



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE
RESISTENCIA DEL CONCRETO *IN SITU*, AL SER EXPUESTO A FACTORES
AMBIENTALES**

Kevin Rocael López Santos

Asesorado por MSc. Ing. Gilberto de Jesús Guerra Flores

Guatemala, mayo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE
RESISTENCIA DEL CONCRETO *IN SITU*, AL SER EXPUESTO A FACTORES
AMBIENTALES**

TRABAJO DE TESIS

PRESENTADO A LA DIRECCIÓN DE LA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POR

KEVIN ROCAEL LÓPEZ SANTOS

ASESORADO POR MSC. ING. GILBERTO DE JESÚS GUERRA FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Dario Francisco Lucas Mazariegos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE
RESISTENCIA DEL CONCRETO *IN SITU*, AL SER EXPUESTO A FACTORES
AMBIENTALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 6 de octubre del 2023.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'K' followed by 'R' and 'L', with 'SANTOS' written in smaller letters below.

Kevin Rocael López Santos



EEPFI-PP-1312-2023

Guatemala, 6 de octubre de 2023

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA DEL CONCRETO IN SITU, AL SER EXPUESTO A FACTORES AMBIENTALES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Nuevas Tecnologías en Ingeniería Estructural - Materiales, elementos compuestos**, presentado por el estudiante **Kevin Rocael López Santos** carné número **201520517**, 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 Ciencias en Estructuras.

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

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Gilberto De Jesús Guerra Flores
Asesor(a)

Gilberto de Jesús Guerra Flores
INGENIERO CIVIL
MSc. INGENIERÍA ESTRUCTURAL
Colegiado No. 14,022

Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador(a) de Maestría



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



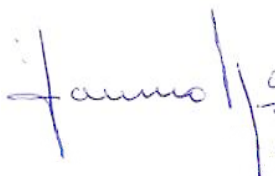
Oficina Virtual



EEP.EIC.1233.2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA DEL CONCRETO IN SITU, AL SER EXPUESTO A FACTORES AMBIENTALES**, presentado por el estudiante universitario **Kevin Rocael López Santos**, 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, octubre de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.208.2024

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: **DETERMINACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA DEL CONCRETO IN SITU, AL SER EXPUESTO A FACTORES AMBIENTALES**, presentado por: **Kevin Rocael López Santos** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, mayo 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: 208 CUI: 2982356680315

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 que me ha dado la vida y la sabiduría para lograr mis metas.

Mi esposa

Karla Fernanda Vásquez Arriola, por apoyarme, amarme y darme fuerzas para lograr todo lo que me he propuesto, te amo amor de mi vida.

Mis padres

Gladis Araceli Santos López y Mynor Ariel López Hernández, por guiarme en el camino de la sabiduría, ustedes siempre serán mi mayor ejemplo, los amo padres.

Mis suegros

Gracias por ser mi segunda familia y apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, la que me ha formado académicamente.

Mi asesor

MSc. Ing. Gilberto de Jesús Guerra Flores, por todo el apoyo que me ha brindado en la realización de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Contexto general	11
3.2. Formulación del problema	12
3.2.1. Pregunta central	12
3.2.2. Preguntas auxiliares	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. ALCANCES	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Generalidades	21
7.2. Concreto	21
7.3. Materiales	24
7.3.1. Cemento	25

7.3.1.1.	Cemento de aluminato de calcio (CAC).....	25
7.3.1.2.	Cemento expansivo	26
7.3.1.3.	Cemento Sulfoaluminoso.....	26
7.3.1.4.	Cemento Portland.....	27
7.3.1.5.	Clasificación y uso	29
7.3.2.	Agregados	32
7.3.2.1.	Agregado fino	33
7.3.2.2.	Agregado grueso	34
7.3.3.	Agua para concreto	36
7.4.	Factores atmosféricos influyentes en la resistencia del concreto	40
7.5.	Efectos de la temperatura en el concreto.....	40
7.5.1.	Efectos que causa la temperatura temprana sobre la resistencia del concreto fundido <i>in situ</i>	41
7.6.	Concreto en climas fríos.....	42
7.7.	Concreto en climas cálidos	43
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	45
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	47
10.	METODOLOGÍA	51
10.1.	Tipo y diseño de investigación	51
10.2.	Variables	51
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
11.1.	Revisión bibliográfica	53
11.2.	Investigación en campo.....	53

