



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS
REFORZADAS**

Jorge Mario González Orellana

Asesorado por Ing. Rafaél Enrique Morales Ochoa

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS
REFORZADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE MARIO GONZÁLEZ ORELLANA
ASESORADO POR EL ING. RAFAÉL ENRIQUE MORALES OCHOA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

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. Dario Francisco Lucas Mazariegos
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
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 PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS REFORZADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 11 de noviembre de 2022.

Jorge Mario González Orellana



EEPFI-PP-1904-2022

Guatemala, 11 de noviembre de 2022

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS REFORZADAS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis y Diseño Estructural y Estructuras Complejas - Respuesta estructural**, presentado por el estudiante Jorge Mario Gonzalez Orellana carnet número 201244835, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en CIENCIAS en Estructuras.

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"

Rafael Enrique Morales Ochoa
Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería Sanitaria
Maestría en Energía y Ambiente
Col. 2,662

Mtro. Rafael Enrique Morales Ochoa
Asesor(a)

Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cott
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

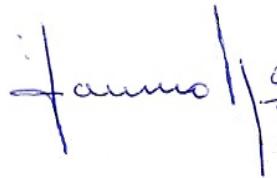




EEP.EIC.1549.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria 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: **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS REFORZADAS**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Mario Gonzalez Orellana**, 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 Ingenieria Civil

Guatemala, noviembre de 2022

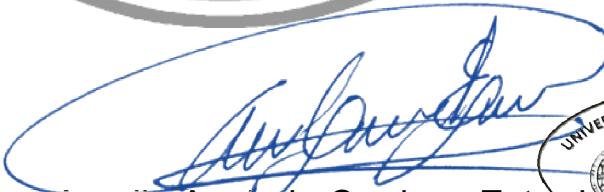


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.525.2023

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 PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO RECICLADO PARA LA EVALUACIÓN EN VIGAS REFORZADAS**, presentado por: **Jorge Mario González Orellana**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Decana

Guatemala, junio de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por regalarme la vida, por nunca dejarme solo y acompañarme en cada momento, por brindarme salud, sabiduría y fortaleza para alcanzar cada meta de mi vida.
Mi mamá	Elena Orellana, por ser mi mayor ejemplo y mi más grande admiración, por enseñarme a nunca rendirme y a luchar por mis metas, por estar siempre al pendiente, amarme, cuidarme y aconsejarme en cada en cada momento de mi vida.
Mi hermano	Rodrigo Orellana, por ser un ejemplo para mi vida, una persona incondicional y mi apoyo en todo momento, por protegerme y ser mi mejor amigo de toda la vida.
Mi familia en general	Por ser un ejemplo de superación y apoyarme en todas las decisiones que he tomado, por ser parte fundamental de las metas que he alcanzado.
Mis amigos	Por formar parte de mi vida, apoyarme y aconsejarme para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por regalarme la vida y permitirme vivir este momento al lado de todos mis seres queridos, por brindarme salud, sabiduría y fortaleza y siempre estar presente en cada instante de mi vida.

Mi mamá

Por traerme al mundo y ser esa persona incondicional en todo momento, por darme más de lo que merezco y siempre ser esa madre amorosa, luchadora y ejemplar en mi vida.

Mi hermano

Por ser mi apoyo en todo momento, por demostrarme que cada día se puede ser una gran persona y siempre estar allí, por aconsejarme y ayudarme a cumplir cada una de mis metas.

Mi familia en general

Por ser un ejemplo de vida, por apoyarme en cada decisión que he tomado y ayudarme a cumplir mis metas, por amarme y recordarme que siempre estarán para mí.

Mi novia

Por ser un ejemplo de dedicación y perseverancia, por alentarme a seguir adelante y

cumplir mis metas, por ser mi apoyo en muchos momentos de mi vida.

Mis amigos

Por ayudarme a salir adelante en el transcurso de toda la licenciatura y maestría, por siempre estar allí en cualquier momento y apoyarme a cumplir con mis metas.

Mi asesor

Por asesorarme en mi proyecto de graduación, por brindarme ese apoyo y permitirme cumplir con una de mis más grandes metas.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser mi casa de estudios en toda la etapa de mi carrera, por enseñarme y prepararme para ser un gran profesional y ayudar a nuestra población con nuestro conocimiento, por enseñarme el sentido de pertenencia y de estar orgulloso de ser san carlista.

