

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO RESIDUOS DE CONCRETO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Autores:

Fernando Jael Lazo Gonzales
Russel Luis Manrique Lostaunau

Asesor:

MBA. Ing. José Luis Neyra Torres

Lima - Perú

2021

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Fernando Jael Lazo Gonzales
- Russel Luis Manrique Lostaunau

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO RESIDUOS DE CONCRETO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO.” para aspirar al título profesional de: Ingeniería Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Ing. /Lic./Mg./Dr. Nombre y Apellidos
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Lazo Gonzales Fernando Jael y Manrique Lostaunau Russel Luis para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO RESIDUOS DE CONCRETO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO.”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

A Dios por habernos permitido llegar hasta este momento de nuestra carrera profesional.
A nuestras familias, por el apoyo incondicional durante toda nuestra vida.
A la Universidad Privada del Norte, por la oportunidad de formarnos profesionalmente en la
carrera que más nos apasiona.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte por guiarnos durante toda la carrera y enseñarnos todas las herramientas que aplicamos en la presente tesis.

Agradecemos el apoyo del Ing. Zenón Eduardo Zaga Terbullino, por guiarnos y brindarnos recomendaciones para la realización del proyecto de Tesis, que nos sirve como base fundamental para la realización de la Tesis.

Agradecemos de antemano al Ing. Eliseo Juan Zarate Pérez, por las recomendaciones puntuales y precisas para la elaboración de nuestra tesis.

Además, agradecemos de manera especial al MBA. Ing. José Luis Neyra Torres, por la guía, la asesoría y consejos en esta última etapa de nuestra tesis.

Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	4
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	5
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	25
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	56
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS.....	66
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos para la granulometría.....	38
Tabla 2 Granulometría	39
Tabla 3 Datos propios para la elaboración de la muestra	45
Tabla 4 Altura y peso de las briquetas	47
Tabla 5 Flujos de briquetas	49
Tabla 6 Resultados de los diámetros.....	55
Tabla 7 Resultado del método Marshall	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Compactación	18
Figura 2 Espesor	19
Figura 3 Lisura	19
Figura 4 Regularidad Superficial o Rugosidad	20
Figura 5 Medición de deflexión sobre la Carpeta Asfáltica Terminada	20
Figura 6 Método de diseño	21
Figura 7 Diseño estructural	21
Figura 8 Especificaciones técnicas constructivas	22
Figura 9 Pavimentos especiales	22
Figura 10 Proceso cuantitativo.....	26
Figura 11 Operacionalización de variables.....	29
Figura 12 Tamaño nominal	31
Figura 13 Gradaciones de los agregados para mezclas asfálticas en caliente.....	40
Figura 14 Para tamaños menores	42
Figura 15 Esferas de acero	43
Figura 16 Requerimientos para agregado grueso de mezclas asfálticas en caliente.....	44
Figura 17 Criterios Marshall	53

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad.....	40
Ecuación 2. Coeficiente de curvatura	41
Ecuación 3. Diámetro incognita.....	41
Ecuación 4. Porcentaje de Abrasión	44
Ecuación 5. Peso específico Bulk	47
Ecuación 6. Análisis de densidad y vacíos	49
Ecuación 7. Peso específico promedio del agregado total.....	50
Ecuación 8. Peso específico máximo teórico.....	50
Ecuación 9. Peso específico del asfalto	51
Ecuación 10. Porcentaje de absorción del asfalto	51
Ecuación 11. Volumen del agregado	51
Ecuación 12. Porcentaje de vacíos.....	52
Ecuación 13. Volumen de asfalto efectivo	52
Ecuación 14. Porcentaje de vacíos en los agregados minerales.....	52
Ecuación 15. Porcentaje de asfalto efectivo	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica	54
Gráfico 2. % Cemento Asfáltico vs Densidad	56
Gráfico 3. % Cemento Asfáltico vs Estabilidad	57
Gráfico 4. % Cemento Asfáltico vs Flujo	58
Gráfico 5. % Cemento Asfáltico vs Vacíos con aire en la mezcla total	58
Gráfico 6. % Cemento Asfáltico vs % vacíos en los agregados mineral	59

RESUMEN

Los residuos de construcción y demolición suponen uno de los impactos más significativos de las obras por su gran volumen y su heterogeneidad. Como una alternativa para mitigar el impacto ambiental generado por estos residuos de construcción, se empleó una metodología que permitió el aprovechamiento de estos en reemplazo parcial del agregado grueso. La investigación se desarrolló para analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto reciclado para saber si se puede utilizar en un diseño de mezclas asfálticas. Se realizó el ensayo de granulometría para determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del agregado grueso; el ensayo de Abrasión, que nos permite evaluar el efecto por desgaste por fricción; y, por último, el método Marshall, que nos permite medir la resistencia a la deformación plástica de briquetas de mezclas bituminosas. El uso del concreto reciclado en el diseño de mezcla asfáltica, es viable ya que cumple con los estándares de calidad que la norma exige. Asimismo, ahorra costos y mejora significativamente el impacto ambiental. Con los resultados obtenidos, se analizó, que efectivamente se puede emplear parcialmente concreto reciclado para el diseño de mezclas asfálticas.

Palabras clave: viabilidad, reutilización de residuos, mezclas asfálticas, método Marshall.

ABSTRACT

Construction and demolition waste is one of the most significant impacts of the works due to its large volume and heterogeneity. As an alternative to mitigate the environmental impact generated by these construction waste, a methodology was used that allowed the use of these in partial replacement of the coarse aggregate. The research was developed to analyze the physical and mechanical properties of recycled concrete to see if it can be used in an asphalt mix design. The granulometry test was performed to quantitatively determine the particle size distribution of the coarse aggregate; the Abrasion test, which allows us to evaluate the effect of friction wear; and, finally, the Marshall method, which allows us to measure the resistance to plastic deformation of briquettes made from bituminous mixtures. The use of recycled concrete in the asphalt mix design is feasible since it meets the quality standards required by the norm. It also saves costs and significantly improves environmental impact. With the results obtained, it was analyzed that, indeed, partially recycled concrete can be used for the design of asphalt mixtures.

Keywords: viability, waste reuse, asphalt mixtures, Marshall method.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como tema el uso de residuos de construcción y demolición empleándolo parcialmente como agregado grueso, el cual tiene como objetivo evaluar sus propiedades físicas y mecánicas del concreto a través de pruebas en laboratorio.

1.1. Realidad problemática

La historia nos ha enseñado que la sociedad ha hecho de la recuperación y el uso de elementos rechazados una práctica habitual. Numerosas civilizaciones han utilizado y reutilizado materiales de construcción de las primeras civilizaciones o de su propia arquitectura destruida. Una gran cantidad de escombros producto de la demolición de estructuras son producidos anualmente en los países desarrollados, en que los depósitos de escombros derivados de la actividad de la construcción, ha llegado a ser un serio problema social y ambiental para las ciudades, debido a la necesidad de disponer terrenos para su vertimiento, como también el alto costo que implica su manejo. La necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando, hoy en día, una gran importancia (Cruz, 2004).

En todo el mundo, la industria de la construcción es la mayor consumidora de recursos naturales tales como los agregados utilizados en la preparación de concretos. Anualmente se producen cerca de 11 billones de toneladas de concreto, empleando para ello alrededor de 8 billones de toneladas de agregados naturales. Paralelamente, se generan grandes cantidades de desechos, tanto en los procesos constructivos como a partir de obras de demolición de estructuras y edificios. Entonces, el alto consumo de materias primas, los intereses económicos, y las problemáticas resultantes de los severos impactos generados por la acumulación de esos desechos, obligan a la búsqueda de usos alternativos en este campo (Camacho, 2015).

Otro punto importante a considerar es la reducción de extracción de materiales rocosos de los entornos naturales, disminuyendo el impacto ambiental y el rápido agotamiento de las reservas naturales de los agregados provenientes tanto de cauces como de canteras, sumando a esto la motivación que existe de preservar y proteger el medio ambiente de un inminente desequilibrio ecológico. El concreto como material de construcción requiere un volumen importante de recursos, especialmente agregados rocosos. En los últimos años, estudios nacionales e internacionales han demostrado que las propiedades físicas y mecánicas del concreto constituido por adiciones racionales de agregado reciclado en su mezcla garantizan la utilización adecuada de este material (Henaine, 2015).

Dentro de los antecedentes, encontramos que en países de América Latina ya se está implementando estos métodos de plantas que procesan el material del concreto reciclado, lo cual en el Perú recién estamos a nivel de estudio.

1.1.1. Antecedentes internacionales

Uno de estos antecedentes internacionales que encontramos, donde se analiza los precios unitarios tanto para el agregado grueso como para el concreto reciclado fue la tesis de Castellanos, Rivera y Roa (2017) realizada en Colombia, en su programa de especialización *“Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos”*, donde se concluye que la única diferencia se presenta en el precio final de los dos concretos.

Por otro lado, en Colombia también encontramos una investigación referida a nuestro tema de investigación cuyos autores son Cardona y López (2016), quienes desarrollaron el problema de la viabilidad técnica de utilizar agregado reciclado de concreto, para reemplazar parcial o totalmente el agregado grueso de la carpeta de rodadura en un pavimento flexible en su tema de

titulación “*Caracterización de un agregado reciclado de concreto (ARC) para la construcción de la carpeta asfáltica de pavimentos flexibles*”. También afirman que una de las características más importantes del material reciclado investigado, es su facilidad para quebrarse, ya que, al realizar la compactación de la mezcla asfáltica para la elaboración de los especímenes de prueba, debido al impacto del martillo compactador, algunas de las partículas se quebraban provocando el desprendimiento de mortero y modificando la granulometría de la mezcla. Finalmente concluyeron que la adición de concreto reciclado a la carpeta asfáltica mejora la resistencia del pavimento bajo las cargas de tránsito que soporta la estructura, durante el período de servicio.

Asimismo, se realizaron estudios previos internacionales al tema de investigación. Los tesisistas Torres, P. Flores, M. Flores, V. Flores y Mairon (2014) en su tema de investigación realizada en Bolivia, titulada “*Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos*” determinaron si los agregados reciclados con los que se hizo el diseño cumplen con las especificaciones que se exigen para la conformación de la mezcla asfáltica en estudio. Posteriormente, concluyeron que las características físicas de los agregados reciclados son muy similares a los agregados tradicionales. Asimismo, se concluye que el producto obtenido con el reciclaje de residuos de construcción y demolición cumple con los requisitos requeridos para un asfalto. Finalmente, no existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico del material reciclado con respecto al tradicional.

