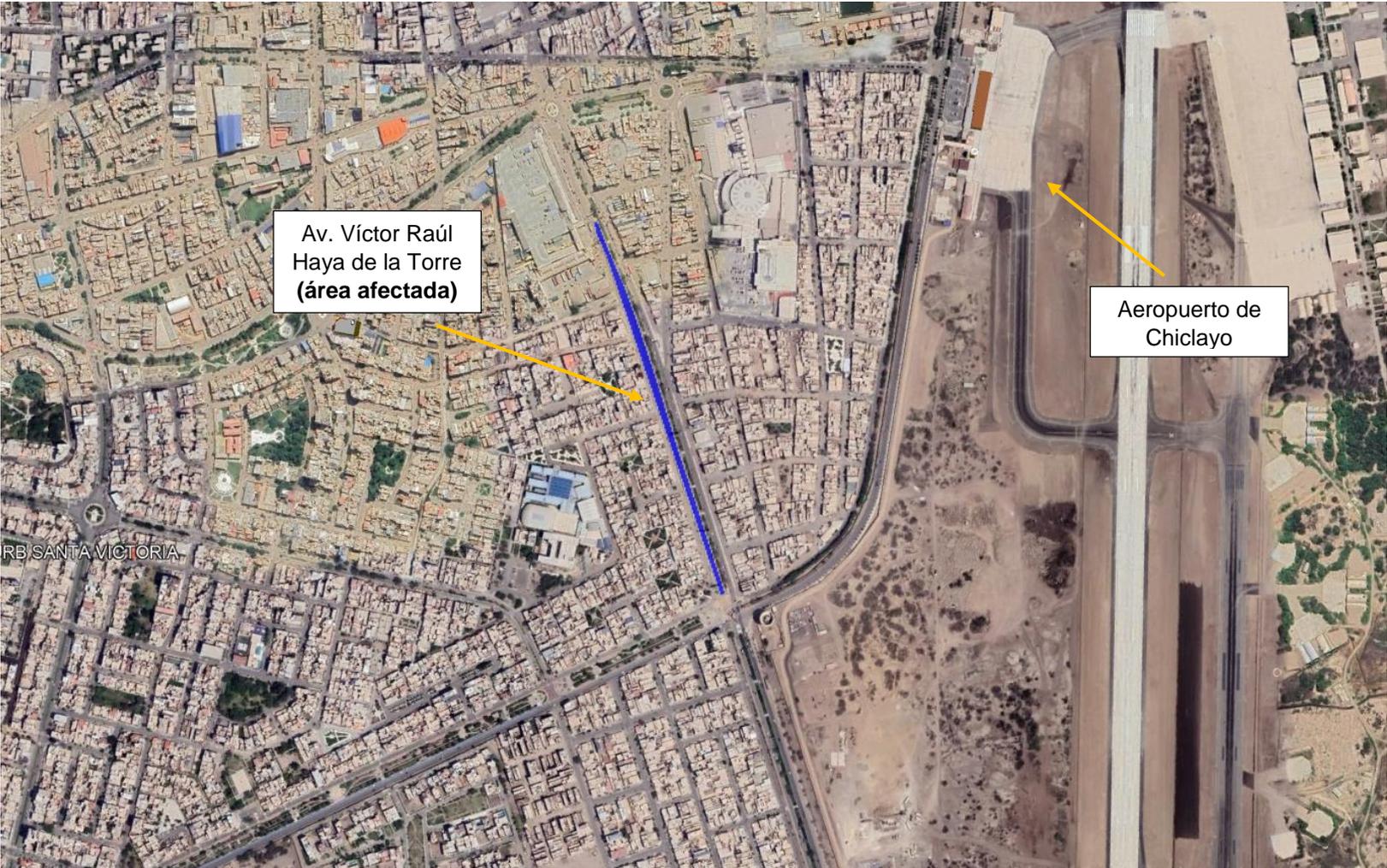
ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO RECICLADO COMO ADICIONADO EN EL DISEÑO DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA SU USO EN PAVIMENTOS - CHICLAYO - PERÚ - 2023

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Diseño e Instrumentos
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General			Partículas chatas y alargadas	NTP 400.040
¿Hasta qué porcentaje de asfalto reciclado caracterizado se puede adicionar en el diseño de concreto hidráulico?	Caracterizar del asfalto reciclado para su adición en el diseño de concreto hidráulico	Caracterizando el asfalto reciclado se puede adicionar hasta un 20% en el diseño de concreto hidráulico		Propiedades físicas	Caras fracturadas	MTC E 210
					Granulometría	NTP 400.012
					Peso unitario	NTP 400.017
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Caracterización del asfalto reciclado		Contenido de asfalto	MTC E 502
¿Cuáles son las propiedades físicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?	Determinar las propiedades físicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos	Las propiedades físicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico		Propiedades mecánicas	Resistencia a la abrasión	NTP 400.019
					Absorción	NTP 400.021
					Durabilidad	NTP 400.016
¿Cuáles son las propiedades mecánicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?	Determinar las propiedades mecánicas del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos	Las propiedades mecánicas son adecuadas al adicionar hasta el 20% de asfalto reciclado en el diseño de concreto hidráulico			Asentamiento	NTP 339.035
¿Cómo influye el asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos en las propiedades físicas y mecánicas?	Determinar la influencia del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos en las propiedades físicas y mecánicas	El asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos disminuye las propiedades físicas y mecánicas	Diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos	Propiedades físicas y mecánicas	Resistencia a la compresión	NTP 339.034
					Resistencia a la flexión	NTP 339.078
¿Cuáles son los costos unitarios del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos?	Determinar el análisis de costos unitarios del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos	El costo unitario del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos es bajo.		Factor económico	Análisis de costos unitarios	Análisis de costos unitarios

Anexo 2. Ubicación de Av. Víctor Raúl Haya de la Torre



Anexo 3. Estado actual de Av. Víctor Raúl Haya de la Torre



Anexo 4. Estado actual de vías de la ciudad de Chiclayo



Anexo 5. Estado actual de botaderos de la ciudad de Chiclayo



Anexo 6. Estudio de tráfico de Av. Víctor Raúl Haya de la Torre

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHASUYO
FECHA: 03/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION 2E
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	
								
07:00 - 08:00 am	288	24	24	28	15	0	6	1
08:00 - 09:00 am	351	24	31	28	21	0	3	3
09:00 - 10:00 am	404	58	39	68	26	0	0	9
10:00 - 11:00 am	630	39	39	45	26	0	12	15
11:00 - 12:00 am	533	92	63	108	41	0	9	5
12:00 - 01:00 pm	524	82	102	97	67	0	3	2
01:00 - 02:00 pm	483	73	47	85	31	0	9	9
02:00 - 03:00 pm	321	48	71	57	46	0	0	6
03:00 - 04:00 pm	478	121	63	142	41	0	0	5
04:00 - 05:00 pm	505	131	110	153	72	0	9	4
05:00 - 06:00 pm	885	126	71	148	46	3	24	3
TOTAL	5402	818	660	959	432	3	75	62

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHASUYO
FECHA: 04/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION 2E
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	
								
07:00 - 08:00 am	281	19	24	23	15	0	0	1
08:00 - 09:00 am	365	34	31	40	21	0	3	4
09:00 - 10:00 am	397	63	24	74	15	0	3	10
10:00 - 11:00 am	652	39	39	45	26	0	12	14
11:00 - 12:00 am	526	92	63	108	41	0	9	5
12:00 - 01:00 pm	542	87	86	102	57	0	0	3
01:00 - 02:00 pm	476	73	47	85	31	0	9	10
02:00 - 03:00 pm	341	58	71	68	46	0	3	8
03:00 - 04:00 pm	482	121	94	142	62	0	0	5
04:00 - 05:00 pm	523	121	110	142	72	0	12	3
05:00 - 06:00 pm	895	131	55	153	36	3	30	3
TOTAL	5480	838	644	982	422	3	81	66

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHASUYO
 FECHA: 05/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	2E
								
07:00 - 08:00 am	248	68	31	80	21	0	12	5
08:00 - 09:00 am	274	87	39	102	26	0	15	6
09:00 - 10:00 am	309	136	55	159	36	0	24	9
10:00 - 11:00 am	411	160	118	188	77	0	27	4
11:00 - 12:00 am	413	150	39	176	26	0	30	7
12:00 - 01:00 pm	321	131	47	153	31	0	12	8
01:00 - 02:00 pm	294	107	31	125	21	0	6	6
02:00 - 03:00 pm	340	92	94	108	62	0	12	5
03:00 - 04:00 pm	432	145	102	171	67	0	12	7
04:00 - 05:00 pm	487	179	134	210	87	0	15	4
05:00 - 06:00 pm	511	218	94	256	62	4	51	9
TOTAL	4040	1473	784	1728	516	4	216	70

