



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE
CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS**

Diana Lorena Escobedo Cifuentes

Asesorada por el MA. ING. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE
CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DIANA LORENA ESCOBEDO CIFUENTES

ASESORADA POR EL MA. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SÁENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 18 de febrero de 2021.

Diana Lorena Escobedo Cifuentes

Ref. EEPFI-1143-2021
Guatemala, 17 de agosto de 2021

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: "DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS**, presentado por la estudiante **Diana Lorena Escobedo Cifuentes** carné número **199919394**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
Asesor

MSc. Nicolás Guzmán
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético

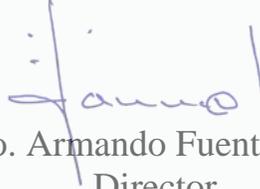
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIC-009-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS**, presentado por la estudiante universitaria Diana Lorena Escobedo Cifuentes, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, noviembre de 2021





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.157.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO DEMOLIDO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BANQUETAS**, presentado por: **Diana Lorena Escobedo Cifuentes**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su infinita misericordia y amor. Por darme la fortaleza y sabiduría para culminar esta meta.
- Mis padres** Ing. Edgar Francisco Escobedo López (q. d. e. p.) y Zonia Ebilia Cifuentes Mazariegos, por su amor incondicional, apoyo infinito y por su ejemplo de trabajo duro y esfuerzo.
- Mi esposo** Por su apoyo y lealtad incondicional.
- Mis hijos** Por inspirarme cada día a ser mejor.
- Mis hermanos** Geovanni, Cecilia y Alejandro Escobedo, con quienes he compartido alegrías y tristezas en el transcurso de nuestras vidas y siempre han estado a mi lado.
- Mi abuelita** Por su ejemplo de valentía y trabajo duro.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa y tricentenaria, por ser mi <i>alma máter</i> en donde logré el desarrollo de mi formación académica como profesional.
Facultad de Ingeniería	Sede que me permitió desarrollar mis actitudes técnicas y científicas, que permitieron alcanzar esta meta.
Mi familia	Por ser parte importante en mi desarrollo personal y profesional.
Mi asesor	MA. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz, por su apoyo, orientación, profesionalismo y paciencia para culminar este trabajo.
Mis compañeros	Por todos los momentos que hemos compartido y por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Concreto	17
7.2. Propiedades del concreto	17
7.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco.....	17

	7.2.1.1.	Manejabilidad o trabajabilidad.....	17
	7.2.1.2.	Consolidación.....	18
	7.2.1.3.	Otras propiedades.....	18
7.2.2.		Propiedades del concreto en estado endurecido.....	20
	7.2.2.1.	Características físico – químicas.....	20
	7.2.2.2.	Características mecánicas	21
	7.2.2.2.1.	Resistencia a la compresión.....	21
	7.2.2.2.2.	Resistencia a la flexión	21
7.3.		Clasificación del concreto.....	21
7.4.		Composición del concreto	23
	7.4.1.	Cemento.....	23
	7.4.1.1.	Cemento Portland	23
	7.4.2.	Agua.....	24
	7.4.3.	Agregados.....	25
	7.4.4.	Clasificación de los agregados según su origen.....	25
	7.4.4.1.	Agregados naturales	26
	7.4.4.2.	Agregados triturados	26
	7.4.4.3.	Agregados mixtos	26
7.4.5.		Clasificación de los agregados según su tamaño.....	26
	7.4.5.1.	Agregados finos	27
	7.4.5.2.	Agregados gruesos	27

7.4.6.	Clasificación de los agregados según su densidad	27
7.4.6.1.	Agregados ligeros.....	27
7.4.6.2.	Agregados normales	28
7.4.6.3.	Agregados pesados.....	28
7.4.7.	Análisis de las propiedades físicas de los agregados	28
7.4.7.1.	Absorción ASTM C-127 y ASTM C-128	28
7.4.7.2.	Contenido de humedad ASTM C-566	29
7.4.8.	Estado de los agregados	29
7.4.9.	Peso específico de los agregados	30
7.4.10.	Peso unitario ASTM C-29	30
7.4.11.	Granulometría ASTM C-136	31
7.4.12.	Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados gruesos	31
7.4.12.1.	Ensayo de abrasión ASTM C-131	31
7.5.	Residuos sólidos de la construcción.....	32
7.5.1.	Tipos de residuos sólidos	33
7.5.2.	Manejo de residuos sólidos	33
7.5.3.	Clasificación de los residuos de construcción.....	34
7.5.3.1.	Demolición.....	34
7.5.3.2.	Desastres naturales.....	35
7.5.3.3.	Otros.....	35

7.6.	Reciclaje de residuos de la construcción.....	35
7.6.1.	Concreto reciclado con residuos de construcción	35
7.6.2.	Usos y aplicaciones de concreto reciclado	36
7.7.	Propiedades del concreto reciclado	36
7.7.1.	Granulometría	37
7.7.2.	Forma y textura superficial	37
7.7.3.	Densidad y absorción	37
7.7.4.	Desgaste	38
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	39
9.	METODOLOGÍA	43
9.1.	Tipo de estudio.....	43
9.2.	Definición de variables	43
9.3.	Fases de estudio	45
9.3.1.	Fase 1: Revisión bibliográfica.....	45
9.3.2.	Fase 2: Muestreo de escombros	45
9.3.3.	Fase 3: Trituración de escombros	47
9.3.4.	Fase 4: Obtención de una granulometría adecuada.....	47
9.3.5.	Fase 5: Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados.....	49
9.3.5.1.	Granulometría	49
9.3.5.2.	Absorción y contenido de humedad	49

9.3.5.3.	Densidad relativa (peso específico) para agregado grueso Norma ASTM C-127	50
9.3.5.4.	Densidad aparente (masa unitaria) en los agregados, ASTM C-29	50
9.3.5.5.	Porcentaje de vacíos, ASTM C-29.....	51
9.3.5.6.	Determinación de la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles ASTM C-131 ...	52
9.3.6.	Fase 6: Diseño de mezcla	53
9.3.7.	Fase 7: Elaboración y ensayo de probetas cilíndricas.....	54
9.3.7.1.	Análisis de resultados...	55
9.3.8.	Fase 8: Fundición de banqueta utilizando concreto reciclado.....	55
9.3.9.	Fase 9: Análisis de los beneficios económicos y ambientales.....	56
9.3.10.	Fase 10: Presentación y discusión de resultados	57

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	59
11.	CRONOGRAMA	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
13.	REFERENCIAS	65
14.	ANEXOS	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Residuos de concreto.....	46
2.	Cuarteo	46
3.	Trituración manual residuos de concreto.....	47
4.	Juego de tamices	48
5.	Planta y elevación	56
6.	Cronograma de actividades.....	61

TABLAS

I.	Otras propiedades del concreto fresco.....	19
II.	Características físico – químicas concreto endurecido	20
III.	Clasificación y características del concreto	22
IV.	Tipos de cemento Portland.....	24
V.	Estados y características de los agregados	29
VI.	Definición de variables	44
VII.	Tamaños de partículas de agregado reciclado.....	48
VIII.	Graduación para el tipo de abrasión a realizar de agregado grueso, utilizando 5000 gramos de muestra.	52
IX.	Normas ASTM utilizadas en la caracterización de los agregados.....	53
X.	Diseño de mezcla concreto normal $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	54
XI.	Resultados de la mezcla con concreto reciclado.....	54
XII.	Resultados del ensayo a compresión concreto reciclado.....	55
XIII.	Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
°C	Grados centígrados
g	Gramo
kg	Kilogramo
kg/cm	Kilogramo por centímetro
kg/ cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/ cm³	Kilogramo por centímetro cúbico
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
min	Minutos
in	Pulgada
in²	Pulgada cuadrada
f'c	Resistencia última del concreto

GLOSARIO

Abrasión	Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.
ASTM	Siglas que corresponden a la entidad <i>American Society For Testing And Materials</i> (Sociedad Americana para Pruebas y materiales).
Banco de material	Lugar a cielo abierto previamente estudiado y que está constituido por roca o material granular, utilizado en la construcción.
Permeabilidad	Es la capacidad que tiene un material de permitir que un líquido lo atraviese sin alterar su estructura interna.
Tamiz	Malla de filamentos que se entrecruzan formando agujeros cuadrados del mismo tamaño.

RESUMEN

Con el objetivo de brindar una solución a la gestión de residuos de concreto en Guatemala ya que actualmente no existen lineamientos específicos ni un plan estratégico de reutilización y gestión de residuos provenientes de construcción, remodelación y demolición de estructuras es muy común que dichos materiales sean dispuestos en cualquier lugar y sin ningún control. Por lo que se presenta una propuesta de reutilización de residuos de concreto como agregados gruesos para un diseño de mezcla de concreto no estructural.

Previo al desarrollo de diseño de mezcla, se inició con la recolección, clasificación y muestreo de escombros, los cuales fueron triturados hasta obtener un tamaño similar al de un agregado grueso convencional.

Seguidamente, dichas muestras se sometieron a una serie de ensayos granulométricos para determinar sus características físicas y mecánicas. Posteriormente se realizaron distintas proporciones hasta determinar el diseño de mezcla adecuado.

Una vez completado el diseño de mezcla, se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto a través de ensayos a compresión a 7, 14 y 28 días para contrastarlos.

El comportamiento del concreto con agregados gruesos reciclados demostró ser similar al del concreto convencional utilizando agregados naturales, lo que sugiere que puede ser factible la reutilización de residuos de concreto provenientes de demolición, remodelación y construcción como agregados gruesos en un diseño de mezcla de concreto no estructural para la construcción de banquetas.

