



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS  
RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA  
MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA  
INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
GUATEMALA, GUATEMALA**

**César Eduardo Avalos Pérez**

Asesorado por el M.S.a. Ing. Héctor Augusto Villanueva Martínez

Guatemala, julio de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS  
RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA  
MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA  
INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
GUATEMALA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CÉSAR EDUARDO AVALOS PÉREZ**

ASESORADO POR EL M.A. HECTOR AUGUSTO VILLANUEVA MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO (a.i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González.
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz.
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría.
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

## 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 LA INVESTIGACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS  
RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA  
MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA  
INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
GUATEMALA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2024.

**Cesar Eduardo Avalos Pérez**

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and curves, positioned above the printed name.



EEPFI-PP-0930-2024

Guatemala, 4 de mayo de 2024

**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: **PROPUESTA DE DISEÑO DE APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gerencia Estratégica - Gestión de la innovación**, presentado por el estudiante **César Eduardo Avalos Pérez** carné número **201114706**, 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 Gestion Industrial.

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,

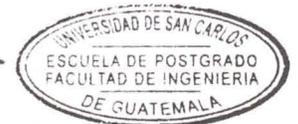
*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Hector Augusto Villanueva Martínez  
Asesor(a)

*Hector Augusto Villanueva Martinez*  
**INGENIERO INDUSTRIAL**  
**COLEGIADO 7993**

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería

Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel  
Coordinador(a) de Maestría





EEP.EIC.0930.2024

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: **PROPUESTA DE DISEÑO DE APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **César Eduardo Avalos Pérez**, 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, mayo de 2024





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.302.2024

El Decano 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: **PROPUESTA DE DISEÑO DE APROVECHAMIENTO DE LOS AGREGADOS RECICLADOS, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL ADITIVO ISOCYCLE, PARA MEJORAR LOS COSTOS MANTENIENDO LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA.**, presentado por: **Cesar Eduardo Avalos Perez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Informe final PREGRADOPOSTGRADO  
Fecha: 09/07/2024 21:53:52  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, julio de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 302 CUI: 2631732400101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el creador de vida y permitirme culminar esta etapa.
- Mis padres** Cesar Eduardo Avalos Argueta y Aura Ena Pérez García por el amor, confianza, apoyo orientación y ser ejemplo de lucha y perseverancia.
- Mis hermanas** Ena Rocío y Marcia Iveth Avalos Pérez, por su cariño y apoyo hacia mi persona en el transcurrir de los años.
- Mi esposa** Josselin Andrea Martínez, por todo el amor, paciencia y apoyo que me ha brindado durante todo este tiempo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el alma mater de nuestra enseñanza hacia la vida profesional dándonos la oportunidad de crecer académicamente y que, junto a nuestro esfuerzo, año con año nos ha permitido llegar a realizar uno más de nuestros sueños.
<b>Mis padres</b>	Por su perseverancia y dedicación guiándome hacia la mejora personal.
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo constante, por ser un apoyo en los tiempos difíciles.
<b>Mi esposa</b>	Por estar presente todo el tiempo y ser mi luz en todo momento.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas .....	1
1.1.1. Análisis a nivel nacional.....	1
1.1.2. Análisis a nivel internacional.....	4
1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas.....	24
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	25
2.1. Contexto general .....	25
2.2. Descripción del problema .....	27
2.3. Formulación del problema .....	28
2.3.1. Pregunta central .....	28
2.3.2. Preguntas auxiliares .....	29
2.3.3. Delimitación del problema .....	29
2.4. Necesidades a cubrir o satisfacer.....	29
2.5. Ubicación del área o lugar en estudio .....	32
2.6. Localización del área o lugar en estudio.....	33

3.	INFORMACIÓN GENERAL .....	35
3.1.	Aspectos generales.....	35
3.1.1.	Antecedentes históricos del municipio de Guatemala.....	35
3.1.2.	Aspectos geográficos del municipio .....	36
3.1.3.	Aspectos generales de la planta de concreto.....	37
3.1.3.1.	Reseña histórica.....	38
3.1.3.2.	Estructura organizacional .....	40
3.1.3.3.	Servicios.....	42
3.1.3.4.	FODA .....	43
4.	MARCO TEÓRICO .....	47
4.1.	Concreto reciclado .....	47
4.1.1.	Residuos de construcción y demolición .....	48
4.1.2.	Agregado.....	49
4.1.3.	Agregados reciclados.....	50
4.2.	Proceso de obtención y selección de agregados reciclados ....	51
4.2.1.	Mediante trituración.....	51
4.2.2.	Mediante de lavado .....	51
4.2.3.	Mediante uso de aditivos.....	53
4.3.	Sostenibilidad y reducción de costos en la producción de concreto .....	54
4.3.1.	Importancia en la sostenibilidad ambiental.....	54
4.3.2.	Gestión eficiente de residuos en plantas de concreto.....	55
4.4.	Propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregados reciclados .....	57
4.4.1.	Resistencia a la compresión.....	57
4.4.2.	Módulo de elasticidad.....	58

4.4.3.	Absorción de agua.....	59
4.5.	Proceso diseño de mezcla.....	60
4.5.1.	Proporcionamiento con mezclas de prueba.....	61
5.	MARCO METODOLÓGICO .....	65
5.1.	Diseño de la investigación .....	65
5.2.	Enfoque de la investigación.....	66
5.3.	Tipo de la investigación .....	66
5.4.	Variables.....	66
5.4.1.	Operacionalización de variables .....	67
5.5.	Técnicas de investigación.....	70
5.6.	Universo y población .....	71
5.6.1.	Criterios de inclusión .....	71
5.6.2.	Criterios de exclusión .....	72
5.7.	Muestreo.....	72
5.8.	Hipótesis.....	73
5.8.1.	HO .....	73
5.8.2.	HI .....	73
5.9.	Técnicas de recolección de datos .....	73
5.10.	Instrumentos de recolección de datos .....	75
5.11.	Procesamiento y análisis de datos .....	76
5.12.	Límites de la investigación.....	77
5.13.	Obstáculos.....	77
5.14.	Aspectos éticos de la investigación .....	78
5.15.	Autonomía de la investigación.....	78
5.16.	Riesgos de la investigación .....	78
6.	CRONOGRAMA Y COSTOS DEL ESTUDIO.....	79
6.1.	Cronograma.....	79

6.2.	Costos del estudio.....	81
7.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	83
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	85
	REFERENCIAS .....	89
	APÉNDICE .....	97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Esquema de solución.....	31
<b>Figura 2.</b>	Departamento en estudio.....	33
<b>Figura 3.</b>	Zona de ubicación de planta de concreto .....	34
<b>Figura 4.</b>	Área metropolitana del municipio de guatemala .....	37
<b>Figura 5.</b>	Sistema típico de recuperación de concreto fresco por lavado....	53
<b>Figura 6.</b>	Zonas de interfase y absorción de agua de los agregados reciclados.....	60

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	FODA.....	44
<b>Tabla 2.</b>	Variables.....	67
<b>Tabla 3.</b>	Operacionalización de variables .....	68
<b>Tabla 4.</b>	Cronograma de actividades .....	79
<b>Tabla 5.</b>	Costos del estudio .....	82



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>p</b>	Página
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Aditivo <i>Isocycle</i></b>	Nuevo aditivo formulado por la empresa Cemex para la reutilización de agregados del concreto residual.
<b>Aditivo para reciclaje de agregados</b>	Sustancia añadida al concreto residual que regresa de las obras con el propósito de facilitar su reciclaje y transformación en agregados reciclados. En este caso, se menciona específicamente el aditivo denominado <i>Isocycle</i> .
<b>Agregado</b>	Material inorgánico utilizado en la composición del concreto, que puede ser reciclado para reducir la explotación de recursos naturales.
<b>Agregado reciclado</b>	Material obtenido a través del proceso de trituración de concreto proveniente de demolición, con potencial uso en nuevas mezclas de concreto.
<b>Agregados reciclados</b>	Materiales inorgánicos obtenidos a partir de la trituración y procesamiento de residuos de concreto provenientes de la demolición de estructuras o del concreto sobrante en plantas de producción. Pueden utilizarse como sustitutos parciales de los agregados convencionales en la fabricación de nuevos concretos.

<b>Calidad del concreto</b>	Características y propiedades mecánicas y físicas del concreto, influenciadas por el uso de agregados reciclados y aditivos.
<b>Compresión</b>	Fuerza ejercida sobre el concreto, medida a través de la resistencia a la compresión, crucial para la seguridad estructural.
<b>Concreto reciclado</b>	Concreto que incluye agregados reciclados, contribuyendo a la reducción de desechos y la sostenibilidad ambiental.
<b>Concreto residual</b>	Concreto que regresa a la planta de producción, convirtiéndose en ripio y generando costos indirectos.
<b>Costos indirectos de producción</b>	Gastos de producción que no están directamente relacionados con los materiales básicos, como los costos de manejo de residuos, transporte y disposición de desechos.
<b>Demolición</b>	Proceso mediante el cual el concreto residual se convierte en agregado reciclado, influyendo en los costos indirectos.
<b>Eficiencias</b>	Mejora en la utilización de recursos naturales y reducción de impactos ambientales en la producción de concreto.

<b>Gestión de residuos</b>	Prácticas para minimizar la generación de residuos y promover la reutilización y reciclaje en plantas de concreto.
<b>Gestión eficiente de residuos</b>	Implementación de prácticas y estrategias para reducir la generación de residuos, fomentar la reutilización y el reciclaje, y manejar responsablemente los desechos en plantas de producción de concreto.
<b>Impacto ambiental</b>	Consecuencias negativas en el entorno debido a la gestión inadecuada de los residuos de construcción y demolición.
<b>Mano de obra</b>	Costo asociado al trabajo humano necesario para el manejo de residuos de concreto y su disposición.
<b>Materia prima</b>	Residuos de construcción y demolición que pueden convertirse en nuevos materiales reciclados para su reintroducción en el mercado.
<b>Optimización de costos</b>	Mejora en la eficiencia económica al reciclar agregados, reduciendo los costos indirectos en la producción de concreto.

<b>Planta de concreto</b>	Instalación donde se lleva a cabo la producción de concreto, enfrentando desafíos asociados al manejo de residuos
<b>RCD (residuos de construcción demolição):</b>	Sobrantes procedentes de la demolição de edificaciones, construcción de nuevas estructuras, reformas domiciliarias, y otros sitios relacionados con la construcción.
<b>Reciclaje de concreto</b>	Proceso que involucra la trituración y reutilización de residuos de concreto para producir agregados reciclados, reduciendo la necesidad de utilizar recursos naturales y minimizando el impacto ambiental.
<b>Resistencia a la compresión</b>	Capacidad del concreto para resistir fuerzas que lo comprimen, medida mediante la cantidad de carga que puede soportar por unidad de área antes de colapsar.
<b>Sostenibilidad ambiental</b>	Enfoque que busca minimizar el impacto ambiental de la producción de concreto, reduciendo la explotación de recursos naturales, emisiones de contaminantes y la generación de residuos.
<b>Vertedero</b>	Sitio designado para la disposición de desechos, en este contexto, especialmente utilizado para el ripio y desechos de concreto.

## RESUMEN

El desafío actual en proyectos de construcción radica en la gestión de los residuos de concreto retornados de las obras, cuyos volúmenes aumentan significativamente en proyectos de gran escala. En respuesta a esta problemática, surge la necesidad de explorar el reciclado de agregados para optimizar costos sin comprometer la calidad del concreto. El desarrollo reciente de un aditivo por parte de Cemex ofrece una posible solución, aunque la falta de información sobre su costo y calidad es un obstáculo. Este estudio tiene como objetivo principal investigar si la implementación de este aditivo podría mejorar los costos del concreto manteniendo su calidad.

Se llevará a cabo un estudio de caso para analizar el uso del aditivo para reciclaje de concreto en profundidad, así como también la caracterización de los agregados reciclados, para este análisis se emplearán técnicas de ensayos de laboratorio para obtener datos sobre sus propiedades físicas. Asimismo, se realizarán ensayos de laboratorio en el concreto fresco y endurecido, evaluando su trabajabilidad y resistencia. La investigación incluirá todos los residuos frescos de concreto que retornan de obras en camiones mezcladores, con resistencia de 3000 PSI a 4000 PSI y un tamaño nominal máximo (TNM) de 1 pulgada. La investigación no contará con muestreo como tal debido a que se tomará toda la población disponible para los ensayos cuantitativos, ajustando las cantidades según necesidades específicas. Para el análisis cualitativo se analizará la percepción de calidad por parte de los clientes y profesionales del ramo, se aplicará un muestreo selectivo, basado en criterios específicos y la posibilidad de emplear un muestreo por bola de nieve para obtener diversas opiniones sobre el concreto con agregados reciclados.



## JUSTIFICACIÓN

La siguiente investigación tiene como objetivo principal abordar la urgente necesidad de encontrar soluciones que sean tanto económicamente viables como sostenibles en el ámbito de la construcción. Se enfocará en la gestión apropiada de los residuos generados durante la producción de concreto, lo cual es crucial dada la creciente preocupación a nivel nacional e internacional por el impacto ambiental de los desechos en los proyectos de construcción, así como menciona Gaitán (2013) sobre la disposición de los residuos de construcción:

En el ámbito internacional, se han adoptado diferentes técnicas y prácticas para el adecuado uso de estos residuos. La generación de escombros es un problema mundial y por tal razón, muchos países, preocupados por sus efectos sobre el medio ambiente, han invertido recursos en investigación e implementación de estrategias apropiadas para su gestión y manejo. (p. 35)

La fabricación de un concreto con agregados reciclados contribuye a un control técnico, económico, impacto social y ecológico que ayuda a la sociedad y a las empresas, la necesidad de preservar y generar el ahorro de recursos naturales con alternativas que se aprovechen de reuso de residuos, en concretos con agregados reciclados que cumplan con los estándares de calidad y que puedan ser utilizados en cualquier elemento estructural.

Gaitán (2013) también recalca la importancia del reciclaje en la actualidad de la siguiente manera:

La tecnología de reciclaje cuenta con una aceptación importante de la sociedad. En países como Holanda, Dinamarca y Alemania, se han hecho campañas significativas con base en información y actuaciones diversas que han influido en un cambio de mentalidad sobre el tema, desde hace ya muchos años. (p. 35)

Con base a lo expuesto, resulta imperativo llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la calidad del concreto al emplear agregados reciclados con el aditivo *Isocycle*. Dado el desconocimiento actual de las propiedades de este aditivo, es crucial determinar su comportamiento y las características tanto de los agregados reciclados como del concreto en sí. Este análisis abordará aspectos de costos y calidad tanto en términos cuantitativos como cualitativos. La investigación tiene como propósito proporcionar una comprensión más profunda de los beneficios y limitaciones asociados con esta práctica, con la intención de brindar orientación valiosa a profesionales de la construcción, ingenieros civiles y personas relacionadas a la producción de concreto. Asimismo, se busca promover la adopción generalizada de prácticas más sostenibles en la industria de la construcción en Guatemala.

# OBJETIVOS

## General

Evaluar si utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto.

## Específicos

1. Caracterizar los agregados reciclados provenientes del uso del aditivo para reciclaje de concreto
2. Evaluar los costos del concreto con agregados reciclados.
3. Estudiar la calidad que tiene un concreto con agregados reciclados



## INTRODUCCIÓN

En los proyectos de construcción, actualmente se enfrenta el desafío de gestionar los residuos de concreto que retornan de las obras, a simple vista puede parecer que los desperdicios son mínimos o descartables, pero en proyectos de grandes volúmenes estos valores aumentan, tal como menciona el Word Business Council for Sustainable Development (2009):

Por lo general, la cantidad de desechos de concreto generados por las mezcladoras representan entre el 0.4 % y 0.5 % del total de la producción. No obstante, en las temporadas altas, cuando la demanda aumenta, el desecho puede alcanzar entre el 5 % y 9 % de la producción. (p. 24)

En las industrias de producción de concreto en el Municipio de Guatemala, surge la necesidad de explorar el reciclado de agregados para optimizar los costos del concreto sin sacrificar su calidad. La falta de información sobre la viabilidad y eficacia de esta práctica obstaculiza el avance hacia métodos más sostenibles y económicamente eficientes. La carencia de botaderos adecuados para el ripio, sumado al desperdicio de concreto, impacta en los costos indirectos de producción. El reciente desarrollo de un aditivo por parte de Cemex para reutilizar agregados de concreto residual representa una solución potencial, pero se carece de información sobre su costo y calidad.

El propósito fundamental de este estudio consiste en investigar si la implementación de dicho aditivo destinado al reciclaje de agregados podría resultar en una mejora de los costos del concreto, al mismo tiempo que se

mantiene su calidad, dentro del contexto de una industria dedicada a la producción de dicho material. Para alcanzar este objetivo, se plantean diversos objetivos específicos, incluyendo la caracterización de los agregados reciclados obtenidos mediante el uso del aditivo, la evaluación de los costos relacionados con el empleo de concreto que contiene estos agregados y el análisis de la calidad del concreto producido con dichos materiales reciclados.

Se compararán costos y la calidad del concreto con agregados reciclados, obtenidos mediante un aditivo aplicado al concreto residual que retorna a una planta de producción en los camiones mezcladores con un concreto convencional en donde se tiene que disponer de los residuos hacia vertederos cercanos. La producción de concreto con agregados reciclados ofrece beneficios en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales, lo que contribuye tanto a la sociedad como a las empresas. Esto responde a la necesidad de conservar recursos naturales y promover la reutilización de residuos, siempre y cuando los concretos resultantes cumplan con los estándares de calidad y sean adecuados para su uso en diversas estructuras.