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHASUYO
 FECHA: 07/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	2E
								
07:00 - 08:00 am	314	15	39	17	26	0	3	3
08:00 - 09:00 am	380	24	31	28	21	0	0	4
09:00 - 10:00 am	428	58	47	68	31	0	3	6
10:00 - 11:00 am	658	39	39	45	26	0	12	11
11:00 - 12:00 am	571	92	63	108	41	0	9	8
12:00 - 01:00 pm	524	111	118	131	77	0	6	5
01:00 - 02:00 pm	467	73	55	85	36	0	9	4
02:00 - 03:00 pm	299	34	47	40	31	0	0	5
03:00 - 04:00 pm	443	97	55	114	36	0	0	6
04:00 - 05:00 pm	503	92	141	108	93	0	9	3
05:00 - 06:00 pm	873	82	94	97	62	5	24	2
TOTAL	5460	717	729	841	480	5	75	57

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHAISUYO
 FECHA: 08/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	
07:00 - 08:00 am	325	19	16	23	10	0	0	1
08:00 - 09:00 am	373	29	24	34	15	0	6	3
09:00 - 10:00 am	426	48	39	57	26	0	3	10
10:00 - 11:00 am	634	34	63	40	41	0	12	15
11:00 - 12:00 am	546	97	79	114	51	0	9	5
12:00 - 01:00 pm	490	92	94	108	62	0	9	2
01:00 - 02:00 pm	448	63	39	74	26	0	6	7
02:00 - 03:00 pm	285	44	71	51	46	0	0	6
03:00 - 04:00 pm	474	107	47	125	31	0	0	9
04:00 - 05:00 pm	503	102	141	119	93	0	9	5
05:00 - 06:00 pm	845	102	79	119	51	3	18	3
TOTAL	5349	737	692	864	452	3	72	66

CUADRO DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHAISUYO
 FECHA: 09/08/2023

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E	
07:00 - 08:00 am	281	19	16	15	15	0	0	2
08:00 - 09:00 am	333	29	16	15	23	0	3	3
09:00 - 10:00 am	408	48	55	54	38	0	3	8
10:00 - 11:00 am	634	34	31	31	27	0	15	13
11:00 - 12:00 am	529	97	71	69	76	0	9	5
12:00 - 01:00 pm	496	92	110	108	72	0	3	6
01:00 - 02:00 pm	465	63	39	39	49	0	6	7
02:00 - 03:00 pm	298	44	63	62	34	0	0	9
03:00 - 04:00 pm	472	107	55	54	83	0	0	8
04:00 - 05:00 pm	503	102	118	116	80	0	6	8
05:00 - 06:00 pm	504	67	80	121	59	3	9	7
TOTAL	4923	702	654	684	556	3	54	76

CUADRO RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR

UBICACIÓN : AV. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE Y AV. CHINCHASUYO
FECHA:

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MOTOS		BUS		CAMION 2E	TOTAL MAX. VEH. X HORA
		PICK UP	COMBI	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	2 E	>= 3 E		
07:00 - 08:00 am	1737	164	150	186	102	0	21	13	2373
08:00 - 09:00 am	2076	227	172	247	127	0	30	23	2902
09:00 - 10:00 am	2372	411	259	480	172	0	36	52	3782
10:00 - 11:00 am	3619	345	329	394	223	0	90	72	5072
11:00 - 12:00 am	3118	620	378	683	276	0	75	35	5185
12:00 - 01:00 pm	2897	595	557	699	366	0	33	26	5173
01:00 - 02:00 pm	2633	452	258	493	194	0	45	43	4118
02:00 - 03:00 pm	1884	320	417	386	265	0	15	39	3326
03:00 - 04:00 pm	2781	698	416	748	320	0	12	40	5015
04:00 - 05:00 pm	3024	727	754	848	497	0	60	27	5937
05:00 - 06:00 pm	4513	726	473	894	316	21	156	27	7126
TOTAL	30654	5285	4163	6058	2858	21	573	397	50009

TIPO VEHICULO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	TOTAL SEMANA	IMDs	FC	IMDA
AUTO	5460	5349	4923	5402	5480	4040	30654	4380	1	4380
PICK UP	717	737	702	818	838	1473	5285	755	1	755
COMBI	729	692	654	660	644	784	4163	595	1	595
MOTO LINEAL	841	864	684	959	982	1728	6058	866	1	866
MOTO TAXI	480	452	556	432	422	516	2858	409	1	409
BUS DE 2E	5	3	3	3	3	4	21	3	1	3
BUS DE 3E	75	72	54	75	81	216	573	82	1	82
CAMION DE 2E	57	66	76	62	66	70	397	57	1	57
TOTAL	8364	8235	7652	8411	8516	8831	50009	7147		7147



Anexo 7. Informe de ensayo de partículas chatas y alargadas

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS

REFERENCIA NORMATIVA : MTC E 223 **FECHA DE ENSAYO** : 26/11/2023

METODO DE MUESTREO : Mezcla **RESP. LAB.** : S.B.F.

CODIGO INTERNO : CI23-933 **TEC. LAB.** : H.D.R.

CANTERA : -

MATERIAL : Asfalto reciclado

DATOS DEL ENSAYO						
Partículas chatas						
Tamaño del agregado		Muestra total (g)	Partículas chatas	% Partículas chatas	% Parcial	Promedio de partículas chatas
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	816.5	18.5	2.27	100.0	227
		816.5			100.0	227
Promedio de partículas chatas				= 2.3 %		

DATOS DEL ENSAYO						
Partículas alargadas						
Tamaño del agregado		Muestra total (g)	Partículas alargadas	% Partículas alargadas	% Parcial	Promedio de partículas alargadas
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	816.5	41.0	5.02	100.0	502
		816.5			100.0	502
Promedio de partículas alargadas				= 5.0 %		

% Partículas Chatas + % Partículas Alargadas = 7.3

Observaciones:

Anexo 8. Informe de ensayo de granulometría

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adición en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023

TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
Ernesto Joaquín Ramos Escalante

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 400.037

METODO DE MUESTREO : Mezcla

CODIGO INTERNO : CI23-933

CANTERA : -

MATERIAL : Asfalto reciclado

FECHA DE ENSAYO : 26/11/2023

RESP. LAB. : S.B.F.

TEC. LAB. : V.J.L.F.

DATOS DEL ENSAYO

Tamices	Abertura en MM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Huso 57	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100				100.0	100 - 100	Tamaño Máximo 1"
1"	25.400	228.5	7.1	7.1	92.9	95 - 100	Tamaño Máximo Nominal 1/2"
3/4"	19.050	146.0	4.6	11.7	88.3		Peso Inicial Total: 3202.5 gr
1/2"	12.700	816.5	25.5	37.2	62.8	25 - 60	
3/8"	9.525	567.0	17.7	54.9	45.1		
1/4"	6.350						
N° 4	4.760	1444.5	45.1	100.0	0.0	0 - 10	
N° 8	2.380		0.0	100.0	0.0	0 - 5	
N° 10	2.000						
N° 16	1.190						
N° 20	0.840						
N° 30	0.590						
N° 40	0.420						
N° 50	0.297						
N° 60	0.250						
N° 100	0.149						
N° 200	0.074						
PAN							
TOTAL		3202.5					
% PERDIDA							