1. INTRODUCCIÓN

Existen muy pocas alternativas para la reutilización de residuos de construcción y demolición en Guatemala, y por lo tanto toneladas de residuos de concreto derivados de actividades de construcción, renovación y demolición de estructuras, así como de carpetas de rodadura en pavimentos de concreto rígido son desechados diariamente en vertederos no autorizados, lo que tiene muchos efectos negativos tanto para las poblaciones vecinas a dichos vertederos, como para el medioambiente, ya que los residuos son desechados sin tratamiento previo y al mezclarse con otros residuos provocan contaminación en los suelos y mantos freáticos.

El presente trabajo propone la reutilización de concreto demolido proveniente de actividades de obras civiles como agregado grueso en un diseño de mezcla no estructural que pueda ser utilizado en la construcción de banquetas. Al utilizar residuos de concreto como sustituto de agregados convencionales se reducirán los costos de materiales, se disminuirá la utilización de agregados no renovables y la cantidad de desechos sólidos que se disponen en los vertederos será menor, lo que provocará un impacto positivo al medioambiente.

La propuesta de un concreto basado en la reutilización de agregados reciclados a partir de escombros como sustituto de agregados provenientes de recursos no renovables representa un aspecto importante ya que además del beneficio económico, debido a la reutilización de residuos de concreto, también ayudará a la preservación de los recursos naturales y al medioambiente.

Se realizaron estudios técnicos y un análisis financiero para demostrar la factibilidad de la propuesta. Se utilizó agregado grueso reciclado para elaborar concreto que será utilizado para la construcción de una banquetta. Se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto elaborado con agregados gruesos provenientes del reciclaje de residuos de construcción y demolición y se compararon con las propiedades del concreto convencional.

Para la realización del estudio, dichas muestras se sometieron a una serie de ensayos granulométricos para determinar sus características físicas y mecánicas. Posteriormente se realizaron distintas proporciones hasta determinar el diseño de mezcla adecuado. Se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto a través de ensayos a compresión a 7, 14 y 28 días para contrastarlos con los del concreto convencional. Se presentó un análisis financiero para determinar los beneficios económicos del concreto reciclado.

En el primer capítulo, se muestra el marco teórico y antecedentes de la investigación que sirvieron como referencia para el desarrollo del presente trabajo. El segundo capítulo muestra la caracterización de residuos sólidos realizada, abarcando cada una de las etapas de su metodología con sus respectivos análisis. El análisis granulométrico del agregado grueso reciclado se presenta en el tercer capítulo.

En el cuarto capítulo, se presentan los resultados del análisis de muestras, el análisis físico de los residuos con su respectiva caracterización, y las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado. En el quinto capítulo, se presenta la discusión de resultados.

Finalmente, se exponen las conclusiones de la investigación y se analiza la viabilidad de la reutilización de residuos de concreto para agregados gruesos en un concreto no estructural y también se dan las recomendaciones consideradas.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala no se encontró un estudio publicado acerca de la reutilización de concreto demolido en construcciones, sin embargo, en la publicación Construcciones Sostenibles (López, 2019) se hace énfasis que una construcción sostenible no se refiere únicamente al edificio construido, sino que también está involucrado su entorno que es el denominado urbanismo sostenible y que involucra todo lo relacionado al diseño, materiales utilizados, vías de acceso y banquetas, entre otros.

A continuación, se presentan resultados encontrados en otros países acerca de la reutilización de materiales reciclados (RCD), como agregados gruesos para la dosificación de concreto no estructural.

La publicación Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción (Centeno, Salazar y Jaramillo, 2014) explica que:

Los agregados gruesos reciclados pueden mostrar un comportamiento muy similar al de la mayoría de agregados naturales; sin embargo, entre las pruebas de los tamices de 4.75 mm y 9.52 mm sí existe una pequeña diferencia que demuestra que los agregados reciclados son ligeramente más finos que los agregados triturados, pero esto no representa una gran diferencia y no afecta en su distribución granulométrica y es muy similar a la que propone la Norma ASTM C33: Especificación Normalizada para Agregados. (p. 121).

En la publicación “Reutilización de residuos sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el Distrito de Juliaca, Puno” (Parillo y Camargo, 2019) se establece que “es posible la obtención de concretos similares a los tradicionales reutilizando residuos de construcción” (p.18). Los resultados de resistencia a la compresión de un diseño de mezclas para una resistencia de 210 kg/cm² de una muestra utilizando 100 % de agregados gruesos reciclados fueron de 259.8 kg/cm², la cual se encuentra dentro de los parámetros permisibles de resistencia para concreto no estructural.

En la publicación Estudio del Potencial de Reciclaje de los Desechos de Construcción y Demolición en la Ciudad de Guayaquil Rodríguez, Cruz y Contreras (2014) aplican distintos ensayos de granulometría de agregado grueso con piedra $\frac{3}{4}$ de residuo de concreto triturado y agregado fino según la NORMA ASTM C 33-02 y se obtiene una clasificación granulométrica que cumple con las Norma ASTM C33 tanto para su uso, como agregado grueso y como agregado fino. Se calculó una dosificación para fabricar hormigón convencional compuesto por cemento, arena, piedra de residuos de concreto y agua y se obtuvo un hormigón liviano con una densidad de diseño igual a 2,029.42 kg/m³.

En la tesis de graduación de especialidad titulada: “Mitigación de los impactos ambientales por la reutilización de residuos de construcción y demolición en obras civiles en el Distrito de Pillco Marca, Provincia y Región Huanuco” (Abal, 2019) se concluye que sí es posible la mitigación de los impactos ambientales derivados de los botaderos informales de desechos de construcción a través del diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos de construcción y demolición que cumple con los parámetros de resistencia a compresión, el cual tiene como base el diseño de mezcla y que proporciona una alternativa de solución a este problema reutilizando los residuos de construcción y demolición.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional y la expansión urbana son las causas principales del constante y acelerado crecimiento de la industria de la construcción y como resultado toneladas de residuos sólidos provenientes de las distintas fases de obras civiles son desechadas diariamente, ya que no existen alternativas para la reutilización de residuos de concreto generados en la construcción y demolición de estructuras.

La falta de opciones para la reutilización del concreto y el gran auge en la actividad constructora representan un grave problema ya que diariamente se generan grandes cantidades de escombros y residuos provenientes de distintos procesos constructivos, lo que provoca que toneladas de residuos sólidos se acumulen. Asociado a esto, prevalece la problemática de que en muchos países no existe un plan para la gestión adecuada de este tipo de desechos.

Actualmente en Guatemala no existen lineamientos específicos ni un plan estratégico de reutilización y gestión de residuos provenientes de construcción, remodelación y demolición de estructuras y dado que los costos de transporte y disposición final de escombros y residuos no representan un gasto elevado para la industria de la construcción es muy común que dichos materiales sean dispuestos en cualquier lugar y sin ningún control.

La mayor parte de los residuos no se gestionan de manera individual y son trasladados a vertederos de ripio autorizados que usualmente se encuentran en localidades cercanas al sitio de construcción. Estos materiales que en su mayoría son fragmentos de concreto, ladrillo y block provocan un impacto tanto visual,

como ambiental y suelen ser una de las principales causas del deterioro de los suelos debido a la saturación de materiales.

A pesar de la existencia de botaderos y vertederos autorizados muchos constructores optan por disponer de dichos residuos de construcción en sitios no autorizados como barrancos, terrenos baldíos y carreteras, ya que se encuentran más cerca del sitio de construcción y de este modo disminuyen gastos de transporte y disposición final. Estos depósitos clandestinos generan grandes focos de contaminación debido a la mezcla de residuos existentes y ocasionan riesgos directos e indirectos sobre la salud de la población en general.

Los agregados naturales utilizados para la dosificación de concreto son recursos naturales no renovables y siendo el concreto uno de los materiales más empleado a nivel mundial se requiere un gran volumen de utilización de dichos recursos; por lo que existe una sobreexplotación de estos materiales que conlleva al rápido agotamiento de las reservas naturales.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Se podrán utilizar residuos sólidos de concreto demolido para la construcción de banquetas?

Para responder a esta interrogante, se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del agregado procedente de residuos de concreto?
- ¿Cuál es la dosificación adecuada para un diseño de mezcla para concreto no estructural utilizando residuos de demolición?

- ¿Puede un diseño de mezcla reutilizando residuos de concreto demolido alcanzar la resistencia adecuada para la construcción de banquetas?
- ¿Qué beneficios económicos y ambientales puede ofrecer la reutilización de concreto demolido en la construcción de banquetas?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento de residuos del área de gestión ambiental de la Maestría de Energía y Ambiente.

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de obras civiles, pero también uno de los que más genera volúmenes de residuos de demolición y desperdicio lo cual representa un gran problema ambiental. En Guatemala existen pocas alternativas para la reutilización de este tipo de residuos. Al clasificar y reutilizar los residuos de construcción y demolición, estos pueden ser transformados en agregados reciclados de concreto tanto gruesos, como finos para la producción de mezclas de concreto no estructural, lo cual puede generar grandes beneficios económicos, sociales y ambientales.

Esta investigación ofrecerá un método alternativo para el reciclaje de residuos de construcción a través de su reutilización, como agregados gruesos en la dosificación de una mezcla de concreto no estructural que cumpla con los parámetros requeridos para la construcción de banquetas.

Este estudio beneficiará principalmente a constructores, desarrolladores de proyectos y a las poblaciones cercanas a los vertederos de estos desechos sólidos. Del mismo modo, brindará un impacto positivo al medioambiente a través de la disminución en la contaminación provocada por estos desechos y residuos.