11.3.	Plan de selección de materiales	54
11.3.1.	Análisis práctico.....	54
12.	CRONOGRAMA.....	57
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	59
13.1.	Factibilidad técnica	59
13.2.	Factibilidad económica	60
	REFERENCIAS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto.....	22
Figura 2.	Comparación de volumen de pasta de cemento de 10 cilindros, con diferente relación agua-cemento	23
Figura 3.	Cronograma de actividades	57

TABLAS

Tabla 1.	Composición química principal de los cementos (% en masa)	28
Tabla 2.	Graduación del agregado fino	33
Tabla 3.	Requisitos de granulometría para agregados gruesos.....	35
Tabla 4.	Criterios de aceptación para fuentes de agua.....	38
Tabla 5.	Límites químicos optativos para el agua de lavado.....	39
Tabla 6.	Elementos de investigación.....	59
Tabla 7.	Estimación de recursos financieros para la elaboración de la investigación	60

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente Guatemala y el mundo atraviesan los efectos secundarios del calentamiento global, los cuales han generado efectos ambientales extremos, como altas temperaturas, bajas temperaturas, poca precipitación, entre otros.

Los cambios ambientales han generado efectos en los elementos estructurales fundidos de concreto, afectando la resistencia de este al ser expuesto a factores ambientales. Un ejemplo claro sería, los factores de las altas temperaturas que generan una evaporación mayor del agua de la mezcla de concreto, esto hace que pierda su resistencia a compresión generando grietas.

Este problema genera interés para poder realizar una investigación con el fin de contrarrestar los efectos generados por los factores ambientales en la fundición del concreto. Es por ello, que esta investigación se basa en diferentes regiones del país, donde los efectos ambientales son muy diferentes y estos pueden generar una incidencia en la disminución de la resistencia a compresión del concreto fundido *in situ*.

Por ende se ha generado una serie de evaluación de antecedentes, de investigaciones realizadas con anterioridad en otros países, lo que genera una base para realizar la investigación en el país de Guatemala. Esto con el objetivo de determinar la disminución de la resistencia a compresión del concreto fundido *in situ*, asimismo se pretende identificar cuáles son los efectos ambientales que más afectan a la disminución de resistencia y con esto proponer una manera de contrarrestar estos efectos.

En el primer capítulo del índice propuesto, se describen todas las bases teóricas para poder generar un conocimiento mayor sobre el concreto y los materiales que lo conforman. De la misma forma se describen los factores ambientales que afectan a la resistencia a compresión del concreto y cómo se comportan en su interior y exterior al momento de ser expuesto a estos.

En el segundo capítulo, se describen las características que poseen los materiales a utilizar en la mezcla, tomando en cuenta que serán materiales con las mismas propiedades y de la misma cantera para no generar un cambio drástico que afecte al diseño de mezcla y la probeta endurecida.

En este capítulo también se define el diseño de mezcla el cual dará las cantidades necesarias de cada material, para establecer una resistencia a compresión. Además serán medidas de forma numérica las características de los factores ambientales, de las diferentes regiones del país, donde se realizarán las pruebas. Finalmente, en este capítulo se evaluará el concreto en estado fresco y endurecido, con el objetivo de determinar la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de concreto como lo determina el ASTM C39.