MALLAS US STANDARD

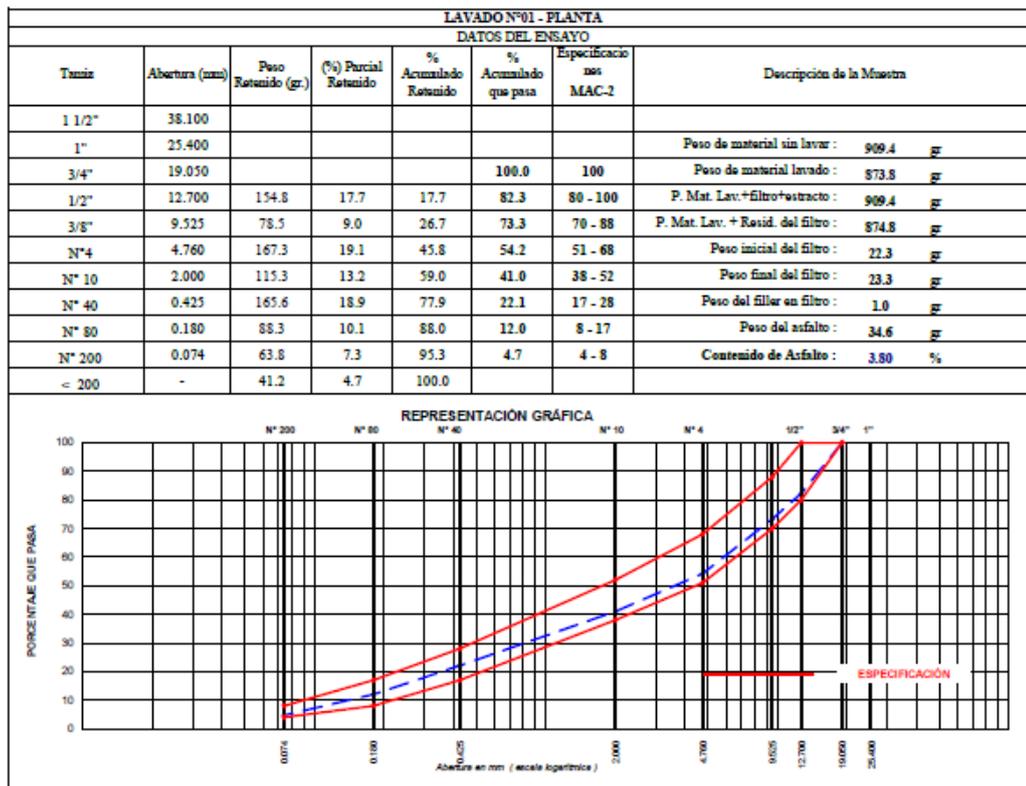
Observaciones:

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Borja Fernández

REG. CTR. 169278

Anexo 9. Informe de ensayo de lavado asfáltico



Anexo 10. Informe de ensayo de resistencia a la abrasión

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 5/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

f Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
wa 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.



INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 400.019 **FECHA DE ENSAYO** : 27/11/2023

METODO DE MUESTREO : Mezcla **RESP. LAB.** : S.B.F.

CODIGO INTERNO : CI23-933 **TEC. LAB.** : V.J.L.F.

CANTERA : -

MATERIAL : Asfalto reciclado

DATOS DEL ENSAYO

Tamiz		A	B	C	D
Pasa	Retiene				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250			
1/2"	3/8"	1250			
3/8"	1/4"				
1/4"	Nº4				
Nº4	Nº8				
Peso total		5000			
Peso retenido tamiz Nº12		3616.5			
Pérdida después del ensayo		1383.5			
Nº de esferas		12			
Peso de las esferas		4944			
Tiempo de rotación (m)		32			
Porcentaje de desgaste (%)		27.7			

Observaciones:





SERVICIOS DE LABORATORIOS
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundino Barja Fernández
 REG. CIP. 169278

Anexo 11. Informe de ensayo de gravedad específica y absorción

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.					
Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465					
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos  948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250 E-mail: servicios.lab20@gmail.com .					
INFORME DE ENSAYO					
METODO DE ENSAYO	: PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS				
TESIS	: Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023				
TESISTAS	: Ernesto Rafael Castillo Montenegro : Ernesto Joaquín Ramos Escalante				
REFERENCIA NORMATIVA	: NTP 400.021	FECHA DE ENSAYO : 27/11/2023			
METODO DE MUESTREO	: Mezcla	RESP. LAB. : S.B.F.			
CODIGO INTERNO	: CI23-933	TEC. LAB. : V.J.L.F.			
CANTERA	: -				
MATERIAL	: Asfalto reciclado				
DATOS DEL ENSAYO					
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	781.50	775.30		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	464.50	459.30		
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B (gr)	317.00	316.00		
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	771.50	765.60		
E	Vol. de masa = C - (A - D) (gr)	307.0	306.3		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.434	2.423		2.428
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.465	2.453		2.459
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.513	2.500		2.506
	% de absorción = ((A - D) / D * 100)	1.296	1.267		1.28%
Observaciones:					
					

Anexo 12. Diseño de mezcla de concreto patrón



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS SAC

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO $F'c = 280 \text{ KG/CM}^2$ (CEMENTO TIPO MS) – DISEÑO CONVENCIONAL

TESIS:

**"CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO
RECICLADO COMO ADICIONADO EN EL
DISEÑO DE CONCRETO HIDRAÚLICO PARA
SU USO EN PAVIMENTOS – CHICLAYO –
PERÚ - 2023".**

TESISTAS:

**Ernesto Rafael Castillo Montenegro
Ernesto Joaquín Ramos Escalante**

SETIEMBRE 2023

Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)



Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos



948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)
 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP ASFALTOS
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

METODO DE ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO NORMAL CON CEMENTO PORTLAND
TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adición en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023
REFERENCIA NORMATIVA : ACI COMITÉ 211 **FECHA DE ENSAYO :** 7/09/2023
METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera **RESP. LAB. :** S.B.F.
RESISTENCIA : f_c=280 Kg/cm² - Convencional **TEC. LAB. :** V.J.L.F.
TIPO DE CEMENTO : Cemento Tipo MS
TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
 Ernesto Joaquín Ramos Escalante

METODO DE DISEÑO: ACI COMITÉ 211		
RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPECIFICADA A LOS 28 DIAS	ASENTAMIENTO (SLUMP) :	3"- 4"
	PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO (PC):	2.98

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS		AGREGADOS	
		FINO (F)	GRUESO (G)
1	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (SATURADO SUPERFIC. SECA)	2.596	2.659
2	PESO UNITARIO SUELTO SECO	1466.00	1372.0
3	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO		1452.0
4	PORCENTAJE DE ABSORCION	1.33	0.4
5	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.67	0.21
6	MODULO DE FINEZA	2.92	
7	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	Fulg.	1/2

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		FORMULAS	VALORES
A	ASENTAMIENTO-REVENIMIENTO (SLUMP)	A	
B	VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA	B	218.0
C	PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	C	2.60
D	RELACION AGUA - CEMENTO	D	0.46
E	VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO POR M3	E	0.64
H	PESO DEL CEMENTO	H	B/D
I	PESO SECO DEL AGREGADO GRUESO	I	20"E
J	VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO	J	H/(PC*1000)
K	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGUA	K	B/1000
L	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AIRE	L	C/100
M	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO	M	I/(G*1000)
N	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO	N	1-(J+K+L+M)
O	PESO SECO DEL AGREGADO FINO	O	N*(1F*1000)
P	PESO DEL AGREGADO FINO HUMEDO	P	O*(1+4F/100)
Q	PESO DEL AGREGADO GRUESO HUMEDO	Q	I*(1+4G/100)
R	HUMEDAD SUPERFICIAL DEL AGREGADO FINO	R	4F-3F
S	HUMEDAD SUPERFICIAL DEL AGREGADO GRUESO	S	4G-3G
T	APORTE DE AGUA DEL AGREGADO FINO	T	O*(R/100)
U	APORTE DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO	U	I*(S/100)
V	APORTE DE AGUA DE LOS AGREGADOS	V	T+U
W	AGUA EFECTIVA	W	B-V

VALORES DE DISEÑO POR METRO CUBICO DE MEZCLA (SECO)							
CEMENTO :	480 Kg	AGUA :	218 Lt	AGREG. FINO :	784 Kg	AGREG. GRUESO :	787 Kg.

VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS							
CEMENTO :	480 Kg	AGUA :	210 Lt	AGREG. FINO :	790 Kg	AGREG. GRUESO :	788 Kg.

PROPORCIONES DE MEZCLA DE DISEÑO								
COMPONENTES DEL CONCRETO	PROPORCION EN PESO				PROPORCION EN VOLUMEN			
	SECO		CORREGIDA POR HUMED.		SECO		CORREGIDA POR HUMED.	
CEMENTO	1		1		1		1	
AGREGADO FINO	1.8		1.8		1.7		1.7	
AGREGADO GRUESO	1.8		1.8		1.8		1.8	
AGUA (En litros/bol.)	18.1		18.8		18.1		18.8	
El Nuevo Rendimiento Teórico es:	11.3							
Agregado grueso: T. Max. Nominal (")	1/2							

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 CHICLAYO - PERU
 RUC: 201101000000



INFORME DE ENSAYO

TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
: Ernesto Joaquín Ramos Escalante

TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para
: su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023

UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque

TIPO DE PRODUCTO : Agregados

FECHA : 5/09/2023

FECHA DE EMISION : 13/09/2023

ING. ESPECIALISTA : Secundino Burga Fernandez

TECNICO LABORATORIO : Victor Javier Leiva Fernandez

NOTA :

- * El certificado corresponde única y exclusivamente a la muestra emitida.
- * Las copias de este ensayo no son válidas sin la autorización del laboratorio.
- * Este informe es imparcial y confidencial, lo cual esta destinado única y exclusivamente al cliente.
- * Nuestro laboratorio no ha sido responsable de la etapa de muestreo (el solicitante brindo toda la información), por lo que salimos de toda responsabilidad por cuestiones que afecten la validez de los resultados.