Dado que la preservación y cuidado del medioambiente es responsabilidad de todos, este estudio es relevante en el ámbito de la ingeniería civil y ambiental ya que el concreto reciclado ofrece una alternativa ecológica en el campo de las construcciones autosostenibles a través de la reutilización de desechos sólidos provenientes de demolición, remodelación y construcción, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medioambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar si es posible la utilización de residuos sólidos de concreto demolido para la construcción de banquetas.

5.2. Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado procedente de residuos de concreto.
- Establecer la dosificación adecuada de un diseño de mezcla para concreto no estructural utilizando residuos de demolición.
- Desarrollar un sistema de mezcla reutilizando residuos de concreto demolido para alcanzar la resistencia adecuada para la construcción de banquetas.
- Analizar los beneficios económicos y ambientales que ofrece la reutilización de concreto demolido en la construcción de banquetas.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Existen muy pocas alternativas para la reutilización de residuos de construcción y demolición en Guatemala, lo cual tiene muchos efectos negativos tanto para ambiente, como para la población en general. Se propone la reutilización de concreto demolido como agregado grueso en un diseño de mezcla no estructural que pueda ser utilizado en la construcción de banquetas.

Una de las principales causas de la ausencia de alternativas para el reciclaje de residuos de construcción es que en la actualidad no existen normativas que regulen la disposición final de estos residuos, lo que provoca que cada día grandes cantidades de residuos sean depositados en vertederos no autorizados y como resultado existen grandes acumulaciones de estos residuos en barrancos y carreteras provocando saturación en los suelos. A través del reciclaje de residuos de construcción como agregados en el diseño de mezcla, se puede aumentar la vida útil de los vertederos de RCD y de los suelos en general.

Los residuos de construcción y demolición se derivan del creciente volumen de generación diaria debido a la actividad constructora. Estos provocan un impacto visual y también ambiental ya que causan contaminación en los suelos y mantos freáticos. A través de la utilización de agregados de concreto reciclado, se transformará la imagen de operaciones de obras civiles al incluir materia prima que hará de la construcción una industria más favorable al ambiente, generando un menor impacto visual y también se incentivará un interés en el desarrollo sostenible en el campo de obras civiles.

Se realizarán distintos ensayos de granulometría para demostrar que un agregado reciclado puede producir mezclas de concreto no estructural de buena calidad y con un comportamiento similar al de una mezcla utilizando agregados convencionales, con lo que se motivará al sector de la construcción a utilizar concretos reciclados y a disminuir la utilización de agregados naturales no renovables y la explotación de los mismos, lo cual puede reducir costos de transporte y disposición de desechos lo que beneficiará económicamente a los constructores en general.

El conocimiento y desarrollo de nuevas alternativas para la reutilización de RCD es relevante ya que diariamente se producen toneladas de residuos, los cuales no son aprovechados de manera óptima y son desechados sin tratamiento previo, por lo que es necesario desarrollar nuevas alternativas que puedan ser imitadas, aplicadas y utilizadas en distintas obras civiles.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Concreto

El concreto es un material que se asemeja a la piedra, el cual se obtiene a través de la mezcla en proporciones cuidadosas de cemento, arena y grava, y agua. “Se pueden obtener concretos de distintos rangos de propiedades por medio de un ajuste apropiado de los distintos materiales que lo conforman” (Nilson, 2001, p. 332).

7.2. Propiedades del concreto

El concreto u hormigón puede presentar dos distintos estados que son el estado fresco o plástico y el estado endurecido.

7.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco

“El estado fresco o plástico es el estado en que el concreto se encuentra en el proceso de fabricación, es decir, antes del curado o pérdida de humedad” (Nilson, 2001, p. 228).

7.2.1.1. Manejabilidad o trabajabilidad

“Esta es una de las propiedades más importantes del concreto fresco ya que determina la facilidad con la cual puede ser colocado en el lugar de destino. Esta está determinada a través del ensayo de Slump” (Meyer, 2003, p. 25).

Trabajabilidad es definida como “la propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular el concreto fresco con la menor pérdida de homogeneidad” (Nilson, 2001, p. 396). También se dice que la trabajabilidad “es la cantidad de trabajo interno necesario y útil para poder producir compactación, ya que la fricción es una propiedad intrínseca de la mezcla y ésta no depende de un tipo de construcción particular” (Sánchez, 2001, p. 98).

Algunas propiedades que están relacionadas a la trabajabilidad incluyen la consistencia, la cual es considerada una buena indicación de manejabilidad y es medida a través del revenimiento (asentamiento cono de Abrams) que es la medida para la consistencia y la humedad del concreto. “Otras medidas de la manejabilidad son la segregación, movilidad, sangrado y facilidad del acabado” (Kosmatka, 2004, p. 235).

7.2.1.2. Consolidación

De acuerdo a Kosmatka (2004), “La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso” (p. 92). Dicha vibración es la que permite que la utilización de mezclas más rígidas y con mayores proporciones de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino.

7.2.1.3. Otras propiedades

Existen otros términos relacionados al concreto que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla I. **Otras propiedades del concreto fresco**

Hidratación	Reacciones químicas entre el cemento y agua que determinan la calidad de unión de la pasta.
Tiempo de fraguado	Tiempo transcurrido desde la adición de agua hasta que la pasta deja de tener fluidez (fraguado inicial) y el tiempo transcurrido para que la pasta obtenga cierto grado de endurecimiento (fraguado final).
Sangrado o exudación	Separación de una parte del agua de la mezcla durante el fraguado debido a distintas densidades. Su medición se describe en la norma ASTM C232.
Segregación	Falta de uniformidad debido a una baja cohesión. Los materiales se separan y forman una mezcla heterogénea.
Temperatura	La temperatura del concreto en estado fresco afecta sus propiedades en estado plástico (asentamiento y contenido de aire). Usualmente se utiliza un termómetro de bolsillo con precisión de ± 2 grados C.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Sánchez (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Consultado el 13 de agosto de 2020. Recuperado de:
https://books.google.com.gt/books/about/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_Y_DEL_MORTER_O.html?id=EWq-QPJhsRAC&redir_esc=y

7.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

Después del proceso de hidratación el concreto endurecido pasa de un estado plástico a un estado rígido. “Al entrar en contacto el agua y el cemento, el endurecimiento del concreto progresa” (Meyer, 2003, p. 22).

7.2.2.1. Características físico – químicas

Las distintas propiedades del concreto en estado endurecido permiten inferir el comportamiento del mismo. Las propiedades más conocidas se encuentran descritas en la siguiente tabla.

Tabla II. **Características físico – químicas concreto endurecido**

Características físico – químicas	Propiedades	Concepto
a.	Impermeabilidad	Capacidad del concreto que no permite el paso del agua a través del mismo.
b.	Durabilidad	Resistencia a la acción de la intemperie, ataques químicos, abrasiones o cualquier otro proceso que cause deterioro.
c.	Resistencia térmica	Resistencia a cambios de temperatura.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Sánchez (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Consultado el 13 de agosto de 2020. Recuperado de:
https://books.google.com.gt/books/about/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_Y_DEL_MORTER_O.html?id=EWq-QPJhsRAC&redir_esc=y

7.2.2.2. Características mecánicas

Entre las principales características mecánicas del concreto endurecido se encuentran la resistencia a la compresión y a la flexión.

7.2.2.2.1. Resistencia a la compresión

Es la principal característica mecánica del concreto y está definida como la capacidad del concreto para soportar una carga por unidad de área. “Es la medida máxima de carga axial de especímenes de concreto y se define como $f'c$. Se expresa en términos de esfuerzo en kg/cm^2 o Psi” (Rivva, 2000, p. 52).

7.2.2.2.2. Resistencia a la flexión

Se define como el esfuerzo máximo que soporta una viga a flexión antes de presentar una falla. “La resistencia a la flexión se obtiene a través de la aplicación de cargas a una viga de concreto de 6x6 pulgadas de sección transversal y con una luz de al menos tres veces el espesor” (Rivva, 2000, p. 112). Se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada y es entre el 10 % y 20 % de la resistencia a compresión dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

7.3. Clasificación del concreto

El concreto es clasificado de acuerdo a sus distintas características y propiedades, como se describe en la siguiente tabla:

Tabla III. **Clasificación y características del concreto**

Clasificación	Tipos	Características
Por el peso específico	Ligero	Peso unitario entre 1200-2000 kg/m ³
	Normal	Peso unitario entre 2000-2800 kg/m ³
	Pesado	Peso unitario mayor a 2800 fg/m ³
Según su aplicación	Simple	Sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión
	Armado	Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión
	Pretensado	Resistencia a tracción con viguetas
Por su composición	Ordinario	Empleado únicamente para elementos sujetos a compresión
	Ciclópeo	Combinación de concreto estructural y piedra grande de tamaño no mayor a 300 mm
	Cascotes o reciclado	Compuesto de desechos y ladrillos
	Refractario	Resistente a altas temperaturas

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Sánchez (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Consultado el 13 de agosto de 2020. Recuperado de: https://books.google.com.gt/books/about/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_Y_DEL_MORTER_O.html?id=EWq-QPJhsRAC&redir_esc=y

7.4. Composición del concreto

El concreto u hormigón es una mezcla de dos componentes principales los cuales son los compuestos finos o pastas y los compuestos gruesos o agregados los cuales se detallan a continuación.

7.4.1. Cemento

Es un conglomerante hidráulico que es utilizado para fabricar concreto. Su pasta fragua y endurece por medio de hidratación de aire y bajo el agua. “Sus principales componentes son calizas, margas y arcillas que son mezcladas en proporciones definidas. Dicha mezcla es calcinada para obtener Clinker que se pulveriza para obtener una finura definida” (Nilson, 2001, p. 435). Existen varios tipos de cementos y sus propiedades se encuentran asociadas a la composición química de sus componentes.