De igual modo, en Colombia también encontramos otra tesis relacionada con nuestro tema de investigación titulada “*Dosificación óptima de una mezcla de concreto con materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Cali para uso en obras viales de bajo tránsito*” de los autores Mena y Valdés (2014), quienes realizaron el ensayo de granulometría tanto para el agregado grueso y el agregado reciclado y concluyeron que

los agregados reciclados presentan una mayor absorción de agua que los agregados naturales, aproximadamente cuatro veces más, debido a que los agregados reciclados tienen cantidades de mortero adherido y hace que el concreto sea más permeable. La absorción de los agregados naturales suele oscilar entre 0% y 4% el obtenido fue 2.07% y la absorción de los agregados reciclados suelen entrar entre 1% y 13%; el obtenido fue de 8.27%.

Un antecedente que nos pareció importante y de mucha ayuda para nuestro tema de investigación fue la tesis de los autores Chávez y Fernando (2012) titulada “*Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales*”, la cual fue realizada en Argentina. El autor da la alternativa de uso de los residuos de losas de hormigón en carreteras, el cual consiste en incorporar los áridos reciclados (AR) en mezclas asfálticas para pavimentación. Debido a la naturaleza flexible del pavimento asfáltico, las carpetas siempre utilizarán áridos gruesos y finos provenientes de la trituración de rocas de buena calidad. No obstante, se admite una pequeña cantidad de áridos finos naturales en las capas de base. Donde se obtuvo el diseño definitivo gracias al método Marshall, pero al realizar modelos de probetas con una menor energía de compactación (50 golpes / cara) adoptando el criterio de diseño de mezclas de tránsito medio del Instituto del Asfalto de EE. UU. (AI).

Por último y no menos importante, encontramos la tesis de Rocha y Marciano (2010), la cual nos clarificó un poco más nuestro tema de investigación; titulada “*Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos en áreas urbanizadas*”, la cual fue realizada en Brasil, afirman que en este país y en México se están incorporando hace algunos años maquinarias para la preparación de agregados de concreto reciclado. En el Perú se vienen realizando estudios, pero todavía no hay una máxima demanda para la implementación de maquinarias para el procesamiento de agregados reciclados, pero conforme el país va creciendo rápidamente llegará el momento de implementar y

recurrir a ello. Asimismo, concluyeron que la utilización de materiales de residuos de la construcción tiene que estar relacionado con la aplicación de sistemas de garantía de calidad con el fin de conseguir las propiedades de productos adecuados.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Dentro de los antecedentes nacionales encontramos que SENCICO (2010), aportó el método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la Portland Cement Association (PCA), comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente. El uso de cualquier otra metodología de diseño obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva. Para el diseño estructural, se efectuará el diseño estructural considerando los siguientes factores: calidad y valor portante del suelo de fundación y de la subrasante, características y volumen del tránsito durante el período de diseño, vida útil del pavimento, condiciones climáticas y de drenaje, características geométricas de la vía y tipo de pavimento a usarse.

Sabemos que en la actualidad no existe un lugar de acopio de los materiales de construcción y demolición en Lima, ya que estos residuos son vertidos en varias zonas como ríos o playas ocasionando un problema. Por otro lado, debería existir empresas que se encarguen de la recolección de dicha materia prima para posteriormente utilizarlas en otras aplicaciones, como por ejemplo la Norma técnica peruana 400.053:1999 manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición. Además, la importancia de dar a conocer la problemática de la infraestructura vial en el Perú es hacer ver la realidad a la cual nos enfrentamos todos los habitantes porque como se sabe al carecer de estas no podremos llegar a un óptimo desarrollo a nivel de país puesto que la infraestructura vial es primordial para el avance del Perú.

1.1.3. Marco Teórico

Dentro del marco teórico la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos nos comenta que deberá de haber un control y tolerancia para el diseño de las mezclas asfálticas: Previamente a la colocación de la mezcla asfáltica el Contratista presentará al Supervisor su Fórmula de Trabajo. El Supervisor deberá definir la antelación con la que se presentará la Fórmula de Trabajo. El PR deberá haber definido en su Proyecto la necesidad o no, de ejecutar un Tramo de Prueba. Una vez aprobada la Fórmula de Trabajo, se hará un control directo de las cantidades de agregados y asfalto que se mezclan, según las siguientes frecuencias y normas de ensayo. (Ver Anexo N° 3).

Figura 1

Compactación

La Compactación se realizará según las normas MTC E506-2000 (Gravedad Específica Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Parafinados), MTC E508-2000 (Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas para Pavimentos), o MTC E510-2000 [Peso Unitario del Concreto Asfáltico en el Terreno], en una proporción de cuando menos una por cada doscientos cincuenta metros cuadrados de cada capa y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis determinaciones de la densidad.

La densidad media del tramo (D_m) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, cuatro probetas por jornada de trabajo (D_e). Además, la densidad de cada testigo individual (D_i) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento de la densidad media de los testigos del tramo (D_m).

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbano

Figura 2

Espesor

La verificación del espesor se efectuará cada trescientos cincuenta metros cuadrados o fracción, debiendo extraerse al menos dos testigos cilíndricos mediante equipos provistos de brocas rotativas. Se determinará el espesor medio de la capa compactada (em) según la norma MTC E507-2000 (Espesor o Altura de Especímenes Compactados de Mezclas Asfálticas), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei), deberá ser, cuando menos, igual al noventa y cinco por ciento del espesor de diseño (ed). Si el espesor promedio de los dos testigos no cumpliera con estas condiciones, se extraerán cuatro testigos adicionales.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 3

Lisura

En caso de la Lisura, la superficie acabada no deberá presentar zonas de acumulación de agua (depresiones), ni elevaciones mayores de cinco milímetros en capas de rodadura, ni elevaciones mayores de diez milímetros en bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (MTC E1001-2000, Medida de la Regularidad Superficial de un Pavimento Mediante la Regla de Tres Metros) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 4

Regularidad Superficial o Rugosidad

En el caso de Vías Expresas, se medirá la Regularidad Superficial de la superficie de rodadura en unidades IRI. La rugosidad tendrá un valor máximo de 2,5 m/km. En el caso de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactación, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura. Para la determinación de la rugosidad podrá utilizarse cinta métrica y nivel, rugosímetros, perfilómetros.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 5

Medición de Deflexiones sobre la Carpeta Asfáltica Terminada

Asimismo, la Medición de Deflexiones sobre la Carpeta Asfáltica Terminada tiene un rol muy importante. En el caso de Vías Expresas y en donde lo indique el PR, se efectuará mediciones de la deflexión en todos los carriles, en ambos sentidos cada 50 m y en forma alternada (tresbolillo). Se analizará la deformada o la curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres valores por punto y se obtendrán indirectamente los módulos de elasticidad de la capa asfáltica. Además, la Deflexión Característica obtenida por sectores homogéneos se comparará con la deflexión admisible para el número de repeticiones de ejes equivalentes de diseño.

Para efectos de la medición de las deflexiones podrá emplearse la Viga Benkelman (MTC E1002-2000, Medida de la Deflexión y Determinación del Radio de Curvatura de un Pavimento Flexible Empleando la Viga Benkelman), o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la Supervisión. Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del Proyecto. La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 6

Método de Diseño

Según el diseño estructural de pavimentos urbanos, se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la PCA, comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente en su país de origen y que, al criterio del PR (profesional responsable), sea aplicable a la realidad nacional. El uso de cualquier otra metodología de diseño obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 7

Diseño Estructural

Se efectuará el diseño estructural considerando los siguientes factores: calidad y valor portante del suelo de fundación y de la subrasante, características y volumen del tránsito durante el período de diseño, vida útil del pavimento, condiciones climáticas y de drenaje, características geométricas de la vía, tipo de pavimento a usarse.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 8

Especificaciones técnicas constructivas

Para las especificaciones técnicas constructivas, los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos, son los indicados en el Anexo N°4.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Figura 9

Pavimentos Especiales

Finalmente se considera como pavimentos especiales a las aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías. Estos pavimentos deberán cumplir los requisitos que se muestran en el Anexo N° 7.

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

1.2. Justificación del problema

El autor Vara (2012) en su obra “*Siete pasos para una tesis exitosa*” nos comenta que la justificación del problema es el ¿para qué? de la investigación. También nos comenta que toda investigación se justifica en la medida que aporta algo a la sociedad o a las ciencias empresariales. Por eso, en esta parte de la investigación, debemos identificar cuál será nuestro impacto o beneficio, en otras palabras, la justificación del problema es el marketing de nuestra tesis; debe contener todas las posibles utilidades y beneficios que la investigación aportará.

Hoy en día existen una gran cantidad de exceso de residuos de concreto, los cuales son arrojados al desmonte o son triturados para relleno sanitario. Este proyecto pretende proponer una

alternativa para producir un tipo de mezclas asfálticas, a partir de la utilización parcial de los residuos de concreto con el fin de emplearlo como agregado grueso, con el propósito de disminuir los costos de elaboración de carpeta asfáltica.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo se comporta una mezcla asfáltica donde se aplica un porcentaje de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso.

1.4.2. Objetivos específicos

OE1. Determinar las características de una mezcla asfáltica con agregado reciclado que contenga los parámetros mínimos de calidad mediante el ensayo Marshall, que calcula la resistencia a la deformación.

OE2. Determinar la resistencia del agregado grueso hecho de concreto reciclado a partir de los ensayos de Granulometría y Desgaste por Abrasión.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Si se obtiene un buen desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso.

1.5.2. Hipótesis específicas

HE1. Con los resultados obtenidos a partir del ensayo Marshall, si se obtienen diseños dentro de la normativa con los porcentajes analizados.

HE2. Con los ensayos de Granulometría y Desgaste por Abrasión, si se obtienen resistencias del agregado grueso de concreto reciclado dentro de la normativa vigente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Este capítulo comprenderá la metodología utilizada, teniendo en cuenta la caracterización de los materiales, los instrumentos a utilizar, la descripción de los métodos y el procedimiento a emplear. Asimismo, este capítulo comprenderá la metodología para el diseño de mezcla asfáltica realizando el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas.

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Según el propósito de la investigación

La presente investigación es aplicada, porque nuestros resultados aportan una alternativa de solución ante un problema, es decir, ante la acumulación de escombros de concreto, nuestro tema de investigación propone una reutilización de estos para la elaboración de un diseño de mezclas asfálticas. El autor Vara (2012) en su obra *“Siete pasos para una tesis exitosa”*, nos define que las investigaciones tienen más valor si sus resultados aportan opciones para resolver problemas y si contribuyen aumentando las arcas del conocimiento científico. También, nos comenta que el interés de la investigación aplicada es práctico, pues sus resultados son utilizados inmediatamente en la solución de problemas empresariales cotidianos.