En el tercer capítulo, se presentarán los resultados de la investigación considerando que se realizarán tres probetas por cada región a evaluar, las cuales serán fundidas por la madrugada, al medio día y por la noche. Se realizará de esta forma ya que en la madrugada se experimentan las temperaturas más bajas del día, igualmente se realizará la fundición a medio día puesto que durante estas horas es cuando se genera una mayor evaporación por estar directamente expuesto al sol, y finalmente, por la noche puesto que en este horario del día el clima es templado.

En la parte final del capítulo tres, se procederá a comparar los datos obtenidos, para poder determinar qué factores son los que más intervienen en la disminución de la resistencia a compresión del concreto al ser fundido *in situ*.

En el cuarto capítulo se analizarán los resultados obtenidos, para poder generar una serie de recomendaciones que contrarresten estos efectos en obra, las cuales serán de gran ayuda para varios sectores enfocados en construcción.

2. ANTECEDENTES

Este apartado nos expondrá los antecedentes que respaldan la presente investigación enfocada en la determinación de la disminución de resistencia del concreto *in situ*, al ser expuesto a factores ambientales.

En palabras de González y Robles (2005):

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos o adicionantes, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (p. 31)

Actualmente es el material más utilizado en el mundo, para la construcción de edificaciones o elementos estructurales. El concreto no es un material descubierto recientemente, ya que cada vez se investiga más, para obtener mejores resultados en la construcción.

El concreto fue usado por primera vez en Roma alrededor de la tercera centuria antes de Cristo. Estaba construido por agregados unidos mediante un aglomerante conformado por una mezcla de cal y ceniza volcánica. El material podía sumergirse en agua manteniendo sus propiedades a diferencia de los morteros de cal usados siglos antes en la antigua isla de Creta. El uso de este

material en la construcción pasó al olvido con la caída del Imperio y no fue sino hasta mediados del siglo XVIII que su uso se extendió nuevamente (Harmsen, 2002).

El primer registro del uso del concreto en los tiempos modernos, se remonta a 1760 cuando, en Inglaterra, John Seaton descubrió, mientras proyectaba el faro Eddystone, que una mezcla de caliza calcinada y arcilla daba lugar a un conglomerante hidráulico resistente al agua. En 1824, Joseph Aspdin elaboró cemento mezclado con arcilla y caliza de diferentes canteras y calentándolas en un horno. El concreto obtenido con ese aglomerante se asemejaba a las piedras propias de la isla de Portland, al sur de Inglaterra, motivo por el cual se le llamó cemento Portland. En ocasiones, la mezcla era calentada en exceso y se endurecía, siendo desechada. En 1845, I.C. Johnson descubrió que el mejor cemento provenía de la pulverización de esta sustancia desechada, denominada clincker, este es el cemento que se conoce en la actualidad (Harmsen, 2002).

El concreto al ser una mezcla de varios materiales con diferente composición química, está expuesto a diferentes factores que pueden afectar su aportación mecánica, desde su mezcla hasta su colocación, por ello se evalúa qué factores intervienen y son significativos en la resistencia del concreto. Factores como la mano de obra, la calidad de los materiales, los métodos para crear el concreto, la maquinaria y factores ambientales, son algunos de los factores que afectan la resistencia del concreto fundido *in situ*.

Las principales causas de roturas prematuras en el concreto, desde los comienzos del siglo XX han sido los esfuerzos térmicos. Se han realizado varias investigaciones durante años, para poder determinar el comportamiento del concreto al ser expuesto a los esfuerzos térmicos.

De acuerdo con Morales y Prieto (2015):

Los primeros intentos para predecir las temperaturas en el concreto durante la hidratación fueron desarrollados por Yoshida en 1921. Seguido a esto en los años cincuenta, Rastrup propuso uno de los primeros modelos de hidratación que incorporaban las influencias de la temperatura y el grado de hidratación en el modelo. (p. 4)

Cuando el concreto se mezcla, se transporta y se pone en obra bajo condiciones de elevada temperatura ambiental, o baja temperatura, alta radiación solar, baja humedad relativa y viento apreciable, resulta esencial tomar en consideración los efectos que estos factores climáticos ejercen sobre las propiedades del concreto. “La influencia de la temperatura y otras condiciones ambientales en la resistencia a compresión del concreto es bien conocida y está documentada a nivel nacional e internacional” (Morales y Prieto, 2015, p. 4).