7.4.1.1. Cemento Portland

“Para la fabricación de concreto estructural se utilizan los cementos hidráulicos entre los cuales se encuentra el cemento Portland que fue patentado por primera vez en 1824 en Inglaterra y que es el más común de todos” (Nilson, 2001, p. 455).

A lo largo de los años se han desarrollado distintos tipos de cemento Portland que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV. Tipos de cemento Portland

Tipo	Descripción	Características opcionales
I	Uso general	1, 5
II	Uso general, calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos	1, 4, 5
III	Alta resistencia inicial	1, 2, 3, 5
IV	Bajo calor de hidratación	5
V	Alta resistencia a los sulfatos	5
Características opcionales:	1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA 2. Resistencia moderada a los sulfatos: máximo 8 % 3. Alta resistencia a los sulfatos: máximo 5 % 4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 /kg a los 7 días. 5. El límite de resistencia alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de expansión de barras de mortero.	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Rivva (2000). *Tecnología del concreto diseño de mezclas*. Consultado el 13 de agosto de 2020. Recuperado de: <https://docplayer.es/210861867-Tecnologia-del-concreto-diseno-de-mezclas-enrique-rivva-lopez.html>

7.4.2. Agua

La hidratación completa de una cantidad de cemento requiere una dosificación de agua con un peso aproximado al 25 % del cemento. Aproximadamente una relación agua-cemento de 0.25. “Una cantidad de agua adicional debe estar presente durante el proceso de hidratación para que la

misma alcance las partículas de cemento y pueda proporcionar una manejabilidad necesaria en la mezcla de concreto” (Pacheco, 2017, p. 78).

7.4.3. Agregados

De acuerdo a Sánchez, “Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75 % del volumen de la unidad cúbica de concreto” (2001, p. 129). Son materiales pétreos resultantes de una desintegración natural o desgaste de las rocas. Pueden obtenerse también a través de la trituración de algunas rocas o materiales inertes. Los agregados son un material económico y no tienen reacciones químicas complejas con el agua. Por lo que son considerados un relleno inerte en el concreto.

Entre sus principales características significativas para la tecnología del concreto se encuentra la porosidad, distribución de tamaños o graduación, la absorción a la humedad y su forma y textura. Entre otras características importantes se encuentran la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes las cuales provienen de su composición mineralógica de la roca original, las condiciones de exposición a las que la roca ha estado expuesta antes de formar el agregado y del tipo de equipo utilizado en la producción de los agregados (Pérez, 2015).

7.4.4. Clasificación de los agregados según su origen

Los agregados de acuerdo a su origen pueden ser agregados naturales, triturados o mixtos y esta clasificación se basa en el lugar de extracción de las rocas utilizadas y de los procesos físicoquímicos que han intervenido en la formación de las mismas.

7.4.4.1. Agregados naturales

Son los agregados que provienen de los ríos. Su forma es usualmente redonda. Sus ventajas son la trabajabilidad y la economía de los mismos y por ello usualmente son los más utilizados ya que cumplen con las especificaciones de calidad y tamaño. Otra ventaja es que su composición mineralógica no es uniforme.

7.4.4.2. Agregados triturados

Son los agregados provenientes de un proceso de trituración de piedras provenientes de canteras. El denominado pedrín es de este tipo. “Este tipo de agregado puede producir un concreto con una mejor adherencia; sin embargo, su trabajabilidad es menor y requiere un mayor consumo de cemento” (Meléndez, 2016, p. 34).

7.4.4.3. Agregados mixtos

Son los agregados provenientes de trituración de grava y que se combinan con otra grava natural. “Usualmente son de buena calidad y son económicos; sin embargo, se debe mantener un límite del uso del material triturado” (Cuevas, 2014, p. 56).

7.4.5. Clasificación de los agregados según su tamaño

De acuerdo al tamaño de la partícula de los agregados, estos se clasifican en dos grupos: agregados finos y agregados gruesos.

7.4.5.1. Agregados finos

Son los materiales o agregados que pasan por el tamiz N.º 4 (4.76 mm de abertura). Los constituyen granos sueltos. “Son de estructura usualmente cristalina provenientes de una disgregación de rocas naturales debido a procesos químicos o mecánicos que se acumulan en distintos lugares debido a arrastres por corrientes de agua y aire” (Meléndez, 2016, p. 22).

7.4.5.2. Agregados gruesos

Son los materiales formados por gravas, gravas o piedras trituradas, concreto triturado o una combinación de cualquiera de los anteriormente mencionados. “Se consideran agregados gruesos los retenidos por el tamiz N.º 4. No deben ser muy porosos ni de forma alargada y plana” (Zacarías, 2010, p. 58).

7.4.6. Clasificación de los agregados según su densidad

Los agregados también pueden ser clasificados según su densidad o peso específico en agregados ligeros, normales y pesados.

7.4.6.1. Agregados ligeros

Son los que su densidad oscila entre 500-1000 kg/m³. “Son utilizados en concretos de relleno o para la fabricación de bloques estructurales de mampostería” (Meléndez, 2016, p. 90).

7.4.6.2. Agregados normales

Son los agregados cuya densidad oscila entre 1300-1600 kg/m³ y son utilizados en concretos normales o estructurales.

7.4.6.3. Agregados pesados

Su densidad oscila entre 3000-7000 kg/m³ y son utilizados en hormigones pesados, como las de centrales nucleares y salas de radiología en los hospitales.

7.4.7. Análisis de las propiedades físicas de los agregados

El análisis de las propiedades físicas de los agregados es muy importante para poder determinar su posible utilización en las distintas mezclas de concreto.

7.4.7.1. Absorción ASTM C-127 y ASTM C-128

Para los agregados gruesos la absorción se determina de acuerdo con la norma ASTM C-127 y ASTM C -128. La absorción de los agregados depende de las características físicas del material (porosidad e impermeabilidad) e intervienen factores como el peso específico del agregado y, como resultado el rendimiento del concreto para ciertos agregados se ve afectado. (Waddell y Dobrowolsky, 2001)

De acuerdo a la norma ASTM C-127, 2003 “La absorción se puede definir como el incremento de la masa de un agregado a través de la penetración del agua dentro de sus poros permeables” (Waddell y Dobrowolsky, 2001, p. 225).

7.4.7.2. Contenido de humedad ASTM C-566

La humedad de los agregados se compone por la humedad de saturación y humedad libre o superficial.

Los agregados se encuentran compuestos por la humedad de saturación y la humedad superficial. El peso del material de mezclas se corrige a través de la obtención del porcentaje de humedad contenido y del porcentaje de absorción del agregado. Si existe un cambio del 1 % en el contenido de humedad, el asentamiento del concreto cambia en 1.5 pulgada y la resistencia en 300 lb/in².

7.4.8. Estado de los agregados

Los estados de los agregados son descritos en la siguiente tabla.

Tabla V. Estados y características de los agregados

Estado	Características
Seco	Se encuentra completamente seco y es absorbente.
Seco al aire	Es seco en la superficie con poco contenido de humedad. Poco absorbente.
Húmedo o mojado	Existe un exceso de humedad en la superficie de las partículas.
Saturado y de superficie seca	Condición ideal o requerida del agregado para no adicional o absorber agua del concreto.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de López (2018). *Construcciones sostenibles. Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*. Consultado el 20 de agosto de 2020. Recuperado de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/URL/INDIS/978-9929-54-353-9.pdf>

7.4.9. Peso específico de los agregados

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico. En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior. Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces, peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo, tomado como comparación a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión (López, 2009).

“El peso específico relativo para agregados finos se determina por métodos descritos en la norma ASTM C-128 y para agregado grueso ASTM C-127” (ASTM International, n.d. C-127) este se basa en la medición en el desplazamiento del agua producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

Según la norma ASTM C-127, el peso específico varía de 2.4 a 2.9 usualmente siendo mejores agregados los de mayor peso específico. Peso específico bajo es un índice de porosidad y baja durabilidad de agregado sujeto a congelamiento a aguas agresivas.

7.4.10. Peso unitario ASTM C-29

El peso unitario aparente o peso volumétrico es la relación existente entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 .

Existen dos valores para esta relación que son el peso volumétrico suelto que se utiliza para convertir de peso a volumen y reconocer el consumo de los agregados por metro cúbico de hormigón y el peso volumétrico apisonado que sirve para conocer el volumen de los materiales apilados. “En los dos casos, el peso se obtiene utilizando los materiales en estado seco saturado para poder compararlos” (ASTM International, n.d. C-29).

7.4.11. Granulometría ASTM C-136

La granulometría es una distribución de todas partículas de materiales granulares de varios tamaños; se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o menores que cada una de las series de tamaños o de aberturas de mallas, o los porcentajes entre ciertos rangos de aberturas de mallas. “La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto” (ASTM International, n.d. C-136).

7.4.12. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados gruesos

Un análisis de las propiedades mecánicas de los agregados es necesario para determinar que dichos agregados son aptos para la elaboración de concreto. Estas propiedades se determinan a través de distintos ensayos.

7.4.12.1. Ensayo de abrasión ASTM C-131

Es un método de ensayo estándar para resistencia a la degradación del agregado por abrasión en la máquina de los Ángeles.

La resistencia al desgaste y al rayado de un agregado se utiliza como índice para determinar la calidad del agregado. La máquina de los Ángeles se utiliza para determinar la resistencia al desgaste de los agregados; de acuerdo con la norma ASTM C-131, la cual consiste en la colocación del agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo especificado y después se determina el porcentaje de desgaste que sufrió el agregado.