2.1.2. Según el diseño

El diseño de la presente investigación es experimental, por cuanto estamos enfocando valores específicos de los autores de otras investigaciones y lo estamos aplicando en esta investigación a fin de obtener los parámetros necesarios para demostrar las hipótesis. Los autores Alonso, León, E. García, L. García, Gil y Ríos (2015) en su tema de investigación *“Métodos de investigación de enfoque experimental”* definen que un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable independiente y observar su efecto en otra variable dependiente. Por

ende, los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.

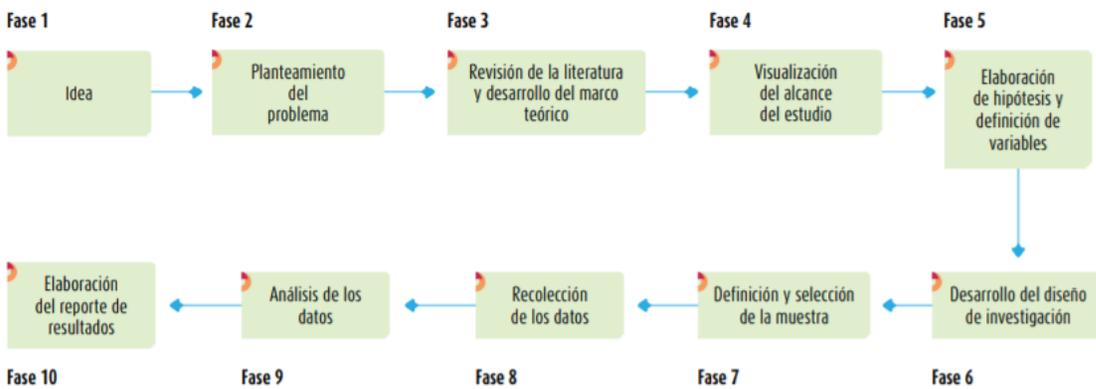
2.1.3. Según la naturaleza de datos de la investigación

Según la naturaleza de datos de la investigación, el método a emplear es la cuantitativa, ya que representa un conjunto de procesos en nuestro tema de investigación, es decir, nuestro tema de estudio que es el concreto reciclado tendrá que pasar por ensayos para poder saber si es factible su reutilización. Según el autor Hernández (2014) en su libro llamado *“Metodología de la investigación”* nos comenta que el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Además, que cada etapa precede a la siguiente y no se puede evitar o saltar pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, se puede redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas; posteriormente, se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones.

Se puede observar en la siguiente figura el proceso cuantitativo de toda metodología de una investigación.

Figura 10

Proceso cuantitativo



Fuente: Extraído del libro Metodología de la investigación de Hernández (2014)

Fuente: Extraído del libro Metodología de la investigación de Hernández (2014)

A continuación, se mencionará las etapas que se tuvieron que realizar para este trabajo:

En la primera etapa, se evaluó con el asesor la elección del tema a investigar. En la segunda etapa se procedió a la recolección de información, con el fin de adquirir dominio en el tema. En la tercera etapa, se realizó los ensayos al material de estudio y finalmente, en la cuarta etapa, se evaluaron los resultados y conclusiones.

Se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, abrasión con la máquina de los Ángeles y Marshall.

2.2. Población y muestra

Según el autor Vara (2012) en su obra “Siete pasos para una tesis exitosa” define como población a todas las fuentes de información primarias con el fin de cumplir con los objetivos planteados en una tesis. Asimismo, el mismo autor define como muestra al conjunto de casos extraídos de la población.

Nuestro tema de investigación no requiere ni población ni muestra, ya que nuestro tema de estudio es amplio para poder ser analizado ya que abarca cualquier población, es decir, es una tesis bajo diseño experimental.

Según los autores Alonso, León, E. García, L. García, Gil y Ríos (2015) en su tema de investigación “*Métodos de investigación de enfoque experimental*” definen que un diseño experimental consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente

Según el autor Vara (2012) en su obra “*Siete pasos para una tesis exitosa*” define que una variable independiente “es sinónimo de variable causal, también conocida como variable explicativa; es aquella característica o propiedad que es la causa de otra variable. Es aquella variable que produce efectos en otra variable” (p. 274).

La variable independiente en nuestro tema de investigación es residuos de concreto, ya que no depende de otra variable para que pueda ser evaluada en los diferentes ensayos, para saber si es óptimo su reutilización en un diseño de mezclas asfálticas. Pacheco (2017) define en su estudio “*Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión*” que los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier tipo de obra, ya sea de carácter público o privado.

2.3.2. Variable dependiente

Según el autor Vara (2012) en su obra “*Siete pasos para una tesis exitosa*” define que una variable dependiente “es sinónimo de variable efecto, también conocida como variable explicada; es aquella característica o propiedad que es el efecto o consecuencia de la variable independiente. Los valores de la variable dependiente siempre dependen de otras variables independientes” (p.274).

En nuestro estudio de investigación la variable dependiente es mezcla asfáltica, ya que esta depende del concreto reciclado para poder ser tratada y evaluada. Arias (2013) en su estudio de “*diseño de mezclas*” define mezclas asfálticas como “una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso” (p.3).

2.4. Operacionalización de Variables

Figura 11

Operacionalización de Variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Normativa
Residuos de concreto	Los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier tipo de obra, ya sea de carácter público o privado. (Pacheco, 2017)	Concreto reciclado	Ensayo de Granulometría Ensayo por Abrasión	NTP 400.019 Norma CE. 010 pavimentos Urbanos NTP 400.019:2002
Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Normativa
Mezcla Asfáltica	Combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso. (Arias, 2013)	Mezcla Asfáltica	Ensayo de Método Marshall	Norma CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.5. Materiales

2.5.1. Concreto reciclado

El material principal y más importante en esta presente tesis es el concreto reciclado ya que es nuestro objeto de estudio para poder utilizarlo parcialmente como agregado grueso en una mezcla asfáltica. Pacheco (2017) en su tesis “*Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión*” define que los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier tipo de obra, ya sea de carácter público o privado.

Se recolectará concreto de $f'c=210$ kg/cm² y $f'c=245$ kg/cm² de una vivienda en demolición. Asimismo, se puede recolectar probetas que cumplan con la misma resistencia para comprobar si este concreto reciclado puede ser utilizado en el diseño de una mezcla asfáltica bajo los requisitos del manual de carreteras (MC-01-13 Y MC-05-14), de tal manera se elaborará tres muestras por cada resistencia de compresión del concreto, para obtener un promedio tanto para $f'c=210$ kg/cm² como para $f'c=245$ kg/cm², quedándonos con el más próximo a los rangos permitidos según el manual mencionado.

Además, nuestro concreto tiene como propiedades la impermeabilidad, la durabilidad y la resistencia. Según la autora Rivera (2014) en su tema “*El concreto y sus propiedades*” define que el concreto es un sistema poroso y nunca va a ser totalmente impermeable. Se entiende por permeabilidad como la capacidad que tiene un material de dejar pasar a través de sus poros un fluido. Asimismo, la misma autora nos comenta que para lograr una mayor impermeabilidad se pueden utilizar aditivos impermeabilizantes, así como mantener una relación agua cemento muy baja. Asimismo, el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos

y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente impulsor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie.

Finalmente, también nos comenta que la resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión.

Para las características del ensayo de granulometría del concreto reciclado se utilizó la siguiente tabla:

Figura 12

Tamaño nominal

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (gr)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75 (3")	5000

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos

Nuestro concreto este compuesto por cemento, agua, aire y agregados (fino y grueso).

2.5.1.1. Agua

Según la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (2014) ubicada en la ciudad de Chiclayo, Perú en su tema *“Aplicaciones del agua en Ingeniería Civil”* define que el agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se trata de un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color).

El agua a emplearse en la preparación del concreto, deberá ser limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

2.5.1.2. Agregado grueso

El tesista Vilchez (2008) en su tema de investigación *“Correlación de resultados de ensayos de resistencias en probetas de concreto estándar de 6” x 12” y 4” x 8” con cemento Pórtland tipo I (sol) y cemento Pórtland puzolánico tipo IP (ATLAS) con piedra serie N° 57”* define como agregado grueso a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial, retenido en el tamiz 4,75 mm (No 4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma N.T.P. 400.037 o ASTM C 33.

Para el agregado grueso, la grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de concreto. El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad.

2.5.1.3. Agregado fino

Asimismo, el tesista Vilchez (2008) en su tema de investigación *“Correlación de resultados de ensayos de resistencias en probetas de concreto estándar de 6” x 12” y 4” x 8” con*

cemento Pórtland tipo I (sol) y cemento Pórtland puzolánico tipo IP (ATLAS) con piedra serie N° 57”, también nos define al agregado fino como a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz NTP 9.4 mm (3/8”) y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.

2.5.1.4. Cemento

El tesista Vilchez (2008) en su tema de investigación *“Correlación de resultados de ensayos de resistencias en probetas de concreto estándar de 6” x 12” y 4” x 8” con cemento Pórtland tipo I (sol) y cemento Pórtland puzolánico tipo IP (ATLAS) con piedra serie N° 57”*, nos define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables.

El cemento utilizado fue el cemento Portland Tipo I. Asimismo, su principal característica es la de fraguar y endurecerse al entrar en contacto con el agua. Como consecuencia de dicha reacción adquiriremos un inmejorable material con excelentes cualidades aglutinantes.

2.5.2. Cemento Asfáltico

Otro material importante para esta tesis fue el cemento asfáltico para el diseño de una mezcla asfáltica. La tesista Maila (2013) en su tesis para *“Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)”*, nos menciona que una de las principales

características que presenta el cemento asfáltico es el aumento en la viscosidad de la mezcla resultante, haciéndola flexible a bajas temperaturas y menos plástica a altas.

El cemento asfáltico utilizado fue el 60/70 para Lima, utilizado principalmente en aplicaciones viales, son sólidos en temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad. En el Perú se utiliza la clasificación por penetración a 25°C. Usados en la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forma parte de la capa de estructura de una vía. Brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aun en presencia de los diferentes agentes al externo tales como el clima, la altura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico. Material propio redactado en base a Norma técnica de laboratorio.