Escuela de Ingeniería Civil

Por darme la oportunidad de ser un profesional preparado, por enseñarme y permitirme ser parte de la mejor escuela que tiene la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Concreto	15
7.1.1. Agregado fino	15
7.1.2. Agregado grueso	15
7.2. Relación agua/cemento	16
7.3. Dosificación del concreto.....	16

7.4.	Concreto reciclado	17
7.4.1.	Agregado reciclado	17
7.5.	Diseño de mezcla.....	17
7.6.	Vigas	18
7.6.1.	Vigas de concreto reforzado.....	18
7.7.	Falla en vigas	18
7.7.1.	Falla por flexión	19
7.7.2.	Falla por corte	19
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	21
9.	METODOLOGÍA	23
9.1.	Fase de recolección de información teórica	23
9.2.	Fase de trabajos de campo.....	24
9.3.	Trituración del material.....	24
9.3.1.	Toma de muestra para ensayos de laboratorio	24
9.4.	Ensayos de laboratorio para agregados.....	24
9.4.1.	Granulometría	25
9.4.2.	Peso específico	25
9.4.3.	Humedad.....	25
9.4.4.	Peso unitario	25
9.4.5.	Abrasión	26
9.5.	Fase de diseño experimental	26
9.5.1.	Diseño de mezcla.....	26
9.6.	Elaboración de la muestra experimental	26
9.7.	Ensayos de laboratorio para las vigas.....	27
9.8.	Análisis de los resultados.....	27
9.9.	Redacción final de la investigación	27

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	29
10.1.	Ordenamiento y tabulación de los datos	29
10.2.	Análisis estadístico de los resultados.....	29
11.	CRONOGRAMA.....	31
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	33
13.	REFERENCIA	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Cronograma de actividades	31
II.	Costos de la investigación.....	33

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Q.	Quetzales

GLOSARIO

Concreto	Es una mezcla de materiales como la arena, grava y gravilla (también llamados agregados), y cemento, que sirve como aglutinante
Infraestructuras	Se denomina infraestructura a aquella realización humana diseñada y dirigida por profesionales de Ingeniería, Urbanismo, entre otras, que sirven de soporte para el desarrollo de otras actividades y su funcionamiento, necesario en la organización estructural de las ciudades y empresas

X

RESUMEN

El concreto reciclado está elaborado de los residuos de la construcción y demolición, los agregados finos y gruesos se obtiene mediante procesos de separación y trituración de los escombros del material, para luego ser utilizados en la elaboración de un nuevo concreto.

Los escombros de concreto provenientes de demoliciones de estructuras, carpetas de rodadura y muestras de laboratorio pueden ser reutilizados para la elaboración de nuevos elementos estructurales.

En este diseño de investigación, se busca evaluar y comparar el comportamiento del concreto con diferentes proporciones de concreto reciclado, utilizándolo como agregado grueso y agregado fino, con el objetivo de obtener un diseño de mezcla óptimo que nos permita la disminución del uso de materiales vírgenes, y reducir la utilización de bancos de materiales.

Se evaluará el comportamiento mediante análisis de las propiedades mecánicas de los tipos de mezcla a realizar, con la finalidad de establecer la proporción óptima cumpliendo con las normas NTG y ASTM.

Se fabricarán vigas reforzadas con distintas longitudes, para luego ser sometidas a ensayos de laboratorio y comprobar si el concreto reciclado influye en el desempeño de los elementos estructurales.

Se finalizará con un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos del laboratorio, para determinar si los elementos estructurales realizados con concreto reciclado cumplen con un desempeño adecuado en las obras infraestructura, pudiendo reemplazar a un elemento estructural elaborado con materiales vírgenes.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en el mundo, por lo que es de vital importancia tener ideas y estudios los cuales ayudan a utilizarlo después de haber prestado el servicio necesario y haber llegado a su vida útil. Por lo que es conveniente conocer distintas formas o métodos de reutilización, evitando un problema ambiental de gran impacto.

El concreto reciclado surge de la necesidad de reutilizar uno de los materiales con mayor impacto en el medio ambiente, esto debido a la demolición de estructuras a renovarse, carpetas de rodadura en pavimentos rígidos y muestras de laboratorio que son desechados constantemente. Así mismo, busca evitar la continua explotación de bancos de materiales vírgenes.

Para reutilizar los escombros de concreto en la fabricación de un concreto nuevo, es necesario que pasen por ciertos procesos y estudios los cuales demuestren que cumple con las características y propiedades necesarias. Para que posteriormente este nuevo concreto pueda utilizarse en elementos de concreto estructural de forma satisfactoria en edificaciones. Para esto es necesario poder realizar un correcto diseño de mezcla con porcentajes de concreto reciclado, los cuales no afecten el desempeño del mismo y tenga la capacidad de soportar grandes cantidades de carga.

En la siguiente investigación, se pone a prueba un concreto reciclado con distintos porcentajes de agregado reciclado, proveniente de construcciones y demoliciones de concreto, con la finalidad de conocer cuáles son las propiedades mecánicas del mismo, determinar si el concreto viejo influye en las propiedades

del concreto nuevo y establecer un diseño de mezcla óptimo para que pueda ser utilizado en elementos estructurales como lo son las vigas reforzadas.

Así mismo, comprobar a base de ensayos de laboratorio si el concreto reciclado influye en el comportamiento de las vigas estructurales al momento de ser puestas a prueba a través de ensayos de flexión y corte.

2. ANTECEDENTES

El uso del concreto reciclado data de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, donde los países europeos enfrentaban la destrucción de las ciudades y por ende la acumulación de escombros. Esta problemática motivó a que los desechos se utilizaran en la elaboración de concreto para la reconstrucción de ciudades. “El concreto se puede reciclar y reutilizar de muchas maneras. El mejor método a menudo depende del tamaño y la forma del concreto que se reciclará. Reutilizar el concreto es una buena forma de reducir los costos de construcción” (Arkiplus, 2018, párr. 1).