“El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas” (ASTM International n.d. C-131). Dicho método cubrirá el ensayo de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste y a ser rayados en la máquina de los Ángeles.

Durante dicho ensayo se utilizarán agregados de distintas graduaciones y de este modo se podrá clasificar el tipo de desgaste el cual ocurre por la fricción entre las esferas de acero por un período de tiempo específico y el material debe estar en condición seca – seca; después se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso desgastado no deberá mostrar una pérdida según los medios de extracción y uso que está especificado para las diferentes estructuras. Para carretera menor del 50 % en peso o desgaste y para concreto 40 %.

7.5. Residuos sólidos de la construcción

Los residuos sólidos de la construcción son todos los residuos o desechos que provienen de la construcción, remodelación, demolición o cualquier otra actividad relacionada a la construcción.

7.5.1. Tipos de residuos sólidos

Los residuos sólidos procedentes de la construcción y demolición usualmente se generan en el lugar donde ocurre la actividad constructora. Estos pueden ser originados como consecuencia de la construcción de edificios y otras estructuras. Del mismo modo éstos pueden generarse debido a la demolición total o parcial de antiguas estructuras o partes de estructuras (Pérez, Garnica y Rivera, 2018).

La actividad constructora genera distintos tipos de escombros provenientes de las distintas actividades de obra civil. Entre los residuos más comunes se encuentran pedazos de cerámica, materiales mampuestos, concreto y madera.

También existe un flujo de residuos que son generados por la repavimentación de carreteras, construcción y demolición de puentes, y distintas actividades de remodelación y renovación. “Todos estos residuos se categorizan de forma amplia como residuos de construcción y demolición” (Pérez, 2018, p. 225).

7.5.2. Manejo de residuos sólidos

“El concreto reciclado ha mostrado que puede ser una fuente adecuada para obtención de agregados utilizables en proyectos carreteros; sin embargo, existen algunos casos documentados en donde aparecen algunas desventajas” (Pérez, Garnica y Rivera, 2018, p. 12).

Petrarca (citado en Cooley y Horsby, 2012) investigó el uso del RCA y concluyó que el mismo era producto de concreto de banquetas, calles, cunetas y pavimentos en proyectos locales de Nueva York, entre 1977 y 1982. En los

estudios se realizaron más de 100 pruebas y se pudo concluir que el agregado de RCA cumplía de forma adecuada si se utilizaba como material de base o subbase; pero se hizo la aclaración de que la calidad del agregado dependía directamente del origen del concreto. Un ejemplo claro que fue mencionado fue que el agregado producto de concreto prefabricado tiene agregado de partículas más pequeñas y por lo tanto, su resistencia a compresión tiende a ser mayor comparada con la resistencia del concreto que se utiliza en pavimentos. También se puede observar que la cantidad de aire contenido en el concreto afecta su adecuabilidad como agregado.

7.5.3. Clasificación de los residuos de construcción

Los tipos de desechos utilizados para el concreto reciclado son provenientes de obras que han sufrido daños por causas naturales, malas planificaciones, obras que han cumplido su funcionalidad y materiales provenientes de industria de concreto, piso u otro material manufacturado, seleccionándolos según sus características físicas (Marroquín, 2012).

7.5.3.1. Demolición

Estos residuos proceden de la remodelación y demolición de edificios, de proyectos de repavimentación de carreteras, reparación de puentes y de limpieza asociada con desastres naturales. “Normalmente los residuos están constituidos mayormente por concreto, asfalto, ladrillos, bloques y suciedad, otro porcentaje por madera y productos relacionados y un pequeño porcentaje de residuos misceláneos” (Marroquín, 2012, p. 85).

7.5.3.2. Desastres naturales

Por su naturaleza, los desastres naturales se pueden caracterizar en un rango que va desde los desastres climatológicos (huracanes, tornados, inundaciones, sequías) hasta los geológicos (terremotos, deslizamientos, erupciones volcánicas). Los desechos se generan cuando las construcciones civiles colapsan por cualquiera de estos fenómenos naturales.

7.5.3.3. Otros

Escombros generados por laboratorios provenientes de los ensayos a compresión de ladrillos, bloques, tubos y columnas de concreto, adoquines, baldosas de cemento líquido, cilindros de concreto, y desperdicio de concreto fresco. Así como desperdicios provenientes de industria de concreto, piso u otro material manufacturado.

7.6. Reciclaje de residuos de la construcción

En la actualidad, muchos residuos provenientes de la actividad constructiva pueden ser reciclados o utilizados nuevamente para distintos fines.

7.6.1. Concreto reciclado con residuos de construcción

El concreto reciclado es simplemente el concreto viejo que se triturará para producir partículas con características de agregado. “En otros países se ha usado satisfactoriamente como un agregado en subbases granulares, suelo cemento y en el concreto nuevo como la única fuente o como reemplazo parcial del agregado nuevo” (Vera y Cuenca, 2016, p. 67).

Para la finalidad de este trabajo de investigación se utilizarán los desechos provenientes de cilindros ensayados en laboratorios.

7.6.2. Usos y aplicaciones de concreto reciclado

El reciclaje de los escombros es un sector económicamente rentable y muy organizado en algunos países europeos como Alemania y Holanda donde hay escasez de recursos naturales y el gran valor económico que se da al suelo, ha obligado a fomentar el reciclaje desde hace muchos años con resultados muy positivos. “Todos estos hechos convergen en la necesidad de investigar acerca de las características de estos residuos sólidos inertes, con el fin de conocer su idoneidad para ser aplicados en la industria de la construcción” (Bedoya, 2003, p. 22).

En teoría, una gran cantidad de los residuos de construcción y demolición pueden reciclarse o reutilizarse fácilmente. Se debe tener en cuenta que los escombros tienen un potencial considerable para el reciclaje, si se comparan con otros tipos de residuos. Por otro lado, los productos reciclados tienen que competir con los materiales de construcción tradicionales, de ahí la necesidad de una calidad uniforme. En este sentido, es importante conocer cuál es el origen y la composición de estos residuos para conseguir una aceptabilidad futura del material reciclado.

7.7. Propiedades del concreto reciclado

El concreto reciclado presenta un comportamiento y características muy similares a las del concreto convencional. Dichas propiedades son determinadas a través de distintos análisis que se describen a continuación.

7.7.1. Granulometría

La granulometría de los agregados de concreto reciclado varía según el proceso de trituración que se realice, pudiéndose seleccionar mediante pequeños ajustes en la apertura de las trituradoras. “El porcentaje de agregado grueso que se obtiene puede variar entre 70 % y 90 % del agregado total producido” (Agreda y Moncada, 2015, p. 89).

Este porcentaje también depende del tamaño máximo del agregado grueso de concreto reciclado producido y de la composición del concreto original. “La fracción gruesa posee una curva granulométrica adecuada, que se puede englobar dentro de los límites granulométricos que recomiendan algunas normas internacionales para el empleo de agregado grueso en concreto estructural” (Agreda y Moncada, 2015, p. 89).

7.7.2. Forma y textura superficial

La presencia del mortero que queda adherido a los agregados del concreto original provoca que la textura de los agregados de concreto reciclado sea más rugosa y porosa que la de los agregados naturales como consecuencia del proceso de trituración. “No obstante, el coeficiente de forma del agregado de concreto reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural” (Bedoya, 2015, p. 78).

7.7.3. Densidad y absorción

La densidad del agregado de concreto reciclado suele oscilar entre 2100 y 2400 kg/m³, mientras que la densidad saturada con superficie seca varía entre

2300 y 2500 kg/ m³, por lo que en todos los casos se pueden considerar estos agregados de densidad normal.

La absorción es una de las propiedades físicas del agregado de concreto reciclado que presenta una mayor diferencia con respecto al agregado natural, debido a la elevada absorción de la pasta que queda adherida a él. Los principales aspectos que influyen tanto en la densidad, como en la absorción del agregado de concreto reciclado son: el tamaño de las partículas, la calidad del concreto original y las técnicas de procesado.

7.7.4. Desgaste

El agregado de concreto reciclado presenta un elevado desgaste en la máquina de los Ángeles ya que en el ensayo se elimina todo el mortero que queda adherido al agregado, además de la pérdida de peso propia del agregado natural. En una investigación nacional se encontró un desgaste promedio en la máquina de los Ángeles del 45 % frente a un 25 % de la muestra patrón. “En otra similar, por su parte, se encontró un desgaste promedio en la máquina de los Ángeles del 40.5 % frente a un 30.3 % de la muestra patrón” (Agreda, 2015, p. 67).