2.6. Instrumentos

2.6.1. Tamices

Uno de los primeros instrumentos que utilizamos para realizar el ensayo de granulometría fueron los tamices. Samaniego y Estada (2012) en su tesis de grado *“Diseño y construcción de un equipo mixto de molienda y tamizado para materiales minerales”* definen que un tamiz es una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el compuesto solido previamente triturado o molido. Un solo tamiz puede realizar una separación en dos fracciones (pasante y retenido).

El material que se hace pasar a través de una serie de tamices de diferentes tamaños se separa en fracciones clasificadas por tamaños, es decir, fracciones cuyas partículas se conocen por su tamaño máximo y mínimo construidos a base de la Norma ASTM.

2.6.2. Cargas Abrasivas

Para el ensayo de Desgaste por Abrasión, se utilizó como instrumento las cargas abrasivas. Jeria (2015) en su curso “*Laborista vial clase tipo C*” define a las cargas abrasivas como esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

Para nuestro ensayo, utilizamos 12 esferas junto a la Máquina de abrasión de los Ángeles. Asimismo, las esferas de carga de abrasión son de acero endurecido y se utilizan en pruebas para medir la degradación de las clasificaciones estándar de los agregados cuando se someten a abrasión e impacto. En nuestro estudio, medimos el porcentaje permisible de desgaste del concreto reciclado.

2.6.3. Máquina los Ángeles

Otro instrumento que se utilizó principalmente para el mismo ensayo fue la Máquina los Ángeles. El tesista Intriago (2015) en su tesis para obtener el grado de ingeniero “*Estudio de métodos mecánicos para la determinación de la resistencia al desgaste por fricción seca en el agregado del hormigón de pavimento*”, define que este instrumento ha sido desarrollado para determinar la resistencia de los agregados a la abrasión teniendo en cuentas las especificaciones de las normas de referencia. El equipo consta de un tambor montado sobre una estructura metálica y un sistema de contador digital programable que activa y desactiva el motor para que el tambor gire un determinado número de vueltas.

2.6.4. Máquina Marshall

Finalmente, el ultimo instrumento que utilizamos para el ensayo método Marshall fue la máquina Marshall. Los tesisistas Castañeda, Escobar y López (2015) en su tesis titulada “*Aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con*

emulsión asfáltica”, definen que es un aparato eléctrico, diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensaye, a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min.

Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm, para determinar la deformación que se produce en la carga máxima.

2.7. Métodos

En el presente trabajo de investigación, para determinar el desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso, se hará uso de los ensayos descritos líneas abajo, haciendo uso de la norma establecida por la norma técnica CE. 010 pavimentos urbanos.

2.7.1. Granulometría

En primer lugar, se iniciará con el ensayo de Granulometría, el cual nos permite la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del agregado grueso, donde se empleará la Norma ASTM D422. Esta norma describe el método para determinar los porcentajes del agregado grueso que pasa por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo y poder así, evaluar la resistencia del agregado.

2.7.2. Desgaste por abrasión

En segundo lugar, se realizará el ensayo de Desgaste por abrasión, el cual nos permite la acción y efecto de hacer desgaste por fricción, asimismo, este ensayo se realiza para determinar la resistencia mecánica al desgaste en una muestra de agregado grueso. La muestra puede ser de tamaños menores (1 ½" hasta N°8) y tamaños mayores de (3" hasta 3/4"). Se emplearán el método según las normas ASTM C 135 - NTP 400.020 (para tamaños mayores), ASTM C 131 - NTP

400.019 (para tamaños menores) y la AASHTO T 96. Estas normas describen la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos en tamaños mayores y menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

2.7.3. Método Marshall

Por último, se realizará el método Marshall, el en cual, queremos analizar las características de una mezcla asfáltica que contenga los parámetros mínimos de calidad, también describe la medición de la resistencia a la deformación plástica briquetas de mezclas bituminosas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall.

Este método es aplicable a mezclas asfálticas con árido de tamaño máximo 25 mm. Asimismo, Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto.

La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F). Se emplearán las normas AASTHO T 245 – 97, ASTM D-1559 Diseño de mezclas método Marshall, ASTM C-127 Agregados gruesos gravedad específica seca Bulk, ASTM D-1188 & ASTM D-2726 Gravedad específica Bulk de mezcla asfáltica compactada y la ASTM D-2041 Gravedad específica teórica máxima.

2.8. Procedimiento

Se detallará paso a paso los métodos y ensayos a utilizar para determinar el desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso.

2.8.1. Granulometría

En primer lugar, obtenemos la muestra de una obra que se encuentre en demolición, seleccionando el material de concreto, ya sea de losa o placas, para poder reciclarla. Una vez obtenido el material reciclable, lo llevamos a una trituradora mecánica, con el fin de obtener las partículas para su evaluación técnica. Se emplearán estas partículas recicladas con el fin de ser utilizadas como agregado grueso para el diseño de mezcla asfáltica en zonas urbanas.

Luego, este material se lleva a laboratorio para poder realizarle sus respectivos ensayos, donde se realizará el ensayo de Granulometría a la muestra triturada (partículas), para que estas cumplan con los parámetros indicados en la norma. Para el ensayo de Granulometría se procederá a cuartear la muestra para posteriormente llevarlo al horno y pueda secarse la muestra. Una vez secada la muestra, la pesamos en la balanza, luego la lavamos y la pasamos por la malla N°200. Después, se lleva al horno para secar la muestra lavada para posteriormente tamizar la muestra. Una vez tamizado, pesamos cada muestra retenida en cada tamiz.

Para nuestro ensayo se tomaron los siguientes datos:

Tabla 1

Datos para la granulometría

Peso seco	2749.4	gr
Sumatoria de peso retenido	2746.19	gr
Error	0.12	%
Diferencia	3.21	gr

Fuente: Elaboración propia (2019) (Datos obtenidos en laboratorio)

Al realizar el tamizado del material se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 2

Granulometría

Tamices (pulg)	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso retenido corregido	Peso retenido parcial	Retenido Acumulado	Retenido Acumulado parcial	% Pasa
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	148.84	149.01	149.01	5.42	5.42	94.58
1/2"	12.500	520.40	521.01	670.02	18.95	24.37	75.63
3/8"	9.520	205.61	205.85	875.87	7.49	31.86	68.14
N° 4	4.750	564.18	564.84	1440.71	20.54	52.40	47.60
N° 10	2.000	384.45	384.90	1825.61	14.00	66.40	33.60
N° 40	0.420	420.48	420.97	2246.58	15.31	81.71	18.29
N° 80	0.180	201.45	201.69	2448.27	7.34	89.05	10.95
N° 200	0.074	150.37	150.55	2598.81	5.48	94.52	5.48
Pasante		150.41	150.59	2749.40	5.48	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia (2019). Base guía de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN). (Conteniendo los resultados obtenidos de nuestro ensayo)

Para los husos de la curva granulométrica, se utilizará las mezclas asfálticas en caliente Tipo 1 (MAC.1), ya que es más conservador en sus rangos en las zonas urbanas.

Figura 13

Gradaciones de los agregados para mezclas asfálticas en caliente

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	-
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 μm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 μm (N° 80)	08 - 17	08 - 17	09 - 19
75 μm (N° 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010) (Parámetros normativos)

Posteriormente, graficamos el porcentaje que pasa con el número de tamiz, para ver si nuestra curva granulométrica se encuentra dentro del huso escogido.

Luego, se realizó el cálculo para hallar el coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c) con las siguientes fórmulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2)$$

$$D_x = DS - \frac{(\%PS - X) \times (DS - DI)}{\%PS - \%PI} \quad (3)$$

Donde:

D_x = Diámetro incógnita (10,30,60)

DS = Diámetro de la malla superior

DI = Diámetro de la malla inferior

$\%PS$ = Porcentaje que pasa por la malla superior

$\%PI$ = Porcentaje que pasa por la malla inferior

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

2.8.2. Desgaste por abrasión

En segundo lugar, realizamos el ensayo por desgaste por Abrasión, el cual consistirá en preparar la muestra. Esta consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en las siguientes tablas. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g. Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

Figura 14

Para tamaño menores

Peso tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometría de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0	(1")	19,0	(¾")	1250 ± 25	-	-	-
19,0	(¾")	12,5	(½")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,5	(½")	9,5	(⅜")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,5	(⅜")	6,3	(¼")	-	-	2500 ± 10	-
6,3	(¼")	4,75	(N°4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75	(N°4)	2,36	(N°8)	-	-	-	5000 ± 10
Totales				5000 ± 10	2500 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Extraído de la NTP 400.019 para tamaño menores (2002)

Fuente: Extraído de la NTP 400.019 para tamaño menores (2002)

Obteniendo así un peso inicial de 5002 gr.

Luego de obtener una mezcla compuesta con los pesos indicados el material es lavado y secado al horno por 24 horas hasta hallar el peso constante. Después, verificar los tamaños de las partículas por tamizado, finalmente componer la muestra y tomar el peso inicial seco en gramos

para posteriormente verter el material dentro de la máquina de abrasión y agregar la carga abrasiva (esferas de acero) de acuerdo a la siguiente imagen:

Figura 15

Esferas de acero

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total en gramos
1	12	10000 ± 100
2	12	10000 ± 75
3	12	10000 ± 50
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Extraído de la NTP 400.019 (2002)

Fuente: Extraído de la NTP 400.019 (2002)

Hacer girar la máquina a la revolución indicada de acuerdo a los tamaños de los agregados: para tamaños mayores igual a 1000 revoluciones y para tamaños menores igual a 500 revoluciones, la maquina gira a una velocidad de 33 revoluciones por minuto (RPM), completando las 1000 revoluciones aproximadamente en 30 minutos y las 500 revoluciones en aproximadamente 15 minutos.

Luego del total de las revoluciones extraer el material de la máquina de los Ángeles en una bandeja (accesorio de la máquina). Finalmente tamizar por la malla N°12 Lavar el material retenido y llevarlo al horno hasta obtener el peso constante, volver a tamizar por la malla N°12 y registrar el peso.