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundino Burga Fernandez
REC-001-10228

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 339.127 - 1998 (revisada el 2019)

METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera

FECHA DE ENSAYO : 6/09/2023

CODIGO INTERNO : S/C

RESP. LAB. : S.B.F.

CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe

TEC. LAB. : V.J.L.F.

MATERIAL : Agregado Grueso

Descripcion	1		
Peso de tara	122		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1108		
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1106		
Peso del agua contenida (gr)	2		
Peso de la muestra seca (gr)	984		
Contenido de Humedad (%)	0.21		

Observaciones del ensayo

- * Muestra disturbada
- * Pesado constante : 2 horas
- * Horno controlado a : 110 ±5°C
- * Exclusión de algún material : No
- * Más de un tipo de material : No

SERVICIOS DE LABORATORIOS
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Centenario Raúl Fernández
 RUC: 20487357465

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Russo Lote 1.5/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 400.037

FECHA DE ENSAYO : 6/09/2023

METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera

RESP. LAB. : S.B.F.

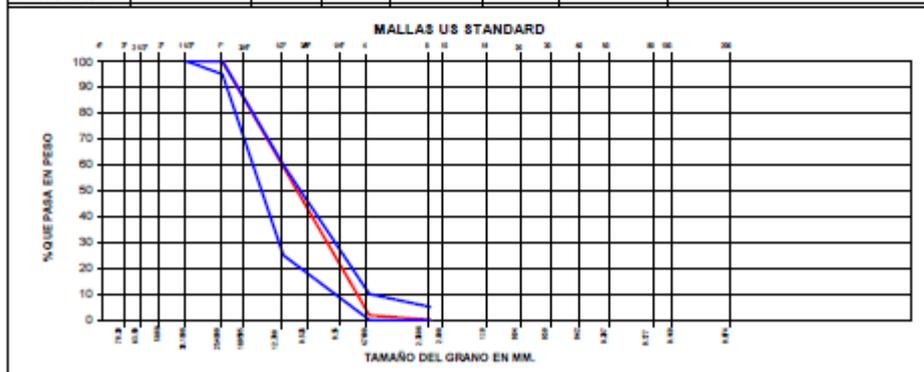
CODIGO INTERNO : S/C

TEC. LAB. : V.J.L.F.

CANTERA : Tres tomas - Ferrelafte

MATERIAL : Agregado Grueso

DATOS DEL ENSAYO							
Tamices	Abertura en MM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Haso 57	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100				100.0	100 - 100	Tamaño Máximo 1"
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	95 - 100	Tamaño Máximo Nominal 1/2"
3/4"	19.050						Peso Inicial Total: 8953.0 gr
1/2"	12.700	3656.0	40.8	40.8	59.2	25 - 60	
3/8"	9.525	2545.0	28.4	69.3	30.7		
1/4"	6.350						
Nº 4	4.760	2589.0	28.9	98.2	1.8	0 - 10	
Nº 8	2.380	163.0	1.8	100.0	0.0	0 - 5	
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.590						
Nº 40	0.420						
Nº 50	0.297						
Nº 60	0.250						
Nº 100	0.149						
Nº 200	0.074						
PAN							
TOTAL		8953					
% PERDIDA							



Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Centenario, BARRIO Ferrelafte, Chiclayo - PERU
 RUC: 20487357465

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 15/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : PESOS UNITARIOS - SECO

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 400.017

FECHA DE ENSAYO : 6/09/2023

METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera

RESP. LAB. : S.B.F.

CODIGO INTERNO : S/C

TEC. LAB. : V.J.L.F.

CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe

MATERIAL : Agregado Grueso

Peso unitario suelto					
		Identificación			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(gr)	18437	18430	18435	
Peso del recipiente	(gr)	6236	6236	6236	
Peso de la muestra	(gr)	12201	12194	12199	
Volumen	(cm ³)	8888	8888	8888	
Peso unitario suelto seco	(gr/cm ³)	1.373	1.372	1.373	
Contenido de humedad	(%)	0.000	0.000	0.000	
Peso unitario suelto seco	(kg/m ³)	1373	1372	1373	1372

Peso unitario compactado					
		Identificación			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(gr)	19235	19233	19234	
Peso del recipiente	(gr)	6236	6236	6236	
Peso de la muestra	(gr)	12999	12997	12998	
Volumen	(cm ³)	8888	8888	8888	
Peso unitario compactado seco	(gr/cm ³)	1.463	1.462	1.462	
Contenido de humedad	(%)	0.000	0.000	0.000	
Peso unitario compactado seco	(kg/m ³)	1463	1462	1462	1462

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundario, Pedro Fernández
REC. 374-153-08

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

REFERENCIA NORMATIVA : NTP 400.021 **FECHA DE ENSAYO** : 7/09/2023

METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera **RESP. LAB.** : S.B.F.

CODIGO INTERNO : S/C **TEC. LAB.** : V.J.L.F.

CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe

MATERIAL : Agregado Grueso

DATOS DEL ENSAYO

A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	1003.50	1004.60		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	627.30	628.40		
C	Vol. de masa + vol de vacíos = A-B (gr)	376.20	376.20		
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	999.80	1000.90		
E	Vol. de masa = C - (A - D) (gr)	372.5	372.5		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.658	2.661		2.659
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.667	2.670		2.669
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.684	2.687		2.686
	% de absorción = $((A - D) / D * 100)$	0.370	0.370		0.37%

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
CANTERA: Ferreñafe
REC. 2023.07.07

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongacion Bolognesi)

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO *

TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023

TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
Ernesto Joaquín Ramos Escalante

REFERENCIA NORMATIVA : MTC E 204

METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera

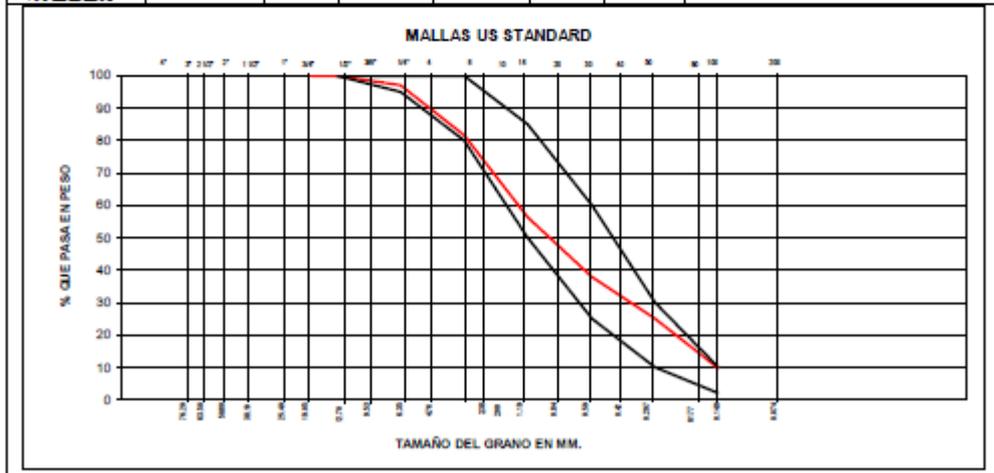
CODIGO INTERNO : M23-499

CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe

MATERIAL : Agregado Fino

FECHA DE ENSAYO : 5/08/2023
RESP. LAB. : S.B.F.
TEC. LAB. : V.J.L.F.