El valor esperable del coeficiente de los Ángeles del agregado de concreto reciclado puede situarse en un rango muy amplio de 25-42 %, dependiendo entre otros factores del tamaño de las partículas y de la calidad del concreto original, así como del propio coeficiente de los Ángeles del agregado natural que contenga.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Concreto

1.2. Propiedades del concreto

1.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco o plástico

1.2.1.1. Manejabilidad o trabajabilidad

1.2.1.2. Consolidación

1.2.1.3. Otras propiedades

1.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

1.2.2.1. Características físico – químicas

1.2.2.2. Características mecánicas

1.2.2.2.1. Resistencia a la compresión

1.2.2.2.2. Resistencia a la flexión

1.3. Clasificación del concreto

1.4. Composición del concreto

- 1.4.1. Cemento
 - 1.4.1.1. Cemento Portland
- 1.4.2. Agua
- 1.4.3. Agregados
- 1.4.4. Clasificación de los agregados según su origen
 - 1.4.4.1. Agregados naturales
 - 1.4.4.2. Agregados triturados
 - 1.4.4.3. Agregados mixtos
- 1.4.5. Clasificación de los agregados según su tamaño
 - 1.4.5.1. Agregados finos
 - 1.4.5.2. Agregados gruesos
- 1.4.6. Clasificación de los agregados de acuerdo a su densidad
 - 1.4.6.1. Agregados ligeros
 - 1.4.6.2. Agregados normales
 - 1.4.6.3. Agregados pesados
- 1.4.7. Análisis de las propiedades físicas de los agregados
 - 1.4.7.1. Absorción ASTM C-127 y ASTM C-128
 - 1.4.7.2. Contenido de humedad ASTM C-566
- 1.4.8. Estado de los agregados
- 1.4.9. Peso específico de los agregados
- 1.4.10. Peso unitario ASTM C-29
- 1.4.11. Granulometría ASTM C-136
 - 1.4.12. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados gruesos
 - 1.4.12.1. Ensayo de abrasión ASTM C-131

- 1.5. Residuos sólidos de la construcción
 - 1.5.1. Tipos de residuos sólidos
 - 1.5.2. Manejo de residuos sólidos
 - 1.5.3. Clasificación de los residuos de construcción
 - 1.5.3.1. Demolición
 - 1.5.3.2. Desastres naturales
 - 1.5.3.3. Otros
- 1.6. Reciclaje de residuos de la construcción
 - 1.6.1. Concreto reciclado con residuos de construcción
 - 1.6.2. Usos y aplicaciones de concreto reciclado
- 1.7. Propiedades del concreto reciclado
 - 1.7.1. Granulometría
 - 1.7.2. Forma y textura superficial
 - 1.7.3. Densidad y absorción
 - 1.7.4. Desgaste

- 2. SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO
- 3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
- 4. DISEÑO DE MEZCLA
- 5. OBTENCIÓN DE DATOS
- 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. Se elaborará una propuesta de dosificación para la utilización de residuos de concreto y escombros como agregados gruesos para concreto reciclado, en donde se someterá a los agregados de concreto reciclado a ensayos para identificar y observar las características físicas y mecánicas de este tipo de agregado para la producción de concreto no estructural y posteriormente se hará un análisis comparativo frente a un agregado de tipo convencional.

9.2. Definición de variables

A continuación, se presenta una tabla en la que se describen las variables de este estudio:

Tabla VI. **Definición de variables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Propiedades físicas de los agregados gruesos	Son las principales características de los agregados que afectan las propiedades del concreto: forma, textura, absorción densidad relativa, porosidad y contenido de humedad.	Los agregados gruesos provenientes de residuos de concreto serán sometidos a distintos ensayos: Análisis granulométrico según norma ASTM C-33. Densidad Relativa o Peso Específico según norma C-127. Masa Unitaria del Agregado Grueso según Norma ASTM C-29.
Propiedades mecánicas de los agregados gruesos	Son las características mecánicas que presentan los agregados utilizados en la elaboración de concreto.	Se realizará un ensayo que determina el desgaste de abrasión para agregados gruesos en la máquina de los Ángeles según Norma ASTM C-131.
Dosificación de diseño de mezcla	Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado. La cantidad de materiales que intervienen en una mezcla de concreto y la manera en que la variación de sus características influye en las propiedades de la misma, hace necesario el contar con uno o más métodos de dosificación.	Se fabricarán tres diseños de mezcla utilizando el agregado grueso proveniente de residuos y escombros y se determinará cuál es la dosificación que cumpla con los parámetros establecidos para concreto no estructural.
Propiedades mecánicas del concreto: resistencia a compresión	Se analiza el comportamiento del concreto mediante un ensayo a compresión a 7, 14 y 28 días para determinar su capacidad para soportar una carga por unidad de área.	Los cilindros de concreto reciclado son sometidos a ensayos a compresión definido en la norma ASTM C31 obteniendo su esfuerzo máximo f_c en kg/cm^2 a 7, 14, 28 días.

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fases de estudio

A continuación, se presentan las distintas fases de estudio realizadas para la presente propuesta.

9.3.1. Fase 1: Revisión bibliográfica

En esta fase se revisará bibliografía pertinente a estudios e investigaciones realizadas sobre tecnologías con respecto al manejo de residuos sólidos. La información encontrada se utilizará como base para poder identificar las variables necesarias para la obtención de concreto reciclado a través de la reutilización de residuos de concreto como agregados gruesos.

9.3.2. Fase 2: Muestreo de escombros

El muestreo de escombros se realizará en un vertedero de residuos de construcción localizado en Salamá, Baja Verapaz. Estas muestras de agregado reciclado provienen de la construcción y demolición de construcciones aledañas a la zona. Se recolectarán muestras de trozos de concreto de 40 cm de diámetro promedio y se clasificarán. Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de cuarteo, manual o mecánico. Asimismo, estas deben tener la masa seca y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo.

Figura 1. **Residuos de concreto**



Fuente: [Fotografía de Diana Escobedo]. (Salamá, Baja Verapaz. 2020). Colección particular. Guatemala.

Figura 2. **Cuarteo**



Fuente: [Fotografía de Diana Escobedo]. (Salamá, Baja Verapaz. 2020). Colección particular. Guatemala.

9.3.3. Fase 3: Trituración de escombros

Los trozos de concreto recolectados serán sometidos a un proceso de trituración primaria con el objetivo de reducir su tamaño y obtener agregados aptos para su uso en mezclas de concreto.

El proceso de trituración será un proceso básico, semejante a la trituración de una roca, que consistirá inicialmente en la reducción de tamaño de muestras de concreto original, por medio de una trituración primaria de forma manual.

Figura 3. **Trituración manual residuos de concreto**

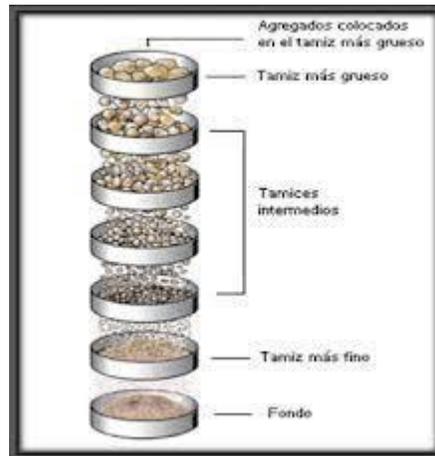


Fuente: Marroquín. (2012). *El reciclado del hormigón y sus enormes ventajas ambientales*. Consultado el 12 de junio de 2020. Recuperado de:
<https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>

9.3.4. Fase 4: Obtención de una granulometría adecuada

Las piezas obtenidas de la trituración primaria se pasarán por los diferentes tamices hasta obtener un tamaño y forma requerido por las especificaciones usadas en los agregados naturales.

Figura 4. **Juego de tamices**



Fuente: Castro. (2016). *Análisis de tamizado de agregados*. Consultado el 12 de junio de 2020. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/144336069/ANALISIS-DE-TAMIZADO-DE-AGREGADOS>

Seguidamente se hará una trituración secundaria, se pasa el material por los diferentes tamices hasta llegar a la forma comercial y requerida por las especificaciones usadas en los agregados naturales o convencionales como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Tamaños de partículas de agregado reciclado**

Tamiz	Tamaño del agregado	Porcentaje que pasa
Tamiz 1 ½ pulgada	37.5 milímetros	
Tamiz 1 pulgada	25 milímetros	
Tamiz ¾ pulgada	19 milímetros	
Tamiz ½ pulgada	12.5 milímetros	
Tamiz ⅜ pulgada	9 milímetros	

Fuente: elaboración propia.

9.3.5. Fase 5: Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados

Los agregados gruesos reciclados obtenidos de los distintos tamizados se someterán a los distintos ensayos especificados por las normas ASTM para agregados gruesos para obtener su caracterización.

9.3.5.1. Granulometría

Se realizará un análisis granulométrico del agregado grueso de la Norma ASTM C-33, la cual permite límites amplios de la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos.

Las aberturas del agregado grueso varían de 1.18 milímetros (0.046 pulgadas) a 100 milímetros (4 pulgadas).

9.3.5.2. Absorción y contenido de humedad

Se realizará un ensayo de humedad para determinar la saturación, absorción, y humedad libre o superficial. Para corregir el peso del material al hacer mezclas de concreto, es necesario obtener el porcentaje de humedad contenida además del porcentaje de absorción del agregado. Un cambio de contenido de humedad del 1 por ciento, si no se compensa puede cambiar el asentamiento del concreto en 1.5 pulgadas y la resistencia en 300 libras por pulgada cuadrada, es por este motivo que los ensayos de contenido de humedad y absorción deben hacerse. Los agregados podrán estar en alguno de los cuatro estados siguientes:

- Seco al horno, completamente seco y absorbente.
- Seco al aire, seco en su superficie, pero conteniendo algo de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Algo absorbente.
- Saturado y de superficie seca, que es la condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.
- Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.

Para proporcionar mezclas de concreto, todos los cálculos deben basarse en agregados en condiciones seco-saturada. Debe tomarse una muestra relativa del material a evaluar, por medio del cuarteo de la misma, considerando el peso necesario para cada ensayo.

9.3.5.3. Densidad relativa (peso específico) para agregado grueso Norma ASTM C-127

Se determinará la densidad o masa específico según Norma ASTM C-127 para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como los son el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso, u otras mezclas que están proporcionales o analizadas sobre un volumen básico, el peso específico es también utilizado en el cálculo de vacíos en el agregado.