Orozco, Ávila y Parody (2018) en una encuesta realizada a los especialistas del concreto en Colombia mencionaron que, el factor que más interviene en la resistencia del concreto fundido *in situ* es el medio ambiente con un 22 %, seguido de los métodos para realizar el concreto con un 21 %, calidad de materiales con un 20 %, maquinaria a usar con un 19 % y la mano de obra con un 18 %. Esto indica que se debe prestar mayor atención a los factores ambientales al realizar concreto fundido *in situ*.

Se considera condiciones extremas de temperatura para el concreto cuando la temperatura ambiente es inferior a 5 °C y superior a 28 °C, en cuyo caso se debe tener especial cuidado en la selección de materiales, dosificación,

preparación, transporte, curado, control de calidad, encofrado y desencofrado del concreto (Viacava, 2015).

En Guatemala se registran temperaturas tanto altas como bajas fuera del rango aceptable para poder realizar la mezcla de concreto fundido *in situ* sin afectar su resistencia. “La temperatura máxima registrada hasta la fecha en Guatemala es de 46 °C fue descubierta en la estación La Fragua, del municipio de Estanzuela, Zacapa, esta se registró en el 2019” (INSIVUMEH, 2021, p. 6).

De igual forma se han registrado temperaturas muy bajas en Guatemala. La temperatura mínima registrada hasta la fecha en Guatemala es de -4.6 °C fue descubierta por la estación de Los Altos en Quetzaltenango, la cual se registró en 2017 (INSIVUMEH, 2023).

La investigación realizada por Burg (1996) sobre cómo interviene la temperatura del ambiente en la resistencia de un concreto fundido *in situ*, determinó con base en una temperatura de 23 °C, que al ser aumentada el asentamiento del concreto disminuye en aproximadamente 20 mm por cada aumento de 10 °C. Enseguida que Bung disminuyó la temperatura base de 23 °C, el asentamiento aumentó aproximadamente 20 mm por cada 10 °C de disminución de la temperatura.

Burg (1996) finalizó determinando que, las temperaturas altas disminuyen el tiempo de fraguado del concreto, disminuyendo de esta forma la resistencia del concreto, al no tener un tiempo adecuado para formar un concreto homogéneo.

El concreto fundido *in situ* en tiempo caluroso generan problemas por el incremento del ratio de hidratación del cemento a altas temperaturas y el

incremento de evaporación del concreto fresco. Previamente se generan disminuciones en las propiedades del concreto (Morales y Prieto, 2015).

Las grietas presentes en el concreto, como consecuencia de la aplicación de esfuerzos mecánicos actúan permitiendo el ingreso de los gases ácidos y aniones agresivos provenientes de la atmósfera, creando estos acolchonamientos que afectan a la resistencia a compresión del concreto (Posada, s.f., p. 87).

Cuando la temperatura aumenta, disminuye el tiempo de colocación del concreto al elemento, reduce la trabajabilidad, disminuye la resistencia a compresión a los 28 días por tener una mayor demanda de agua en la mezcla, roturas por efectos térmicos. Cuando el ratio de evaporación se incrementa, la superficie del concreto se secará rápidamente y endurecerá antes de lo esperado, esto atraparé más agua en la mezcla, que al momento de compactar saldrá el agua atrapada y generará desconchones (Morales y Prieto, 2015).