Las vigas estructurales han sido parte fundamental para la construcción de todas las obras de infraestructura “las primeras intuiciones sobre el mecanismo de la flexión en una viga surgen en el Renacimiento con Leonardo da Vinci, aunque fue Galileo el primero que intentó dar una explicación científica al comportamiento de una viga” (Yepes, 2017, párr. 3).

En el avance de los tiempos, existen innovaciones en las estructuras y por ende en los materiales a utilizar es por ello que se hace referencia a lo expuesto por Escamilla y Loza citado por Poma (2021) “existen diversas posturas que señalan, la evolución de la ingeniería civil, en función de las nuevas exigencias de la modernización de las estructuras, dentro de los últimos avances se tiene, la combinación y creación de diversos materiales” (p. 2). Como lo es el concreto reciclado.

Al reciclar el concreto se reducen los costos de la construcción a realizar, y ayuda a reducir el impacto ambiental que genera la producción de nuevos

concretos que posteriormente se transforman en escombros. “En la Ciudad de México, cada día se producen alrededor de 7 mil toneladas de RCD. Además, el manejo de estos residuos se ha convertido en un problema ambiental y de salud” (Santillán, 2019, párr. 4).

Así como en México, en la mayoría de países se producen miles de toneladas de residuos de concreto y demolición por lo que es conveniente hacer referencia a lo expuesto por Marzouk y Azab citado por Basalar (2019) “sugiere un ahorro de 12,3 millones de toneladas en la sustitución de materias primas si el reciclaje se lleva a cabo con la misma cantidad de material desecharo” (p. 4).

Al momento de reutilizar los escombros de concreto reciclado se evita seguir contribuyendo con la explotación de materiales vírgenes en bancos de materiales, tomando en cuenta que, al momento de realizar pruebas de laboratorio indicaron que “la trabajabilidad como la resistencia a compresión, resultaron afectadas por la incorporación del árido grueso reciclado. Para concreto con árido fino reciclado en baja cantidad, la trabajabilidad aumentó ligeramente” (Lara, 2017, p. 5).

Con el análisis de los datos se demuestra que se puede trabajar con los escombros de concreto, realizando un concreto nuevo “ya que presentan una pequeña disminución de resistencia a la compresión (f'_c) de 15 a 20 % por tener una mayor porosidad respecto a los agregados naturales” (Muñoz, 2021, p. 10).

Se deben realizar distintas pruebas de laboratorio, variando la cantidad de concreto reciclado a utilizar en el concreto nuevo, ya que “el reemplazo del 25 % de ACR por agregado natural, aumenta significativamente las propiedades mecánicas del concreto, obteniendo una resistencia a la compresión de 248

kg/cm², a flexión de 117 kg/cm² y a la adherencia de 64 kg/cm^{2”} (Lozano, 2019, p. V).

La innovación en los materiales es algo que se viene trabajando en todo el mundo, siendo estos una alternativa para la construcción de obras de infraestructura, así como se expone en la siguiente cita, “los materiales compuestos durante los últimos cincuenta años, viene en un constante crecimiento y evolución, demostrando tener presencia y, incrementándose cada día más su uso en múltiples sectores” (Murayari, 2020, p. 1).

El concreto reciclado es un material compuesto que se utiliza especialmente en la fabricación de elementos estructurales, como lo son las vigas reforzadas, en donde “el concreto funciona perfectamente para soportar grandes esfuerzos de compresión, pero su resistencia para esfuerzos de tensión es muy baja” (Juárez, 2019, p. 1)

Las vigas son elementos fundamentales en las obras de infraestructura “permitiendo cargar sobre ellas nuevas estructuras. Es por eso que las características básicas de una viga son la resistencia, un peso relativamente bajo y una mínima flexibilidad” (Parras, 2018, párr. 2).

Las vigas principalmente están diseñadas para soportar fuerzas que se apliquen a la estructura, y transferirlas a las columnas y estas a la cimentación. En la sección de la viga existen fuerzas internas normales “se conocen como esfuerzos de flexión, cuya función es resistir los momentos flectores que actúan sobre la sección.” (Civil, 2021, párr. 38). Y los tangenciales “se les conocen como esfuerzos cortantes, cuya función es la de resistir fuerzas transversales o cortantes.” (Civil, 2021, párr. 38)

Una de las principales características para utilizarse como elemento estructural es la rigidez, pero cómo lo expuesto por Godínez (2022) “la rigidez de un elemento de concreto se degrada importantemente sólo en zonas específicas (previamente consideradas para estar sometidas a grandes demandas de deformación) permaneciendo el resto del elemento con un nivel de daño menor” (p. 4).

Las vigas son elementos estructurales críticos en las obras de infraestructura, las cuales están sometidas a esfuerzos de compresión, tracción, flexión, Torsión y Cortante en donde “el uso de vigas armadas presenta entonces una gran solución para el diseño de estructuras, pero también se deben tener en cuenta ciertas consideraciones para conservar el correcto funcionamiento de las mismas.” (Terreros, 2014, p. 1).