9.3.5.4. Densidad aparente (masa unitaria) en los agregados, ASTM C-29

Se someterán los agregados a un ensayo de densidad aparente de los agregados para conocer su masa por unidad de volumen ocupado por el conjunto de partículas del agregado a granel (incluyendo el volumen de las partículas

individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas), tomando como unidades kilogramo por metro cúbico. Este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad aparente (peso unitario) entre las partículas de los agregados a granel en las siguientes condiciones:

- Masa unitaria compactada
- Masa unitaria suelta

La primera se utilizará para convertir de masa a volumen, para conocer el consumo de agregado por metro cúbico de concreto. La segunda se usará para conocer el volumen del material apilado y así determinar las relaciones masa/volumen.

9.3.5.5. Porcentaje de vacíos, ASTM C-29

El porcentaje de vacíos se calculará a partir de la densidad aparente (masa unitaria) y la densidad relativa (gravedad específica) determinada para cada agregado. El porcentaje de vacíos de los agregados en la masa unitaria es el espacio entre las partículas de la masa de los agregados que no es ocupado por materiales o minerales sólidos. Los vacíos en el interior de las partículas, tanto permeables como impermeables, no se incluyen entre los vacíos, como se determinan por este método de ensayo.

La cantidad de vacíos entre partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla, varía del 30 por ciento a 45 por ciento para el agregado grueso y cerca del 40 por ciento a 50 por ciento para el agregado fino. El tamaño de las partículas y una granulometría bien graduada contribuyen a disminuir el contenido de vacíos.

9.3.5.6. Determinación de la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles ASTM C-131

Este método cubrirá el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37.5 milímetros), para determinar su resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles. El ensayo de abrasión dependerá de la granulometría realizada al agregado grueso, la cantidad inicial de la muestra es de 5000 gramos según la especificación, cantidad que será completada con agregado proveniente de la granulometría según el tipo de abrasión que se pueda realizar. La siguiente tabla detalla la graduación para el tipo de abrasión.

Tabla VIII. **Graduación para el tipo de abrasión a realizar de agregado grueso, utilizando 5000 gramos de muestra**

Tipo	Tamices	Peso retenido (g)	N.º de esferas	Revoluciones	Tiempo (min)
A	1", ¾", ½" y ⅜"	1250 ± 10	12	500	17
B	½" y ⅜"	2500 ± 10	11	500	17
C	¼" y N.º 4	2500 ± 10	8	500	17
D	N.º 8	5000	6	500	17

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (2018), Vol. 04-02, páginas 10 y 11.

Todos los datos obtenidos de la granulometría de materiales serán analizados en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Normas ASTM utilizadas en la caracterización de los agregados**

Ensayo	Especificación Norma
Peso específico	ASTM C-127
Peso unitario compactado (kg/m ³)	ASTM C-29
Peso unitario suelto (kg/ m ³)	ASTM C-29
Porcentaje de vacíos	ASTM C-29
Porcentaje de absorción	ASTM C-70
Porcentaje que pasa tamiz 200	ASTM C-33
Porcentaje de humedad	ASTM C-70
Porcentaje de abrasión	ASTM C-131
Porcentaje de desgaste por sulfatos	ASTM C-88

Fuente: elaboración propia.

9.3.6. Fase 6: Diseño de mezcla

Después de conocer la caracterización de los agregados se comprobará su desempeño real por medio de la fabricación de distintas mezclas de concreto. Se seleccionarán distintas proporciones para concreto no estructural a través de tablas experimentales y de este modo sistematizar y optimizar el diseño y los cálculos requeridos. Las dosificaciones se determinarán a partir de la siguiente tabla experimental:

Tabla X. **Diseño de mezcla concreto normal $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$**

Diseño de mezcla	Dosificación de los materiales		
	Cemento	Arena / Piedrín / Grava	Agua
1			
2			
3			

Fuente: elaboración propia.

9.3.7. Fase 7: Elaboración y ensayo de probetas cilíndricas

Se realizarán probetas cilíndricas de concreto con el uso de agregado reciclado para poder determinar sus distintas propiedades: peso unitario, temperatura, consistencia, y resistencia a la compresión. Se procederá a realizar los ensayos requeridos para concreto fresco y así poder observar su comportamiento como aparece en la tabla siguiente:

Tabla XI. **Resultados de la mezcla con concreto reciclado**

Ensayo	Resultado
Peso unitario	
Contenido de aire	
Temperatura	

Fuente: elaboración propia.

También se realizará un control de calidad para verificar la resistencia a compresión a la cual fue diseñado el concreto. Debido a que la resistencia del concreto aumenta con la edad, se realizarán ensayos a compresión a los 7, 14 y

28 días según Norma ASTM C 31. Se mantendrá un registro de los resultados obtenidos como se ejemplifica en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Resultados del ensayo a compresión concreto reciclado**

Cilindro	Edad (días)	Peso (Kg)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (Psi)
1					
2					
3					

Fuente: elaboración propia.

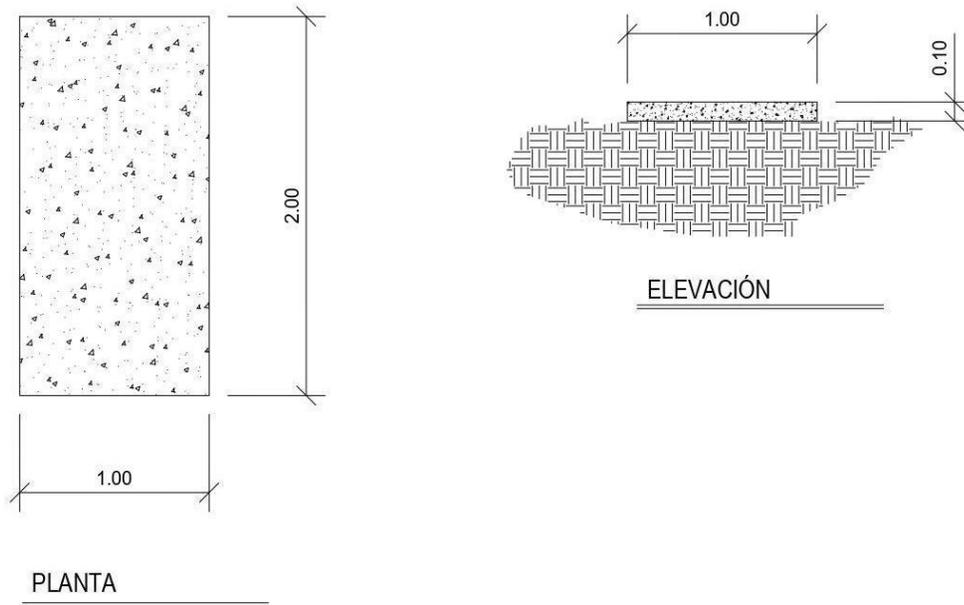
9.3.7.1. Análisis de resultados

Se presentarán los análisis y los resultados de los distintos ensayos realizados a las probetas de concreto sometidos a compresión y así determinar si los agregados gruesos provenientes de un vertedero de residuos de concreto pueden ser utilizados para fabricar concreto reciclado para la construcción de banquetas.

9.3.8. Fase 8: Fundición de banqueta utilizando concreto reciclado

Después de realizar los distintos ensayos para comprobar la calidad del concreto reciclado utilizando residuos de concreto se procederá a la fundición de una banqueta de concreto de 2.00 metros de longitud y 1.00 metro de ancho y 0.10 metros de espesor como se observa en la siguiente figura:

Figura 5. **Planta y elevación**



Fuente: elaboración propia.

9.3.9. **Fase 9: Análisis de los beneficios económicos y ambientales**

En esta fase se presentará un análisis de los principales beneficios económicos y ambientales que ofrece la reutilización de concreto demolido en la construcción de banquetas a través de un cuadro comparativo que represente el comportamiento de un concreto convencional y un concreto reciclado.

9.3.10. Fase 10: Presentación y discusión de resultados

En esta fase se presentarán los resultados obtenidos tanto en los ensayos de los agregados, como en los ensayos practicados a las muestras de concreto utilizando residuos reciclados y se verificará si los resultados de dichos ensayos cumplen con los requisitos establecidos para la elaboración de concreto no estructural.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para evaluar el uso del agregado grueso a partir de los residuos de concreto demolido para la construcción de banquetas se hará un estudio de la información recopilada durante los ensayos realizados y se utilizará el software Microsoft Excel para la clasificación de la información y posterior análisis de los diferentes resultados obtenidos.

Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tabla de porcentajes de granulometría por tamiz.
- Tabla de datos obtenidos del análisis de las propiedades físicas de los agregados gruesos reciclados.
- Tabla de proporciones de materiales en el diseño de mezcla
- Tabla de resultados de ensayo a compresión de la mezcla con agregados reciclados a diferentes edades.
- Tabla comparativa de precios de agregados convencionales y reciclados
- Tabla de presupuesto para mezcla para la elaboración de concreto con mezcla convencional y reciclada.

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Curva granulométrica del agregado grueso reciclado
- Gráfica de velocidad de endurecimiento del concreto reciclado
- Gráficas de esfuerzo-deformación del concreto reciclado a 7, 14 y 28 días.
- Gráfica comparativa de las distintas resistencias a compresión a diferentes edades.

- Gráfica comparativa de resistencia a compresión del concreto convencional y el concreto reciclado.
- Tabla de análisis de variación de costos del concreto convencional y reciclado.

11. CRONOGRAMA

Figura 6. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	AÑO 2021					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Fase 1: Revisión bibliográfica	■	■	■			
Fase 2: Muestreo de escombros		■	■			
Fase 3: Trituración de escombros			■			
Fase 4: Obtención de una granulometría adecuada			■	■		
Fase 5: Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados				■		
Fase 6: Diseño de mezcla				■		
Fase 7: Elaboración de probetas cilíndricas					■	
Fase 8: Fundición de banquetas utilizando concreto reciclado					■	
Fase 9: Ensayos a compresión					■	■
Fase 10: Análisis de los beneficios económicos y ambientales					■	■
Fase 11: Presentación y discusión de resultados						■

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar esta investigación se procederá a utilizar los recursos detallados a continuación y los cuales serán financiados por el estudiante.