DATOS DEL ENSAYO							DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Tamices	Abertura en MM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	
ASTM	76.200						
3"	63.500						
2 1/2"	50.800						
2"	38.100						
1 1/2"	25.400						
1"	19.050						
3/4"	12.700					100	
3/8"	9.525				100.0		
1/4"	6.350				100		
N° 4	4.760	25.0	2.9	2.9	97.1	95 - 100	MODULO DE FINEZA : 2.92
N° 8	2.380	131.2	15.4	18.4	81.6	80 - 100	
N° 10	2.000						PESO HUMEDO : 858.1 gr
N° 16	1.190	215.0	25.3	43.7	56.3	50 - 85	PESO SECO : 822.4 gr
N° 20	0.840						Cont. Humedad : 0.67
N° 30	0.590	157.5	18.5	62.2	37.8	25 - 60	
N° 40	0.420						
N° 50	0.297	109.2	12.8	75.0	25.0	10 - 30	
N° 60	0.250						
N° 100	0.149	130.0	15.3	90.3	9.7	2 - 10	
N° 200	0.074	65.0	7.6	97.9	2.1		
PAN		17.4	2.1	100.0	0.0		
TOTAL							
% PERDIDA							



Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Chiclayo - Perú
 REG. MTC N° 12078

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP ASFALTOS

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO	: PESOS UNITARIOS - SECO	
TESIS	: Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023	
TESISTAS	: Ernesto Rafael Castillo Montenegro Ernesto Joaquín Ramos Escalante	
REFERENCIA NORMATIVA	: NTP 400.017	FECHA DE ENSAYO : 5/08/2023
METODO DE MUESTREO	: Agregados en Cantera	RESP. LAB. : S.B.F.
CODIGO INTERNO	: M23-499	TEC. LAB. : V.J.L.F.
CANTERA	: Tres tomas - Ferreñafe	
MATERIAL	: Agregado Fino	

Peso unitario suelto					
		Identificación			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(gr)	19271	19268	19265	
Peso del recipiente	(gr)	6236	6236	6236	
Peso de la muestra	(gr)	13035	13032	13029	
Volumen	(cm ³)	8888	8888	8888	
Peso unitario suelto seco	(gr/cm ³)	1.467	1.466	1.466	
Contenido de humedad	(%)	0.000	0.000	0.000	
Peso unitario suelto seco	(gr/cm ³)	1467	1466	1466	1466

Peso unitario compactado					
		Identificación			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(gr)	20920	20930	20925	
Peso del recipiente	(gr)	6236	6236	6236	
Peso de la muestra	(gr)	14684	14694	14689	
Volumen	(cm ³)	8888	8888	8888	
Peso unitario compactado seco	(gr/cm ³)	1.652	1.653	1.653	
Contenido de humedad	(%)	0.000	0.000	0.000	
Peso unitario compactado seco	(gr/cm ³)	1652	1653	1653	1653

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 CHICLAYO - PERU
 RUC: 201601000000
 D.L. 2725

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : EQUIVALENTE DE ARENA
TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023
TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
 : Ernesto Joaquín Ramos Escalante
REFERENCIA NORMATIVA : NTP 339.146 **FECHA DE ENSAYO** : 5/08/2023
METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera **RESP. LAB.** : S.B.F.
CODIGO INTERNO : M23-499 **TEC. LAB.** : V.J.L.F.
CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe
MATERIAL : Agregado Fino

DATOS DEL ENSAYO

Muestra	01	02	03		
Hora de entrada	10:11:00	10:13:00	10:15:00		
Hora de salida	10:21:00	10:23:00	10:25:00		
Hora de entrada	10:23:00	10:25:00	10:27:00		
Hora de salida	10:43:00	10:45:00	10:47:00		
Altura de nivel Material fino (A)	4.8	4.7	4.8		
Altura de nivel Arena (B)	3.6	3.6	3.6		
Equivalente de arena (B x 100/A)	75.0%	76.6%	75.0%		
Promedio		76%			

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 CHICLAYO - PERU

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)

 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS
TESIS : Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023
TESISTAS : Ernesto Rafael Castillo Montenegro
 Ernesto Joaquín Ramos Escalante
REFERENCIA NORMATIVA : MTC E 205 **FECHA DE ENSAYO** : 6/08/2023
METODO DE MUESTREO : Agregados en Cantera **RESP. LAB.** : S.B.F.
CODIGO INTERNO : M23-499 **TEC. LAB.** : V.J.L.F.
CANTERA : Tres tomas - Ferreñafe
MATERIAL : Agregado Fino

DATOS DEL ENSAYO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)	300.00	300.00		
B	Peso Frasco + agua	695.10	694.20		
C	Peso Frasco + agua + A (gr)	995.10	994.20		
D	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)	881.00	880.20		
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D (gr)	114.10	114.00		
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	296.00	296.10		
G	Vol de masa = E - (A - F) (gr)	110.10	110.10		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.594	2.597		2.596
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.629	2.632		2.630
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.688	2.689		2.689
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	1.351	1.317		1.33%

Observaciones:



SERVICIOS DE LABORATORIOS
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 CHICLAYO - PERU
 TEL: 948 852 622



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 5/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com.

INFORME DE ENSAYO CI24-431 R00

PROYECTO (**)	: Caracterización del Asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023		
UBICACIÓN (**)	: Chiclayo - Lambayeque		
CLIENTE (**)	: Ernesto Castillo Montenegro y Ernesto Ramos Escalante	FECHA DE MUESTREO (**)	: 10/05/2024
CANTERA (**)	: Ravelo	MUESTREADO POR (**)	: -
MATERIAL (**)	: Agregado Fino	FECHA DE RECEPCION :	10/05/2024
CODIGO DE MUESTRA (**)	: MID4-0422	FECHA DE ENSAYO :	10/05/2024
TECNICO ENCARGADO	: Moises Anderson Vasquez Vasquez	FECHA DE EMISION :	24/05/2024

AGREGADOS. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto

NTP 400.024:2020

Color Gardner Standard No.	Placa orgánica No.	Placa orgánica de colores
5	1	
8	2	
11	3 (standard)	
13	4	
16	5	

Conclusión: El color del líquido por encima de muestra de arena se asemeja mas al color N°01.


 SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Supervisor de Laboratorio
 REG. STA. 141278



Revisado y aprobado.

- * El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.
- * El informe de ensayo no puede ser reproducido de manera total o parcial sin autorización escrita del laboratorio de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos. Asimismo, este informe no tiene validez sin la firma del Supervisor de laboratorio en todo el documento.
- * Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.
- (**) Información proporcionado por el cliente.



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP ASFALTOS
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO CI/4-431 R00

PROYECTO (**)	Caracterización del Asfalto reciclado como adición en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023		
UBICACIÓN (**)	Chiclayo - Lambayeque		
CLIENTE (**)	Ernesto Castillo Montenegro y Ernesto Ramos Escalante	FECHA DE MUESTREO (**)	10/05/2024
CANTERA (**)	Tres Tomas	MUESTREADO POR (**)	-
MATERIAL (**)	Agregado grueso	FECHA DE RECEPCION :	10/05/2024
CODIGO DE MUESTRA (**)	MD4-0733	FECHA DE ENSAYO :	13/05/2024
TECNICO ENCARGADO	Moises Anderson Vasquez Vasquez	FECHA DE EMISION :	24/05/2024

AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

NTP 400.016:2020

DATOS DEL ENSAYO

Tamaño del agregado		Gradación original %		Masa de fracción ensayada (g)	Masa retenido después del ensayo (g)	Pérdida después del ensayo (g)	Pérdida después del ensayo (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	Peso retenido (g)	% retenido					
			A	B	C	D	E	F
2 1/2 in.	2 in.							
2 in.	1 1/2 in.							
1 1/2 in.	1 in.							
1 in.	3/4 in.							
3/4 in.	1/2 in.	670	51,5	670,0	526,4	143,6	21,4	11,05
1/2 in.	3/8 in.	330	25,4	330,0	171,6	158,4	48,0	12,18
3/8 in.	No. 4	300	23,1	300,0	239,0	61,0	20,3	4,69
	< No. 4							
Suma total		1300	100	2300				27,92

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Supervisado: Moises Anderson Vasquez Vasquez
 REG. 016 10278



Revisado y aprobado.

* El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.

* El informe de ensayo no puede ser reproducido de manera total o parcial sin autorización escrita del laboratorio de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos. Asimismo, este informe no tiene validez sin la firma del Supervisor de laboratorio en todo el documento.

* Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.

(**) Información proporcionado por el cliente.

Fin del documento

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465



Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos



948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO CI24-431 R00

PROYECTO (**)	: Caracterización del Asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023		
UBICACIÓN (**)	: Chiclayo - Lambayeque		
CLIENTE (**)	: Ernesto Castillo Montenegro y Ernesto Ramos Escalante	FECHA DE MUESTREO (**)	: 10/05/2024
CANTERA (**)	: Tres Tomas	MUESTREADO POR (**)	: -
MATERIAL (**)	: Agregado Fino	FECHA DE RECEPCION	: 10/05/2024
CODIGO DE MUESTRA (**)	: M24-0732	FECHA DE ENSAYO	: 10/05/2024
TECNICO ENCARGADO	: Moises Anderson Vasquez Vasquez	FECHA DE EMISION	: 24/05/2024

AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio NTP 400.016:2020

DATOS DEL ENSAYO

Tamaño del agregado		Gradación original %		Masa de fracción ensayada (g)	Masa retenido después del ensayo (g)	Pérdida después del ensayo (g)	Pérdida después del ensayo (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	Masa retenido (g)	% retenido					
			A	B	C	D	E	F
3/8 in.	No. 4							
No. 4	No. 8	29,50	6,2	100,0	43,8	56,2	56,2	3,49
No. 8	No. 16	82,30	17,3	100,0	75,2	24,8	24,8	4,30
No. 16	No. 30	191,50	40,3	100,0	79,3	20,7	20,7	8,34
No. 30	No. 50	118,90	25,0	100,0	76,6	23,4	23,4	5,86
No. 50	No. 100	52,90	11,1	100,0	80,8	19,2	19,2	2,14
No. 100	No. 200							
	<No. 200							
Suma total		475,1	100					24,12

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Buenos Aires, Perú
RUC: 20487357465



Revisado y aprobado.