Al momento de someter la viga a cargas para realizar la evaluación, se tiene que tomar en cuenta los distintos tipos de fallas que se pueden presentar como lo expuesto en la siguiente cita “la transmisión de esfuerzos cortantes en las vigas de concreto armado está vinculada de la resistencia a tracción y compresión del concreto. Por lo tanto, cuando dichas resistencias son superadas, el elemento puede desarrollar distintos patrones de agrietamiento” (Tiburcio, 2021, p. 19).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe una falta de iniciativas técnicas para el aprovechamiento de los residuos de concreto en procesos constructivos.

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, por lo cual, sus residuos son una de las principales fuentes de contaminación, debido al alto volumen que se obtiene de los procesos de construcción y demolición, esto constituye un problema ambiental grave que no está siendo abordado ni solucionado. Adicionalmente, contribuyen al agotamiento de los recursos naturales derivados de la continua explotación de bancos de materiales vírgenes.

En las instituciones gubernamentales, no existe interés para encontrar un uso a los residuos de concreto, siendo esto una problemática que crece año con año. Es evidente la falta de iniciativas técnicas para el uso de los residuos de concreto, que permitan regular y generar un sistema de reutilización, muy similar al que se utiliza en los procesos de reciclaje de los pavimentos asfálticos.

Por otra parte, en Guatemala no existen normativas por parte de las instituciones competentes que avalen la reutilización de los escombros de concreto, esto debido al poco conocimiento y estudios que se han realizado para este material en procesos constructivos.

Lamentablemente, existen muy pocas instituciones que realicen investigación sobre procesos vinculados a la ingeniería estructural, esto ocasiona que no se destinen recursos financieros para apoyar la innovación de materiales para uso en la construcción.

En base a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta principal:

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de un concreto elaborado a partir de un concreto reciclado para la evaluación en vigas reforzadas?

Asimismo, se establecen las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Qué influencia tiene la resistencia del concreto original reciclado en la resistencia del concreto nuevo?
- ¿Cuál es el proceso de reciclado del concreto viejo para producir el concreto nuevo?
- ¿Cuál es el diseño de mezcla utilizando concreto reciclado?

4. JUSTIFICACIÓN

La utilización de concreto reciclado como agregado para el diseño de concreto estructural, puede ser una alternativa más amigable con el medio ambiente, ya que se ve un constante crecimiento en las actividades de construcción, remodelación y demolición de estructuras, en donde muchas de las ciudades generan grandes volúmenes de residuos de concreto demolido, que en la actualidad se han convertido en un problema grave de contaminación ambiental.

Por lo tanto, si la elaboración de concreto se sustituye un porcentaje óptimo de agregados naturales por agregados de concreto reciclado, se pretende investigar en este trabajo que el comportamiento de este concreto tenga propiedades similares a las de un concreto convencional y este nuevo diseño de concreto será una herramienta sostenible para optimizar el uso de los materiales de construcción, y así reducir los niveles de emisiones de gases contaminantes que se generan en la industria de la construcción y la excesiva demanda de residuos de construcción y demolición.

Otra razón importante es que, al conocer las propiedades mecánicas de dicho concreto se podrá validar si este cumple con las características requeridas de resistencia y durabilidad, para ser utilizado en la elaboración de elementos estructurales de obras de infraestructuras.

Con lo anterior se podrá beneficiar a los constructores, ya que brindará evaluaciones y conocimiento necesario para mejorar el desempeño estructural

en elementos sometidos a cargas y sismos utilizando materiales reciclados, cumpliendo con el desempeño requerido, pero a un mejor costo.

Beneficiará al medio ambiente, ya que, al reutilizar los escombros de concreto, evitamos que estos sean desechados causando contaminación, además, ayudará a disminuir la continua explotación de bancos de materiales vírgenes.

Finalmente, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería civil y de maestría en estructuras, les servirá de fuente de consulta técnica para el desarrollo de nuevas investigaciones relacionadas a la evaluación de nuevos materiales en elementos estructurales a través de ensayos de laboratorio.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar las propiedades mecánicas de un concreto elaborado a partir de un concreto reciclado para la evaluación en vigas reforzadas

5.2. Específicos

- Determinar la influencia que tiene el concreto original en las propiedades mecánicas del concreto nuevo.
- Establecer el proceso de reciclado del concreto viejo para producir el concreto nuevo.
- Desarrollar un diseño de mezcla óptimo para que el concreto reciclado pueda ser utilizado en la evaluación de vigas reforzadas.
- Comparar las propiedades mecánicas de un concreto convencional con las de un concreto reciclado y los resultados al ser evaluado en vigas reforzadas.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A partir del presente trabajo se evaluarán las propiedades mecánicas de un concreto reciclado para la evaluación en vigas reforzadas. Mediante la investigación se podrá concluir si los elementos estructurales elaborados con concreto reciclado cumplen con las características necesarias según las normativas para ser utilizadas en obras de infraestructura.