Tabla XIII. Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Materia prima	
Residuos de concreto	Q 200.00
Cemento	Q 300.00
Agregado fino (arena)	Q 150.00
Trituración de materia prima	Q 300.00
Ensayos de agregado grueso	
Peso específico, % de absorción. ASTM C-127	Q 120.00
Peso unitario volumétrico, % de vacíos. ASTM C-29	Q 120.00
Granulometría. ASTM C-136	Q 120.00
% pasa tamiz 200. ASTM C-117	Q 120.00
Desgaste, agregado grueso según norma resistencia a la abrasión por medio de la máquina de los Ángeles. ASTM C-131	Q 360.00
Pruebas de concreto fresco	
Asentamiento de Abrams, ASTM C-143	Q 60.00
Peso unitario C-138	Q 60.00
Contenido de aire, ASTM C-231	Q 120.00
Pruebas de concreto endurecido	
Resistencia probetas normalizadas ensayo a compresión. ASTM C-39	Q 210.00
Asesor de tesis	Q 2,500.00
TOTAL	Q 4,740.00

Fuente: elaboración propia.

Se considera que la investigación es totalmente factible ya que se cuenta con los recursos necesarios para su ejecución.

13. REFERENCIAS

1. Abal, B. (2019). *Mitigación De Los Impactos Ambientales Por La Reutilización De Residuos De Construcción Y Demolición En Obras Civiles En El Distrito De Pillco Marca, Provincia Y Región Huanuco* (Tesis de maestría). Universidad de Huánuco, Perú.
2. Acuña, V. (2001). *Tratamiento de los residuos de construcción y demolición* (Tesis de licenciatura). Universidad de Sonora, México.
3. Agreda, G. y Moncada, G. (2015). *Viabilidad en la elaboración de prefabricados en concreto usando agregados gruesos reciclados* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/4550>
4. Angulo, S. (2009). *Chemical-mineralogical characterization of C&D waste recycled aggregates from São Paulo, Brazil*. Waste management New York. Recuperado de https://scholar.google.com.gt/scholar?q=Chemical-mineralogical+characterization+of+C%26D+waste+recycled+aggregates+from+S%C3%A3o+Paulo,+Brazil&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart
5. ASTM. (1990). *Book of standard specification for concrete aggregate, volume 04.02*. United States.

6. Aydelek, A. (2015). *Environmental Suitability of recycled concrete aggregate in highways. Report. MD-15-SP109B4G-2*. Universidad de Maryland. Recuperado de https://www.roads.maryland.gov/OPR_Research/MD-15-SP109B4G-2_RCA-GAB_Report.pdf
7. Bedoya, C. (2003). *El Concreto Reciclado Con Escombros. En C. M. Bedoya, Construcción sostenible* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
8. Centeno, P., Salazar, R., Urrego, Y., Jaramillo, N., y Arjona, S. (Julio, 2014). Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción. *Informador técnico*, 78(2), 121-127. Recuperado de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/95
9. Cooley, L., y Hornsby, H. (2012). *Evaluation of Crushed Concrete Base Strength*. Mississippi Department of Transportation. Study SD05-07. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-Crushed-Concrete-Base-Strength-Cooley-Hornsby/2113d6cd5113f98bd6353753bfa7d35d12b6a7fc>
10. Cuevas, O. (2014). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México: Limusa Noriega Editores. Recuperado de <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/aspectos-concreto-reforzado-gonzc3a1lez-cuevas.pdf>

11. Kosmatka, S. (Enero, 2004). Diseño y control de mezclas de concreto. *Boletín de Ingeniería*. Portland Cement Association. Illinois, Estados Unidos. Recuperado de <https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/7097/7098/7099/7103/82528.pdf>
12. López, J. (Septiembre, 2019). Construcciones sostenibles. *Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 1(11). Recuperado de <https://agg.org.gt/blog/revista-gerencia/construcciones-sostenibles-como-aporte-al-desarrollo/>
13. Marroquín, E. (2012). *Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
14. Meléndez, A. R. (2018). *Utilización del concreto reciclado como agregado (grueso y fino) para un diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Huaraz-2016* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Pedro, Huaraz, Perú.
15. Montero. (Marzo, 2010). Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs. *Journal of hazardous materials*, 48(1), 747. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/38113755_Gypsum_and_organic_matter_distribution_in_a_mixed_construction_and_demolition_waste_sorting_process_and_their_possible_removal_from_outputs

16. Nilson, A. (1995). *Diseño de estructuras de concreto*. (12.^a edición). Bogotá, Colombia: McGraw Hill. Recuperado de <https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/miblog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto.pdf>
17. Pacheco, J. (2017). *Influencia de las características de los agregados de las canteras del sector El Milagro - Huanchaco en un diseño de mezcla de concreto* (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
18. Parillo, E., y Camargo, C. (2019). *Reutilización de Residuos Sólidos en la Producción de Pavimentos Rígidos de Bajo Costo en el Distrito de Juliaca, Puno*. 15 (1). Recuperado de <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/RCIA/article/view/94/76>
19. Pérez, N., Garnica, P., y Rivera, A. (Mayo, 2018). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un agregado de concreto reciclado*. *Publicación Técnica No. 514 del Instituto Mexicano del Transporte*. México. Recuperado de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt514.pdf>
20. Rodríguez, C., Rosado, C., y Contreras, K., (2014). *Estudio del Potencial de Reciclaje de los Desechos de Construcción y Demolición en la Ciudad de Guayaquil* (Tesis de maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.

21. Sánchez, D. (1993). *Los Agregados o Áridos. En S. D. Diego, Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar editores Ltda. Recuperado de https://www.academia.edu/35759848/Tecnolog%C3%ADa_del_concreto_y_del_mortero_Diego_S%C3%A1nchez_De_Guzm%C3%A1n_Bhandar_Editores.
22. Scanferla, L. (2011). *Evaluación del comportamiento de hormigones elaborados con agregados reciclados* (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica Nacional, México. Recuperado de <https://xdoc.mx/documents/evaluacion-del-comportamiento-de-hormigones-5e4d98a30a8e2>
23. Vera, J., y Cuenca, C. (2016). *Diagnóstico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado* (Tesis de licenciatura). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia.
24. Waddell, J. y Dobrowolsky, J. (2001). *Manual de la construcción con concreto, tomo I. (3.ª edición)*. México: McGraw Hill.
25. Zacarías, M. (2010). *Caracterización física, mecánica, química y petrográfica para agregados finos y gruesos extraídos del Río Ocosito, en el departamento de Retalhuleu* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

14. ANEXOS

Anexo 1: **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Anexo 2: Tabla matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
Pregunta principal: ¿Se podrán utilizar residuos sólidos de concreto demolido para la construcción de banquetas?	Objetivo general: Analizar si es posible la utilización de residuos sólidos de concreto demolido para la construcción de banquetas.			
Preguntas auxiliares: 1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del agregado procedente de residuos de concreto?	Objetivos específicos: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado procedente de residuos de concreto.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados Tamizado de los materiales (%) Cantidad retenida (Kg/m ²) Tamaño máximo nominal en (mm) Diámetros característicos (pulgadas) Densidad relativa (kg/m ³) Absorción, porosidad y contenido de humedad (%)	Análisis granulométrico según norma ASTM C-33 Densidad relativa o peso específico según norma C-127 Masa unitaria del agregado grueso según Norma ASTM C-29 Desgaste de abrasión para agregado grueso en la máquina de los Ángeles según Norma ASTM C-131	Recolección y clasificación de residuos de concreto (2 días) Análisis granulométrico (7 días) Ensayos de densidad relativa y peso específico (7 días) Prueba de abrasión (7 días)
2. ¿Cuál es la dosificación adecuada para un diseño de mezcla para concreto no estructural	1. Establecer la dosificación adecuada de un diseño de mezcla para concreto no	Proporción diseño de mezcla con agregados reciclados	Estimación del contenido de los agregados Cálculo del contenido del cemento	Realizar distintos diseños de mezcla para obtener la resistencia adecuada (3 días)

utilizando residuos de demolición?	estructural utilizando residuos de demolición.		Porcentaje de material reutilizado	
3. ¿Puede un diseño de mezcla reutilizando residuos de concreto demolido alcanzar la resistencia adecuada para la construcción de banquetas?	2. Desarrollar un diseño de mezcla reutilizando residuos de concreto demolido para alcanzar la resistencia adecuada para la construcción de banquetas.	Resistencia a compresión para concretos no estructurales	Ensayos a compresión 7, 14 y 28 días	Elaboración de probetas cilíndricas de concreto con el uso de agregado grueso reciclado (1 día) Preparación de la mezcla y fundición de banqueta (2 días) Observar comportamiento del concreto a 7, 14 y 28 días
4. ¿Qué beneficios económicos y ambientales puede ofrecer la reutilización de concreto demolido en la construcción de banquetas?	3. Analizar los beneficios económicos y ambientales que ofrece la reutilización de concreto demolido en la construcción de banquetas.	Costos de diseño de mezcla convencional y reciclado Beneficios ambientales	Estimación y comparación de costos Exploración acerca de los beneficios ambientales	Recolectar información bibliográfica y elaborar tabla de costos (3 días) Investigar información bibliográfica acerca de beneficios ambientales (2 días)

Fuente: elaboración propia.