En el primer capítulo, se examinan los antecedentes a nivel nacional e internacional, lo que proporciona una visión más completa del problema. El segundo capítulo se centra en el planteamiento del problema, incluyendo la descripción, formulación y las necesidades a abordar, así como detalles sobre la ubicación. El tercer capítulo presenta información general sobre la investigación. En el cuarto capítulo, se desarrolla el marco teórico abordando los temas relevantes para el estudio. El quinto capítulo se dedica al marco metodológico, donde se discuten las variables, población, hipótesis y técnicas de recolección de datos. Finalmente, en el sexto capítulo se detallan el cronograma y los costos del proyecto de investigación.

# **1. ANTECEDENTES**

En la actualidad, el concreto se posiciona como el segundo material más utilizado, justo después del agua, es un material durable, su manejo inadecuado puede desencadenar una contaminación no deseada en vertederos, cuencas y ríos afectando gravemente el medio ambiente. En respuesta a esta problemática, el reciclaje de concreto ha surgido como una solución ambientalmente sostenible desde principios del siglo XX. A medida que las construcciones aumentan, se ve la necesidad e importancia de realizar un reciclaje de concreto.

## **1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas**

En esta sección, se presentarán los análisis de antecedentes a nivel nacional e internacional, haciendo referencia a las tesis más relevantes en relación con el tema de investigación.

### **1.1.1. Análisis a nivel nacional**

Según Cifuentes (2016):

La presente investigación aborda la importancia de implementar un Centro de Transferencia y Aprovechamiento de Fragmentos de Ladrillo, Block y Concreto (CTAFLBC), específicamente para cubrir la demanda del municipio de Guatemala, desde el paradigma de la teoría crítica (acción – reflexión – acción) en donde el investigador, como respuesta a la carencia

de estadísticas locales y la complejidad de su obtención, relacionadas a la generación de estos residuos en el sector de la construcción. Así mismo, esta investigación busca dar una respuesta acertada desde un enfoque cualitativo proponiendo un modelo arquitectónico a nivel perfil y una oportunidad de negocio inicial, con la finalidad de profundizar más del tema a través de un anteproyecto arquitectónico y ejes transversales relacionados.

Actualmente los problemas ambientales relacionados con residuos y desechos de construcción y demolición, generados por el sector de la construcción en el Municipio de Guatemala, prácticamente pasan por desapercibido. Al pasar por desapercibido este tipo de impacto ambiental, también se deja de percibir un beneficio económico oculto, detrás de una posible transferencia y adecuado aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición. Por el contrario, las ciudades en vías de desarrollo, gastan aproximadamente el 50 % de sus recursos económicos en una adecuada disposición final de los residuos y desechos, sin ningún beneficio económico de retorno.

En Guatemala no existen investigaciones con enfoques cuantitativos ni cualitativos en relación a los residuos y desechos que se generan por el sector de la construcción. No existe un panorama real de

la generación de residuos construcción y demolición (RCD) y ninguna obtención de áridos reciclados (AR), por lo que la investigación está sustentada mediante un marco teórico internacional y nacional, profundizando en temas de carácter social, cultural, económico, ambiental y legal. (p. 6)

Cifuentes ve la relevancia de abordar la problemática de los residuos de construcción y demolición en el Municipio de Guatemala mediante la implementación de un Centro de Transferencia y Aprovechamiento. La investigación, desde la teoría crítica, responde a la falta de estadísticas locales sobre estos residuos. Proporciona un enfoque cualitativo, proponiendo un modelo arquitectónico y una oportunidad de negocio inicial, destacando la importancia económica y ambiental de gestionar adecuadamente estos desechos en un contexto donde actualmente pasan desapercibidos (Cifuentes, 2016).

La falta de investigaciones previas resalta la necesidad de esta investigación para comprender y abordar los desafíos relacionados con los desechos de las construcciones y ripio en Guatemala, el objetivo y metodología se adecua a la investigación en curso debido a las similitudes de las necesidades de reciclar los residuos de construcción y demolición, tanto para mejorar ámbitos de impacto ambiental como costos en el concreto.

### **1.1.2. Análisis a nivel internacional**

Becerra (2019), en su trabajo titulado *Reciclado de residuos plásticos pet en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna*:

La investigación, en referencia, tiene por objetivo principal demostrar que es factible la sustitución de un porcentaje en los agregados de mezclas de concreto con residuos plásticos PET, con el propósito de mitigar los impactos negativos de dichos residuos en el medio ambiente de Tacna. Esto se sustenta, en que es ampliamente conocido el impacto negativo del tereftalato de polietileno (PET), que luego de su uso para el cual fue fabricado, no tiene un destino amistoso con el medio ambiente en su destino final ecológicamente aceptable, y en Tacna se evidencia ello, con la sobre exposición de dichos residuos en los espacios públicos y medio ambientales (suelos, agua, aire), y por ende en deterioro del paisaje natural y cultural de ciudad. En este contexto, la investigación desarrolló la alternativa de fijar dichos residuos en mezclas básicas de concretos, y con base en teoría similares y normativas, y antecedentes nacionales e internacionales afines al tema, y sobre métodos ACI, ASTM, Normas Técnicas Peruanas, Reglamento Nacional de Edificaciones, entre otros, permitieron demostrar la factibilidad de usar los mismos, en dosificaciones de mezclas en probetas, con reemplazos del 8, 10 y 12 %, en agregados, y luego de las pruebas respectivas a los especímenes (probetas), a los 7,

14 y 28 días, resultó la demostración de hipótesis para el uso de mezclas en concretos con el uso adicional de residuos plásticos PET, aptos para mampuestos utilizados en construcción, mitigando con ello su impacto ambiental negativo, y según un nivel gestión municipal acertado. (p. xiv)

Según Becerra (2019), este estudio destaca la importancia de abordar el impacto ambiental de los residuos plásticos PET en Tacna, proponiendo la sustitución de parte de los agregados de concreto con estos desechos. La investigación demuestra la viabilidad de esta alternativa mediante pruebas y análisis del concreto. La implementación de esta solución no solo contribuiría a mitigar el deterioro ambiental causado por los residuos, sino también a promover una gestión municipal más efectiva, esto es importante en la investigación debido a que aplica los mismos criterios de análisis técnicos a la muestra.

Según Mayta (2019):

La construcción es la industria con el mayor impacto ambiental en el mundo, debido a la producción de cemento, agregados, transporte, desperdicios de demolición, entre otros. El principal factor contaminante en esta industria es la producción de cemento Portland tradicional (CPT), el cual representa el 7 % de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial, principalmente debido a (1) la calcinación de piedra caliza y arcilla que da lugar a la obtención del clínker (ingrediente principal del CPT) y (2) el uso excesivo de combustibles derivados del petróleo, para llegar a la temperatura óptima de calcinación (aprox. 1450 °C). Sin embargo, a

pesar de estas desventajas el CPT es en la actualidad, el material aligante más usado en esta industria.

La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es una prioridad global, por lo tanto, se han propuesto diversas alternativas a los materiales de construcción convencionales. Una de las más prometedoras es la aplicación de tecnología geopolimérica, porque está basada en una reacción química que no requiere procesos de calcinación, la activación alcalina de una matriz amorfa de aluminosilicatos de diversa procedencia. Por lo tanto, la presente investigación buscó fabricar un nuevo material aligante a partir de polvo de Ignimbrita (residuo de proporciones importantes en las Canteras de Añashuayco al norte de Arequipa-Perú), polvo de ladrillo calcinado y mortero reciclado de demolición.

Para fabricar este nuevo material de construcción se consideraron los criterios de: (1) resistencia mecánica para su aplicación como mortero estructural (de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)), (2) trabajabilidad de la pasta geopolimérica, (3) costo / beneficio del activante alcalino (Na(OH)) resistencia máxima a la compresión de aligantes y morteros fabricados.

Los resultados iniciales mostraron que la resistencia máxima a la compresión uniaxial a temperatura ambiente varía entre 20 y 50 MPa para los aligantes obtenidos de las materias primas propuestas. Haciendo uso de estos aligantes geopoliméricos se prepararon muestras de morteros (de relación volumétrica aligante:arena fina de 37.5:62.5) que obtuvieron resultados de resistencia a la compresión de hasta 68MPa, resultados que superan ampliamente los requeridos para mortero estructural según el RNE.

La siguiente etapa de la investigación buscó comprender los principales mecanismos microscópicos que determinan la resistencia mecánica de los morteros fabricados en función de temperatura variable (entre -20 y 600 °C), se pudo notar que a temperaturas superiores a los 450 °C existe una transición de frágil a semi-dúctil, por lo que el mortero geopolimérico de viviendas a esta temperatura no tendría una falla catastrófica. (p. 11)

Mayta (2019) destaca la importancia de abordar las repercusiones medioambientales de las construcciones, particularmente en lo que concierne a las emisiones de gases contaminantes vinculados a la producción de cemento. La investigación propone una alternativa prometedora mediante el desarrollo de un material geopolimérico a partir de recursos locales y residuos. Los resultados preliminares muestran una resistencia a la compresión que supera los estándares requeridos para mortero estructural, ofreciendo una opción más sostenible para

la construcción. Además, se explora la resistencia a temperaturas variables, revelando propiedades favorables del mortero geopolimérico a temperaturas elevadas. Este enfoque se asemeja a la investigación, ya que utiliza una sustitución de materiales locales y desperdicios destinados para la generación de un nuevo mortero realizando pruebas de laboratorio.

Según Pérez (2019):

Este trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la influencia de nanosílice y fibras de polipropileno en un concreto ecológico para la optimización de su permeabilidad, que cumpla con las resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos rígidos y que permita un buen drenaje en su colocación final. El diseño de mezclas del concreto ecológico, se realizó de acuerdo a lo especificado en las normas ACI 211.3R – 97 y ACI 522R-10, utilizándose agregado fino de Chilete y el agregado grueso obtenido de concreto reciclado de la zona de Shudal, los cuales tienen una granulometría adecuada para el diseño; cemento Portland Tipo I Pacasmayo, fibra de polipropileno marca Sika Fiber Force PP 48 y aditivo nanosílice marca Ulmen, elaborándose 168 especímenes, divididos en cuatro grupos de acuerdo al tipo dosificación, los cuales fueron denominados de acuerdo a sus componentes: I-D (Etapa I - diseño inicial reajustado), I-D-FPM (Etapa I - diseño inicial reajustado con fibras de Polipropileno Macro sintéticas, con dosificación de 8 kg/m<sup>3</sup> del concreto), II-D-AN (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo

nanosílice, con dosificación de 1 % del peso del cemento), II-D-AN-FPM (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno Macro sintéticas). Los resultados mostraron que la dosificación óptima I-D-FPM presenta a los 28 días, una resistencia a compresión de 17.27 MPa (176.07 kg/cm<sup>2</sup>), a flexión de 3.92 MPa (39.93 kg/cm<sup>2</sup>) y permeabilidad de 32.05 mm/s, los cuales cumplen con los parámetros para ser utilizados en pavimentos tanto en los aspectos estructurales e hidráulicos, sin embargo para lograr incrementar la resistencia y plasticidad se utilizó nanosílice, obteniendo así la dosificación final (II-D-AN-FPM) cuya resistencia a compresión a los 28 días de 20.56 MPa (209.59 kg/cm<sup>2</sup>), y a flexión de 5.36 MPa (54.66 kg/cm<sup>2</sup>) y permeabilidad de 28.86 mm/s. Por lo que se concluyó que el diseño de mezclas final de concreto ecológico, cumple con los requerimientos mecánicos, permeables y de densidad, los cuales definen a un concreto permeable, necesarias para el diseño de pavimentos rígidos. (p. xxiii)

Pérez (2019) destaca la importancia de investigar la influencia de nanosílice y fibras de polipropileno en un concreto ecológico usando agregados reciclados para optimizar su permeabilidad y resistencia mecánica. El estudio, basado en normativas específicas, demuestra que la dosificación óptima logra cumplir con los parámetros necesarios para su uso en pavimentos rígidos, tanto en aspectos estructurales como hidráulicos. El uso de agregados reciclados y de aditivos al concreto hacen que esta se asemeje a la investigación por el uso de muestras similares y el uso de ensayos para determinar la calidad del concreto.

Zeballos (2020), en su trabajo titulado *Gestión de la calidad para optimizar los procesos de fabricación de un concreto económico en la construcción informal de la ciudad de Arequipa*, expone que:

El concreto es un material compuesto, en el cual existe una gran variabilidad en las características de sus componentes, especialmente en los agregados pétreos. La presente investigación pretende obtener un concreto de calidad, a partir de la optimización de los agregados y el uso de aditivos, por lo cual se propone una solución original y técnica que tiene fundamento científico, para mejorar la elaboración, transporte y colocación del concreto, obteniendo grandes beneficios en cuanto a la calidad del concreto fresco y endurecido, adicionalmente se lograra mayor rentabilidad económica en la producción de concretos con agregados normalizados, uso de aditivos e implementación de una bomba de concreto considerada un equipo de menor de producción, mejorando la calidad del concreto producido.

Esta investigación está enmarcada en el aspecto tecnológico e innovador buscando proporcionar alternativas de solución para el desarrollo de la actividad de la construcción. Específicamente en el área de producción de concreto, logrando mejorar la calidad del concreto en cuanto a su resistencia y durabilidad a través de diferentes ensayos físicos y mecánicos del concreto. Con esta investigación aparte de lograr mejorar

la calidad del concreto, se logra un plus adicional el cual es optimizar los diseños de mezclas, obteniéndose resultados muy buenos en cuanto a los costos de producción de dicho concreto. La relevancia del tema pone de manifiesto el esfuerzo realizado, con el objetivo de que esta investigación sea un aporte de gran importancia y así contribuir con la formalización de la construcción informal en la ciudad de Arequipa. La investigación se realizó con el respaldo del Laboratorio de Control de Calidad e Investigación de Concretos Supermix S.A. (p. iv)

Zeballos (2020) aborda la optimización de agregados y el uso de aditivos para mejorar la calidad del concreto, tanto en fresco como endurecido. La propuesta técnica busca beneficios sustanciales en términos de calidad y rentabilidad económica en la producción de concretos normalizados, se asemeja a la investigación en términos de resultados, ya que se busca mejorar la calidad y costos del concreto, y se verifica con la misma metodología de ensayos del concreto.

Villalobos (2022) en su trabajo de maestría titulado *Gestión de costos en el proceso de producción en una planta concretera, aplicando la metodología PMBOK* menciona que:

El presente trabajo de tesis para la EPG en Gerencia de la Construcción de la Universidad Católica Santa María fue desarrollado en el año 2021. El trabajo de investigación se enfocó en analizar el costo que implica la producción de una planta de concreto ubicada en el Departamento de

Moquegua, para este propósito se tomó como línea de base lo planteado por la guía del Project Management Body of Knowledge en su sexta edición. Para muchos empresarios dedicados a la industria de la construcción, resulta de sumo interés obtener mayor rentabilidad en los proyectos que ejecutan; siendo el concreto uno de los materiales de uso obligatorio en las obras de construcción. Según datos de INEI para el 2019 la población de Moquegua representaba el 0.60 % de la población nacional, con un crecimiento anual del 0.8 %; lo que ha conducido a ser el Departamento que ha tenido un ascenso sostenido en la última década del consumo de cemento, alcanzó un pico de 165,776 toneladas, en el año 2019, sin embargo, la producción de concreto premezclado que ofertan las plantas concreteras, no ofrece un concreto competitivo y atractivo para las empresas contratistas.

Por estos motivos se propuso como objetivos identificar las principales desviaciones que afectan la rentabilidad del proceso y determinar la gestión de costo del proceso de producción en la planta concretera. La metodología fue proyecto factible, nivel descriptivo. El abordaje se realizó con dos encuestas: el personal de operaciones y el coordinador, luego de analizar estadísticamente, se especificó la metodología aplicable a la dirección de proyecto de empresa concretera. Construida como un sistema de buenas prácticas y estándares,

recomendable para posteriores proyectos a ejecutarse. En conclusión, la metodología PMBOK como actividades de dirección de costos en gestión de proyectos en la entidad concretera de premezclado, genera beneficios desde el inicio hasta el cierre del proyecto; e involucra formatos, planillas, roles definidos, entre otros; que conducen a disminuir tiempos de ejecución, al ser identificadas las desviaciones durante el proceso y optimizar los costos en el proyecto; logrando mejoras en los procesos y actualización de las prácticas creadas. (p. 11)

Villalobos (2022) tiene como objetivo mejorar la rentabilidad de los proyectos de construcción al investigar y analizar los costos de producción de una planta concretera en Moquegua. Basado en la guía PMBOK, el estudio identifica desviaciones y propone una metodología de gestión de costos aplicable a la dirección de proyectos en plantas concreteras. La aplicación de este enfoque metodológico conlleva ventajas sustanciales al incrementar la eficacia y la viabilidad económica en la industria de la construcción. Ambas investigaciones tienen el mismo objetivo de mejorar los costos en una industria de producción de concreto.