Como es sabido, derivado de actividades de demolición de estructuras de concreto, así como también carpetas de rodadura en pavimentos de concreto rígido, se obtienen escombros de concreto que en general son desechados sin ningún beneficio. Como consecuencia de lo anterior, con esta investigación se pretende buscar una solución que permita reutilizar estos desechos y aprovecharlos, evitando así la contaminación ambiental, puesto que se contará con información que permita mejorar el manejo de los residuos.

De tal manera que, durante el proceso se realizarán evaluaciones de vigas reforzadas a partir del aprovechamiento de concreto reciclado, este experimento brindará datos fidedignos que permitirá establecer si es posible utilizarlo para la elaboración de elementos estructurales en obras de infraestructura.

Además, al contar con un material reciclado que cumpla con las características establecidas en los elementos estructurales, se reducirá la extracción de materiales vírgenes e impactará directamente en la economía de la población, brindando un material de calidad a un bajo costo.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Concreto

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizado en el mundo, y puede ser de uso común o convencional “se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo” (Loya, 2018, p. 23).

El resultado de la combinación de los componentes para la producción de concreto produce una masa plástica que puede ser moldeada y vertida para la elaboración de distintos elementos estructurales, que al momento de endurecerse logra resistir grandes cantidades de cargas a compresión.

7.1.1. Agregado fino

“Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 ”) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en dicha norma” (Muñoz, 2021, p. 16).

7.1.2. Agregado grueso

El agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto y este “puede ser grava natural o triturada, partículas de roca partida, o en

agregados metálicos, naturales y artificiales, viene también del concreto triturado, o una composición de ellos, y es el material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N°4)" (Vargas, 2018, p. 19).

7.2. Relación agua/cemento

La relación agua cemento en una mezcla de concreto define la cantidad de agua que tiene que llevar en relación a la cantidad de cemento a utilizar, entre más agua lleve la mezcla, el concreto tendrá menos resistencia para soportar cargas en estado sólido.

Para los diseños de mezcla y obtener una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², "el volumen de agregado fino es más eficiente cuando se hace uso de una relación agua cemento de 0.555 con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " y una relación de agua cemento de 0.569 con un TMN de 1" (Robles, 2019, p. 147).

7.3. Dosificación del concreto

La dosificación del concreto consiste en poder medir las proporciones ideales de los componentes de la mezcla de concreto, con el fin de que se obtenga la resistencia con la que se diseñó de una forma económica.

Para encontrar la dosificación del concreto se pueden utilizar dos métodos, uno basado en el contenido del cemento y el otro en la resistencia del concreto. "Al primer grupo pertenecen el método de Fuller, el método de Bolomey y el método de Faley. Al segundo grupo pertenecen el método de la Peña y el método de la ACI" (Lara, 2017, p. 11).

7.4. Concreto reciclado

El concreto reciclado es obtenido mediante procesos de demolición de infraestructuras y pavimentos de concretos viejos, utilizándolos como agregados gruesos o finos para la elaboración de concretos nuevos. “El uso de agregados triturados provenientes de demolición de concreto hidráulico se aprovecha para generar concreto hidráulico reciclado, un material que puede abatir costos, disminuir la contaminación y abaratar la edificación” (Bejar, 2018, p. 69).

7.4.1. Agregado reciclado

Los agregados reciclados se producen a partir de los desechos minerales siendo la fuente más grande los desechos de construcción y de demolición. “Se ha demostrado que los escombros de concreto triturado, después de la separación de otros desechos de construcción y demolición siendo tamizados, pueden usarse como sustitutos de los agregados gruesos naturales en el concreto” (Basalar, 2019, p. 19).

7.5. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla es fundamental al momento de realizar elementos estructurales para infraestructuras, brinda los porcentajes y relaciones que tiene que llevar de materiales para alcanzar la resistencia requerida en el diseño. “La adición de fibras de acero a la mezcla de concreto puede ocasionar cambios en cuanto a las propiedades del concreto, los cuales pueden ser despreciados cuando estas dosificaciones son bajas o moderadas, aproximadamente hasta un 0.25 % por volumen” (Ramos, 2021, p. 6).

7.6. Vigas

Las vigas pueden estar fabricadas de distintos materiales como lo son el acero, concreto y madera. En donde sus principales funciones las expone Gamboa (2017) “es soportar los esfuerzos que se pueden presentar como corte, flexión, torsión o combinación de todas” (p. 6). Y el principal objetivo es transmitir las cargas transversales hacia las columnas.

7.6.1. Vigas de concreto reforzado

Las vigas de concreto reforzado, son elementos estructurales que tiene los mismos objetivos que cualquier otra viga en las infraestructuras, con la diferencia que estas vigas llevan varillas de acero en la parte superior para soportar los esfuerzos a compresión y varillas de acero en la parte inferior para soportar los esfuerzos a tensión, con la finalidad que pueda soportar cargas más grandes, sin sobrepasar la zona elástica evitando que la viga presente alguna falla.

7.7. Falla en vigas

Las fallas en las vigas de concreto se pueden presentar por cargas que sobrepasen la resistencia para la cual fueron diseñadas, por la calidad de los materiales, por la mala fundición en la obra o por su vida útil. Las fallas más comunes que se presentan en las vigas son: Falla por flexión y la falla por cortante.