* El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.

* El informe de ensayo no puede ser reproducido de manera total o parcial sin autorización escrita del laboratorio de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos. Asimismo, este informe no tiene validez sin la firma del Supervisor de laboratorio en todo el documento.

* Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.

(**) Información proporcionado por el cliente.



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

 Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
 948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250
 E-mail: servicios.lab20@gmail.com

INFORME DE ENSAYO CI24-431 R00

PROYECTO (**)	Caracterización del Asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos - Chiclayo - Perú - 2023		
UBICACIÓN (**)	Chiclayo - Lambayeque		
CLIENTE (**)	Ernesto Castillo Montenegro y Ernesto Ramos Escalante	FECHA DE MUESTREO (**)	10/05/2024
CANTERA (**)	Tres Tomas	MUESTREO POR (**)	-
MATERIAL (**)	Agregado Fino	FECHA DE RECEPCION	10/05/2024
CODIGO DE MUESTRA (**)	MD4-0732	FECHA DE ENSAYO	10/05/2024
TECNICO ENCARGADO	Moises Anderson Vasquez Vasquez	FECHA DE EMISION	24/05/2024

Materia orgánica en suelos (perdida por ignición) MTC E 118

DATOS DE ENSAYO

Nº de ensayo	1	2	
Hora de entrada	08:20	08:40	
Hora de salida	14:20	14:40	
1 Masa de muestra seca + recipiente	151,43	80,84	
2 Masa de muestra seca + recipiente después del ensayo	149,97	80,13	
3 Masa de recipiente	90,83	50,25	
4 Masa de muestra inicial	60,60	30,59	
5 Masa de muestra final	59,14	29,88	
6 Contenido materia orgánica	1,46	0,71	
7 % Materia orgánica	2,41	2,32	
% Promedio materia orgánica	2,37		%


 SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundario: Pedro Fernández
 RUC: 20487357465



Revisado y aprobado.

* El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.

* El informe de ensayo no puede ser reproducido de manera total o parcial sin autorización escrita del laboratorio de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos. Asimismo, este informe no tiene validez sin la firma del Supervisor de laboratorio en todo el documento.

* Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.

(**) Información proporcionado por el cliente.

Anexo 13. Análisis de granulometría combinada

Granulometría del agregado grueso + asfalto reciclado							
Contenido		% Porcentaje que pasa (HUSO 57)					Condicion
Asfalto reciclado	Agregado grueso natural	38.100 1 1/2"	25.4 1"	12.7 1/2"	4.76 N° 4	2.38 N° 8	
0%	100%	100.0	100.0	59.2	1.8	0.0	Cumple
5%	95%	100.0	99.6	59.3	1.7	0.0	Cumple
10%	90%	100.0	99.3	59.5	1.6	0.0	Cumple
15%	85%	100.0	98.9	59.7	1.5	0.0	Cumple
20%	80%	100.0	98.6	59.9	1.5	0.0	Cumple
25%	75%	100.0	98.2	60.1	1.4	0.0	No cumple
ESPECIFICACION		100	95 a 100	25 a 60	0 a 10	0 a 5	

Anexo 14. Informe de resultados de resistencia a la compresión a 7 días

PROBETA		FECHA (**)		EDAD (días)(*)	f'c (kg/cm ²) (**)	CODIGO ÚNICO	LONGITUD (mm)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD DIAMETRO	FACTOR DE CORRECCION	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034 - FIGURA 2)
No.	ESTRUCTURA (**)	MOLDEO	ROTURA									kN	kN/cm ²	kg/cm ²	MPa	%	
1	Patrón	8/09/2023	15/09/2023	7	280	CI23-618	205.4	101.1	2.03	1.00	8027.7	175.0	2.180	222.3	21.8	79.4	Tipo 3
2	Patrón	8/09/2023	15/09/2023	7	280	CI23-618	205.8	100.7	2.04	1.00	7964.3	179.4	2.253	229.7	22.5	82.0	Tipo 3
3	Patrón	8/09/2023	15/09/2023	7	280	CI23-618	205.7	100.8	2.04	1.00	7980.1	176.8	2.215	225.9	22.2	80.7	Tipo 3
4	5% RAP	9/09/2023	16/09/2023	7	280	CI23-618	203.8	100.9	2.02	1.00	7996.0	174.8	2.186	222.9	21.9	79.6	Tipo 3
5	5% RAP	9/09/2023	16/09/2023	7	280	CI23-618	203.8	100.4	2.03	1.00	7916.9	173.1	2.186	223.0	21.9	79.6	Tipo 2
6	5% RAP	9/09/2023	16/09/2023	7	280	CI23-618	203.8	100.6	2.03	1.00	7948.5	175.5	2.208	225.2	22.1	80.4	Tipo 3
7	10% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.4	100.1	2.04	1.00	7869.7	170.8	2.170	221.3	21.7	79.0	Tipo 3
8	10% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.4	100.4	2.04	1.00	7916.9	172.1	2.174	221.7	21.7	79.2	Tipo 3
9	10% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.6	100.4	2.04	1.00	7916.9	172.8	2.183	222.6	21.8	79.5	Tipo 3
10	15% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.1	100.2	2.04	1.00	7885.4	166.3	2.109	215.1	21.1	76.8	Tipo 2
11	15% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.3	100.1	2.04	1.00	7869.7	174.7	2.220	226.4	22.2	80.8	Tipo 2
12	15% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	280	CI23-618	204.2	100.4	2.03	1.00	7916.9	171.4	2.165	220.8	21.6	78.8	Tipo 3
13	20% RAP	15/09/2023	22/09/2023	7	280	CI23-618	201.2	102.2	1.97	1.00	8203.4	162.7	1.983	202.2	19.8	72.2	Tipo 2
14	20% RAP	15/09/2023	22/09/2023	7	280	CI23-618	201.3	102.3	1.97	1.00	8219.4	157.6	1.917	195.5	19.2	69.8	Tipo 3
15	20% RAP	15/09/2023	22/09/2023	7	280	CI23-618	201.4	102.1	1.97	1.00	8187.3	156.1	1.907	194.4	19.1	69.4	Tipo 2

Observaciones:
 (*) Se informará en horas cuando la edad sea inferior a tres días.
 * Los especímenes llegaron en la fecha que se realizó la rotura, ya que la edad especificada fue precisada por el solicitante.
 * Estado de la muestra: Óptimo.
 * Densidad: No requerida.
 * El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.
 * Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio.
 * Este informe de ensayo es imparcial, confidencial, estando destinado única y exclusivamente al cliente.
 (**) Datos proporcionados por el cliente.

Los ensayos de las muestras se realizaron en las instalaciones de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC, ubicado en Av. Vicente Ruzo Lote 1 S/N - Fundo el Cerrito (paralela a la Av. Arequipa intersección con Prolongación Bolognesi) - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque.