Sevilla (2019) en su trabajo titulado *Gestión de residuos sólidos de la actividad de demolición; estudio de casos en profesionales y especialistas en la zona financiera del distrito de San Isidro en el 2018:*

En la investigación se describe la gestión de los residuos sólidos de la actividad de la demolición en la zona financiera del distrito de San Isidro, procurando otorgar una visión actual de cómo se viene manejando éstos

en una de las zonas con mayor desarrollo inmobiliario de oficinas en el país. Gestionar de manera adecuada los residuos de las actividades de la demolición es de suma importancia, debido a que reduce el impacto ambiental causado por la extracción de materiales no renovables de las canteras y previene el incremento de las áreas perdidas por la mala disposición de éstos, perdiéndose materia prima por estar los residuos mezclados con residuos peligrosos y basura, que convierten a estos en residuos comunes o peligrosos, cuando múltiples investigaciones han mostrado que estos residuos pueden recuperarse, valorarse, reciclarse y sustituir de forma satisfactoria los agregados naturales, transformando la industria de la construcción en una actividad sostenible. La investigación se desarrolló bajo el enfoque cualitativo de tipo estudio de casos, utilizando métodos de análisis, documentación y hermenéutica; usándose técnicas de entrevista, observación y análisis documentario, cuyos instrumentos fueron la guía de entrevista, guía de observación y la ficha de análisis documentario. Las unidades de análisis lo conformaron profesionales y especialistas encargados de la ejecución y seguridad de dos obras de demolición en la zona financiera del distrito de San Isidro. Los resultados que arrojaron las entrevistas fueron analizados con el *software* Atlas Ti 7.0. (p. xii)

La anterior investigación se enfoca en la importancia de gestionar adecuadamente los residuos de demolición en la zona financiera de San Isidro,

una de las áreas con mayor desarrollo inmobiliario en el país. La investigación, utilizando un método cualitativo de estudio de casos, evidencia la importancia de gestionar estos desechos de manera eficaz para disminuir el impacto ambiental y transformar la industria de la construcción en una actividad más amigable con el medio ambiente. Esto es importante para la investigación en curso debido a que se busca el mismo objetivo que es la reutilización de los desechos de construcciones y ripio resultante.

Reyna (2016) en su investigación hace énfasis en que:

En la presente investigación se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo.

Se utilizó como materia prima, para el diseño de mezclas, el cemento Portland Extra Forte, gravilla de 1/2", arena gruesa y los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, estos residuos sustituyeron a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 5 %, 10 % y 20 % respectivamente.

Se elaboraron probetas de concreto simple y concreto conteniendo los residuos antes mencionados según la Norma Técnica Peruana 339.033, luego se realizó el ensayo de compresión a las probetas, después de 28 días de curado, según la Norma ASTM C39, con lo cual se

pudo determinar que el concreto conteniendo 5 % de plástico PET presento la mejor resistencia a la compresión. También se determinó que conforme se aumenta el contenido de los residuos en el concreto su resistencia a la compresión disminuye.

Finalmente, se comparó el costo unitario del concreto simple y el concreto conteniendo plástico PET, concluyéndose que efectivamente hay un ahorro con la incorporación de plástico PET en el concreto. (p. iv)

Reyna (2016) muestra la viabilidad de reutilizar residuos de plástico, papel y residuos de bagazo de caña de azúcar en la producción de concreto amigable para el medio ambiente destinado a la construcción de viviendas económicas. Los resultados indican que la inclusión de un 5 % de plástico PET mejora la resistencia a compresión, y se confirma un ahorro económico al comparar los costos unitarios de los dos tipos de concreto. Este enfoque innovador tiene implicaciones positivas tanto ambientales como económicas, teniendo el mismo objetivo que la investigación, el cual es mejorar los costos del concreto y reciclar agregados para impactar positivamente al medio ambiente.

Carrasco (2018), menciona que:

El propósito de la presente investigación es utilizar los residuos provenientes de la industria de construcción para obtener un nuevo elemento prefabricado constructivo para mampostería (bloque de hormigón), con aplicación en la ciudad de Riobamba. La necesidad de esta

investigación radica en que la disposición incorrecta de residuos de construcción, en botaderos o lugares poco adecuados, lo cual se ha convertido en un problema social, ambiental y económico. Por ello, uno de los objetivos principales es identificar la potencialidad de los residuos de construcción y demolición (RCD) como alternativa a las materias primas naturales. Asimismo, se establecerá su capacidad para formar un nuevo material que minimice los volúmenes existentes de residuos, con el fin de contribuir a la conservación del medio ambiente. Para lograrlo, se llevó a cabo ensayos de Granulometría, Masa unitaria suelta (MUS), Masa unitaria compacta (MUC), Contenido de humedad, Porcentaje de absorción, Peso específico y Colorimetría, los cuales evaluaron e identificaron las cualidades físicas, mecánicas y químicas de los residuos (hormigón y ladrillo), mismos que permitieron obtener una dosificación óptima para el elemento prefabricado. Los análisis y resultados finales de Resistencia a compresión, Contenido de humedad y Absorción, garantizan un nuevo elemento prefabricado normado que cumple con los estándares de calidad INEN 3066. De esta manera, este estudio promueve a los RCD como una materia prima sustentable, que no solo reduce el costo e impacto ambiental, sino que además aporta al beneficio social y económico de la ciudad. (p. 1)

Carrasco (2018) destaca la importancia de la investigación al proponer una solución innovadora para abordar el problema de los residuos de construcción en

Riobamba. El estudio se enfoca en utilizar estos residuos para fabricar bloques de hormigón prefabricados, contribuyendo así a resolver problemas sociales, ambientales y económicos asociados a la disposición incorrecta de residuos. Los ensayos realizados respaldan la viabilidad y calidad del nuevo elemento prefabricado, promoviendo la sostenibilidad y el beneficio integral para la ciudad. La metodología y el objetivo es el mismo que la investigación actual, ya que se busca reciclar agregados en lugar de usar agregados naturales, provocando un mejoramiento en los costos y en el impacto al medio ambiente al no realizar descargas en botaderos.

Según Mejía (2018):

El Proyecto de investigación aborda dos paradigmas, por un lado, el retorno a la construcción con tierra y por el otro, el cierre de ciclos de vida de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como una alternativa a disminuir el uso de agregados vírgenes.

Se plantea, por lo tanto, la elaboración de un bloque de tierra comprimida, estabilizado con cemento (BTC), que incorpore agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como una alternativa viable y sostenible para la construcción, contribuyendo a cerrar ciclos de vida de ciertos materiales de construcción y constituya una medida paliativa a la sobre explotación de canteras y a la reducción del volumen de residuos de construcción y demolición a ser vertidos en el ambiente.

Para la investigación se consideran varias dosificaciones con un contenido de suelo que varía entre el 25 % y 50 %, con un contenido de RCD que varía entre un 45 % y 70 %, luego se los compara con bloques elaborados en las mismas dosificaciones pero que usan agregados vírgenes.

Los BTC elaborados con RCD excedieron los requerimientos de la Norma Técnica Colombiana NTC5324. (p. ii)

Este proyecto de investigación aborda la convergencia de dos paradigmas: el regreso a la construcción con tierra y la finalización de los ciclos de vida de los residuos de construcción como una opción para disminuir el uso de agregados nuevos o vírgenes. Se propone la creación de bloques de tierra comprimida estabilizados con cemento (BTC) que integren RCD como opción sostenible para la construcción. Esto no solo contribuiría al cierre de ciclos de vida de ciertos materiales de construcción, sino también mitigaría la sobreexplotación de canteras y la acumulación de residuos. Se llevaron a cabo diversas dosificaciones, con porcentajes variables de suelo y RCD, y los bloques resultantes cumplieron con los requisitos de la Norma Técnica Colombiana NTC5324, destacando la viabilidad técnica y sostenible de esta propuesta.

Bedoya (2016), menciona que:

La presente investigación da a conocer la pertinencia de la gestión integral de proyectos aplicada a una práctica de confección de un material de construcción tan popular como el concreto u hormigón desde un

paradigma no convencional, en el cual se emplean materias primas obtenidas del reciclaje o valorización de residuos de construcción y demolición como sustitutas de aquellas obtenidas de la extracción de recursos no renovables y de alto impacto ambiental. Por medio de la convergencia entre estos aspectos –la gestión integral de proyectos y la confección del Concreto con Agregados Reciclados (CAR)–, se define un modelo para la gestión integral del CAR que apoya o valida la toma de una decisión político-administrativa que pretende viabilizar el empleo de eco-materiales como una de las líneas de acción de la política pública de construcción sostenible en Medellín y su área metropolitana. En el documento se muestran las generalidades del CAR; las características técnicas, ambientales y económicas del CAR; la gestión integral de proyectos; la definición de un modelo de gestión integral del CAR como proyecto de viabilidad y su relación o incidencia en una política pública regional de construcción sostenible.

La investigación es de carácter experimental y basa sus conclusiones en resultados obtenidos de ensayos de laboratorio que validan la confección de un eco-material para uso urbano, la realización de entrevistas y encuestas, y ejercicios de validación de un modelo propuesto por el investigador y sus asesores. Se muestran fotografías,

imágenes y tablas que complementan la información escrita, permitiendo así hacer un estudio ágil y riguroso por parte del lector. (p. 1)

Bedoya (2016) destaca la relevancia de la gestión integral de proyectos y propone una estrategia no convencional para promover la construcción sostenible en Medellín y su área metropolitana, mediante la implementación de un concreto con agregados reciclados. El estudio presenta detalles sobre las características técnicas, ambientales y económicas del CAR, así como un modelo de gestión integral que respalda decisiones político-administrativas para fomentar el uso de eco-materiales. Basándose en ensayos de laboratorio, entrevistas, encuestas y validación de modelos, la investigación demuestra la viabilidad y beneficios del eco-material para uso urbano, respaldando así la implementación de políticas públicas regionales orientadas hacia la construcción sostenible.

Gómez (2021) mención a que:

Este trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de generar un modelo gerencial que permitiera la inclusión de residuos de construcción y demolición en los procesos de elaboración de nuevos concretos premezclados. El diseño del modelo gerencial se realizó con base en estrategias y metodologías gerenciales, y estaba enfocado a empresas encargadas en la recolección, disposición y tratamiento de residuos de construcción y demolición. Su análisis particular estuvo enfocado y dirigido al proceso de re utilización de este tipo de residuos como agregado grueso en la fabricación de nuevos concretos pre mezclados. Los proyectos de construcción generan crecimiento, desarrollo urbano y un avance

industrial en las diferentes ciudades. Además, genera una alta cifra de empleos formales, contribuyendo así en el desarrollo económico y mejoramiento de la calidad de vida de la población. Sin embargo, la construcción de edificaciones y nuevas obras de ingeniería, generan un alto volumen de residuos sólidos que no son controlados ni aprovechados en su totalidad, ocasionando un impacto negativo al medio ambiente y afectando principalmente los recursos naturales como el agua, el suelo y el aire, y en especial, afectando la salud de la población. Este trabajo de grado se realizó por medio de una metodología mixta: cualitativa y cuantitativa. Esta última, se centra en los aspectos observables susceptibles de cuantificación, utilizando la estadística para el análisis de los datos. Para lograr la obtención de datos, se realizó una amplia investigación del sector y las empresas que estaban involucradas con la generación, recolección, clasificación y tratamiento de residuos de construcción y demolición para así realizar estudios estadísticos y analizar el comportamiento de sus variables. Como tipo cualitativo, se realizó una investigación conceptual y legal con una exhaustiva búsqueda sobre el tema de residuos de construcción y demolición (RCD) y su impacto en el medio ambiente. Se tuvo en cuenta también, las investigaciones anteriormente realizadas sobre mezclas de concreto utilizando este tipo de residuos. En este sentido, se logró identificar la existencia y operación de empresas que se encuentran dedicadas a la recolección,

almacenamiento y en especial, al aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición. Teniendo en cuenta esta identificación, se realizó una indagación y búsqueda de información acerca de la generación, re utilización y el uso de los RCD en Colombia y se realizó un análisis económico comparativo entre la fabricación de un concreto convencional y un concreto que utiliza estos residuos como agregado grueso. Finalmente, se desarrolló un modelo gerencial basado en la herramienta Lean mapa de flujo de valor cuyo objetivo fue optimizar la inclusión de RCD en la producción de nuevos concretos premezclados. (p. 10)

Gómez (2021) tiene como objetivo desarrollar un sistema de gestión para incorporar de forma eficiente los residuos de las construcciones en la producción de concreto, técnicas principalmente orientadas a compañías dedicadas a la recolección y procesamiento de desechos de construcciones. La metodología empleada combina enfoques cualitativos y cuantitativos, incluyendo investigación estadística y conceptual. Destaca la importancia del modelo gerencial, especialmente la herramienta Lean mapa de flujo de valor, para mejorar la eficiencia en la incorporación de concreto utilizando agregados reciclados.

A nivel nacional, Cifuentes (2016), indica que los problemas ambientales derivados de estos desechos suelen pasar desapercibidos, constituyendo así un costo implícito que no se reconoce. El reciclaje de agregados emerge como una solución tanto medioambiental como económica para la nación, evitando la necesidad de costosos procesos de disposición final y generando un beneficio económico adicional.

Como menciona Cifuentes (2016):

En Guatemala no existen investigaciones con enfoques cuantitativos ni cualitativos en relación a los residuos y desechos que se generan por el sector de la construcción. No existe un panorama real de la generación de residuos construcción y demolición (RCD) y ninguna obtención de áridos reciclados (AR), por lo que la investigación está sustentada mediante un marco teórico internacional y nacional, profundizando en temas de carácter social, cultural, económico, ambiental y legal. (p. 6)

Anteriormente, se han llevado a cabo investigaciones que exploran el uso de agregados sustitutos, como las escorias siderúrgicas, en lugar de los agregados naturales. Este enfoque busca no solo reducir costos, sino también fomentar un desarrollo sostenible.

## **1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas**

En el ámbito internacional, se han destacado ejemplos que buscan mejorar la calidad del concreto, reducir costos e impactar positivamente en el medio ambiente al reutilizar agregados. Investigadores como Sevilla, Reyna y Carrasco resaltan la importancia de manejar eficazmente los desechos de demolición, utilizar residuos de plástico y promover soluciones innovadoras para abordar la contaminación en la construcción. Estos enfoques coinciden con la investigación actual, que se centra en reciclar agregados para mejorar costos y calidad del concreto, mediante pruebas de laboratorio.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la industria de producción de concreto en el Municipio de Guatemala, se identifica la necesidad de explorar el reciclado de agregados para optimizar los costos del concreto sin comprometer la calidad. La carencia de información sobre la viabilidad y eficacia de esta práctica limita la capacidad de la industria para avanzar hacia métodos más sostenibles y económicamente eficientes.

### **2.1. Contexto general**

En la producción de concreto existen muchos problemas indirectos que afectan económicamente en los costos de producción, uno de estos costos es el manejo de los residuos de concreto que regresan de obra, los cuales afectan económicamente como ecológicamente al medio ambiente.

Al no aprovechar los residuos de construcción y demolición provenientes de los proyectos, se generan pérdidas económicas, debido a que gran parte de estos residuos son la materia prima de nuevos materiales reciclados, a esperas de ser reinsertados al mercado regional e internacional. Según la Real Academia Española el ripio es un cascajo o fragmentos de ladrillos, piedras y otros materiales de obra de albañilería quebrados, que se utiliza para rellenar huecos de paredes o pisos. Las partículas de concreto (cemento, arena, pedrín) de cualquier tamaño,

también forman parte de los componentes del ripio en la mayoría de las obras del municipio de Guatemala. (Cifuentes, 2016, p. 1).

Actualmente en la ciudad de Guatemala solo existen dos sitios autorizados para botar ripio, uno es en la zona 3 y el otro en el kilómetro 22 ruta al pacifico, la disponibilidad del vertedero de la zona 3 para ripio es mínima a comparación de la necesidad de las obras de la ciudad de las cuales tienen que botar ripio o selecto que resulta del producto de las obras, ya sea de excavación, demolición o sobrantes de concreto que regresan de obra, el proceso que se lleva a cabo en la zona 3 es escaso para ripio y selecto como se menciona en Barillas (2015):

Al acumularse cierta cantidad de basura, (1m<sup>3</sup> aproximadamente) se riega y se cubre con una capa de material selecto o ripio, de 50 cm. aproximadamente, pero no se cubre a totalidad y principalmente no se compacta, por lo que al caminar en el lugar se siente la vibración del suelo con el paso de los camiones. La realidad es que gran porcentaje de basura es dejada al descubierto sobre las plataformas y nunca llega a ser depositada en el barranco. Según la impresión en el sitio, solamente un 60 % queda relativamente cubierto. (Barillas, 2015, p. 85).

Todo este panorama genera que la disposición de ripio sea un problema tanto para los costos indirectos de la producción del concreto como para el medio ambiente de Guatemala ya que al no contar con botaderos que dispongan de una manera correcta los desechos genera contaminación en las cuencas y ríos.

## **2.2. Descripción del problema**

En una planta de concreto es muy frecuente que en los camiones mezcladores regrese un concreto residual de las obras, el cual pasa a ser ripio dentro de la planta por un proceso de demolición y se lleva a vertederos cercanos, el desperdicio de estos agregados que no han sido reciclados genera un impacto en el costo indirecto del concreto.

Tal como lo menciona Cifuentes (2016) en su tesis el potencial que pueden poseer los residuos de construcción y demolición:

Los residuos de construcción y demolición poseen un alto potencial de reciclaje y aprovechamiento, el cual en la actualidad es totalmente pasado por alto por el sector de la construcción por diversos motivos que en esta investigación se tratarán de exponer. Uno de los principales motivos de la poca importancia que se le da a los residuos y desechos de construcción y demolición es la falta de investigación cuantitativa y cualitativa de estos, así como también la carencia de proyectos a nivel perfil que mitiguen estos impactos en particular. (p. i)

El desaprovechamiento de los agregados reciclados aparte del costo de demoler el concreto residual, el transporte hacia el vertedero y la mano de obra se debe sumar al costo indirecto de la producción total del concreto, el cual este costo es proporcional al volumen de concreto que regresa a la planta.

El residuo de construcción y demolición, conocido habitualmente como RCD, es un residuo inerte formado por todos aquellos materiales procedentes de la demolición de edificios y estructuras. La naturaleza de estos residuos depende del tipo de obra o infraestructura de la que se obtienen, del tipo de calidad de material utilizado en ellas, y en parte también del tipo de demolición aplicado. El aprovechamiento de los RCD se debe analizar desde cuatro perspectivas: social; medioambiental; económica; y técnica. (Nieto, 2015, p. 8).