Para contrarrestar estos efectos en obra, se debe estabilizar la temperatura de la mezcla no mayor a 28 °C ni menor a 5 °C. Si la temperatura es mayor se podrá enfriar la mezcla con hielo o rociando agua fría en los agregados antes de fundir. Asimismo existen aditivos que pueden ayudar a contrarrestar estos efectos, como los reductores de agua que mejoraran la trabajabilidad del concreto, o utilizar cementos de bajo calor de hidratación.

Otro de los factores atmosféricos que más afectan al concreto fundido *in situ* es la humedad relativa del aire, la cual genera un efecto inversamente proporcional a la temperatura. Cuando la temperatura aumenta, la humedad relativa decrece, caso contrario, cuando la temperatura baja, la humedad relativa aumenta.

Relacionado a lo anterior Powers (1947) finaliza en su investigación que, la hidratación del cemento se reduce cuando la humedad dentro de los poros capilares de la pasta cementante cae por debajo del 80 %. Concluyendo que para que el concreto pueda fraguar de una forma natural, la humedad del aire debe ser al menos de un 80 %, con ello se evita que haya un flujo de humedad del concreto hacia el aire.

Guatemala carece de investigación respecto a estos factores importantes que influyen en la resistencia del concreto fundido *in situ*, por lo que se debería considerar estudios enfocados en la región. Tomando en cuenta que el país tiene una variable de temperaturas a lo largo del año.

Por tanto, realizando los estudios necesarios se podrá facilitar a los diferentes proveedores de concreto recomendaciones que contrarresten los factores atmosféricos que intervienen en la fundición del concreto *in situ*.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

En el planteamiento del problema encontraremos que hay una disminución de la resistencia del concreto fundido *in situ* por intervención de factores ambientales

Guatemala es un país con una topografía variada, la cual permite tener diversos microclimas a diferentes escalas. En altitudes elevadas se puede encontrar temperaturas menores, a los -4°C , mientras que en altitudes bajas se encuentran temperaturas mayores a los 30°C .

Los factores atmosféricos, interfieren de una forma directa en la resistencia del concreto fundido *in situ*, a los cuales no se les ha dado una mayor importancia. Por lo cual, dentro de la obra se genera, una disminución de resistencia en el concreto, sin tener el control del porcentaje de esta reducción, la cual es asociada a los factores ambientales existentes durante el proceso de fabricación del concreto.

Al realizar una obra, el concreto es expuesto a varios factores que pueden afectar el comportamiento de los elementos estructurales, los que tienen como finalidad resistir las diferentes cargas a las que se diseña la obra. Esto puede hacer peligrar la vida útil de la estructura y provocar daños visibles prematuramente.

La determinación de la disminución de la resistencia del concreto fundido *in situ* por factores ambientales, se ha investigado en varios países. Con la determinación de la disminución de resistencia en el concreto y descubrimientos de los factores que afectan a esta, se puede ayudar a contrarrestar los efectos que esto causa, de una forma rápida y eficaz, reduciendo así los riesgos del debilitamiento estructural y comportamientos anómalos de la obra.

3.2. Formulación del problema

De la siguiente manera, se expone la formulación del problema de la presente investigación desde la pregunta central las auxiliares y la delimitación del problema.

3.2.1. Pregunta central

¿Es posible determinar la disminución de resistencia en el concreto fundido *in situ* por factores ambientales, que eviten fallas en los elementos estructurales?

3.2.2. Preguntas auxiliares

- ¿Existe forma de evitar los efectos provocados al concreto fundido *in situ*, por factores atmosféricos?
- ¿Es posible determinar el tiempo máximo de exposición que no afecte el comportamiento del diseño de mezcla al estar en contacto con los factores atmosféricos?
- ¿Es posible determinar qué factores atmosféricos influyen más en la

resistencia del concreto fundido *in situ*?

4. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país que posee varios microclimas a lo largo de su extensión territorial, lo que genera en la construcción una variación de factores que pueden afectar al concreto fundido *in situ* en sus diferentes regiones.