7.7.1. Falla por flexión

La falla por flexión en la viga se presenta al momento que al elemento se le aplica una carga que sobrepasa los límites de diseño, en donde “la cara inferior de la viga tiende a alargarse por estar sometida a la flexión. Como el concreto por sí solo no resiste la flexión, estas fuerzas deberían ser absorbidas por el acero de refuerzo colocado en esa cara” (Garcia, 2014, p. 28).

7.7.2. Falla por corte

Una de las principales fallas de las vigas que son utilizadas como elemento estructural, es la falla producida por esfuerzos cortantes, donde usualmente la viga es reforzada con varillas de acero transversal para soportar estas cargas, evitando que la viga sobrepase las cargas de diseño y soportando así los esfuerzos producidos por cortante.

En las estructuras resistentes a sismos según lo citado por Aquino (2019,) “el diseñador debe asegurarse que no ocurra una falla por cortante, sino buscar la falla por flexión, por eso la resistencia a cortante del elemento debe ser algo mayor que la resistencia máxima a flexión que se pueda desarrollar” (p. 17).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO

1.1. Estudio de los agregados

 1.1.1. Investigación preliminar

 1.1.2. Investigaciones de campo

1.2. Estudio de un correcto diseño de mezcla

 1.2.1. Proporción de los materiales

1.3. Ensayos de laboratorio del concreto

2. DISEÑO DE LAS VIGAS REFORZADAS

2.1. Predimensionamiento de las vigas reforzadas

2.2. Estudio e investigación de las vigas reforzadas

2.3. Estudio de las vigas reforzadas

2.4. Ensayo de laboratorio de las vigas reforzadas

3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VIGAS REFORZADAS BAJO EFECTOS DE CARGA

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Esta investigación busca determinar las propiedades mecánicas de un concreto reciclado, con la finalidad de ser utilizado en elementos de edificaciones como concreto estructural. La investigación tendrá un enfoque cuantitativo experimental con alcance descriptivo y una temporalidad transversal, ya que los datos se observarán y tomarán en un solo instante de tiempo a través de ensayos de laboratorio y con una hipótesis establecida de los resultados que se quieren alcanzar en la investigación.

Para la investigación se definieron varios puntos importantes como lo es el planteamiento del problema con las preguntas que ayudan a definir el objetivo principal y los objetivos específicos, se definió la justificación, alcance e hipótesis, de esa manera tener una guía de cómo abordar y seguir una línea de investigación, con el propósito de llegar al final de la investigación siguiendo las siguientes fases.

9.1. Fase de recolección de información teórica

La investigación será respaldada por una base teórica, la cual estará sujeta a las normativas ASTM y NTG, las cuales se utilizará para evaluar los materiales, realizar el diseño de mezcla y elaborar las vigas de concreto reforzado, y posteriormente ser evaluadas

9.2. Fase de trabajos de campo

En la fase de trabajo de campo se obtendrá el agregado reciclado el cual tendrá su origen de los residuos de construcción y demolición producidos en los distintos lugares de la ciudad de Guatemala. En esta fase se debe de tener en cuenta que el material tiene que ser lo más homogéneo posible.

9.3. Trituración del material

En esta etapa se procederá a triturar las muestras del concreto obtenidas de los residuos de construcción, con la finalidad que puedan ser utilizados como agregado en la mezcla de concreto nuevo, siempre pasando por ensayos de laboratorio para que cumplan con los requisitos establecidos.

9.3.1. Toma de muestra para ensayos de laboratorio

Antes de realizar los ensayos de laboratorio, se tendrá que tomar una muestra del material triturado, para que este sea evaluado y conocer las propiedades físico-mecánicas de los agregados reciclados que se utilizarán.

9.4. Ensayos de laboratorio para agregados

Los ensayos de laboratorio que se realizarán al material triturado serán para evaluar sus propiedades serán el ensayo de granulometría, peso específico, humedad, peso unitario y abrasión.

9.4.1. Granulometría

La granulometría de los agregados reciclados se realizará de acuerdo a la norma NTG 41010 h1 ASTM C136-14 (Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso), la cual describe el procedimiento para realizar una granulometría correcta, en donde se realizarán curvas de la granulométricas.

9.4.2. Peso específico

Para la realización de este ensayo, se tomaron muestras de aproximadamente 2 kg de material, con la finalidad de determinar el peso específico aparente y nominal.

9.4.3. Humedad

La humedad de los agregados se determinará colocando pesando una muestra del agregado, posteriormente se colocará en un horno durante 24 horas para que luego se vuelva a pesar y obtener el peso constante. Los valores de humedad de los agregados se realizan antes de realizar la preparación de la mezcla de concreto, para realizar las correcciones correspondientes en la cantidad de agua a utilizar.

9.4.4. Peso unitario

En esta etapa se realizará el ensayo para medir el peso unitario suelto y compactado, en donde el agregado se coloca en un recipiente colocando 3 capas de material de igual proporción hasta que se pueda enrasar, y cada capa se apisona con 25 golpes distribuidos uniformemente.