Recientemente se ha formulado un nuevo aditivo de la empresa Cemex, el cual sirve para la reutilización de los agregados del concreto residual que regresa de las obras, cuando el aditivo entra en contacto con el agua, forma una especie de gel que se encarga de aglomerar el concreto, convirtiéndolo en agregado reciclado, sin embargo, no se cuenta con ninguna información tanto de los costos como de la calidad de la utilización de este aditivo.

### **2.3. Formulación del problema**

No se cuenta con información sí utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto.

#### **2.3.1. Pregunta central**

¿Cómo se puede saber si utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto?

### **2.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Cuáles son las cualidades y características de los agregados reciclados provenientes del uso del aditivo?
- ¿Cuáles son los costos del concreto con agregados reciclados?
- ¿Qué calidad tiene un concreto con agregados reciclados?

### **2.3.3. Delimitación del problema**

La investigación aborda la carencia de información sobre el uso de aditivos para reciclaje de agregados en la producción de concreto. Actualmente no se cuenta con la información sobre el uso de aditivo para el reciclaje de concreto. Por lo que se realizarán pruebas para evaluar la calidad del concreto con agregados reciclados por medio del uso del aditivo *Isocycle*, la ubicación específica se realizará en una industria de producción de concreto en el municipio de Guatemala. El objetivo es determinar la viabilidad de los aditivos para mejorar costos sin comprometer la calidad del concreto, beneficiando la eficiencia y sostenibilidad en la producción de concreto.

### **2.4. Necesidades a cubrir o satisfacer**

La problemática actual en la industria de producción de concreto se genera a la hora de que las obras regrese un concreto residual, en ese momento el problema pasa a ser, una problemática de desecho, que genera un sobrecosto por el hecho de la necesidad de tener un área de deshecho que posteriormente el concreto pasará un proceso de demolición y traslado a un botadero cercano, generando no solamente el impacto en costo, sino también un impacto ecológico que pasara a ser una problemática a nivel nacional, como nos menciona Sevilla (2019), “la degradación del ambiente generada por la industria de la construcción,

exige que los profesionales se esfuercen por generar un cambio responsable que permitan una construcción sostenible” (p. 12).

De esto surge la necesidad de crear una solución a los restantes de concreto que regresan a planta, dar un segundo uso, reciclar los agregados, tal como cita Cruz y Gómez (2013) “estudios revelan que el uso de agregados reciclados de concreto puede ser usados como materiales para la fabricación de nuevo concreto de usos con bajas especificaciones” (p. 28). Sin embargo, actualmente se ha diseñado un aditivo para reciclaje de agregados con el cual no se cuenta con todos los análisis para verificar la calidad del concreto utilizando los agregados reciclados.

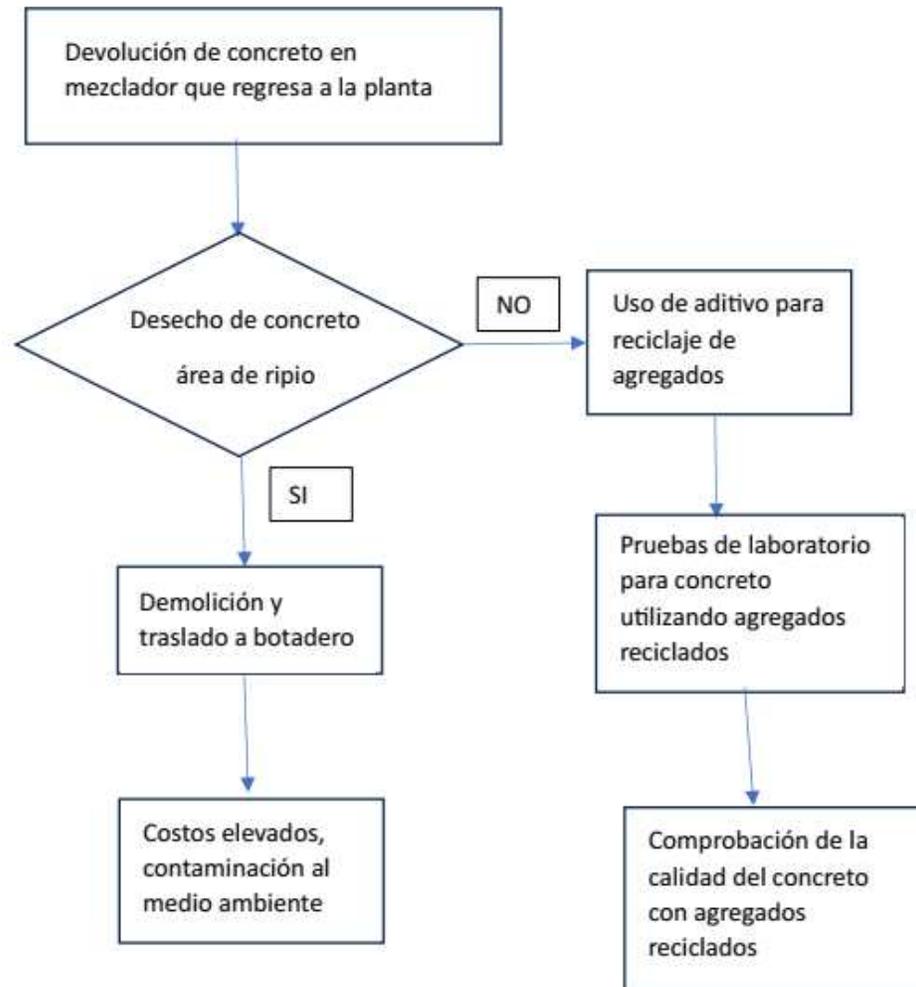
El uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) es una problemática que se debe tratar ya que según Sevilla (2019) a nivel mundial se ha convertido en un verdadero desafío crear un desarrollo sustentable, por lo que, la correcta gestión de los residuos de las actividades de demolición es un aspecto principal para la protección del medio ambiente.

El reusó de los RCD tal como alude Carrasco (2018)

El uso de los RCD en el mundo es una clara muestra del beneficio que estas materias primas olvidadas representan una vez transformadas en una solución constructiva sostenible, de beneficio económico, ambiental y, sobre todo, una manera de reinsertar estos elementos en un nuevo ciclo de vida, que aporte no solamente a la sociedad, sino que también beneficie al medio natural en que vivimos. (p. 32)

**Figura 1.**

*Esquema de solución*



*Nota.* La siguiente imagen muestra el esquema de la problemática de los restos de concreto que regresan a planta en los camiones mezcladores. Elaboración propia, realizado con Word.

## **2.5. Ubicación del área o lugar en estudio**

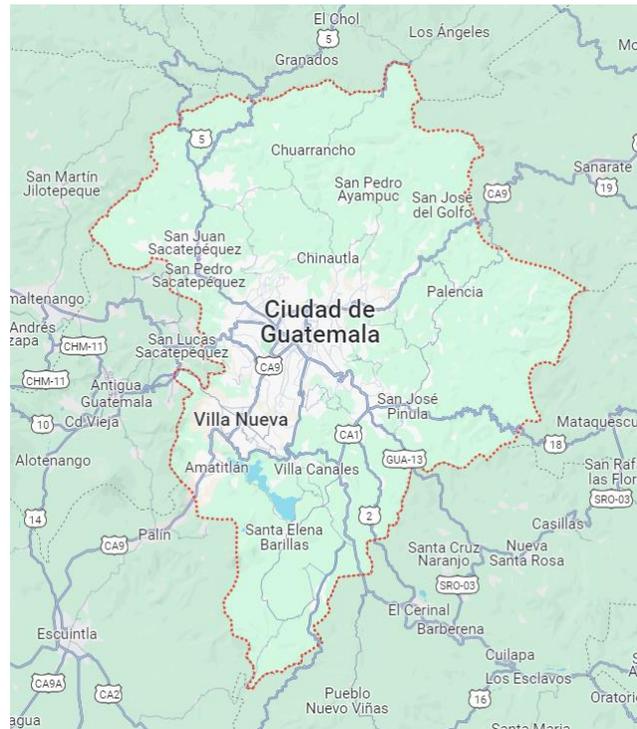
El estudio de investigación se llevará a cabo en una planta productora de concreto situada en el departamento de Guatemala.

Su cabecera departamental es Guatemala, limita al Norte con el departamento de Baja Verapaz; al Sur con los departamentos de Escuintla y Santa Rosa; al Este con los departamentos de El Progreso, Jalapa y Santa Rosa; y al Oeste con los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango. Se ubica en la latitud  $14^{\circ} 38' 29''$  y longitud  $90^{\circ} 30' 47''$ , y cuenta con una extensión territorial de 2,253 kilómetros cuadrados. Guatemala tiene una extensión de 2,253 km.2, constituyendo 2 % del territorio nacional. El departamento es atravesado por la Ruta CA-1 de este a oeste y por la Ruta CA-9 de norte a sur.

El departamento está conformado por 17 municipios, siendo el municipio de Guatemala el lugar donde se encuentra la planta objeto de estudio. Guatemala se encuentra a una altitud de 1.502 metros, a una latitud de  $14^{\circ} 37' 15''N$  y longitud de  $90^{\circ} 31' 36''$ .

## Figura 2.

*Departamento en estudio*



*Nota.* La figura muestra el mapa de la ciudad de Guatemala. Obtenido de Google maps (2024).

*Ubicación.*

(<https://www.google.com/maps/place/Guatemala/@14.5775987,-90.4872201,10z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x8589a18f0a8e040f:0xaccf39bbb1150f48!8m2!3d14.5649401!4d-90.5257823!16zL20vMDM2bjhq?entry=ttu>), consultado abril 2024. De dominio público.

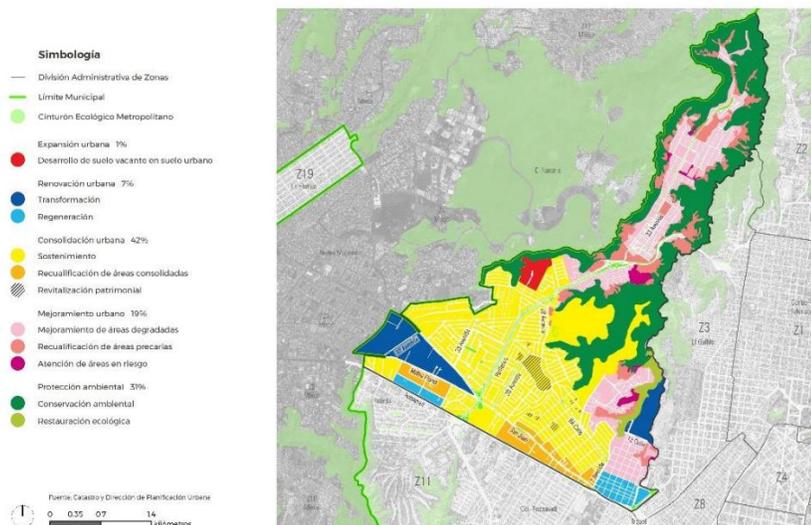
### 2.6. Localización del área o lugar en estudio

El lugar de estudio se realizará en una planta productora de concreto ubicada en la zona 7 de la ciudad metropolitana del municipio de Guatemala, en donde se cuenta con un acceso fácil a las zonas más comerciales y de potencial crecimiento en lo que se refiere a la construcción.

En el año 2017, la Dirección de Planificación Urbana, en su exhaustivo informe anual, dio origen a un plan zonal destinado a la zona 7. Este proyecto integral tuvo como objetivo principal la formulación de estrategias para la urbanización de la región, abordando áreas clave que abarcaban desde sostenibilidad y revitalización hasta mejoramiento urbano, conservación ambiental y restauración ecológica, entre otros aspectos esenciales. Este enfoque no solo buscó impulsar el desarrollo urbano, sino también promover la armonía entre el crecimiento humano y la preservación del entorno natural, estableciendo así las bases para un futuro sostenible y equilibrado en la zona.

### Figura 3.

*Zona de ubicación de planta de concreto*



Mapa de estrategia de Tratamientos Territoriales

*Nota.* La figura muestra las zonas de urbanización de la zona 7 de la ciudad de Guatemala. Obtenido de Municipalidad de Guatemala (2017). *Memoria de labores 2017.* ([https://docs.muniguate.com/2018/memoria/arch/MEMORIA\\_DE\\_LABORES\\_2017\\_DIRECCION\\_DE\\_PLANIFICACION\\_URBANA.pdf](https://docs.muniguate.com/2018/memoria/arch/MEMORIA_DE_LABORES_2017_DIRECCION_DE_PLANIFICACION_URBANA.pdf)), consultado 10 de abril 2024. De dominio público.

### **3. INFORMACIÓN GENERAL**

En el próximo capítulo se abordarán de manera exhaustiva todos los datos generales de la investigación. Además, se proporcionarán detalles significativos sobre los antecedentes históricos y geográficos relevantes para contextualizar adecuadamente el estudio.

#### **3.1. Aspectos generales**

A continuación, se destacan los rasgos esenciales del municipio de Guatemala, donde se ubica estratégicamente la planta productora de concreto. Este municipio diverso y dinámico ofrece una geografía variada y una infraestructura en constante evolución.

##### **3.1.1. Antecedentes históricos del municipio de Guatemala**

El municipio de Guatemala experimenta un constante proceso de transformación, impulsado por la marcada tendencia hacia la metropolización que ha ido ganando terreno en la región. Este fenómeno se manifiesta mediante el crecimiento urbano y la expansión de la courbanización hacia los municipios circundantes. Esto ha generado una dinámica evolutiva, donde la infraestructura y las áreas residenciales se han adaptado a las demandas cambiantes de la sociedad.

El crecimiento de la ciudad ha ido cambiando conforme los años tanto en su tamaño como en población.

La influencia de la ciudad de Guatemala alcanza a todo el país, debido a que es aquí donde se concentra la mayoría de servicios, y sedes del gobierno local. Pero desde un punto de vista más local, la expansión espacial y consecuente, su influencia, ha sido un proceso de gran velocidad y dimensiones considerable. El área de influencia considerada como mancha urbana y medida en base a imágenes satelitales alcanzó en 1988 una extensión de 18,000 hectáreas. En 1990 alcanzó las 24,000 hectáreas. En 1998 alcanzó las 35,000 hectáreas. En el 2010 a un ritmo de 3.6 anual llegó a una extensión de 55,000 hectáreas.

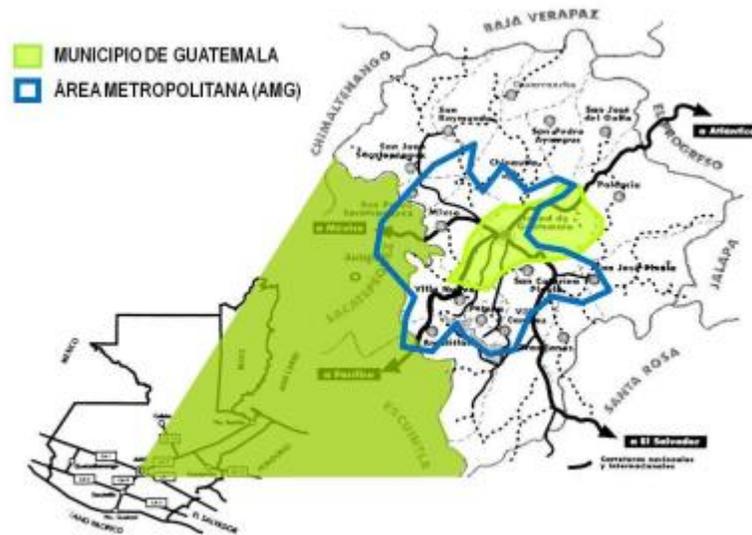
### **3.1.2. Aspectos geográficos del municipio**

El municipio de Guatemala es uno de los 17 municipios que cuenta el departamento de Guatemala. La configuración geográfica del departamento es bastante variada, sus alturas oscilan entre los 930 y 2,101 metros sobre el nivel del mar, con un clima generalmente templado. Sin embargo, el departamento posee variedad de climas, el norte del departamento se caracteriza por un clima cálido seco con invierno benigno. Hacia el sur y al este el clima es semicálido húmedo con invierno benigno seco. Al oeste el clima es templado húmedo con invierno benigno seco.

La ciudad de Guatemala es la más grande de América Central, localizada a 1,500 metros sobre el nivel del mar, latitud 14° 37'15"N, longitud 90° 31' 36", Se constituye en la cabecera departamental y municipio de Guatemala, ubicada en el altiplano central. La ciudad se caracteriza por que habita el 20 % de la población del país, tiene la mayor oferta de empleo y el mejor índice de desarrollo humano, donde se ubican las principales sedes políticas, económicas, sociales y se concentran las actividades económicas.

## Figura 4.

### Área metropolitana del municipio de Guatemala



*Nota.* La imagen muestra un esquema del área de metropolización de la ciudad de Guatemala. Obtenido de E. Morataya (2011). *Ciudad de Guatemala*. ([https://odut.duot.upc.edu/sites/default/files/Encuesta%20CIMES\\_Ciudad%20de%20Guatemala\\_Morataya\\_MDUT%202011.pdf](https://odut.duot.upc.edu/sites/default/files/Encuesta%20CIMES_Ciudad%20de%20Guatemala_Morataya_MDUT%202011.pdf)), consultado 5 de abril de 2024. De dominio público.

### 3.1.3. Aspectos generales de la planta de concreto

Capacidad de Producción: La planta de concreto tiene una capacidad de producción promedio de 30 m<sup>3</sup> de concreto por hora.