Dado que el INSIVUMEH ha detectado temperaturas máximas de hasta 46 °C y temperaturas mínimas de – 4.6 °C, es importante enfocarse en los factores atmosféricos al momento de fundir concreto *in situ*, con el fin de evaluar los factores y disminuir la influencia que crean, en las propiedades mecánicas del concreto.

Teniendo en cuenta que en una temperatura elevada se debe de cuidar la hidratación del concreto, para no crear fisuras en los elementos. Es importante tomar en cuenta que no se debe sobrepasar los 28 °C para así no afectar al concreto con una evaporación no deseada, de igual manera acelerando el fraguado, ya que esto podría llevar a suscitar acolchonamientos, que generan un elemento menos denso, no homogéneo.

El país puede tener dos casos contrarios, que pueden marcar tanto la forma de construir en cada área, por ejemplo, la región de Zacapa al tener un clima con temperaturas elevadas podría contrarrestar estos efectos al conocer sobre el comportamiento del concreto a altas temperaturas. En caso contrario a el departamento de Quetzaltenango, donde las temperaturas suelen ser más bajas, pueden ser contrarrestados los efectos tomando en cuenta que el concreto puede aumentar su porcentaje de agua y reducir su resistencia a compresión.

Para enfrentar los efectos de los factores ambientales se pretende realizar una investigación que genere datos reales de la resistencia a compresión de los elementos de concreto fundidos *in situ*.

La presente investigación forma parte de la línea de investigación Nuevas tecnologías en ingeniería estructural, que pertenece al pensum de estudios de la Maestría en Ingeniería en Estructuras, de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de ingeniería, USAC, específicamente en la sub línea de materiales, elementos compuestos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar la disminución de resistencia del concreto fundido *in situ* por factores ambientales, que permita evitar fallas en los elementos estructurales.

5.2. Específicos

1. Disminuir los efectos provocados por factores atmosféricos al concreto fundido *in situ*.
2. Determinar cuál es el tiempo máximo de exposición de la mezcla al contacto con los factores atmosféricos, que mantenga su comportamiento de diseño.
3. Identificar los factores atmosféricos que más afectan a la resistencia del concreto fundido *in situ*.

6. ALCANCES

Se espera evitar los efectos causados por factores ambientales, que afectan la resistencia en el concreto fundido *in situ*. Dado que en Guatemala existe una variedad de microclimas, estos influyen notoriamente en la resistencia del concreto.

Con esto se pueden evitar las grietas en el concreto, las cuales son provocadas por su retracción plástica, logrando tener elementos estructurales homogéneos, que no disminuyan su resistencia.

Por otra parte, se determinará el tiempo máximo que puede estar expuesto el concreto a factores ambientales, sin afectar su resistencia, con el fin de aumentar la trabajabilidad del concreto al fundir elementos estructurales.

Además, se puede lograr un control de los factores ambientales, que iguale la resistencia obtenida en el diseño de mezcla con la resistencia obtenida *in situ*, conociendo el comportamiento de la disminución de resistencia, se pretende aumentar la eficacia y la confiabilidad en las fundiciones de concreto *in situ*.

Esta investigación beneficiará a diseñadores, constructores y supervisores de todos los ámbitos, considerando que la presente investigación dará valores más aproximados de la resistencia del concreto fundido *in situ*, lo cual reducirá las fallas y ayudará a tener elementos estructurales homogéneos que no disminuyan su resistencia.

Fabricantes de concreto, los cuales contarán con una investigación que ayude a determinar y controlar los efectos que generan los factores ambientales, teniendo una mejor calidad en los concretos proporcionados.

Estudiantes de la carrera de ingeniería civil y de maestría en estructuras ya que servirá de fuente de consulta técnica para el desarrollo de nuevas investigaciones del concreto.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades

La presente investigación tratará sobre la disminución a la compresión que generan los factores atmosféricos al concreto fundido *in situ*. Es por esto que a continuación se definirán conceptos introductorios que generen un conocimiento mayor para poder entender el contexto de la investigación.