9.4.5. Abrasión

Para la realización de la prueba de abrasión, se coloca una muestra del agregado en la máquina de Los Ángeles, en donde se hace girar el cilindro a una velocidad promedio, el número de vueltas deberá ser de 500, en donde se determinará la resistencia al desgaste por fricción de los agregados utilizando como referencia la norma Norma ntg 41010 h 21 astm c 535 desgaste agregados mayores.

9.5. Fase de diseño experimental

Se elaborarán vigas reforzadas como elemento estructural, las cuales se diseñarán cumpliendo con las normas técnicas guatemaltecas, para luego ser evaluadas con ensayos de laboratorio.

9.5.1. Diseño de mezcla

En esta etapa se realizará el diseño de mezcla según el método establecido en el ACI 211 con distintos porcentajes de agregado reciclado. En donde se evaluará a través de la NTG-41017 h4 determinación del asentamiento del concreto hidráulico, NTG-41017 h7 determinación del contenido de aire hidráulico recién mezclado por el método de presión y la NTG-41017 h25 Resistencia a compresión de cilindros de concretos fundidos en obra.

9.6. Elaboración de la muestra experimental

Se realizarán 9 vigas de 1 metro con distinto porcentaje de agregado reciclado, para luego someterlas a evaluaciones a través de ensayos de laboratorio.

9.7. Ensayos de laboratorio para las vigas

En esta fase se evaluarán a flexión y corte las vigas elaboradas con distinto porcentaje de agregado reciclado y distintas longitudes. Se evaluarán a través de la normativa NTG-41017 h2 método de ensayo para determinar el esfuerzo del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). En donde se llevará una bitácora de trabajo la cual permitirá ir anotando todos los datos y sucesos ocurridos en el elemento estructural durante los ensayos.

9.8. Análisis de los resultados

En esta fase se analizarán los resultados obtenidos en las distintas pruebas de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del concreto y el ensayo a flexión y corte con las vigas de concreto reciclado, a través de la tabulación de los datos y la representación gráfica de los mismos, comparándolos con los datos ya establecidos de elementos estructurales con agregados vírgenes para validar la efectividad del concreto reciclado.

9.9. Redacción final de la investigación

Para culminar, se realizará la redacción final del documento y se presentará a las Escuela de Postgrado de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y posteriormente se publicará para que pueda ser una herramienta importante en la investigación para generaciones futuras.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de determinar los datos en los ensayos de laboratorio, tanto para obtener las propiedades mecánicas del concreto reciclado como para los ensayos de la viga a flexión y corte, se utilizará una estadística descriptiva como técnica de análisis de la información, con el propósito de recolectar, almacenar, tabular y graficar los datos, con el fin de realizar un análisis comparativo con datos establecidos en las normas técnicas guatemaltecas.

10.1. Ordenamiento y tabulación de los datos

Al momento de determinar los datos de los ensayos de laboratorio, estos se almacenarán en una bitácora de campo, para ser trasladados, ordenados y tabulados en el programa Excel, en donde se podrán modular y graficar con el fin de facilitar el análisis de los resultados.

10.2. Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Para el análisis de los datos se utilizarán los rangos de los resultados obtenidos por medio de los ensayos, se utilizarán medidas de dispersión estadística que nos indicará si las variables medidas se mueve mucho o poco una de la otra, y por último se utilizará la medida de tendencia central para obtener el centro de la distribución de los datos de los experimentos. Con estos métodos estadísticos se espera llegar a una conclusión respecto a la hipótesis planteada en la investigación.

11. CRONOGRAMA

El desarrollo y la ejecución del proyecto de investigación se llevará a cabo en 46 semanas, se describe a través del siguiente cronograma de trabajo en donde se detalla las actividades a realizar.

Tabla I. Cronograma de actividades

Actividades a ejecutar	Semanas	Inicio	Final
Desarrollo del perfil de investigación	9		
Planteamiento del problema	3	04/06/22	25/06/22
Objetivos de la investigación	3	25/06/22	16/07/22
Alcances de la investigación	3	16/07/22	06/08/22
Desarrollo del protocolo de investigación	10		
Antecedentes de la investigación	3	20/08/22	10/09/22
Justificación	1	10/09/22	17/09/22
Marco teórico	3	17/09/22	08/10/22
Hipótesis y metodología	2	08/10/22	22/10/22
Redacción final del protocolo	1	22/10/22	29/10/22
Trabajo de Campo	4		
Obtención del concreto en demoliciones	2	05/08/23	19/08/23
Trituración del concreto	2	19/08/23	02/09/23
Ensayos de laboratorio	5	02/09/23	07/10/23
Diseño de las vigas reforzadas	6		
Diseño de las vigas	1	07/10/23	14/10/23
Elaboración de las vigas	5	14/10/23	18/11/23
Ensayo de las vigas en laboratorio	2	18/11/23	02/12/23

Continuación tabla I.

Procesamiento de los datos por métodos estadísticos	10		
Análisis, conclusión y presentación de los resultados	7	02/12/23	20/01/24
Presentación y finalización de la investigación	3	20/01/24	10/02/24

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La investigación se realizará con inversión propia, en donde se visitará lugares de construcción y demolición de la ciudad de Guatemala para la obtención de los escombros de concreto. A estos escombros se les realizará un proceso de trituración para que cumplan con el tamaño ideal para ser utilizado como agregado grueso en la elaboración del concreto.