- Ubicación estratégica: la planta se ubica estratégicamente para facilitar el acceso a las áreas de construcción clave, minimizando los tiempos de transporte y costos asociados.
- Tecnología utilizada: la planta de concreto utiliza para el transporte de agregados, finos y gruesos, una banda transportadora que previamente

fue pesada en una balanza, el cemento se almacena en sacos de 42.5kg los cuales se transportan hacia el camión mezclador por medio de un tornillo transportador con la ayuda de personal operativo.

- Logística de materiales: los materiales los solicita el encargado de la producción de concreto, el cual se realiza una programación semanal para poder solicitar los materiales requeridos en la semana.
- Medidas de seguridad: implementación de protocolos y medidas de seguridad para salvaguardar la integridad de los trabajadores y la calidad del producto.
- Gestión de residuos: adopción de prácticas sostenibles para la gestión adecuada de los residuos generados durante el proceso de producción.
- Eficiencia energética: consideración de tecnologías y prácticas que optimicen el consumo de energía, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.
- Procedimientos de control de calidad: establecimiento de procedimientos estandarizados para el control de calidad del concreto producido, garantizando consistencia y cumplimiento de normativas.

### **3.1.3.1. Reseña histórica**

En Guatemala, el inicio de la industria del cemento se remonta a 1899 con la instalación de la primera fábrica por el ingeniero Novella. Esta fábrica inicial estaba equipada con maquinaria usada proveniente de Alemania. En 1917, con el respaldo de la United Fruit, experimentó una modernización, liberándose así

de su dependencia inicial de Alemania y Estados Unidos, y logrando establecer una producción independiente. A partir de 1930, la producción de cemento en Guatemala experimentó un resurgimiento significativo gracias a la construcción de edificaciones utilizando concreto. Este período marcó un hito en el desarrollo de la industria cementera en el país.

El cemento empezó como el producto industrial más utilizado en el mundo, su bajo precio y versatilidad permitieron un amplio campo de aplicaciones y entre las más importantes la utilización del concreto. En Guatemala a partir de 1901, se inició la comercialización del cemento y luego en 1954 empieza la producción y comercialización del concreto premezclado.

En la actualidad, el sector de producción de concreto en Guatemala ha experimentado un notable crecimiento, contando con diversas plantas que desempeñan un papel crucial en el abastecimiento y desarrollo de la industria de la construcción. Entre las principales y más grandes empresas de este sector en el país, destacan nombres como Mixto Listo, Macromix, Forcogua, Cemex y PTK, por mencionar solo algunas.

Estas plantas no solo han contribuido significativamente al suministro de concreto de alta calidad, sino que también desempeñan un papel fundamental en la materialización de proyectos de construcción a gran escala. Su presencia en el panorama guatemalteco no solo se traduce en una oferta grande de productos, sino que también representa un respaldo clave para la infraestructura y el desarrollo del país.

Este panorama variado en el sector de producción de concreto subraya la importancia de la competencia saludable, la innovación continua y la adopción de

estándares de calidad para satisfacer las crecientes demandas del mercado de la construcción en Guatemala.

### **3.1.3.2. Estructura organizacional**

- Gerente General
  - Responsable máximo de la planta.
  - Toma decisiones estratégicas y establece la dirección general
  - Supervisa el desempeño de todos los departamentos y asegura el cumplimiento de objetivos
  
- Director de producción
  - Supervisa la fabricación de concreto
  - Gestiona eficiencia y calidad en los procesos productivos
  - Colabora con otros departamentos para optimizar la producción
  
- Director de logística y transporte
  - Coordina la logística de distribución
  - Gestiona la flota de transporte y rutas de entrega
  - Asegura la eficiencia en la entrega de productos a los clientes
  
- Director de adquisiciones de repuestos
  - Encargado de asegurar el suministro de repuestos
  - Gestiona relaciones con proveedores y negocia contratos
  - Mantiene inventarios para evitar interrupciones en la producción

- Recursos humanos
  - Gestiona el personal y sus necesidades
  - Encargado de contratación, capacitación y desarrollo del personal
  - Administra políticas internas y resuelve problemas laborales
  
- Operadores de planta y control de calidad
  - Encargados de operar maquinaria y equipos en la producción de concreto
  - Siguen procedimientos operativos y garantizan la calidad del producto
  
- Pilotos
  - Conducen vehículos de transporte para la distribución de concreto
  - Mantienen los estándares de seguridad y entregan productos en tiempo y forma
  
- Mecánico de planta
  - Realiza mantenimiento y reparaciones en maquinaria y equipo
  - Asegura que todos los equipos estén en condiciones óptimas de funcionamiento
  
- Soldador
  - Realiza trabajos de soldadura para mantener o reparar estructuras metálicas

- Contribuye a la integridad y durabilidad de la infraestructura de la planta
- Operadores de bomba
  - Operan equipos de bombeo de concreto en proyectos específicos
  - Garantizan la correcta colocación del concreto en áreas designadas
- Personal operativo
  - Participa en diversas tareas operativas según las necesidades
  - Contribuye al funcionamiento diario de la planta siguiendo instrucciones y protocolos establecidos.

### **3.1.3.3. Servicios**

La planta de concreto de concreto ofrece una amplia gama de servicios que abarcan desde la elaboración de concretos con distintas resistencias hasta la creación de mezclones y lodocreto diseñados especialmente para aplicaciones en rellenos controlados. Esta especialización le permite brindar soluciones adaptadas de manera precisa a las necesidades específicas de diversos proyectos de construcción e ingeniería. En este sentido, la planta se posiciona como un recurso integral, garantizando la provisión de materiales de alta calidad que cumplen con los estándares más exigentes de la industria.

#### 3.1.3.4. FODA

El análisis FODA, una herramienta estratégica ampliamente empleada, se utiliza de manera sistemática para diagnosticar y evaluar a empresas u organizaciones productoras. Este proceso exhaustivo permite identificar no solo las fortalezas y debilidades internas de la entidad, sino también las oportunidades y amenazas que provienen del entorno externo. Asimismo el análisis FODA proveniente del inglés SWOT.

Estas siglas provienen del acrónimo en inglés SWOT (*strenghts, weaknesses, opportunities, threats*); en español, aluden a fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y que permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada. El análisis FODA estima el efecto que una estrategia tiene para lograr un equilibrio o ajuste entre la capacidad interna de la organización y su situación externa, esto es, las oportunidades y amenazas.

En el siguiente cuadro se encuentra un análisis FODA de la empresa CEMEX

**Tabla 1.***Análisis FODA*

---

Fortalezas	Oportunidades (factor externo)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Productos de alta calidad</li><li>• Capacidad y flexibilidad productiva.</li><li>• Empresa con tradición y solides.</li><li>• Empresa con un nivel de desarrollo en Internet bastante alto (ventas y/o servicios vía <i>web</i>).</li><li>• Adaptación de productos en los diversos mercados meta.</li><li>• Consolidación con RINKER mitigará la caída en el volumen de ventas en EU.</li><li>• Reestructuración de deuda de corto plazo, ampliando plazos de vencimiento y modificando condiciones de pago.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Anuncios del gobierno mexicano para proyectos de infraestructura (Segundo país en importancia de ingresos).</li><li>• Desde 1996 hasta la fecha, CEMEX ha continuado su diversificación geográfica global, ingresando a mercados cuyos ciclos económicos operan -en gran medida- independientemente, y que ofrecen crecimiento a largo plazo.</li></ul>

---

Continuación de la Tabla 1.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliar plan de recorte de costos y reducción de inversiones en expansiones y mantenimiento 2009. Recorte de un 10 % del personal a nivel mundial.</li> <li>• Incremento del 8 % en cemento gris.</li> <li>• Decremento EBITDA y flujo de efectivo menor en 2008.</li> <li>• Acciones mexicana Cemex caen tras baja en la calificación de la deuda retirándole el grado de inversión.</li> <li>• Primera pérdida neta en al menos una década, mayor a la esperada por el mercado.</li> <li>• Incremento de la deuda al cierre del 2008. Mientras no se renegocie su deuda, tiene que seguir cumpliendo con sus obligaciones. Para poder cumplir con sus obligaciones, será necesaria la venta de activos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento en deuda ante la caída en demanda.</li> <li>• Expectativas desfavorables del sector vivienda en EU y España.</li> <li>• Pérdidas financieras derivadas de la crisis.</li> <li>• Incrementos en costos de energía y transporte continúa apretando márgenes.</li> <li>• Conflicto en Venezuela.</li> <li>• Incertidumbre en el corto plazo para el sector construcción.</li> <li>• Los clientes priorizan el precio frente a la calidad (sector altamente competitivo).</li> </ul>

*Nota.* Análisis FODA de la empresa Cemex. Elaboración propia, realizado con Word.



## 4. MARCO TEÓRICO

En el análisis del aprovechamiento de los agregados reciclados para mejorar los costos manteniendo la calidad del concreto, se exploran estudios previos sobre el uso de agregados reciclados, sus propiedades mecánicas, impacto ambiental y la viabilidad económica en el contexto específico de la industria de producción de concreto en Guatemala.

### 4.1. Concreto reciclado

Es un componente que incluye agregado reciclado, derivado del procesamiento de los desechos de construcciones, los cuales son triturados hasta alcanzar las granulometrías necesarias. “Estas pueden transformarse en agregados reciclados finos o gruesos, dependiendo de la aplicación prevista” (Palma, 2023, p. 36).

Algunos beneficios clave del concreto reciclado menciona el WBCSD (2009) en su informe reciclando concreto:

- Reducción de desechos en vertederos de basura y degradación asociada de la tierra.
- Sustitución de recursos vírgenes y reducción de los costos ambientales asociados a la explotación de recursos naturales.

- Reducción de los costos de transporte: a menudo, el concreto puede ser reciclado en los sitios de construcción y demolición, o cerca a las áreas urbanas donde será reutilizado.
- Reducción del pago de tarifas e impuestos asociados al vertimiento de desechos.
- Buen desempeño en algunas aplicaciones debido a su buena compactación y propiedades de densidad (por ejemplo, como sub-base vial).
- En algunos casos, generación de empleos en la industria del reciclaje de concreto que de otro modo no existirían en otros sectores. (p. 4)

#### **4.1.1. Residuos de construcción y demolición**

Los residuos de construcción y demolición (RCD), son todos los sobrantes procedentes de los siguientes sitios:

Canteras, graveras y otros puntos de extracción de áridos destinados a la construcción. Obras de construcción de nuevas edificaciones u obras civiles. Obras de rehabilitación o restauración de edificaciones u obras civiles. Obras y reformas domiciliarias de pequeñas dimensiones.

Rechazos procedentes de la fabricación de materiales destinados a la edificación o a la obra civil. (Santos, Monercillo y García, 2011, p. 15)

Los residuos de construcción y demolición (RCD), originados en la industria de la construcción, a menudo no reciben la gestión adecuada y son descartados de manera inapropiada en vertederos ilegales. Aunque no generan el mismo impacto que los residuos orgánicos, su eliminación irresponsable ha dado lugar a efectos ambientales negativos. Esto ha contribuido a la proliferación de prácticas insostenibles de vertido, evidenciando la necesidad de una gestión más efectiva y sostenible de los RCD para minimizar su impacto ambiental y promover una cultura de tratamiento responsable (Carrasco, 2018).

#### **4.1.2. Agregado**

Según la norma NTG-41007, se dividen en agregados finos y gruesos y se definen como componentes esenciales en la composición del concreto.

Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm (3/8 pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg. o 1 pulg.).

En conjunto, estos elementos desempeñan un papel fundamental en las propiedades y características del concreto utilizado en construcción.

### **4.1.3. Agregados reciclados**

Los agregados reciclados son los procedentes de tratamiento de materiales inorgánicos usados en construcción, esto según la norma peruana NTP 400.011

Laverde (2014) afirmó lo siguiente:

El ACR es un material que se obtiene como resultado de la trituración del concreto proveniente de la demolición de estructuras o del concreto sobrante en plantas de producción debido a excesos en el volumen despachado o por no reunir todos los requisitos técnicos como asentamiento o dosificación adecuada para ser despachados a las obras. Igualmente sucede con los concretos que son devueltos por los clientes a las plantas de producción por presentar no conformidades. Dichos concretos muchas veces se solidifican y son dispuestos como escombros o dichos sobrantes son sometidos a procesos de lavado para recuperar los agregados de la mezcla. El proceso de obtención de ACR a partir del concreto endurecido, se puede hacer a través de la trituración de escombros provenientes de la demolición de estructuras o la trituración de los concretos sobrantes mencionados anteriormente. Al ser concretos diferentes en cuanto a su composición, cada uno de ellos presenta unas características propias. Por ejemplo, el ACR producto de la trituración de demolición de estructuras, tienen un mayor grado de contaminación

manifestado en la presencia de aceites, residuos de construcción, plásticos, fragmentos de acero de refuerzo entre otros. Por otro lado, el ACR proveniente de sobrantes de concretos en plantas de producción, tiende a tener un menor porcentaje de mortero adherido al ser triturado a una edad menor. (p. 14)

## **4.2. Proceso de obtención y selección de agregados reciclados**

Los agregados reciclados se pueden obtener mediante distintos medios o técnicas las cuales son las siguientes:

### **4.2.1. Mediante trituración**

Este proceso de obtención de agregados reciclados se logra mediante la trituración, ya sea de manera manual o con maquinaria especializada. Según Palma (2023), "los desechos provenientes de concretos de cimentaciones, pavimentos, puentes y edificios, son procesados y triturados en diferentes tamaños. El acero de refuerzo y otros contaminantes deben ser removidos en el proceso de selección para garantizar la calidad de los agregados" (p. 29). Los elementos presentes en los residuos de construcción y demolición (RCD) incluyen concretos, ladrillos sólidos, baldosas, morteros, bloques de concreto, agregados gruesos, cemento, papel y materia orgánica.

### **4.2.2. Mediante de lavado**

El lavado se lleva a cabo en referencia a las devoluciones de concreto, que son la parte de la mezcla preparada que regresa a la planta en los camiones

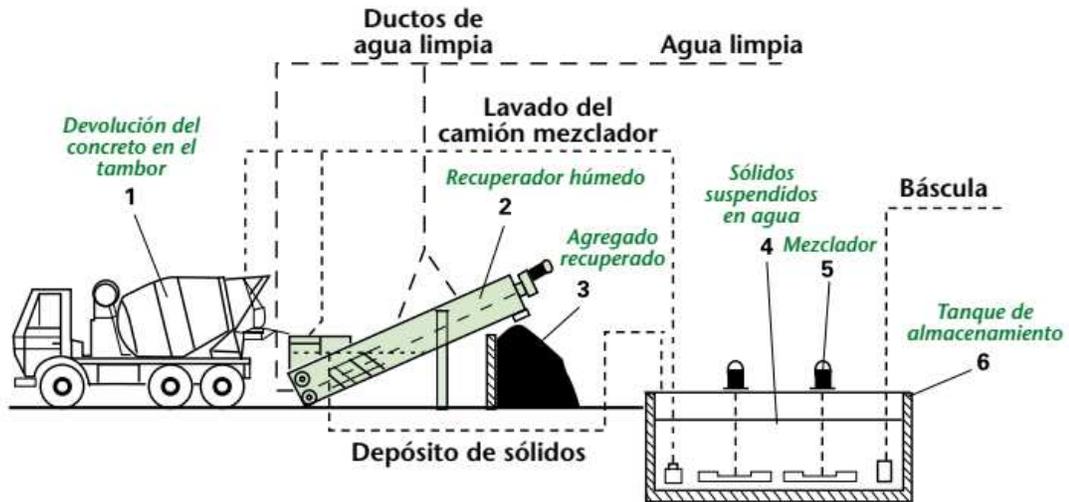
mezcladores, representando el exceso de materia que son mínimas, así como menciona la WBCSD:

Por lo general, la cantidad de residuos de concreto generados por las mezcladoras representan entre el 0.4 % y 0.5 % del total de la producción. No obstante, en las temporadas altas, cuando la demanda aumenta, el desecho puede alcanzar entre el 5 % y 9 % de la producción. El desecho puede ser recuperado por el lavado y la reutilización en la producción del concreto o, en caso de fraguado de manera irreversible, se podría triturar y utilizar como agregado. No es común que las empresas tengan políticas corporativas con respecto al tratamiento de este tipo de desechos, aun así, la práctica de recuperar las devoluciones de concreto está muy extendida. (WBCSD, 2019, p. 24)

El proceso de lavado por lo general se hace en húmedo, algunas veces el lavado en seco se utiliza antes de este procedimiento, el cual involucra, primero, mezclar los residuos del concreto con agregados vírgenes y después la mezcla puede ser regresada al acopio de agregados para su uso en un concreto nuevo.

**Figura 5.**

*Sistema típico de recuperación de concreto fresco por lavado*



*Nota.* La imagen muestra un sistema típico de recuperación de agregados de un concreto devuelto a planta en camión mezclador. Obtenido de WBCSD (2019). *Iniciativa por la sostenibilidad del cemento, Reciclando Concreto.* ([https://docs.wbcSD.org/2009/06/e-CSI\\_Recycling\\_Concrete\\_Spanish.pdf](https://docs.wbcSD.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf)), consultado el día 5 de abril de 2024. De dominio público.