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

Una vez sacado de la máquina de los ángeles, se volvió a tamizar por la malla N°12, de tal manera que obtuvimos un peso final de 3500.4 gr. Finalmente se aplica la ecuación (4) para hallar el porcentaje de abrasión:

$$\% \text{ de Abrasión} = \frac{PIS - PFS}{PIS} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

PIS = Peso inicial seco en gramos

PFS = Peso final seco en gramos

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

Figura 16

Requerimientos para agregado grueso de mezclas asfálticas en caliente

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)	
		< 3000	> 3000
Pérdida en Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	12 % máximo	10 % máximo
Pérdida en Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	18 % máximo	15 % máximo
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	40 % máximo	35 % máximo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 % mínimo	
Partículas chatas y alargadas	NTP 400.040:1999	15 % máximo	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.021:2002	1,00 %	Según Diseño
Adherencia	MTC E519-2000	+ 95	

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010)

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

2.8.3. Método Marshall

Por último, realizamos el ensayo por el método Marshall, el cual consiste en preparar 3 probetas cilíndricas por cada muestra necesitadas para calentar el agregado. Nuestra distribución de mezcla fue la siguiente:

Tabla 3

Datos propios para la elaboración de la muestra

Muestra	Peso molde (gr)	Concreto reciclado (gr)	Agregado fino (gr)	Cemento Asfáltico (gr)
1	1200	840	306	54
2	1200	840	300	60
3	1200	855	299	66
4	1200	840	288	72

Fuente: Elaboración propia (2019). Base datos obtenidos del laboratorio de la Universidad Privada del Norte

En la tabla 3, podemos observar que para la muestra 1, tenemos un molde de 1200 gramos de capacidad equivalente al 100%, un concreto reciclado equivalente al 70% de la muestra que sería 840 gramos, un agregado fino del 25.5% equivalente a 306 gramos y finalmente un cemento asfáltico del 4.5% equivalente a 54 gramos.

Para la muestra 2, tenemos la misma capacidad del molde de 1200 gramos, un concreto reciclado equivalente al 70% de la muestra que sería 840 gramos, un agregado fino del 25% equivalente a 300 gramos y finalmente un cemento asfáltico del 5% equivalente a 60 gramos.

Luego para la muestra 3, también tenemos un molde de 1200 gramos de capacidad, un concreto reciclado equivalente al 70% de la muestra que sería 855 gramos, un agregado fino del 24.5% equivalente a 299 gramos y finalmente un cemento asfáltico del 5.5% equivalente a 66 gramos.

Finalmente, para la muestra 4, tenemos un molde de 1200 gramos de capacidad, un concreto reciclado equivalente al 70% de la muestra que sería 840 gramos, un agregado fino del 24% equivalente a 288 gramos y finalmente un cemento asfáltico del 6% equivalente a 72 gramos. Cabe recalcar, que sumando los porcentajes del concreto reciclado más el agregado fino y el cemento asfáltico obtenemos la suma del 100% que sería la capacidad del molde.

Mezclar el agregado hasta obtener una temperatura de 138°C para luego compactar las muestras, introducirlas al horno hasta alcanzar una temperatura de 147°C. Luego, extraer 3 mediciones del espesor de cada probeta para pesar cada muestra en estado seco, sumergida en agua y añadiendo parafina a la mezcla, después de 30 minutos eliminar parafina sobrante. Finalmente golpear 35 veces la muestra para determinar estabilidad y deformación de cada muestra al romperlas en la prensa.

Posteriormente se pesa la briqueta y se mide su altura.

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

Tabla 4

Altura y peso de las briquetas

Briquetas	Altura (cm)	Peso (gr)
1	7.15	1178.2
2	7.05	1144.2
3	7.18	1181.1

Fuente: Elaboración propia (2019)

En el método de ensayo Marshall, cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado: determinación del peso específico bulk, ensayo de estabilidad y flujo, y finalmente el análisis de la densidad y vacíos.

En primer lugar, el peso específico bulk de una probeta compactada es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Como la probeta tiene una textura superficial densa e impermeable, su peso específico bulk se determina mediante la ecuación (5):

$$Gb = \frac{Wa}{W_{ss} - W_w} \quad (5)$$

Donde:

W_a = Peso de la biqueta seca en el aire

W_w = Peso de la biqueta en el agua

$W_w = W_{wc} - W_c$, donde:

W_{wc} = Peso de la biqueta en el agua más la canasta

W_c = Peso de la canasta = 1115 gr.

W_{ss} = Peso en el aire de la biqueta saturada y superficialmente seca

Para el ensayo de estabilidad y flujo, el procedimiento que se describe a continuación es aplicable a todas las briquetas compactadas. Se lleva la probeta a un baño de agua a $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante un lapso de 30 a 40 minutos. Se limpia cuidadosamente la superficie interior de la mordaza de prueba y se lubrican las barras guías con una delgada capa de aceite de manera que el segmento superior del anillo deslice libremente. Si se usa un anillo para medir la carga aplicada debe controlarse que su dial esté bien fijo y en cero cuando no haya carga. Estando listo el aparato de carga Marshall para el ensayo se saca la biqueta del agua y se seca rápido y cuidadosamente su superficie.

Se coloca la biqueta en la mordaza inferior de prueba y se centra, luego se ajusta el anillo superior en posición y se centra el conjunto en el mecanismo de carga. A continuación, se coloca el medido de flujo sobre la barra guía marcada y se lleva su aguja a cero. Se aplica carga a la biqueta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define mediante la máxima lectura obtenida en el día de carga. El número de kilonewtons correspondientes a esta lectura se anota como estabilidad Marshall. Mientras se está aplicando carga, se mantiene el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra guía y se retira cuando ocurra la carga máxima. La lectura en el dial en ese instante se denomina flujo y se expresa en centésima de pulgadas. El procedimiento completo, desde que se saca la probeta del baño de agua hasta que falla en la maquina no debe tardar más de treinta segundos.

Procedimiento obtenido del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

Tabla 5

Flujo de briquetas

Briquetas	Carga (KN)	Deflexión inicial (Li)	Deflexión final (Lf)	Flujo (L)
1	1.55	2 1/100"	22 1/100"	20 1/100"
2	1.05	2 1/100"	28 1/100"	26 1/100"
3	0.55	2 1/100"	33 1/100"	31 1/100"

Fuente: Elaboración propia (2019)

El flujo promedio de las briquetas es 25,6 1/100"

La estabilidad promedio de las probetas es 1.05 KN, el cual debe multiplicarse por un factor de corrección.

El espesor promedio de las probetas es 7.12 cm \approx 7.14 cm (2 13/16"), y por lo tanto el factor de corrección es de 0.83.

Entonces la estabilidad es $1.05 * 0.83 = 0.87$ KN.

Al terminar los ensayos de estabilidad de flujo, debe realizarse un análisis de la densidad y vacíos para cada serie de muestras en la ecuación (6).

Se promedian los pesos específicos bulk de todas las briquetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando las que se alejen demasiado del promedio. Este valor promedio, multiplicado por 62.4 permitiendo obtener la densidad en el sistema inglés.

$$Gb = \frac{\text{peso específico bulk promedio}}{\text{número de briquetas}} \quad (6)$$

Posteriormente, se calcula el peso específico promedio del agregado total, mediante la ecuación (7):

$$G_{agr} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1}\right) + \left(\frac{P_2}{G_2}\right) + \left(\frac{P_3}{G_3}\right) + \dots} \quad (7)$$

Donde:

P1, P2, P3, ... = Porcentajes en pesos de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

G1, G2, G3, = Pesos específicos de los materiales a los que corresponde las fracciones anteriormente mencionadas.

Los pesos específicos son los siguientes:

Para el agregado fino: 2.692

Para el concreto reciclado: 2.593

Se reemplaza en la ecuación (7) y se obtiene:

$$G_{agre} = 2.659$$

Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendría si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto de agregados carente de vacíos con aire. Este valor se calcula mediante la ecuación (8):

$$G_{mt} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregados}}{G_{agre}}\right) + \left(\frac{\% \text{ cemento asfáltico}}{G_{asfalto}}\right)} \quad (8)$$

$$G_{mt} = 2.056$$

El peso específico del asfalto, se calcula mediante la ecuación (9):

$$G_{asf} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (9)$$

Donde:

A = peso del picnómetro = 23.2 gr.

B = peso del picnómetro + agua baño María = 47.8 gr.

C = peso del picnómetro + asfalto = 28.7 gr.

D = peso del picnómetro + asfalto + agua destilada = 48.1 gr.

Se reemplaza en la ecuación (9):

$$G_{asf} = 1.058$$

Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, mediante la ecuación (10):

$$Aa = \left(\frac{(G_{mm} - G_{mt})}{G_{mm} \times G_{mt} \times \%agregados} \right) * 10000 \quad (10)$$

Donde:

Gmm = peso específico máximo medio = 2.55

Se reemplaza en la ecuación (10) y se obtiene:

$$Aa = 0.717$$

Se determina el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la briqueta en la ecuación (11):

$$V_{agre} = \frac{\%agregados \times Gb}{G_{agre}} \quad (11)$$

$$V_{agre} = 72.23\%$$

Se calcula en la ecuación (12) el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la briqueta.

$$V_v = \left(1 - \frac{G_b}{G_{mm}}\right) * 100 \quad (12)$$

$$V_v = 21.569$$

Se calcula en la ecuación (13) el volumen del asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la briqueta.

$$V_{ae} = 100 - (V_{agr} + V_v) \quad (13)$$

$$V_{ae} = 6.2\%$$

Se determina en la ecuación (14) el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada.

$$V_{am} = 100 - V_{agre} \quad (14)$$

$$V_{am} = 27.77\%$$

Finalmente, se determina con la ecuación (15) el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla:

$$A_e = \% \text{ cemento asfáltico} - \frac{(A_a \times \% \text{ agregados})}{100} \quad (15)$$

$$A_e = 3.31\%$$

Figura 17

Crterios Marshall

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10 ⁴	10 ⁴ ≤ EAL < 10 ⁶	EAL ≥ 10 ⁶
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 -14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral, VMA (min - max)		Ver Tabla 4	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min – max)	70 - 80	65 -78	65 -75

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma técnica CE. 010 pavimentos Urbanos (2010)

Según los criterios Marshall se utilizará la columna de vías locales ya que nuestro diseño se enfoca básicamente en el tránsito liviano.

Procedimiento obtenido de la Norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos y del manual (guía) de laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN).

2.9. Aspectos éticos

Esta investigación fue desarrollada a través de una revisión sistemática de artículos de tesis, revistas, artículos científicos, informes, verificando siempre la veracidad y validez de la fuente. También, los investigadores respetaron las fuentes de información que han sido utilizados en la formulación de la presente investigación y que es propiedad intelectual de cada autor no habiendo

recurrido al plagio según la Ley de la propiedad intelectual bajo el decreto Legislativo N°822.

Cabe mencionar que para el desarrollo de esta investigación se usó la norma técnica CE. 010 pavimentos urbanos. Asimismo, este tema de investigación se redactó bajo la norma APA séptima edición. Según el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), define que la ética profesional es el conjunto de normas y valores que hacen y mejoran al desarrollo de las actividades profesionales y marcan, además, las pautas éticas del desarrollo laboral mediante valores universales.