Al momento de tener la mezcla de concreto, se le realizarán varios ensayos de laboratorio para comprobar sus propiedades mecánicas. Luego se fabricarán las vigas reforzadas para luego ser estudiadas en un laboratorio realizándose ensayos de flexión y cortante.

Tabla II. Costos de la investigación

Actividad	Costo	Financiamiento
Visitas de campo	Q. 3,000.00	Propio
Estudios de laboratorio	Q. 4,000.00	Propio
Ensayo de las vigas	Q. 10,000.00	Propio
Procesamiento y análisis de los datos obtenidos	Q. 3,000.00	Propio
Gastos administrativos y de transporte	Q. 3,500.00	Propio
Pago de Asesor y defensa de tesis	Q. 4,600.00	Propio
Alquiler de equipo y gastos varios	Q. 3,000.00	Propio
Total	Q. 31,100.00	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

13. REFERENCIA

1. Aquino, S. (2019). *Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP)* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
2. Arkiplus, E. (23 septiembre, 2018). Concreto reciclado. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.arkiplus.com/concreto-reciclado/>.
3. Basalar, L. y. (2019). *Concreto reciclado como agregado grueso para la elaboración de concreto structural* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.
4. Bejar, M. C. (2018). *Utilización de concreto reciclado como agregado grueso en pavimentos rígidos en la ciudad de Cusco* (Tesis de licenciatura). Universidad Alas Peruanas, Perú.
5. Civil, A. (16 de junio, 2021). Viga de concreto: cálculo, tipos, características. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://arquitecturacivil.blog/estructura/viga-de-concreto-calculo-tipos-caracteristicas/>.
6. Gamboa, P. (2017). *Comparación del comportamiento de viga armada con modificaciones en la colocación de los aceros transversales vs una típicamente armada para el mejoramiento ante esfuerzos de*

corte y flexión (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

7. Garcia, A. (2014). *Modelación de capacidad esperada en vigas de sección rectangular hasta tres metros de longitud de concreto reforzado al ser ensayadas en laboratorio con ayuda de métodos finitos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
8. Godínez, E. T. (junio, 2022). Determinación de la influencia de diferentes variables en el cálculo de rigideces agrietadas y efectivas de vigas de concreto reforzado. *Revista Internacional De Ingeniería De Estructuras*, 27(1), 1-43.
9. Juárez, B. (2019). *Armado sismorresistente de elementos estructurales pertenecientes A* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
10. Lara, Y. (2017). *Análisis comparativo de resistencia y permeabilidad de mezclas de hormigón con escombros de demolición de concreto y mampostería como sustitutos de agregado grueso* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana.
11. Loya, L. F. (2018). *Evaluación de la resistencia a la compresión. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, cerro de pasco* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Perú.
12. Lozano, F. y. (2019). *Influencia del reemplazo de agregado natural por agregado de concreto reciclado, sobre las propiedades mecánicas*

del concreto, para el diseño de edificaciones (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo, Lima.

13. Muñoz, M. (2021). *Uso de concreto reciclado de demoliciones como agregado grueso para la elaboración de unidades de albañilería de concreto* (Tesis de licenciatura). Universidad Privado del Norte, Perú.
14. Murayari, G. (2020). *Estudio del comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzadas con barras de fibra de vidrio, Lima 2019* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
15. Parras, J. (23 de julio, 2018). La viga como elemento estructural: todo lo que necesitas saber [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://hierrosmoral.com/2018/07/23/la-viga-como-elemento-estructural-todo-lo-que-necesitas-saber/#:~:text=La%20funci%C3%B3n%20de%20la%20viga,bajo%20y%20una%20m%C3%ADnima%20flexibilidad>.
16. Poma, C. (2021). *Análisis Comparativo de vigas Reforzadas con Varillas de Fibra* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
17. Ramos, J. (2021). *Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero, que presentan aberturas horizontales transversales* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional De San Agustín Arequipa, Perú.
18. Robles, N. P. (2019). *Estudio de la relación agua/cemento y su influencia en la permeabilidad del concreto 2017* (Tesis de licenciatura). Universidad Señor de Sipán, Perú.

19. Santillán, M. (1 de marzo, 2019). Nuevos concretos a partir de residuos de la construcción. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ciencia.unam.mx/leer/841/nuevos-concretos-a-partir-de-residuos-de-la-construcion->.
20. Terreros, A. (2014). *Estudio de la interacción flector cortante en vigas* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
21. Tiburcio, M. F. (2021). *Simulación del tipo de falla en vigas simplemente* (Tesis de licenciatura). Universidad de Piura, Perú.
22. Vargas, K. (2018). *Concreto reciclado en el aporte estructural para la fabricación de ladrillos king kong tipo 14, Tarapoto 2018* (Tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo, Perú.
23. Yepes, V. (18 de Septiembre de 2017). *Concepto de puente viga y algo de historia* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Valencia, España.