### **4.2.3. Mediante uso de aditivos**

En la actualidad, existen aditivos que posibilitan la reutilización del concreto que regresa de las obras, desempeñando la función de aglutinar el concreto y transformándolo en agregado reciclado. Permite reemplazar entre el 10-15 % del agregado total (arena y grava) con agregado reciclado, sin afectar la manejabilidad y resistencia del concreto. Este enfoque no solo minimiza el desperdicio de concreto rechazado, sino que también contribuye a una estrategia ecológica al fomentar la producción de agregados reciclados, agregando valor al proceso de construcción y promoviendo la sostenibilidad. (Cemex Innovation Holding Ltd, 2020)

### **4.3. Sostenibilidad y reducción de costos en la producción de concreto**

Se refiere a la implementación de prácticas y estrategias que buscan optimizar la eficiencia en la fabricación de concreto, minimizando al mismo tiempo el impacto ambiental. Este enfoque implica la adopción de medidas que permitan conservar los recursos naturales, reducir la emisión de contaminantes y disminuir los residuos generados durante el proceso de producción. Al mismo tiempo, busca estrategias que contribuyan a la disminución de los costos asociados a la obtención de materias primas, energía y gestión de residuos, promoviendo así una producción más sostenible, económicamente eficiente y respetuosa con el entorno.

#### **4.3.1. Importancia en la sostenibilidad ambiental**

La importancia de promover la sostenibilidad ambiental se evidencia en la imperiosa necesidad de preservar y resguardar el entorno. En el caso específico de Guatemala, carece de normativas que regulen los desechos de las construcciones, lo que subraya la urgencia de establecer pautas al respecto. La sostenibilidad ambiental conlleva la tarea de reducir al máximo el impacto adverso en el entorno, mediante la búsqueda de hacer un reuso como por ejemplo los agregados y el manejo efectivo del ripio producido por las construcciones.

En la actualidad la tecnología de reciclaje cuenta con una aceptación importante de la sociedad. En países como Holanda, Dinamarca y Alemania, se han hecho campañas significativas con base en información

y actuaciones diversas que han influido en un cambio de mentalidad sobre el tema, desde hace ya muchos años. (Gaitán, 2013, p. 39)

#### **4.3.2. Gestión eficiente de residuos en plantas de concreto**

La gestión eficiente en plantas concreteras implica adoptar medidas que minimicen la generación de residuos o desechos, fomentando la reutilización y el reciclaje de materiales. Clasificar los residuos correctamente desde el principio, el manejo responsable de los desechos y la búsqueda de alternativas sostenibles son aspectos clave de una gestión eficiente. Además, la adopción de tecnologías y procesos que favorezcan la circularidad de los materiales contribuye a la sostenibilidad y al cumplimiento de normativas ambientales. La gestión eficaz de residuos en plantas de concreto no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede generar ahorros económicos y mejorar la imagen y responsabilidad social de la empresa.

Según la WBCSD (2019) menciona:

Se estima que, en el mundo, se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año. Esto representa más de 1.7 billones de cargas de camiones anuales, o cerca de 6.4 millones de cargas diarias, o más de 3.8 toneladas por persona en el mundo cada año. En el mundo, la cantidad de concreto utilizado en construcción dobla la cantidad del resto de materiales utilizados incluyendo madera, acero, plástico, y aluminio.

Cerca de 1,300 millones de toneladas de desechos son generadas en Europa cada año, de las cuales el 40 %, o 510 millones de toneladas, corresponden a residuos de construcción y demolición (RCD). Los Estados Unidos producen cerca de 325 millones de toneladas de RCD y Japón unos 77 millones. Dado que China e India están produciendo y consumiendo más del 50 % del concreto en el mundo, su generación de desechos también será significativa a medida que su desarrollo avance. Muchos países tienen esquemas de reciclaje para RCD y se alcanzan altos niveles de recuperación en países como Holanda, Japón, Bélgica y Alemania. En algunos países los residuos del concreto usualmente se destinan a vertederos municipales. Actualmente, los diferentes métodos de cálculo y la disponibilidad de información dificultan la comparación entre países.

El concreto recuperado a partir de RCD puede ser triturado y utilizado como agregado. Su uso más común es como sub-base vial. También puede ser utilizado en un concreto nuevo. Las devoluciones de concreto (concreto fresco, húmedo, devuelto a la planta de premezclado como exceso) también pueden ser recicladas exitosamente. Existen instalaciones de recuperación en muchos sitios de producción en el mundo desarrollado. Más de 125 millones de toneladas son generadas cada año.

El reciclaje de concreto reduce la explotación de recursos naturales y los costos asociados de transporte; también reduce el desecho de concreto en vertederos de basura. No obstante, su impacto sobre la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero es muy limitada ya que la mayoría de las emisiones ocurren durante la fabricación del cemento, y no es posible reciclar cemento por sí solo.

Los esquemas de construcción verde reconocen la recuperación de RCD y apoyan la utilización de materiales reciclados incluyendo el concreto reciclado. (p. 3)

#### **4.4. Propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregados reciclados**

Las propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregados reciclados son fundamentales para evaluar su rendimiento y viabilidad en aplicaciones constructivas. Las propiedades físicas incluyen características como la densidad, absorción de agua, porosidad y distribución de tamaño de partículas. Por otro lado, las propiedades mecánicas abarcan aspectos como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y durabilidad.

##### **4.4.1. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del concreto es una propiedad crucial que determina su capacidad para soportar cargas de compresión. Esta medida se refiere a la capacidad del concreto para resistir fuerzas que lo comprimen, como

la presión ejercida por columnas, paredes, el propio peso de la estructura o las cargas externas.

La calidad del concreto y su resistencia a la compresión están influenciadas por factores como la proporción de los materiales, la calidad de los agregados, la cantidad de agua utilizada y el proceso de curado.

Esta capacidad para la compresión es esencial en el diseño de mezclas de concreto y en la ejecución de proyectos de construcción para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

Tal como menciona Bazalar y Cadenillas (2019):

Varias investigaciones han demostrado que la calidad, resistencia y especificaciones del concreto usado para la fabricación del agregado reciclado, tiene influencia significativa en las características y propiedades del concreto con agregados de concreto reciclado (ACR). De igual manera la cantidad de agregados reciclados usados en los diseños, así como sus propiedades inciden en el comportamiento del concreto con ACR. (p. 50)

#### **4.4.2. Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad del concreto, también conocido como módulo de Young, es una propiedad que describe la rigidez o la capacidad del material para deformarse elásticamente bajo carga. En términos más simples, se refiere a la respuesta del concreto ante la aplicación de fuerzas que provocan deformaciones elásticas, es decir, aquellas que desaparecen cuando se elimina la carga.

Varios investigadores han mostrado que existe una reducción en el módulo de elasticidad en concretos con ACR, y dicha reducción es más alta en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de agregados reciclados en la mezcla. Dicha reducción puede variar entre un 6 % a un 33 % cuyo valor se ve influenciado por las diferentes propiedades del agregado usado. (Bazalar y Cadenillas, 2019, p. 50)

#### **4.4.3. Absorción de agua**

La absorción de agua del concreto es una propiedad que describe la capacidad del material para absorber agua en relación con su volumen. Esta propiedad es fundamental en la evaluación de la durabilidad y resistencia del concreto, ya que la absorción de agua puede conducir a diversos problemas, como la degradación por congelación y descongelación, la corrosión de refuerzos de acero y la lixiviación de componentes solubles. Estos ensayos se realizan bajo la norma ASTM C642.

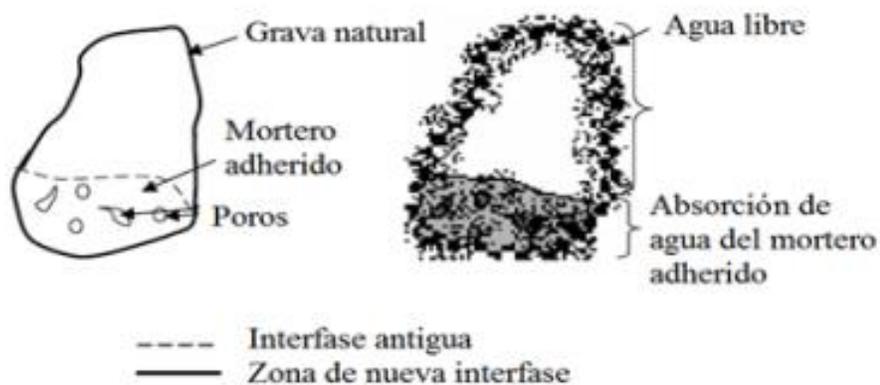
La absorción de un concreto con agregados reciclados según Robayo *et. al.*, (2014):

Reflejan el efecto sobre propiedades físicas como la densidad y la porosidad de las mezclas elaboradas con RCD, mostrando que la incorporación de agregados reciclados genera incremento del volumen de poros permeables en función de la cantidad de agregado natural sustituido por reciclado. Este efecto tiene como consecuencia directa que la

densidad de los concretos disminuya, al igual que la capacidad de absorción se incremente. (pp. 135-136)

### Figura 6.

*Zonas de interfase y absorción de agua de los agregados reciclados*



*Nota.* La figura muestra las zonas de interfase y absorción de agua de los agregados reciclados en comparación de agregado natural. Obtenido de R. Robayo *et. al.* (2014). Comportamiento en estados fresco y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado. *Informador Técnico*, 78(2), p. 134. [https://www.researchgate.net/publication/318870713\\_Texto\\_completo\\_v78n2](https://www.researchgate.net/publication/318870713_Texto_completo_v78n2)

#### 4.5. Proceso diseño de mezcla

Este proceso se emplea para definir las características necesarias del concreto, las cuales incluyen:

Las características pueden incluir: (1) propiedades del concreto fresco, (2) propiedades mecánicas del concreto endurecido y (3) la inclusión, exclusión o

límites de ingredientes específicos. El diseño de la mezcla lleva al desarrollo de la especificación del concreto

#### **4.5.1. Proporcionamiento con mezclas de prueba**

Este método de determinación de cantidades de los ingredientes del concreto, también llamado proporcionamiento, se utiliza cuando no se tienen ensayos de campo disponibles, se realizan mezclas de pruebas, normalmente son 3 pruebas

Se deben elaborar tres mezclas con tres relaciones agua-material cementante distintas o tres contenidos de cemento diferentes, a fin de producir un rango de resistencias que contengan  $f'_{cr}$ . Las mezclas de prueba deben tener un revestimiento (asentamiento) y un contenido de aire dentro  $\pm 20$  mm ( $\pm 0.75$  pulg.) y  $\pm 0.5$  %, respectivamente, del máximo permitido. Se deben producir y curar tres cilindros para cada relación agua-material cementante, de acuerdo con ASTM C 192 (AASHTO T 126), COVENIN 0340, COVENIN 0338, IRAM 1534, NMXC-159, NTC 1377, NTP 339.045 o UNIT-NM 79. A los 28 días, o a una edad especificada, se debe determinar la resistencia a compresión a través de los ensayos a compresión de los cilindros. Los resultados de las pruebas se deben diseñar para producir una curva de resistencia versus relación agua-material cementante que se usa para proporciónar la mezcla.

Se han utilizado varios métodos para mezclar los componentes del concreto, como la asignación arbitraria basada en volúmenes, la relación de vacíos, el módulo de finura, la superficie específica de los agregados y el contenido de cemento, aunque cada uno de estos métodos puede generar una mezcla final similar tras ajustes en el sitio de trabajo, la práctica más efectiva implica seleccionar las proporciones basadas en la experiencia pasada y en

datos de ensayo confiables, considerando la relación entre resistencia y la relación agua-cemento para los materiales utilizados. Usualmente, se requiere utilizar ambos enfoques para obtener una mezcla adecuada para el proyecto, y las pruebas pueden realizarse con lotes pequeños de alta precisión en laboratorio o con lotes de mayor volumen durante la producción normal del concreto.

En primer lugar, se deben elegir los siguientes parámetros: (1) resistencia requerida, (2) contenido mínimo de material cementante o relación agua-material cementante máxima, (3) tamaño máximo nominal del agregado, (4) contenido de aire y (5) revenimiento deseado. Entonces, se producen las mezclas de prueba, variándose las cantidades relativas de agregado fino y grueso, bien como los otros ingredientes. Se elige la proporción de la mezcla, basándose en consideraciones de trabajabilidad y economía.

Cuando la calidad del concreto se especifica por la relación agua-material cementante, los procedimientos de mezcla de prueba consisten esencialmente en la combinación de la pasta (agua, material cementante y, generalmente, los aditivos químicos) de las proporciones correctas con la cantidad necesaria de agregados finos y gruesos para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridas. Se deben utilizar muestras representativas de los materiales cementantes, del agua, de los agregados y de los aditivos.

Entonces, se calculan las cantidades por metro cúbico (yarda cúbica). Los agregados se deben pre-humedecer y secar hasta la condición saturada con superficie seca (SSS) para simplificar los cálculos y eliminar los errores causados por las variaciones en el contenido de humedad de los agregados. Los agregados se colocan en recipientes cubiertos para que se mantengan en la condición SSS hasta que se los utilice. La humedad de los agregados se debe determinar y las masas de la mezcla de prueba se deben corregir adecuadamente.

El tamaño de la mezcla depende de los equipos disponibles y del número y tamaño de los especímenes (probetas) de prueba que se van a utilizar. Revolturas mayores producirán datos más precisos. Se recomienda el mezclado mecánico pues representa mejor las condiciones de obra y es obligatorio en el caso de los concretos con aire incluido. Se deben utilizar los procedimientos de mezclado que se presentan en ASTM C 192 (AASHTO T 126), COVENIN 0340, COVENIN 0338, IRAM 1534, NMX-C- 159, NTC 1377, NTP 339.045 o UNIT-NM 79.



## **5. MARCO METODOLÓGICO**

En el siguiente capítulo, se establecerá el enfoque de la investigación en curso, su diseño, tipo, alcance y la definición de variables, todo ello basado en el problema central de la investigación. Se fundamentará en una investigación mixta, en el ámbito cuantitativa, se llevará a cabo un estudio de medición numérica con enfoque cuantitativo el cual utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Por otro lado, en el ámbito cualitativo, se realizarán entrevistas para analizar los comentarios y opiniones de los clientes, referentes a la calidad y trabajabilidad del concreto.

### **5.1. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación adoptará una metodología experimental, ya que tiene como objetivo establecer una relación de causa y efecto entre un grupo expuesto a estímulos experimentales y otro grupo de control que no recibe dicho tratamiento. Se compararán los resultados obtenidos entre ambos grupos para evaluar el impacto del estímulo experimental.

El grupo experimental consistirá en producir concreto reciclado utilizando agregados reciclados y el aditivo Isocycle, mientras que se compararán los resultados de calidad y costos con el grupo de control, que será un concreto convencional producido bajo condiciones normales en una planta de producción de concreto, disponiendo de los desechos en condiciones normales.

## **5.2. Enfoque de la investigación**

El enfoque es mixto, se centrará en la recolección y análisis de datos numéricos y cuantificables, utilizando técnicas de medición directa y análisis documental. Además de una realización de pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados y del concreto reciclado. Se llevará a cabo un estudio detallado de los costos asociados con el proceso de producción de concreto. Además, se utilizarán herramientas estadísticas para analizar los datos recopilados y determinar la viabilidad y efectividad de la propuesta de diseño en términos de mejoras en los costos y la calidad del concreto producido. En el ámbito cualitativo se realizarán encuestas para evaluar la percepción del concreto con agregados reciclados.

## **5.3. Tipo de la investigación**

La investigación será de tipo exploratoria y cuasi experimental, debido a que busca explorar y comprender los posibles beneficios de la utilización de agregados reciclados y del aditivo *isocycle* en la producción de concreto, enfocándose en el mejoramiento de costos y calidad, por otro lado será también una investigación cuasi experimental debido a que utiliza un grupo solamente a comparar con el grupo de control, siendo la comparación de un concreto con agregados reciclados por medio del aditivo para reciclaje de concreto y comparado con el grupo de control que sería un concreto convencional.

## **5.4. Variables**

A continuación, se exponen las variables que están siendo utilizadas en el desarrollo de la investigación en curso. Estas variables son de vital importancia,

ya que permiten comprender en profundidad el contenido de la investigación y contribuyen a su objetividad.

**Tabla 2.**

*Variables*

<b>Variables</b>	<b>Categoría: I/D</b>	<b>Tipo de Variable: #/D</b>	<b>Sub nivel tipo</b>	<b>Unidad de medición</b>
Aditivo Isocycle	Independiente	Cuantitativa	Discreta	Cantidad de bolsas de 1kg
Agregados reciclados	Independiente	Cuantitativa	Continua	Peso, kg
Calidad del concreto	Dependiente	Cuantitativa	Continua	Resistencia, Kg/cm <sup>2</sup>
Costo del concreto	Dependiente	Cuantitativa	Continua	Precio, Quetzales

*Nota.* Variables utilizadas en la investigación, identificando, categoría, tipo, sub nivel tipo y unidad de medición. Elaboración propia, realizado con Word.

#### **5.4.1. Operacionalización de variables**

En el proceso de operacionalización de variables para esta investigación, se llevará a cabo la definición conceptual de las variables que puedan ser medidas. Este proceso incluirá la identificación de las dimensiones que componen cada variable, así como la especificación de los indicadores que reflejan esas dimensiones. Además, se determinarán los instrumentos que se utilizarán para recopilar los datos necesarios para medir dichos indicadores con precisión y fiabilidad.

La operacionalización consiste en el establecimiento de significados para los términos del estudio y en la estipulación de las operaciones o situaciones observables, en virtud de lo cual algo quedará ubicado en determinada categoría o será medido en cierto aspecto.

Es el procedimiento de traducción de los conceptos y variables a indicadores que sean susceptibles de medición

**Tabla 3.**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
Aditivo Isocycle	Es un compuesto químico diseñado específicamente para reutilizar el concreto devuelto de las obras, convirtiéndolo en agregados reciclados.	Cantidad (bolsas de 1 kg) por volumen de concreto devuelto en planta.	- Relación de uso aditivo/cantidad de cemento - Velocidad de a mezclado - Tiempo de secado	Tabla de registro de resultados
Caracterización de agregados reciclados	Proceso de identificación de propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados obtenidos mediante la aplicación del aditivo.	Propiedades físicas y mecánicas	-Granulometría y -% de desgaste -Porcentaje de absorción de agua -Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> -Porcentaje de vacíos	Análisis granulométrico, ensayos de absorción de agua y de peso específico. (tabla de registro de resultados)

Continuación de la Tabla 3.