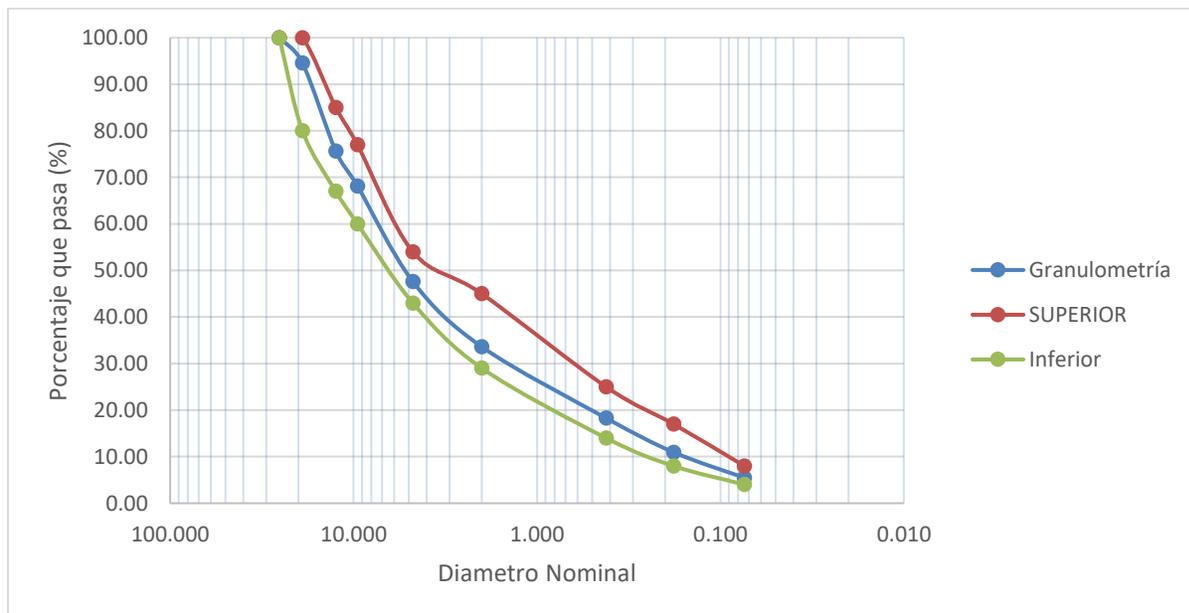
CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos para cada ensayo realizado, cuya descripción y método empleado se realizó en el capítulo anterior. En primer lugar, se presenta los resultados del ensayo de Granulometría, luego se realiza el ensayo de abrasión por la máquina de los Ángeles y finalmente se realiza el método Marshall.

3.1. Granulometría

Gráfico 1

Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia (2019). Curva de los resultados del ensayo de granulometría.

El gráfico 1 muestra la curva granulométrica utilizada para la fabricación de las mezclas convencionales y con reemplazo parcial de concreto reciclado en la fracción gruesa. Asimismo, se observa que la curva granulométrica seleccionada para análisis, se encuentra dentro de la franja

granulométrica establecida por la norma CE 010 Pavimentos Urbanos, la cual se determinó variando los porcentajes en los que cada material es involucrado como parte de la mezcla asfáltica.

La tabla 6 muestra los resultados de los diámetros obtenidos a partir de la curva granulométrica.

Tabla 6

Resultado de los diámetros

D	Ds	Di	%PS	%PI	Dx
10	0.18	0.07	10.95	5.48	0.16
30	2.00	0.42	33.60	18.29	1.63
60	9.52	4.75	68.14	47.60	7.63

Fuente: Elaboración propia (2019)

Finalmente, se obtuvo como coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{7.63}{0.16} = 47.69$$

Y como coeficiente de curvatura:

$$Cc = \left(\frac{1.63^2}{(7.63 * 0.16)} \right) = 2.18$$

Dándonos un resultado óptimo donde cumple que el coeficiente de uniformidad es mayor que 6 y el de curvatura está entre 1 y 3 como lo estipula la norma.

3.2. Máquina los Ángeles

Para este ensayo, se obtuvo como resultado un porcentaje de Abrasión:

$$\% \text{ Abrasión} = \left(\frac{(68.14 - 47.60)}{68.14} \right) = 30.20$$

Donde la norma CE. 010 pavimentos Urbanos indica que el material debe ser menor o por debajo del 40%, y en nuestro caso si se da el resultado óptimo.

3.3. Método Marshall

Finalmente, para este ensayo se obtuvo como resultados la siguiente tabla:

Tabla 7

Resultado del Método Marshall

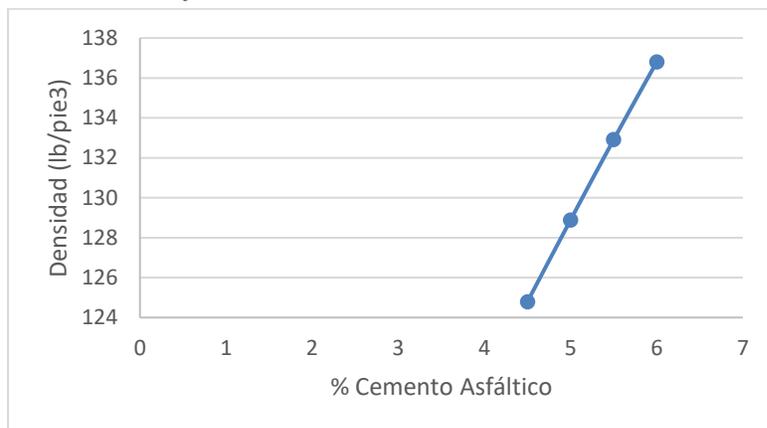
% agregado	% CA	Densidad	Estabilidad	Flujo	Vv	Varn
95.5	4.5	124.8	0.89	25.6	21.57	27.77
95	5	128.89	2.53	18.7	18.05	25.56
94.5	5.5	132.91	3.43	14.6	12.34	23.78
94	6	136.80	4.23	10.2	10.02	21.45

Fuente: Elaboración propia (2019). Tabla de los resultados del ensayo

A continuación, se muestran los gráficos de las anteriores relaciones:

Gráfico 2

%Cemento Asfáltico vs Densidad

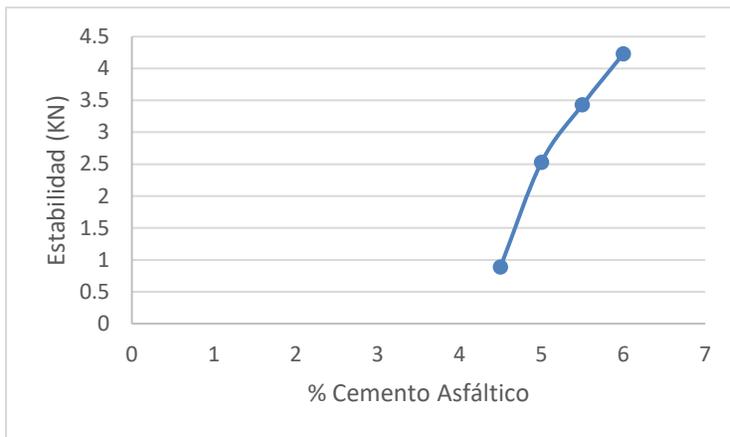


Fuente: Elaboración propia (2019). Gráfico obtenido del ensayo.

La densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer. Este resultado se encuentra dentro del rango permitido de los parámetros en la norma CE 010. Pavimentos Urbanos. Por consiguiente, se puede afirmar que este material puede ser utilizado parcialmente como agregado grueso para un diseño de mezcla asfáltica. Asimismo, sus propiedades físicas son parcialmente similares a la de un agregado natural.

Gráfico 3

%Cemento Asfáltico vs Estabilidad

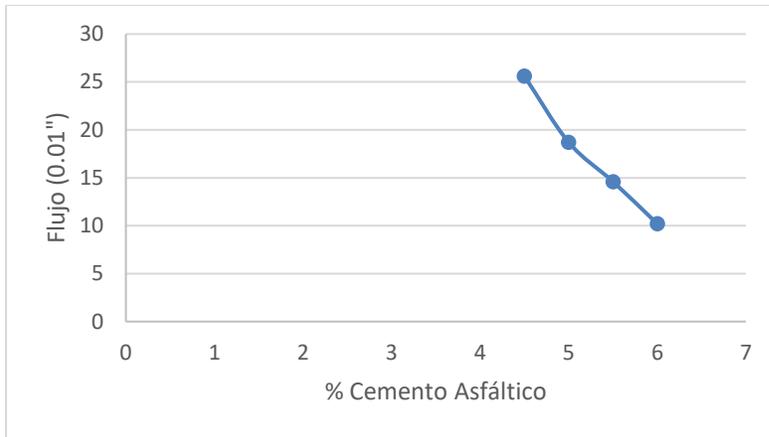


Fuente: Elaboración propia (2019). Gráfico obtenido del ensayo.

La curva de estabilidad es similar a la de la densidad, salvo que la máxima estabilidad ocurre normalmente a un contenido de asfalto ligeramente inferior al de la máxima densidad. Se puede afirmar que la estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas del agregado (concreto reciclado) y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. La estabilidad de este resultado cumple con los parámetros de calidad que exige la norma CE 010. Pavimentos urbanos para el diseño de una mezcla asfáltica utilizando parcialmente concreto reciclado como agregado grueso.

Gráfico 4

%Cemento Asfáltico vs Flujo

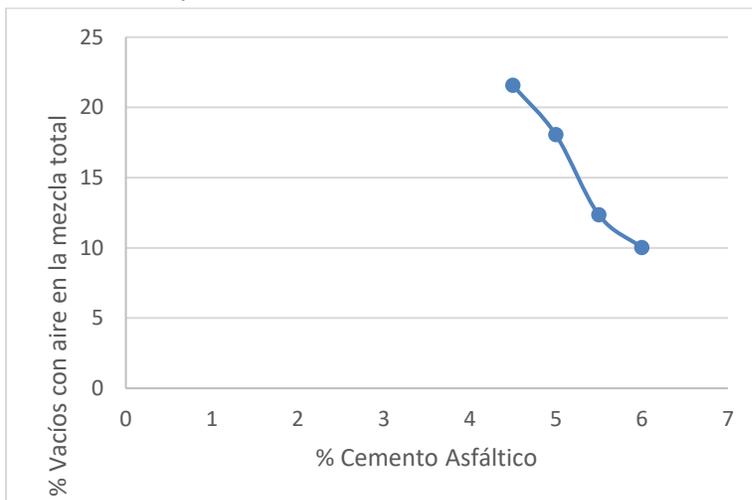


Fuente: Elaboración propia (2019). Gráfico obtenido del ensayo.