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundino Buga Fernández
 REG. CTR. 145278
 Autorizado por: Ing. Secundino Buga Fernández

Fin de documento

Anexo 15. Informe de resultados de resistencia a la compresión a 14 días

PROBETA		FECHA (**)		EDAD (días)(*)	f _c (kg/cm ²)(**)	CODIGO ÚNICO	LONGITUD (mm)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD/DIAMETRO	FACTOR DE CORRECCIÓN	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034 - FIGURA 2)
No.	ESTRUCTURA (**)	MOLDEO	ROTURA									kN	kN/cm ²	kg/cm ²	MPa	%	
1	Patrón	8/09/2023	22/09/2023	14	280	CI23-693	201.2	102.3	1.97	1.00	8219.4	242.3	2.948	300.6	29.5	107.4	Tipo 2
2	Patrón	8/09/2023	22/09/2023	14	280	CI23-693	201.4	102.3	1.97	1.00	8219.4	236.6	2.879	293.5	28.8	104.8	Tipo 2
3	Patrón	8/09/2023	22/09/2023	14	280	CI23-693	201.3	102.3	1.97	1.00	8219.4	239.3	2.911	296.9	29.1	106.0	Tipo 2
4	5% RAP	9/09/2023	23/09/2023	14	280	CI23-693	201.4	102.3	1.97	1.00	8219.4	232.3	2.826	288.2	28.3	102.9	Tipo 2
5	5% RAP	9/09/2023	23/09/2023	14	280	CI23-693	201.9	102.3	1.97	1.00	8219.4	227.0	2.762	281.6	27.6	100.6	Tipo 3
6	5% RAP	9/09/2023	23/09/2023	14	280	CI23-693	201.6	102.3	1.97	1.00	8219.4	227.8	2.771	282.6	27.7	100.9	Tipo 3
7	10% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.4	102.3	1.98	1.00	8219.4	219.4	2.669	272.2	26.7	97.2	Tipo 5
8	10% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.4	102.3	1.98	1.00	8219.4	218.3	2.656	270.8	26.6	96.7	Tipo 5
9	10% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.3	102.2	1.98	1.00	8203.4	217.1	2.646	269.9	26.5	96.4	Tipo 5
10	15% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.5	102.4	1.98	1.00	8235.5	211.6	2.569	262.0	25.7	93.6	Tipo 2
11	15% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.3	102.4	1.98	1.00	8235.5	211.0	2.562	261.3	25.6	93.3	Tipo 3
12	15% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	280	CI23-693	202.4	102.3	1.98	1.00	8219.4	208.9	2.542	259.2	25.4	92.6	Tipo 3
13	20% RAP	15/09/2023	29/09/2023	14	280	CI23-693	201.5	102.4	1.97	1.00	8235.5	187.3	2.274	231.9	22.7	82.8	Tipo 2
14	20% RAP	15/09/2023	29/09/2023	14	280	CI23-693	201.5	102.5	1.97	1.00	8251.6	187.1	2.267	231.2	22.7	82.6	Tipo 3
15	20% RAP	15/09/2023	29/09/2023	14	280	CI23-693	201.5	102.5	1.97	1.00	8251.6	187.3	2.270	231.5	22.7	82.7	Tipo 2

Observaciones:
 (*) Se informará en horas cuando la edad sea inferior a tres días.
 * Los especímenes llegaron en la fecha que se realizó la rotura, ya que la edad especificada fue precisada por el solicitante.
 * Estado de la muestra: Óptimo.
 * Densidad: No requerida.
 * El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.
 * Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio.
 * Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.
 (**) Datos proporcionados por el cliente.

* Los ensayos de las muestras se realizaron en las instalaciones de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC, ubicado en Av. Vicente Russo Lote 1 S/N - Fundo el Cerrito (paralela a la Av. Arequipa intersección con Prolongación Bolognesi) - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque.

Fin de documento



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundino Burga Fernández
 REG. CTR 145378

Autorizado por: Ing. Secundino Burga Fernández

Anexo 16. Informe de resultados de resistencia a la compresión a 28 días

PROBETA		FECHA (**)		EDAD (días)(*)	f _c (kg/cm ²)(**)	CODIGO ÚNICO	LONGITUD (mm)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD/DIAMETRO	FACTOR DE CORRECCIÓN	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					TIPO DE FRACTURA (NTP 339.034 - FIGURA 2)
No.	ESTRUCTURA (**)	MOLDEO	ROTURA									kN	kN/cm ²	kg/cm ²	MPa	%	
1	Patrón	8/09/2023	6/10/2023	28	280	CI23-694	201.4	102.3	1.97	1.00	8219.4	264.6	3.219	328.3	32.2	117.2	Tipo 3
2	Patrón	8/09/2023	6/10/2023	28	280	CI23-694	201.1	102.3	1.97	1.00	8219.4	282.5	3.437	350.5	34.4	125.2	Tipo 2
3	Patrón	8/09/2023	6/10/2023	28	280	CI23-694	201.3	102.3	1.97	1.00	8219.4	273.7	3.330	339.6	33.3	121.3	Tipo 3
4	5% RAP	9/09/2023	7/10/2023	28	280	CI23-694	201.3	102.3	1.97	1.00	8219.4	264.2	3.214	327.8	32.1	117.1	Tipo 2
5	5% RAP	9/09/2023	7/10/2023	28	280	CI23-694	201.5	102.5	1.97	1.00	8251.6	265.9	3.222	328.6	32.2	117.4	Tipo 3
6	5% RAP	9/09/2023	7/10/2023	28	280	CI23-694	201.4	102.4	1.97	1.00	8235.5	265.2	3.220	328.4	32.2	117.3	Tipo 3
7	10% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	201.4	102.2	1.97	1.00	8203.4	250.2	3.050	311.0	30.5	111.1	Tipo 2
8	10% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	202.5	102.5	1.98	1.00	8251.6	238.6	2.892	294.9	28.9	105.3	Tipo 3
9	10% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	202.5	102.4	1.98	1.00	8235.5	244.2	2.965	302.4	29.7	108.0	Tipo 3
10	15% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	201.3	102.4	1.97	1.00	8235.5	235.0	2.854	291.0	28.5	103.9	Tipo 2
11	15% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	201.4	102.4	1.97	1.00	8235.5	234.5	2.847	290.4	28.5	103.7	Tipo 2
12	15% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	280	CI23-694	201.5	102.5	1.97	1.00	8251.6	233.6	2.831	288.7	28.3	103.1	Tipo 3
13	20% RAP	15/09/2023	13/10/2023	28	280	CI23-694	201.3	102.4	1.97	1.00	8235.5	200.8	2.438	248.6	24.4	88.8	Tipo 3
14	20% RAP	15/09/2023	13/10/2023	28	280	CI23-694	201.4	102.3	1.97	1.00	8219.4	199.2	2.424	247.1	24.2	88.3	Tipo 2
15	20% RAP	15/09/2023	13/10/2023	28	280	CI23-694	201.3	102.3	1.97	1.00	8219.4	199.6	2.428	247.6	24.3	88.4	Tipo 3

Observaciones:
 (*) Se informará en horas cuando la edad sea inferior a tres días.
 * Los especímenes llegaron en la fecha que se realizó la rotura, ya que la edad especificada fue precisada por el solicitante.
 * Estado de la muestra: Óptimo.
 * Densidad: No requerida.
 * El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.
 * Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio.
 * Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y exclusivamente al cliente.
 (**) Datos proporcionados por el cliente.

* Los ensayos de las muestras se realizaron en las instalaciones de Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC, ubicado en Av. Vicente Russo Lote 1 S/N - Fundo el Cerrito (paralela a la Av. Arequipa intersección con Prolongación Bolognesi) - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque.



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO CI23-694

PROYECTO (**): "Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos, Chiclayo - Perú 2023."

UBICACIÓN (**): Chiclayo, Chiclayo, Lambayeque.

CLIENTE (**): Ernesto Castillo.

TIPO DE PRODUCTO: Concreto

RESISTENCIA (**): f_c = 280 kg/cm²

TECNICO ENCARGADO: Victor Javier Leiva Fernandez

FECHA DE ENSAYO: Indicada
 PRENSA: PC-04
 VERNIER: PER-03

CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Edición
 NTP 339.034:2021



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Secundino Burga Fernández
 REG. CIP 116578