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Calidad del concreto reciclado	Se refiere a los aspectos que el concreto reciclado tiene basados a los estándares y requisitos establecidos para su uso en aplicaciones garantizadas de construcción	Proporciones de la mezcla  Propiedades del concreto fresco  Propiedades del concreto endurecido  Percepción de la calidad	-Relación agua cemento  -Relación agregados/cemento -% agregado reciclado  -Resistencia a la compresión, Kg/cm <sup>2</sup>  -Asentamiento, Pulgadas  -Contenido de aire  -Peso volumétrico Kg/m <sup>3</sup>  -Conocimiento, calidad, sostenibilidad sobre el, concreto reciclado	Ensayos de laboratorio de resistencia  Ensayo de cono de Abrams  Tabla de registro de resultados  Encuesta
Costo del concreto	Se refiere al costo total asociado a la producción de concreto.	Costos directos  Costos indirectos  Costos Variables  Costos fijos	Precio por m <sup>3</sup>  Precio del cemento, agregados, agua y aditivos	Hoja de cálculo

*Nota.* La operacionalización de variables incluye la definición conceptual, dimensiones, indicadores e instrumentos de cada variable. Elaboración propia, realizado con Word.

## **5.5. Técnicas de investigación**

En cuanto a las técnicas de investigación a utilizar, se planea llevar a cabo un estudio de caso para realizar pruebas con el aditivo para reciclaje de concreto. Esta elección se fundamenta en la necesidad de comprender en profundidad el uso de dicho aditivo en el concreto fresco que retorna a la planta en los camiones mezcladores. Aunque el aditivo cuenta con una ficha técnica que proporciona información sobre su dosificación, se llevarán a cabo tres pruebas para realizar un análisis exhaustivo. Estas pruebas incluirán una inspección visual detallada, la medición de tiempos de secado y la evaluación de la velocidad de mezclado, aspectos fundamentales considerando la novedad del producto y la escasez de información experimental disponible.

En lo que respecta a la variable de caracterización de los agregados reciclados, se emplearán técnicas de ensayos de laboratorio para obtener datos precisos sobre las propiedades físicas del material obtenido. Posteriormente, se realizará una comparación con los agregados convencionales utilizados en la planta. Este proceso permitirá obtener una idea preliminar antes de llevar a cabo las pruebas de concreto, proporcionando criterios de análisis sólidos y fundamentados.

Además, se aplicarán las mismas técnicas de investigación a la variable de calidad del concreto reciclado. Esto implicará la realización de ensayos de laboratorio tanto en el concreto fresco como en el endurecido. Estas pruebas permitirán evaluar la trabajabilidad del concreto y su resistencia en diferentes porcentajes de agregados reciclados en la mezcla. La comparación con datos del concreto convencional utilizado en la planta servirá para obtener una visión completa y detallada del desempeño del concreto reciclado. En el enfoque cualitativo, se llevarán a cabo encuestas dirigidas a clientes y profesionales

vinculados a la industria de la construcción. El objetivo será realizar un análisis de opiniones sobre el uso de concreto con agregados reciclados.

Por último, se llevará a cabo un análisis de costos del concreto reciclado, comparándolo con el costo del concreto convencional. Este análisis tomará en consideración todos los costos asociados a ambos tipos de concreto, proporcionando información relevante para la toma de decisiones en cuanto a su utilización.

## **5.6. Universo y población**

En este estudio, el universo abarcará todos los residuos de concreto fresco que vuelvan de las obras en camiones mezcladores para ser desechados como ripio. La población estará compuesta por los residuos de concreto fresco que regresen de las obras a la planta durante el período de mayo a agosto de 2014, siempre y cuando cumplan con los criterios de inclusión establecidos, es decir, aquellos con una resistencia específica y un tamaño nominal máximo determinados. A estos residuos se les aplicará el aditivo Isocycle para producir los agregados reciclados y posteriormente se elaborará el concreto.

### **5.6.1. Criterios de inclusión**

Los criterios de inclusión son todos los residuos de concreto fresco que regresan de obra en el camión mezclador como sobrantes para ser desechados como ripio. El concreto a reciclar debe ser un concreto convencional con resistencia de 3000 PSI a 4000 PSI con TNM 1”.

### **5.6.2. Criterios de exclusión**

Los residuos de concreto no considerados para este estudio son aquellos que han alcanzado su estado endurecido, así como el concreto previamente mezclado con impermeabilizantes u otros aditivos. Se excluyen los concretos con resistencias superiores a 4000 PSI o inferiores a 3000 PSI, así como aquellos cuyo tamaño nominal máximo (TNM) sea de 1 pulgada. También se excluyen los lodocretos y mezclones.

### **5.7. Muestreo**

En el ámbito cuantitativo, no se llevará a cabo un muestreo, ya que se utilizará toda la población disponible para realizar los ensayos y determinar el diseño de mezcla adecuado. Este proceso implicará ajustar las cantidades de los ingredientes del concreto según las necesidades específicas, seguido por un análisis de calidad y un análisis de costos.

Por otro lado, en el ámbito cualitativo, el muestreo para analizar la percepción de calidad del concreto con agregados reciclados por parte de los clientes se realizará de manera selectiva, basado en criterios específicos y la selección de personas conocidas por el investigador. Se considerará la posibilidad de emplear un muestreo por bola de nieve, donde los participantes seleccionados inicialmente podrán compartir la encuesta con otros individuos que posean características similares, permitiendo así obtener una variedad de opiniones y comentarios sobre el concreto con agregados reciclados.

## **5.8. Hipótesis**

En la siguiente sección se encuentran tanto la hipótesis nula como la hipótesis afirmativa. Asimismo, se contempla la posibilidad de una hipótesis alternativa ( $H_a$ ), la cual sería la siguiente: se propone que existe la posibilidad de detectar una variación entre los costos del concreto y la calidad de este, al utilizar agregados reciclados con el aditivo *isocycle* en comparación con el concreto convencional, lo que sugiere que un cambio en uno de estos aspectos no necesariamente conlleva una mejora o deterioro en el otro.

### **5.8.1. HO**

No existe una mejora significativa en los costos del concreto al utilizar agregados reciclados con el aditivo *Isocycle* en comparación con el concreto convencional, manteniendo la calidad del mismo.

### **5.8.2. HI**

Existe una mejora significativa en los costos del concreto al utilizar agregados reciclados con el aditivo *Isocycle* en comparación con el concreto convencional, manteniendo la calidad de este.

## **5.9. Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos en esta investigación se llevará a cabo mediante una serie de ensayos de laboratorio que siguen los estándares establecidos por la ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Se realizarán ensayos de caracterización del agregado grueso, ensayos de compresión del concreto a diferentes edades y con diferentes porcentajes de sustitución de agregado

grueso natural por agregado reciclado. Estos ensayos proporcionarán datos fundamentales sobre la resistencia y durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados en comparación con el concreto convencional, los cuales se detallan a continuación y por último una encuesta para determinar cualitativamente la percepción de calidad del concreto con agregados reciclados de los clientes y profesionales ligados a la construcción.

Ensayos de laboratorio de agregado grueso según ASTM C33: Se realizarán ensayos de laboratorio para caracterizar el agregado grueso utilizado en la producción de concreto, siguiendo las especificaciones establecidas en la norma ASTM C33. Esto incluiría pruebas de granulometría, limpieza, resistencia y otras propiedades relevantes del agregado grueso.

Ensayos de abrasión según ASTM C131: Realizar ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia a la abrasión del agregado grueso utilizado en el concreto, utilizando el método de prueba estándar ASTM C131. Esta prueba ayudará a determinar la durabilidad del agregado grueso y su capacidad para resistir el desgaste.

Ensayos de desgaste del agregado grueso según ASTM C88: Realizar ensayos de laboratorio para evaluar el desgaste del agregado grueso utilizando el método de prueba estándar ASTM C88. Esta prueba proporcionará información sobre la resistencia del agregado grueso a la abrasión y al desgaste durante el uso en el concreto.

Ensayos de reactividad alcali-sílice para agregado grueso según ASTM C289: Estos ensayos de laboratorio servirán para determinar la reactividad alcali-sílice del agregado grueso utilizando el método de prueba estándar ASTM C289.

Esta prueba ayudará a identificar cualquier potencial de reacción álcali-sílice que pueda afectar la durabilidad del concreto.

Ensayos de compresión al concreto según norma ASTM C39, con los diferentes porcentajes con los agregados reciclados: Realizar ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades (3, 7 y 28 días), siguiendo el método de prueba estándar ASTM C39. Estos ensayos proporcionarán información sobre la resistencia del concreto elaborado con agregados reciclados en comparación con el concreto convencional, se realizarán pruebas con sustitución del agregado grueso natural del 5 %, 10 %, 15 % y 20 %.

Encuestas dirigidas para analizar la percepción sobre el concreto con agregados reciclados entre los clientes de concreto y los profesionales de la construcción se llevarán a cabo de manera selectiva, utilizando criterios específicos para la selección de participantes. Se enfocará en personas conocidas por el investigador, lo que permitirá obtener una muestra representativa y relevante para el estudio.

#### **5.10. Instrumentos de recolección de datos**

En los instrumentos de recolección de datos, se incluyen cuatro elementos que serán fundamentales para la posterior realización de análisis, comparaciones y conclusiones de la investigación:

- Tabla de registro del uso del aditivo Isocycle: esta tabla recopilará información esencial de las pruebas relacionadas con el aditivo Isocycle. Incluirá detalles como la cantidad de aditivo utilizada, la apariencia física del agregado, los tiempos de aplicación y registros fotográficos.

- Tabla de registro de resultados de caracterización de agregados reciclados: aquí se recogerá información detallada sobre los agregados reciclados, incluyendo su granulometría, propiedades físicas, mecánicas y químicas. Se seguirán las normas ASTM C-33, ASTM C-131, ASTM C-88 y ASTM C-289 para la caracterización.
- Tabla de registro de resultados de calidad y proporción de mezcla: esta tabla contendrá información sobre las propiedades del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, además de las proporciones utilizadas en la mezcla.

Encuesta dirigida a clientes y profesionales de la construcción: Esta encuesta se centra en recopilar información sobre el conocimiento del aditivo, los agregados reciclados, el concreto con agregados reciclados, así como la percepción de calidad y costos en el contexto específico de Guatemala.

#### **5.11. Procesamiento y análisis de datos**

- Cuadros comparativos de resultados: se realizarán cuadros comparativos para analizar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, incluyendo mediciones de las propiedades del concreto para cada porcentaje de agregados reciclados utilizado.
- Análisis estadístico: aplicar técnicas estadísticas para comparar los resultados obtenidos con diferentes porcentajes de agregados reciclados y determinar si existen diferencias significativas en las propiedades del concreto.

- Interpretación de resultados: analizar e interpretar los datos obtenidos para identificar tendencias, patrones o relaciones entre el porcentaje de agregados reciclados y las propiedades del concreto, y determinar si se logra mejorar los costos manteniendo la calidad del mismo.

### **5.12. Límites de la investigación**

La importación del aditivo desde México podría representar un desafío, ya que podría surgir la posibilidad de retrasos en aduana u otros obstáculos logísticos que podrían afectar el cronograma de trabajo. Por lo tanto, será necesario gestionar de manera efectiva los recursos y anticipar posibles contratiempos para garantizar el desarrollo fluido y exitoso del proyecto de investigación.

### **5.13. Obstáculos**

La resistencia al cambio en la industria del concreto podría surgir entre algunos actores debido a preocupaciones sobre la calidad y durabilidad del concreto resultante al utilizar agregados reciclados. Estas preocupaciones podrían basarse en experiencias previas o en la falta de información sobre el desempeño de este tipo de concreto en comparación con el tradicional. Por otro lado, la aceptación del mercado también podría representar un desafío, ya que algunos consumidores pueden tener percepciones negativas sobre la calidad y resistencia del concreto con agregados reciclados. Estas percepciones pueden influir en las decisiones de compra y en la disposición del mercado para adoptar este tipo de materiales en proyectos de construcción. En este contexto, será crucial educar al mercado y a los actores de la industria sobre los beneficios y las características del concreto con agregados reciclados para fomentar su aceptación y promover su uso sostenible en la construcción.

#### **5.14. Aspectos éticos de la investigación**

La investigación se llevará a cabo con la aplicación de valores fundamentales que aseguren la obtención de resultados precisos y significativos, orientados hacia el beneficio de la empresa. En este sentido, se realizará con un compromiso absoluto de respeto, consentimiento y confidencialidad, principios que serán pilares fundamentales durante todo el proceso investigativo. Garantizaremos que cada etapa se desarrolle con la debida equidad y justicia para todo el equipo involucrado, promoviendo así un ambiente de colaboración y respeto mutuo entre los investigadores

#### **5.15. Autonomía de la investigación**

La investigación se realizará de manera independiente, sin influencia indebida de intereses comerciales o políticos, y los resultados de la investigación deberán ser publicados de manera transparente y sin restricciones, garantizando la libertad académica y el acceso a la información.

#### **5.16. Riesgos de la investigación**

El riesgo en la investigación es bajo, sin embargo, todo el personal involucrado debe de contar con su equipo de protección personal, se deberán seguir protocolos de seguridad adecuados durante los ensayos de laboratorio para prevenir lesiones o accidentes.

Existe la posibilidad de que los resultados de la investigación no sean concluyentes o que no se logre mejorar los costos manteniendo la calidad del concreto, lo que podría representar un riesgo económico para las empresas involucradas.

## 6. CRONOGRAMA Y COSTOS DEL ESTUDIO

En el próximo capítulo, se elaborará el cronograma de actividades de la investigación en curso, el cual detallará los tiempos de ejecución de cada etapa y el costo del estudio. Este cronograma servirá para tener un panorama económico claro y preciso del estudio, proporcionando una guía estructurada para la realización de todas las actividades planificadas.

### 6.1. Cronograma

En el cronograma se incluyen las actividades clave como investigación de los agregados reciclados, pruebas de laboratorio a evaluar, implementación en la producción de concreto y análisis de costos y calidad, respaldando la sostenibilidad en la industria en Guatemala.

**Tabla 4.**

*Cronograma de actividades*

Actividades	2023			2024		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1. Planificación de investigación						
Revisión de idea y validación						
Elaboración de protocolo de investigación						
Validación de protocolo de investigación						

Continuación de la Tabla 4.

Actividades	2024											
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2. Trabajo de campo												
Realización de plataforma de secado	■											
Compra de aditivo		■										
Diseño de mezcla			■									
Mezcla de concreto con aditivo				■								
Secado de concreto para obtención de agregados				■								
Reutilización de agregados					■							
Mezcla de concreto con agregados reciclados						■						
Realización de pruebas de laboratorio							■					
Actividades	2024											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic							
3. Procesamiento, tabulación e interpretación de la información												
Recopilación de resultados de laboratorio		■										
Procesamiento de resultados			■									
Análisis de resultados				■								
Comparación de resultados					■							

Continuación de la Tabla 4.

Actividades	2024				
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4. Divulgación de la investigación					
Preparación de resultados finales y conclusiones					
Elaboración de informe final					
publicación de resultados					

*Nota.* Cronograma de actividades programadas para la ejecución de la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

## 6.2. Costos del estudio

En esta sección se detallan todos los costos asociados a la investigación, abarcando desde los gastos iniciales hasta los costos operativos continuos. Esta exhaustiva recopilación incluye tanto los costos directos, como los indirectos, proporcionando una visión completa del presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto de investigación. Desde el equipo y los materiales requeridos hasta los honorarios del personal y los gastos de viaje, cada elemento financiero se presenta de manera transparente y detallada, garantizando una gestión efectiva de los recursos y una planificación precisa para alcanzar los objetivos establecidos en la investigación.

**Tabla 5.***Costos del estudio*

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
<b>1. Mano de obra</b>	
Investigador y operadores	Q 20,000.00
Asesor	Q 1,000.00
<b>2. Materiales</b>	
Inscripción anual	Q 2,062.00
Curso de seminario	Q 2,700.00
Impresiones y gastos administrativos	Q 150.00
Compra de aditivo	Q 1910.00
Importación	Q 800.00
Pago plagscan	Q 400.00
Combustible	Q 500.00
Ensayos de laboratorio	Q 4,000.00
Concreto	Q 3,600.00
<b>Total</b>	<b>Q 37,122.00</b>

*Nota.* Detalle del presupuesto para la realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

## 7. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

- Factibilidad técnica: se cuenta con la capacidad técnica y experiencia necesaria para implementar el uso de agregados reciclados obtenidos mediante el aditivo Isocycle en la producción de concreto, asegurando la realización de todos los ensayos de laboratorio y análisis posteriores para verificar tanto los costos como la calidad del concreto.
- Factibilidad económica: se cuenta con el respaldo financiero de la empresa para cubrir todos los gastos relacionados con materiales y mano de obra del personal operativo. Se llevará a cabo un análisis exhaustivo para determinar si la inversión inicial y los costos operativos pueden ser equilibrados por los beneficios económicos a largo plazo.
- Factibilidad operativa: el personal operativo está debidamente capacitado para la fabricación del concreto, lo que les permite manejar eficientemente las diversas cantidades de ingredientes requeridos y seguir los procedimientos de calidad más rigurosos. Esta capacitación garantiza una ejecución fluida y precisa de las tareas operativas, lo que contribuye a mantener altos estándares de calidad en la producción de concreto.
- Factibilidad legal y ética: se dispone de toda la documentación necesaria para la fabricación de concreto, lo que garantiza el cumplimiento de los procesos de control de calidad mediante la realización de pruebas en laboratorios especializados. Este compromiso asegura la entrega de productos de alta calidad que cumplen con las especificaciones exigidas por los clientes. Este enfoque no solo cumple con los estándares legales

establecidos, sino que también refleja un compromiso ético con la excelencia en la producción y la satisfacción del cliente.