Los valores de flujo aumentan con los incrementos en el contenido de asfalto. Se puede afirmar según el resultado que las mezclas que contienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas de tránsito.

Gráfico 5

%Cemento Asfáltico vs Vacíos con aire en la mezcla total

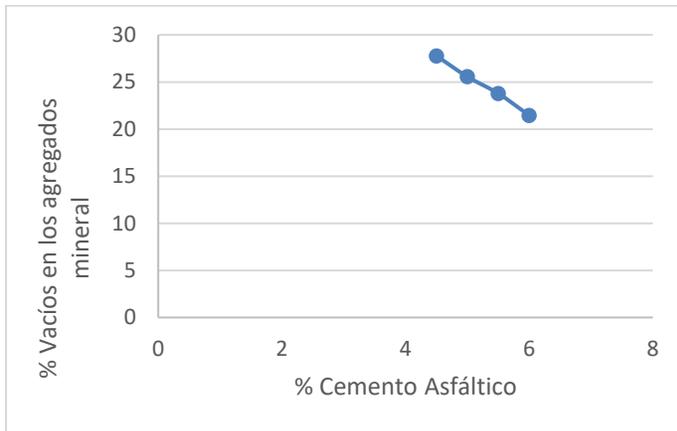


Fuente: Elaboración propia (2019). Gráfico obtenido del ensayo.

En los agregados de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementarse el contenido de asfalto, hasta alcanzar un mínimo a partir del cual comienza a aumentar. Se afirma que mientras mayor sea el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla total, el pavimento urbano tenderá a deteriorarse ya que no tendrá tanta durabilidad como lo tendrá un pavimento con poco porcentaje de vacíos con aire.

Gráfico 6

%Cemento Asfáltico vs % vacíos en los agregados mineral



Fuente: Elaboración propia (2019). Gráfico obtenido del ensayo

En los agregados de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementarse el contenido de asfalto, hasta alcanzar un mínimo a partir del cual comienza a aumentar. Asimismo, se determina como resultado que los valores del porcentaje de vacíos en los agregados minerales cumplen con los parámetros de calidad que se propusieron en los objetivos específicos según la norma CE 010. Pavimentos urbanos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Alrededor del 60% de desechos urbanos corresponde a los que se desprenden como residuos de construcción. En este trabajo se analizó a los residuos de construcción para ser utilizados parcialmente en un diseño de mezcla asfáltica para zonas urbanas. Tal y como se aprecia en otros trabajos, Cardona & López (2016), usando concreto reciclado en la mezcla se hizo variando los porcentajes entre 30, 50 y 75%. La caracterización física del agregado mostró un alto porcentaje de desgaste a la abrasión, lo que ocasionó un desprendimiento de las partículas de agregado reciclado al realizar la compactación de las briquetas por el método Marshall. Para el concreto reciclado, se determinó que el reemplazo máximo de agregado grueso es de 30% para poder alcanzar un desempeño aceptable.

Los resultados encontrados por Torres, P. Flores, M. Flores, V. Flores y Mairon (2014), consistieron básicamente en recolectar residuos reciclables en obras seleccionadas, consiguiendo agregados pétreos por trituración que sirvieron para preparar una mezcla asfáltica, la cual fue sometida a distintas pruebas en campo y laboratorio para determinar su comportamiento mecánico. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los rangos aceptados por norma.

Es importante indicar que los ensayos realizados para caracterizar los agregados gruesos y finos empleados durante el desarrollo de este trabajo, hacen parte de los procedimientos recomendados por la Norma CE 010. Pavimentos Urbanos para aceptar la calidad de los materiales en la fabricación de mezclas asfálticas. Dentro de ese grupo de ensayos se encuentran: análisis granulométrico, desgaste por abrasión en la máquina de los Ángeles y método Marshall.

Además de los resultados del análisis granulométrico, los resultados por desgaste de abrasión encontrados por Cardona & López (2016) presentan resultados muy cercanos a los obtenidos por la investigación. Se puede afirmar que el concreto reciclado de referencia obtuvo mayor porcentaje de desgaste con el 35%. Por lo tanto, el material del autor es mucho mejor que el material empleado en nuestros ensayos. Cuanta más durabilidad tenga el concreto reciclado, mayor será el desgaste a la abrasión, que es uno de los factores determinantes para poder realizar un diseño de mezcla asfáltica. En ese sentido, la prueba demuestra que el concreto con utilización de desechos tiene un desgaste menor que el concreto de referencia.

Por otro lado, los coeficientes de uniformidad y curvatura tanto para el concreto reciclado de muestra como para nuestros ensayos fueron casi los mismos, para el concreto reciclado de referencia se obtuvo un coeficiente de uniformidad de 49 y como coeficiente de curvatura 2, mientras que en nuestros ensayos se obtuvo un coeficiente de uniformidad 47.22 y como coeficiente de curvatura 2.15. Esto quiere decir que ambos coeficientes se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Norma CE 010. Pavimentos Urbanos.

4.2. Conclusiones

En nuestro proyecto se hicieron análisis al concreto reciclado que estaban en el rango del 35% como reemplazo de agregado grueso. Para estos porcentajes se han obtenido todos los resultados como se han presentado en el capítulo anterior.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar si se puede utilizar parcialmente el concreto reciclado como agregado grueso en un diseño de mezcla asfáltica para zonas urbanas. Para este propósito, se realizaron ensayos de Granulometría para la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del agregado grueso, ensayo de Desgaste por Abrasión para determinar la resistencia mecánica al desgaste en una muestra de agregado grueso, y también

se realizó el método Marshall para la medición de la resistencia a la deformación plástica briquetas de mezclas bituminosas.

Con respecto al ensayo de Granulometría, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que la curva granulométrica se encontró dentro del MAC 1, en otras palabras, la curva granulométrica se encontró dentro de los husos permitidos por la norma CE 010. Pavimentos Urbanos. Asimismo, se obtuvo como coeficiente de uniformidad 47.22 y como coeficiente de curvatura 2.15, dándonos un resultado óptimo donde cumple que el coeficiente de uniformidad es mayor que 6 y el de curvatura está entre 1 y 3 como lo estipula la norma.

Para los resultados del ensayo Desgaste por Abrasión, según los resultados obtenidos en el laboratorio se puede concluir que contamos con un concreto reciclado de alta resistencia al desgaste, por lo tanto, que dicho material es apto para el diseño de la mezcla, ya que nos podría garantizar buenos resultados al ser utilizado debido a la dureza que presenta al ser sometido a fricciones junto con las esferas. Asimismo, se obtuvo un porcentaje de Abrasión de 30.02 %, donde nuestro material es menor al 40% según la norma CE 010. Pavimentos Urbanos, por ende, el material es óptimo para su construcción.

De manera similar, para el método Marshall, el uso granulométrico que mejor se ajusta a nuestra curva es el MAC – 1. Asimismo, la gravedad específica obtenida se encuentra en el rango de los valores comunes para los agregados, sin embargo, se recomienda realizar el ensayo del peso superficialmente seco del agregado fino, de forma cuidadosa ya que este parámetro es muy difícil de hallar. Los resultados de pesos unitarios de las briquetas son confiables, ya que nos sale porcentajes de vacíos bajos, por la cual será correcto colocar este diseño de mezcla asfáltica en un pavimento urbano. Finalmente, según todos nuestros resultados de este ensayo, podemos concluir

que efectivamente se puede utilizar parcialmente el concreto reciclado como agregado grueso para un diseño de mezcla asfáltica para pavimentos urbanos.

Por lo tanto, al analizar los resultados obtenidos, se concluye que el uso del concreto reciclado utilizado parcialmente en un diseño de mezcla asfáltica es posible para su uso en pavimentos urbanos. Además, al emplear este material no compromete a la durabilidad de la mezcla asfáltica. Sin embargo, se necesitan más estudios y ensayos para comprobar si es factible el uso total del concreto reciclado en un diseño de mezcla asfáltica.

Se destaca la importancia de encontrar nuevas alternativas para resolver el problema de la acumulación de residuos de la construcción, dada la gran demanda que esta genera por la industria de la construcción. Finalmente, buscar la reutilización de estos escombros es una buena solución para reducir notablemente estos escombros que proporciona la construcción.

Sugerencias para trabajos futuros:

Analizar el reemplazo total del concreto reciclado como agregado grueso en un diseño de mezcla asfáltica;

Analizar si el concreto reciclado puede ser extraído de cualquier elemento estructural de una edificación en demolición;

Comparar el concreto reciclado con el agregado convencional para un diseño de mezcla asfáltica.

REFERENCIAS

- Arias, C. (2013). Diseño de mezclas. *Universidad Peruana de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Perú*
- Barrera, E. & Olmedo, O. (2015). Utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) ligados con materiales cementantes en pavimentos. *Pontificia Universidad Javeriana Cali. Trabajo de Grado. Colombia*
- Camacho, J. (2015). Ventajas y usos del Concreto Reciclado Programa de especialización en ingeniería de pavimentos. *Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.*
- Cardona, R. & López, K. (2016). Caracterización de un agregado reciclado de concreto (ARC) para la construcción de la carpeta asfáltica de pavimentos flexibles. *Pontificia Universidad Javeriana Cali. Colombia*
- Castañeda, C., Escobar, A. y López, L. (2011). Aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con emulsión asfáltica. *Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad del Salvador. El Salvador.*
- Chávez, F. & Fernando, G. (2012). Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales. *Universidad Nacional La Plata. Facultad de Ingeniería. Construcción con material reciclado; pruebas de rendimiento; hormigón. Argentina*
- Cruz, J. & Velázquez, R. (2004). Concreto Reciclado. *Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. México.*

Cruz, J. (2004). Concreto Reciclado. *Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. México.*

De la Cruz, P. & Zavala, M. (2015). Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología Marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo para el proyecto de rehabilitación de la carretera Dv imperial pampas. *Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Lima. Perú.*

Henaine, M. (2015). Diseño y Construcción Maquinaria Los Ángeles. *Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. México.*

Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. *Sexta edición, México D.F. México. 634 pp.*

INACAL (2006). NTP 400.050:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. *Generalidades. Perú*

INACAL (2006). NTP 400.051:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. *Reciclaje de mezclas asfálticas de demolición. Perú*

INACAL (2006). NTP 400.053:1999 MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. *Reciclaje de concreto de demolición. Perú*