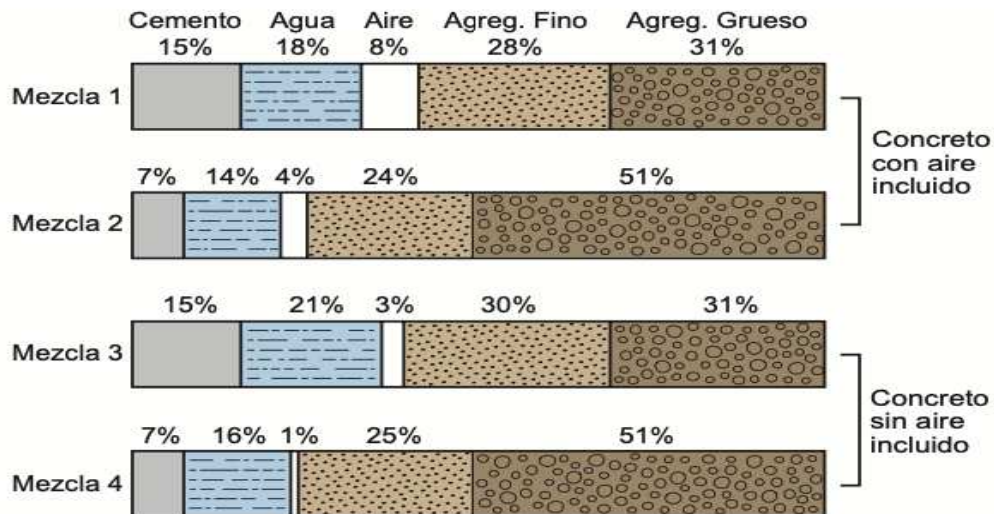
7.2. Concreto

Básicamente el concreto es la unión de dos componentes, pasta y agregados. Gracias a la composición química del cemento, al estar en contacto con agua, se genera una pasta consistente, que tiene la función de unir los agregados, que por lo general son arena y grava, lo que genera una masa que se asimila a una roca.

La pasta está compuesta de cemento, aire y agua. La pasta representa del 25 % hasta el 40 % del volumen total del concreto, esto depende de si la mezcla es rica o pobre. Una mezcla rica la cual se ejemplifica en la figura 1 (mezcla 1 y 3), nace cuando se aumenta el porcentaje de pasta y el agregado fino es notorio. Una mezcla pobre la cual se ejemplifica en la figura 1 (mezcla 2 y 4), nace cuando se disminuye el porcentaje de pasta y se aumenta el porcentaje de los agregados gruesos (Kosmatka *et. al.*, 1992).

Figura 1.

Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto



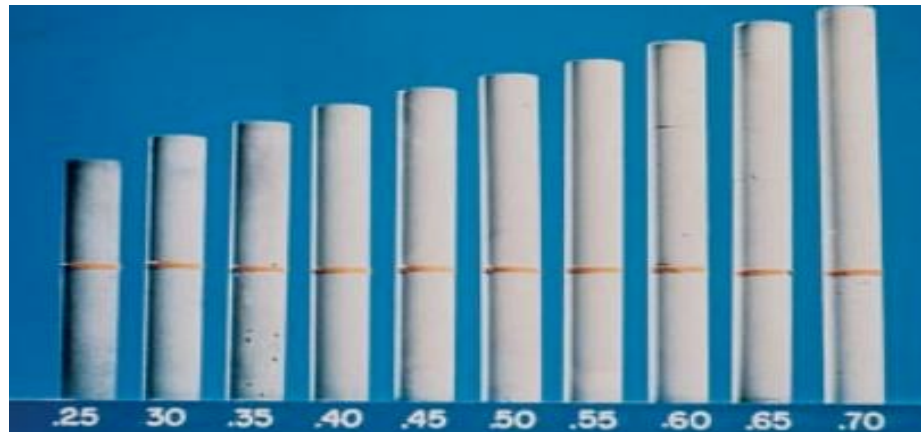
Nota. Descripción de las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de tamaño pequeño. Obtenido de S. Kosmatka *et. al.* (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto.* Boletín de ingeniería (p. 12). EB201.