Autorizado por: 
 Ing. Secundino Burga Fernández

Fin de documento

Anexo 17. Informe de resultados de resistencia a la flexión a 7 días

		SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.											
INFORME DE ENSAYO CI23-551													
PROYECTO (**)		"Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023."										FECHA DE ENSAYO : Indicada	
CLIENTE (**)		Enesto Castillo.								PRENSA : PC-04			
TIPO DE PRODUCTO		Concreto								VERNIER : PER-02			
RESISTENCIA (**)		$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$											
TECNICO ENCARGADO		Victor Javier Leiva Fernandez											
RESISTENCIA A FLEXION CON CARGA A DOS TERCIOS													
NTP 339.078													
Especimen Nº	Código único	Diseño	Fecha		Edad dias	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (kN)	P (carga kg)	Mr (kg/cm ³)	Mr promedio (Kg/cm2)	Mr promedio (Mpa)
			Moldeo	Rotura									
1	CI23-551	Patrón	8/09/2023	15/09/2023	7	45	15	15.0	31.4	3201.9	42.7	39.97	3.92
2	CI23-551		8/09/2023	15/09/2023	7	45	15	15.0	27.3	2783.8	37.1		
3	CI23-552		8/09/2023	15/09/2023	7	45	15	15.0	29.5	3008.2	40.1		
4	CI23-553	5% RAP	9/09/2023	16/09/2023	7	45	15	15.0	26.4	2692.1	35.9	36.76	3.60
5	CI23-554		9/09/2023	16/09/2023	7	45	15	15.0	27.5	2804.2	37.4		
6	CI23-555		9/09/2023	16/09/2023	7	45	15	15.0	27.2	2773.6	37.0		
7	CI23-556	10% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	27.1	2763.4	36.8	35.89	3.52
8	CI23-557		11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	26.5	2702.3	36.0		
9	CI23-558		11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	25.6	2610.5	34.8		
10	CI23-559	15% RAP	11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	25.4	2590.1	34.5	33.04	3.24
11	CI23-560		11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	26.1	2661.5	35.5		
12	CI23-561		11/09/2023	18/09/2023	7	45	15	15.0	25.6	2610.5	34.8		
13	CI23-562	20% RAP	15/09/2023	22/09/2023	7	45	15	15.0	22.8	2325.0	31.0	31.14	3.05
14	CI23-563		15/09/2023	22/09/2023	7	45	15	15.0	23.3	2375.9	31.7		
15	CI23-564		15/09/2023	22/09/2023	7	45	15	15.0	22.6	2304.6	30.7		
Observaciones:													
* Estado de la muestra: Optimo.													
* El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.													
* Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio.													
* Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y e													
(***) Datos proporcionados por el cliente.													
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C. Secundino Bessa Fernández REG. CIP 140578</p> </div> </div>													
Fin de documento. Responsable de laboratorio.													

Anexo 18. Informe de resultados de resistencia a la flexión a 14 días

EMP ASFALTOS		SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.											
INFORME DE ENSAYO CI23-557													
PROYECTO (**)		"Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023."											
CLIENTE (**)		Enesto Castillo.						FECHA DE ENSAYO : Indicada					
TIPO DE PRODUCTO		Concreto						PRENSA : PC-04					
RESISTENCIA (**)		f'c = 280 kg/cm ²						VERNIER : PER-02					
TECNICO ENCARGADO		Victor Javier Leiva Fernandez											
RESISTENCIA A FLEXION CON CARGA A DOS TERCIOS													
NTP 339.078													
Especimen Nº	Código único	Diseño	Fecha		Edad dias	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (kN)	P (carga kg)	Mr (kg/cm ³)	Mr promedio (Kg/cm2)	Mr promedio (Mpa)
			Moldeo	Rotura									
1	CI23-557	Patrón	8/09/2023	22/09/2023	14	45	15	15	32.7	3334.5	44.5	43.64	4.28
2	CI23-557		8/09/2023	22/09/2023	14	45	15	15	31.7	3232.5	43.1		
3	CI23-557		8/09/2023	22/09/2023	14	45	15	15	31.9	3252.9	43.4		
4	CI23-557	5% RAP	9/09/2023	23/09/2023	14	45	15	15	31.5	3212.1	42.8	41.02	4.02
5	CI23-557		9/09/2023	23/09/2023	14	45	15	15	28.8	2936.8	39.2		
6	CI23-557		9/09/2023	23/09/2023	14	45	15	15	30.2	3079.6	41.1		
7	CI23-557	10% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	28.8	2936.8	39.2	38.98	3.82
8	CI23-557		11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	28.3	2885.8	38.5		
9	CI23-557		11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	28.9	2947.0	39.3		
10	CI23-557	15% RAP	11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	27.2	2773.6	37.0	36.66	3.60
11	CI23-557		11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	26.8	2732.8	36.4		
12	CI23-557		11/09/2023	25/09/2023	14	45	15	15	26.9	2743.0	36.6		
13	CI23-557	20% RAP	15/09/2023	29/09/2023	14	45	15	15	25.3	2579.9	34.4	33.81	3.32
14	CI23-557		15/09/2023	29/09/2023	14	45	15	15	24.6	2508.5	33.4		
15	CI23-557		15/09/2023	29/09/2023	14	45	15	15	24.7	2518.7	33.6		
Observaciones: * Estado de la muestra: Optimo. * El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida. * Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio. * Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y e (***) Datos proporcionados por el cliente.													
												SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C. Secundo Baza Fernández ING. CIVIL REG. CIP 180378	
										Responsable de laboratorio.			
Fin de documento.													

Anexo 19. Informe de resultados de resistencia a la flexión a 28 días

EMP ASFALTOS		SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.											
INFORME DE ENSAYO CI23-582													
PROYECTO (**)		"Caracterización del asfalto reciclado como adicionado en el diseño de concreto hidráulico para su uso en pavimentos – Chiclayo – Perú - 2023."											
CLIENTE (**)		Enesto Castillo.						FECHA DE ENSAYO : Indicada					
TIPO DE PRODUCTO		Concreto						PRENSA : PC-04					
RESISTENCIA (**)		f'c = 280 kg/cm ²						VERNIER : PER-02					
TECNICO ENCARGADO		Victor Javier Leiva Fernandez											
RESISTENCIA A FLEXION CON CARGA A DOS TERCIOS													
NTP 339.078													
Especimen Nº	Código único	Diseño	Fecha		Edad días	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (kN)	P (carga kg)	Mr (kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)	Mr promedio (Mpa)
			Moldeo	Rotura									
1	CI23-582	Patrón	8/09/2023	6/10/2023	28	45	15	15	35.8	3650.6	48.7	48.90	4.80
2	CI23-582		8/09/2023	6/10/2023	28	45	15	15	36.2	3691.4	49.2		
3	CI23-582		8/09/2023	6/10/2023	28	45	15	15	35.9	3660.8	48.8		
4	CI23-582	5% RAP	9/09/2023	7/10/2023	28	45	15	15	33.4	3405.9	45.4	44.91	4.40
5	CI23-582		9/09/2023	7/10/2023	28	45	15	15	32.7	3334.5	44.5		
6	CI23-582		9/09/2023	7/10/2023	28	45	15	15	33.0	3365.1	44.9		
7	CI23-582	10% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	32.5	3314.1	44.2	43.92	4.31
8	CI23-582		11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	32.1	3273.3	43.6		
9	CI23-582		11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	32.3	3293.7	43.9		
10	CI23-582	15% RAP	11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	28.7	2926.6	39.0	39.66	3.89
11	CI23-582		11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	29.6	3018.4	40.2		
12	CI23-582		11/09/2023	9/10/2023	28	45	15	15	29.2	2977.6	39.7		
13	CI23-582	20% RAP	15/09/2023	13/10/2023	28	45	15	15	25.3	2579.9	34.4	35.17	3.45
14	CI23-582		15/09/2023	13/10/2023	28	45	15	15	26.4	2692.1	35.9		
15	CI23-582		15/09/2023	13/10/2023	28	45	15	15	25.9	2641.1	35.2		
Observaciones:													
* Estado de la muestra: Optimo.													
* El informe corresponde única y exclusivamente a la muestra recibida.													
* Las copias de este informe no son válidas sin la autorización del laboratorio.													
* Este informe de ensayo es imparcial, confidencial; estando destinado única y													
(**) Datos proporcionados por el cliente.													
 													
Fin de documento. Responsable de laboratorio.													

Anexo 20. Certificado del INACAL al laboratorio

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Vicente Ruso Lote 1 fundo El Cerrito, distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 14 de febrero de 2023
Fecha de Vencimiento: 13 de febrero de 2026



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia
Patricia TAU 22602083016.pdf
Fecha: 2023.02.02 11:37:37
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ
Directora (d.t.) Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 27 de febrero de 2023



Cédula: N° 043-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 006-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE-203

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditado, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)

DA-acr-01P-02M Ver. 03

Anexo 21. Especificaciones técnicas del cemento

 **Cemento Fortimax**
Cemento Portland Tipo MS (MH)
 Requisitos normalizados - NTP 334.082 / ASTM C1157

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Densidad	-	-	g/cm ³	NTP 334.005	2.9
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	4.7
Finura					
Superficie específica	-	-	cm ² /g	NTP 334.002	5185
Retenido M325	-	-	%	NTP 334.045	1.8
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.03
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	11.0 (1600)	MPa (psi)	NTP 334.051	22.0 (3190)
7 días	Mínimo	18.0 (2610)	MPa (psi)	NTP 334.051	30.4 (4400)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	42.6 (6170)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	182
Fraguado final	Máximo	420	Minutos	NTP 334.006	292
Expansión Barra de mortero a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.004
Expansión por sulfatos a 6 meses	Máximo	0.10	%	NTP 334.094	0.03
Calor de hidratación a 3 días	Máximo	335	kJ/kg	NTP 334.171	255

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos de la NTP 334.082

Pacasmayo 

Anexo 22. Cuantiles de la distribución de Tukey $q(n,m)$

$\alpha = 0.05$	n													
m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21