Intriago, J. (2015). Estudio de métodos mecánicos para la determinación de la resistencia al desgaste por fricción seca en el agregado del hormigón de pavimento. *Tesis para la obtención del título como ingeniero mecánico, Ambato. Ecuador.*

Jeria, R. (2015). Laborista vial clase tipo C. *Ministerio de obras públicas. Chile.*

- Maila, M. (2013) Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA). *Trabajo de graduación previo la obtención del título de ingeniero civil, Quito. Ecuador.*
- Mena, C. & Valdés, Y. (2014). Dosificación óptima de una mezcla de concreto con materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Cali para uso en obras viales de bajo tránsito Pontificia Universidad Javeriana Cali. *Trabajo de Grado. Colombia*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Especificaciones técnicas generales para construcción Manual de carreteras EG-2013 (MC-01-13) *Tomo I. Perú*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos: sección suelos y pavimentos. Manual de carreteras R.D. N° 10-2014 (MC-05-14). *Perú*
- Pacheco, C. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Colombia.*
- Rivera, T. (2014). El concreto y sus propiedades. *Tesis para la obtención del título profesional, Perú.*
- Rocha, M. & Marciano, E. (2010). Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos En Áreas Urbanizadas. *Tesis para obtener la titulación en la carrera de Ingeniería Civil. Brasil.*
- Samaniego, M. & Estrada, E. (2012). Diseño y construcción de un equipo mixto de molienda y tamizado para materiales minerales. *Tesis para la obtención de título de ingeniero químico, Riobamba. Ecuador.*

- Serrano, A., García, L., León, I., García, E., Gil, B. y Ríos, L. (2015). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Educación especial*. 33 pp.
- SENCICO (2010). CE.010 Pavimentos Urbanos Reglamento Nacional de Edificaciones. *Perú*
- Torres, R., Flores, P., Flores, M., Flores, V. y Mairon, K. (2014). Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. *Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Ciencias, tecnologías y Agrarias. Bolivia.*
- Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo (2014). Aplicaciones del agua en Ingeniería Civil. *Tecnología de materiales de construcción, Chiclayo. Perú*
- Vara, A. (2012). Desde la idea hasta la sustentación: Siete pasos para una tesis exitosa. Un método efectivo para las ciencias empresariales. *Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos. Universidad de San Martín de Porres. Lima. 451 pp.*
- Vilchez, A. (2008). Correlación de resultados de ensayos de resistencias en probetas de concreto estándar de 6” x 12” y 4” x 8” con cemento Pórtland tipo I (sol) y cemento Pórtland puzolánico tipo IP (ATLAS) con piedra serie N° 57. *Proyecto de tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Lima. Perú.*

ANEXOS

Anexo 1

Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Normativa
Residuos de concreto	Los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier tipo de obra, ya sea de carácter público o privado. (Pacheco, 2017)	Concreto reciclado	Ensayo de Granulometría Ensayo por Abrasión	NTP 400.019 Norma CE. 010 pavimentos Urbanos NTP 400.019:2002
Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Normativa
Mezcla Asfáltica	Combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso. (Arias, 2013)	Mezcla Asfáltica	Ensayo de Método Marshall	Norma CE. 010 pavimentos Urbanos

Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 2

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo se comporta una mezcla asfáltica donde se aplica un porcentaje de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso?	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar las características de una mezcla asfáltica con agregado reciclado que contenga los parámetros mínimos de calidad mediante el ensayo Marshall, que calcula la resistencia a la deformación. ✓ Determinar la resistencia del agregado grueso hecho de concreto reciclado a partir de los ensayos de Granulometría y Desgaste por Abrasión. 	<p>Hipótesis General</p> <p>Si se obtiene un buen desempeño de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso.</p> <p>Hipótesis Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Con los resultados obtenidos a partir del ensayo Marshall, si se obtienen diseños dentro de la normativa con los porcentajes analizados. ✓ Con los ensayos de Granulometría y Desgaste por Abrasión, si se obtienen resistencias del agregado grueso de concreto reciclado dentro de la normativa vigente. 	<p>Residuos de concreto</p> <p>Los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de cualquier tipo de obra, ya sea de carácter público o privado. (Pacheco, 2017)</p> <p>Mezcla asfáltica</p> <p>Combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso. (Arias, 2013)</p>	<p>Método:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Teórico – Práctico</p> <p>Diseño:</p> <p>Experimental</p> <p>Materiales:</p> <p>Se tomará muestras de una edificación en demolición para posteriormente realizar 3 briquetas.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <p>Ensayos para el agregado grueso reciclado:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Granulometría (ASTM D422, CE.010) ✓ Desgaste por Abrasión (NTP 400.019, NTP 400.020, CE.010) <p>Ensayos para la mezcla asfáltica:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Método Marshall (ASTM D-1559, CE.010)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 3

Ensayos a realizar

ENSAYO	NORMA	FRECUENCIA	LUGAR
Contenido de Asfalto	MTC E502-2000	1 por día	Planta o Pista
Granulometría	NTP 339.128:1998	1 por día	Planta o Pista
Ensayo Marshall	MTC E504-2000	1 por día	Planta o Pista
Temperatura	----	Cada volquete	Planta y Pista

Las mezclas en caliente deberán cumplir las siguientes tolerancias:

- Materiales que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") ± 5 %
- Material comprendido entre los tamices de 9,5mm (3/8") y 75 µm (N° 200) ± 4 %
- Material que pasa el tamiz 75 µm (N° 200) ± 1 %
- Porcentaje de Asfalto ± 0,3 %
- Temperatura de la mezcla al salir de la planta ± 11 °C
- Temperatura de la mezcla entregada en pista ± 11 °C

Las mezclas en frío deberán cumplir las siguientes tolerancias:

- Materiales que pasan los tamices 4,75mm (N°4), 2,36 mm (N°8) y 850 µm (N°200) ± 5 %
- Solventes ± 2 %
- Asfalto ± 0,3 %

Fuente: Extraído de la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)

Anexo 4

Tipos de pavimentos

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Subrasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Subbase		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	100% compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 %
Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	N.A.*	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm		≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm	≥ 150 mm	≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material	Vías locales Vías colectoras Vías arteriales Vías expresas	Concreto asfáltico***	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm ²)	f _c ≥ 38 MPa (380 kg/cm ²)

Notas: * N.A.: No aplicable; ** N.R.: No Recomendable; *** El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

- En ningún caso la capa de rodadura será la base granular o el afirmado, a menos que sea tratada. Bajo la responsabilidad de la Entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras y del PR, se podrá considerar otras soluciones tales como: Bases tratadas con cemento, con asfalto o cualquier producto químico.
- En el caso de los pavimentos flexibles y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: micro pavimentos, lechadas bituminosas, tratamientos asfálticos superficiales, etc.
- En el caso de los pavimentos rígidos y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: concreto con refuerzo secundario, concreto con refuerzo principal, concreto con fibras, concreto compactado con rodillo, etc.
- Los estacionamientos adyacentes a las vías de circulación tendrán de preferencia, las mismas características estructurales de estas. Alternativamente se podrán usar otros tipos de pavimentos sustentados con un diseño.

Fuente: Extraído de la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)

Anexo 5

Criterios Marshall

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	$EAL < 10^4$	$10^4 \leq EAL < 10^6$	$EAL \geq 10^6$
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 - 14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral***, VMA (min - max)	Ver Anexo N°4		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min - max)	70 - 80	65 - 78	65 - 75

Notas:

* Se debe considerar todos los criterios en el diseño de mezclas de pavimentación.

** Por encima de los 3000 m.s.n.m., se recomienda un valor de 2%.

*** El porcentaje de vacíos en el agregado mineral se calcula sobre la base de las gravedades específicas bulk ASTM de los agregados.

Fuente: Extraído de la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)

Anexo 6

Porcentajes de vacíos de diseño

MALLA	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje de vacíos de diseño *		
	3,0	4,0	5,0
1,18 mm (N° 16)	21,5	22,5	23,5
2,36 mm (N° 8)	19,0	20,0	21,0
4,75 mm (N° 4)	16,0	17,0	18,0
9,50 mm (3/8")	14,0	15,0	16,0
12,5 mm (1/2")	13,0	14,0	15,0
19,0 mm (3/4")	12,0	13,0	14,0
25,0 mm (1.0")	11,0	12,0	13,0
37,5 mm (1.5")	10,0	11,0	12,0
50,0 mm (2.0")	9,50	10,5	11,5
63,0 mm (2.5")	9,00	10,0	11,0

Fuente: Extraído de la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)

Anexo 7

Tipos de pavimentos

Elemento	Tipo de Pavimento	Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
	Subrasante	95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar Espesor compactado: ≥ 150 mm		
	Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60 %
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico		≥ 30 mm	
	Concreto de cemento Portland		≥ 100 mm	
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico		Concreto asfáltico*	
	Concreto de cemento Portland		$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm ²)	
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm ²)		N.R. **

* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

** N.R.: No Recomendable.

Fuente: Extraído de la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010)

Fuente: Extraído de la Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)

Anexo 8

Cuarteo de la muestra



Fuente: Fotografía propia obtenida del laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Lima - Centro (2019).

En esta imagen podemos observar el cuarteo de la muestra que se realizó al inicio de realizar el ensayo de granulometría, para posteriormente, empezar a pasarlo por los diferentes tamices y poder obtener la curva granulométrica.

Anexo 9

Pesos retenidos del tamizado



Fuente: Fotografía propia obtenida del laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Lima - Centro (2019).

Podemos observar, los pesos retenidos de cada malla tamizada, para posteriormente pasar a calcular los datos para poder graficar la curva granulométrica dentro de los husos permitidos por la norma, en este caso usamos el MAC – 1.

Anexo 10

Maquina Marshall



Fuente: Fotografía propia obtenida del laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Lima - Centro (2019).

En esta imagen se puede apreciar la maquina Marshall principal para realizar el ensayo y poder obtener la deformación de las muestras (briquetas) y poder pasar a calcular los gráficos con sus respectivos análisis.

Anexo 11

Maquina Marshall



Fuente: Fotografía propia obtenida del laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Lima - Centro (2019).

En esta imagen se muestra a uno de los integrantes sosteniendo la muestra una vez ensayada, esta muestra se ensayó con un porcentaje de cemento asfáltico de 5%.

Anexo 12

Maquina Marshall



Fuente: Fotografía propia obtenida del laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Lima - Centro (2019).

En esta imagen se muestra al otro integrante restante sosteniendo la muestra una vez ensayada, esta muestra se ensayó con un porcentaje de cemento asfáltico de 5.5%.