- Factibilidad social y cultural: la aceptación de la empresa es fundamental para el éxito de la investigación. Además, esta práctica no solo beneficia a la empresa en términos económicos, sino que también tiene un impacto positivo en la comunidad al reducir el desperdicio de ripio y promover prácticas más sostenibles en la industria.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### **1. ANTECEDENTES**

- 1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas
  - 1.1.1. Análisis a nivel nacional
  - 1.1.2. Análisis a nivel internacional
- 1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas

### **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

- 2.1. Contexto general
- 2.2. Descripción del problema
- 2.3. Formulación del problema
  - 2.3.1. Pregunta central
  - 2.3.2. Preguntas auxiliares
  - 2.3.3. Delimitación del problema
- 2.4. Necesidades a cubrir o satisfacer
- 2.5. Ubicación del área o lugar en estudio
- 2.6. Localización del área o lugar en estudio

### **3. INFORMACIÓN GENERAL**

- 3.1. Aspectos generales
  - 3.1.1. Antecedentes históricos del municipio de Guatemala
  - 3.1.2. Aspectos geográficos del municipio
  - 3.1.3. Aspectos generales de la planta de concreto
    - 3.1.3.1. Reseña histórica
    - 3.1.3.2. Estructura organizacional
    - 3.1.3.3. Servicios
    - 3.1.3.4. FODA

#### 4. MARCO TEÓRICO

- 4.1. Concreto reciclado
  - 4.1.1. Residuos de construcción y demolición
  - 4.1.2. Agregado
  - 4.1.3. Agregados reciclados
- 4.2. Proceso de obtención y selección de agregados reciclados
  - 4.2.1. Mediante trituración
  - 4.2.2. Mediante de lavado
  - 4.2.3. Mediante uso de aditivos
- 4.3. Sostenibilidad y reducción de costos en la producción de concreto
  - 4.3.1. Importancia en la sostenibilidad ambiental
  - 4.3.2. Gestión eficiente de residuos en plantas de concreto
- 4.4. Propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregados reciclados
  - 4.4.1. Resistencia a la compresión
  - 4.4.2. Módulo de elasticidad
  - 4.4.3. Absorción de agua

- 4.5. Proceso diseño de mezcla
  - 4.5.1. Proporcionamiento con mezclas de prueba

## 5. MARCO METODOLÓGICO

- 5.1. Diseño de la investigación
- 5.2. Enfoque de la investigación
- 5.3. Tipo de la investigación
- 5.4. Variables
  - 5.4.1. Operacionalización de variables
- 5.5. Técnicas de Investigación
- 5.6. Población
  - 5.6.1. Criterios de inclusión
  - 5.6.2. Criterios de exclusión
- 5.7. Muestreo
- 5.8. Hipótesis
  - 5.8.1. HO
  - 5.8.2. HI
- 5.9. Técnicas de recolección de datos
- 5.10. Instrumentos de recolección de datos
- 5.11. Procesamiento y análisis de datos
- 5.12. Límites de la investigación
- 5.13. Obstáculos
- 5.14. Aspectos éticos de la investigación
- 5.15. Autonomía de la investigación
- 5.16. Riesgos de la investigación

## 6. RESULTADOS

- 6.1. Uso del aditivo Isocycle
- 6.2. Caracterización de los agregados reciclados

- 6.2.1. Propiedades físicas
- 6.2.2. Propiedades mecánicas
- 6.2.3. Propiedades químicas
- 6.2.1. Reactividad potencial
- 6.3. Calidad del concreto con agregados reciclados
  - 6.3.1 Proporciones de la mezcla
  - 6.3.2 Propiedades del concreto fresco
  - 6.3.2 Propiedades del concreto endurecido
- 6.3. Costos de producción
  - 6.3.1. Costos Directos
  - 6.3.2. Costos indirectos

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 7.1. Análisis de rendimiento
- 7.2. Evaluacion y comparacion de las propiedades del concreto con agregados reciclados con un concreto convencional

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## REFERENCIAS

- Barillas, J. (2015). *Auditoría del relleno sanitario de la zona 3*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_4255.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4255.pdf)
- Bazalar, L., y Cadenillas, M. (2019). *Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en estructuras aperticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación*. [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de Perú]. Archivo digital. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar\\_LPL.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar_LPL.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Becerra, G. (2019). *Reciclado de residuos plásticos PET en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre de Perú]. Archivo digital. <https://es.scribd.com/document/670397722/221-2019-Becerra-Moscoso-Gj-Espg-Maestria-Gestion-Ambiental-y-Desarrollo-Sostenible>
- Bedoya, C. (2016). *El Concreto con Agregados Reciclados (CAR) como proyecto de viabilidad para el ecosistema urbano de Medellín, Colombia*. [Tesis de doctorado, Universidad Internacional Iberoamericana de Colombia]. Archivo digital. [https://www.academia.edu/37746692/UNIVERSIDAD\\_INTERNACIONAL\\_IBEROAMERICANA\\_DEPARTAMENTO\\_DE\\_PROYECTOS\\_DOCTO](https://www.academia.edu/37746692/UNIVERSIDAD_INTERNACIONAL_IBEROAMERICANA_DEPARTAMENTO_DE_PROYECTOS_DOCTO)

[RADO EN PROYECTOS El Concreto con Agregados Reciclados C  
AR como proyecto de viabilidad para el ecosistema urbano de Me  
dell%C3%ADn Colombia](#)

Cancinos, G. (2013). *Reciclado en frío in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumado y recomendación de especificaciones técnicas de construcción para Guatemala*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0433\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0433_MT.pdf)

Carrasco, R. (2018). *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental*. [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Archivo digital. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/PUCE\\_92ee714a68b53c99f40c56131f583bfa](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/PUCE_92ee714a68b53c99f40c56131f583bfa)

CEMEX Innovation Holding Ltd. (2020). *Aditivo para reciclar concreto, Isocycle 9193*. <https://www.cemexguatemala.com/documents/46799093/54452786/20180210-isocycle-9130-tds-2018-convertido.pdf/ae8ea400-ab99-5043-3d55-32a3e542ab29?t=1636410504517>

Cifuentes, R. (2016). *Centro de transferencia y aprovechamiento de fragmentos de ladrillo, block y concreto para el municipio de Guatemala*. [Tesis de maestría, Universidad Rafael Landívar de Guatemala]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisicem/2016/03/12/Cifuentes-Ruben.pdf>

- Cruz, M., Gómez, O. (2013). *Influencia del Agregado Grueso Reciclado de Mampostería en el Comportamiento del Concreto Reciclado*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12676/CruzVelozaMonicaAsleidy2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gaitán, M. (2013). *Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá D.C.* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13498/GaitanCastiblancoMariaAlejandra2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, A. (2021). *Modelo gerencial para la inclusión de residuos de construcción y demolición (RCD) en los procesos productivos de la elaboración de concretos premezclados*. [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/41434>
- Laverde, J. (2014). *Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados*. [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/111/Laverde%20Laverde%2c%20Jorge%20Alejandro%20-%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mayta, D. (2019). *Evaluación de nuevos materiales aligantes alternativos al cemento portland tradicional para su potencial aplicación en la construcción de viviendas*. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María de Perú]. Archivo digital.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c2ab0c34-8940-4102-a4e4-f36f55a67c7d/content>

Mejía, P. (2018). *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*. [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca de Ecuador]. Archivo digital. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29382/1/BTC%20CON%20AGREGADOS%20DE%20RCD%20PARA%20BIBLIOTECA%2020180116.pdf>

Nieto, D. (2015). *Estudio de hormigón autocompactante con árido reciclado*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid de España]. Archivo digital. [https://oa.upm.es/38871/1/DAVID\\_NIETO\\_ALCOLEA.pdf](https://oa.upm.es/38871/1/DAVID_NIETO_ALCOLEA.pdf)

Palma, E. (2023). *Uso de agregados reciclados obtenidos del tratamiento de los residuos de las edificaciones para producir concreto simple en el Distrito de Nuevo Chimbote*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Del Santa de Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4281>

Pérez, A. (2019). *Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nano sílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca de Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2993>

Reyna, C. (2016). *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para*

*la construcción de viviendas de bajo costo.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo de Perú]. Archivo digital. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1425595>

Robayo, R. A., Matthey, P. E., Silva, Y. F., & Delvasto, S. (2014). Comportamiento en estados frescos y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado. *Informador Técnico*, 78(2), 103-180 [https://www.researchgate.net/publication/318870713\\_Texto\\_completo\\_v\\_78n2](https://www.researchgate.net/publication/318870713_Texto_completo_v_78n2).

Santos, D., Monercillo, B., y García, A. B. (2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición.* Fundación Laboral de la Construcción. Tornapunta Ediciones. <https://libreria.fundacionlaboral.org/extpublicaciones/gestionresiduos2.pdf>

Sevilla, I. (2019). *Gestión de residuos sólidos de la actividad de demolición; estudio de casos en profesionales y especialistas en la zona financiera del distrito de San Isidro en el 2018.* [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma de Perú]. Archivo digital. [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2402/T030\\_07960835\\_T%20Sevilla%20Chinchilla%2c%20In%c3%a9s%20Adelina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2402/T030_07960835_T%20Sevilla%20Chinchilla%2c%20In%c3%a9s%20Adelina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villalobos, E. (2022). *Gestión de costos en el proceso de producción en una planta concretera, aplicando la metodología PMBOK.* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María de Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7d21e23b-8a4a-4211-b7b3-a4a536722a92/content>

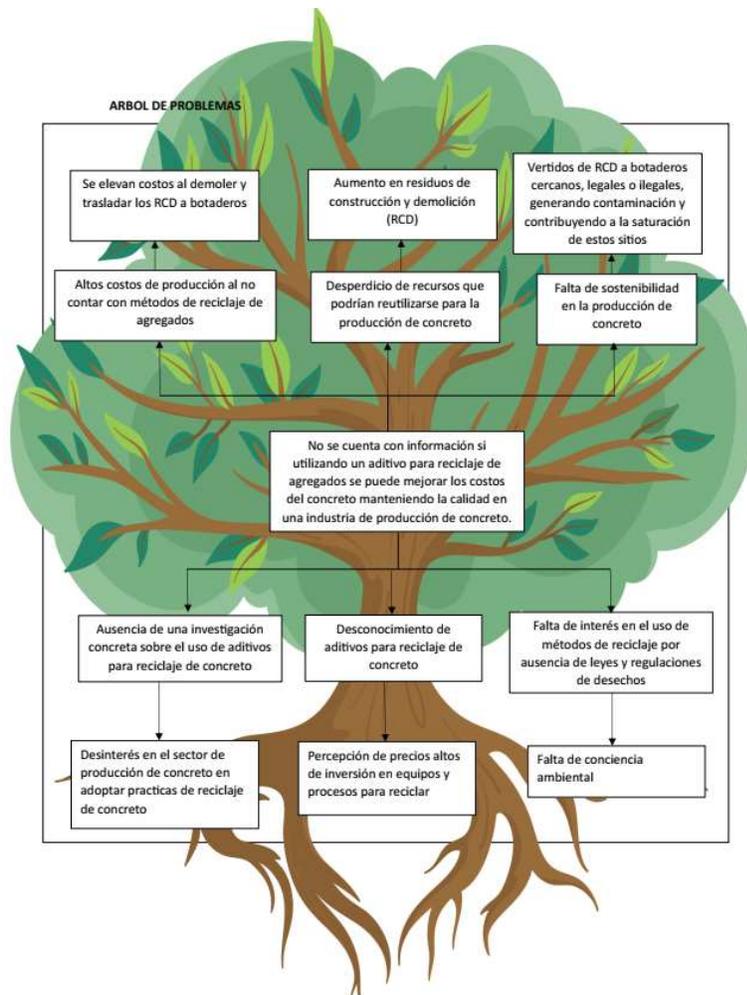
World Business Council for Sustainable Development. (2019). *Iniciativa por la sostenibilidad del cemento, Reciclando Concreto*. [https://docs.wbcasd.org/2009/06/e-CSI\\_Recycling\\_Concrete\\_Spanish.pdf](https://docs.wbcasd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf)

Zeballos, J. (2020). Gestión de la calidad para optimizar los procesos de fabricación de un concreto económico en la construcción informal de la ciudad de Arequipa, 2018. [Tesis de maestría, Universidad Navidad de San Agustín de Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10502>

# APÉNDICE

## Apéndice 1.

### Árbol de problemas



Nota. Árbol de problemas de la investigación. Elaboración propia.

## Apéndice 2.

### Matriz de coherencia

Alumno: César Eduardo Avalos Pérez				
Carnet/DPI: 999013276		TEMA		
Aprovechamiento de los agregados reciclados para mejorar los costos manteniendo la calidad del concreto en una industria de producción de concreto, ubicada en el municipio de Guatemala, Guatemala.				
PROBLEMA	OBJETIVOS	PREGUNTAS DE INVESTIGACION	METODOLOGIA	FASE FINAL
PROBLEMA PRINCIPAL	GENERAL	PREGUNTA GENERAL		CONCLUSIONES
No se cuenta con información si utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto.	Evaluar si utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto.	¿Cómo se puede saber si utilizando un aditivo para reciclaje de agregados se puede mejorar los costos del concreto manteniendo la calidad en una industria de producción de concreto?	Mixta	
PROBLEMAS SECUNDARIOS	ESPECÍFICO	PREGUNTAS ESPECIFICAS		
Se desconocen las características de los agregados reciclados provenientes del uso del aditivo para reciclaje de concreto.	Caracterizar los agregados reciclados provenientes del uso del aditivo para reciclaje de concreto.	¿Cuáles son las cualidades y características de los agregados reciclados provenientes del uso del aditivo para reciclaje de concreto?	Cuantitativa	
Carencia de los costos del concreto con agregados reciclados	Evaluar los costos del concreto con agregados reciclados	¿Cuáles son los costos del concreto con agregados reciclados?	Cuantitativa	
Carencia de información de la calidad que tiene un concreto con agregados reciclados	Estudiar la calidad que tiene un concreto con agregados reciclados	¿Qué calidad tiene un concreto con agregados reciclados?	Mixta	

*Nota.* Matriz de coherencia de la investigación. Elaboración propia.

### **Apéndice 3.**

*Link y QR de video*

[https://www.youtube.com/watch?v=N8GXQt\\_eGdA](https://www.youtube.com/watch?v=N8GXQt_eGdA)



*Nota.* Link de video de la investigación. Elaboración propia.

## Apéndice 4.

### Tablas de registros

- Tabla de registro del uso del aditivo Isocycle

 ESCUELA DE ESTUDIOS DE <b>POSTGRADO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA		Tabla de registro del uso de aditivo Isocycle	
<b>Muestra 1</b>			
Fecha		Camión No.	
Hora		Relación aditivo/cemento	
Cantidad de concreto (m <sup>3</sup> )		Apriencia del agregado resultante	
Velocidad de mezclado		Tiempo de secado	
Tiempo de mezclado			
Fotografía (s)			
<b>Muestra 2</b>			
Fecha		Camión No.	
Hora		Relación aditivo/cemento	
Cantidad de concreto (m <sup>3</sup> )		Apriencia del agregado resultante	
Velocidad de mezclado		Tiempo de secado	
Tiempo de mezclado			
Fotografía (s)			

Continuación del Apéndice 4.

- Tabla de registro de resultados Calidad del concreto reciclado. Proporcionamiento de mezcla

		<b>Tabla de registro de resultados Calidad del concreto reciclado - Proporcionamiento de mezcla</b>	
Fecha		Camion No.	
Hora		Laboratorio	
<b>Muestra 1</b>			
<b>Proporciones de la mezcla</b>		<b>Propiedades del concreto fresco</b>	
Relación agua/cemento		Asentamiento	
Cantidad de agregado grueso		Tiempo de fraguado	
Cantidad de agregado grueso reciclado		Peso volumetrico	
Cantidad de arena		Contenido de aire	
Cantidad de agua		Temperatura	
Cantidad de cemento			
Cantidad de aditivo			
% de humedad			
<b>Propiedades del concreto endurecido</b>			
<b>Fecha de hechura</b>			
<b>Resistencia a la compresion (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresion (lb/pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>% Alcanzado</b>	<b>Edad en días</b>
			<b>Fecha de rotura</b>

Continuación del Apéndice 4.

- Tabla de registro de resultados - Caracterización de agregados reciclados

		Tabla de registro de resultados Caracterización de agregados reciclados			
Fecha		Camion No.			
Hora		Laboratorio			
Muestra 1					
Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
Peso específico		Graduación			
Peso unitario		% de desgaste			
Peso unitario suelto					
Porcentaje de vacios					
Porcentaje de absorción					
Granulometría		Grafica limites ASTM C-33			
Tamiz					
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
Resistencia a la desintegración química ASTM C-88					
Pasa	Retenidos	Graduación por fracción	Antes de ensayo	% de desgaste	Desgaste ref. a Graduación
2 1/2"	1 1/2"				
1 1/2"	3/4"				
3/4"	3/8"				
3/8"	No. 4				
	Fondo				
Reactividad potencial ASTM C-289					
Muestra	Reducción Alcalina (mmol/L)	Silice Disuelta (mmol/L)	Resultado		

Nota. Formatos utilizados en la investigación. Elaboración propia.