Con base a la figura anterior, se puede señalar que el volumen del cemento en la mezcla de concreto se encuentra entre el 7 % y 15 %, mientras que el volumen de agua se encuentra entre el 14 % y 21 %. Por lo tanto, para generar una pasta con mayor adherencia, dependerá del porcentaje de agua/cemento, que se utiliza para realizar la mezcla de concreto (Kosmatka *et. al.*, 1992).

Cuando se agrega un porcentaje mayor de agua en la mezcla, se diluye la pasta de cemento, produciendo un aumento en el volumen del concreto endurecido. Esto genera una menor adherencia de la pasta a los agregados, dejando espacios internos que forman un elemento no homogéneo, conduciendo a una disminución de la resistencia a compresión.

Figura 2.

Comparación de volumen de pasta de cemento de 10 cilindros



Nota. Puede observarse que, se compararon 10 cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. Obtenido de S. Kosmatka *et. al.* (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto. Boletín de ingeniería* (p. 22). EB201.

Cuando se agrega menor cantidad de agua a la mezcla, esta genera algunas ventajas como:

- El aumento de la resistencia a compresión y resistencia a flexión
- Aumento de resistencia a la intemperie
- Mejor unión entre el concreto y la armadura del elemento
- Disminución de la permeabilidad y disminución de la absorción
- Reducción de las contracciones y agrietamientos
- Menor cambio de volumen causados por segregación

También existen desventajas al disminuir la cantidad de agua en la mezcla, tales como:

- Menor trabajabilidad del concreto en obra

- Mezclas rígidas

Como se ejemplifica en la figura 1, los agregados forman aproximadamente entre el 60 % al 75 % del volumen total de concreto. Esto indica que, los agregados son de alta importancia en la mezcla, por lo que deben cumplir con ciertos requisitos, como no tener materiales que afecten al concreto, partículas que posean condiciones mecánicas y una excelente resistencia a las condiciones de exposición.

Al fundir una mezcla de concreto, existen factores que pueden afectar su comportamiento mecánico, por lo que se crearon aditivos químicos, que pueden ajustar el tiempo de fraguado, reducir la demanda de agua, aumentar la trabajabilidad, incluir intencionalmente aire.

7.3. Materiales

Los materiales que conforman la mezcla de concreto deben tener ciertas características para crear una mezcla homogénea, libre de imperfecciones, dando como resultado mezclas endurecidas con mayor resistencia a la compresión. Es por ello que se debe evaluar, conocer y determinar cuáles son los mejores materiales, según el método de fundición.

Los materiales de construcción deben ser evaluados antes de crear un diseño de mezcla, controlando desde el principio sus propiedades, se puede crear una mezcla controlada, que resista a esfuerzos de compresión.

7.3.1. Cemento

La palabra cemento proviene de los romanos, los cuales llamaron opus caementum a una construcción de mampostería de piedra con un conglomerante de cal viva. El cemento es un conglomerante que une a varios elementos para crear una pasta que endurecida generará un elemento con propiedades parecidas a las rocas (Roa, 2016).

Existen varios tipos de cemento con diferente composición química que tienen como fin crear una pasta que una los materiales áridos, con materiales gruesos, generando en sí una roca, que crea una resistencia a la compresión. Algunos tipos de cemento se presentan a continuación.

7.3.1.1. Cemento de aluminato de calcio (CAC)

Producido por primera vez en la primera guerra mundial, generada en Francia, por el químico francés llamado Jules Bied, el cual descubrió que al enlazar los fundidos cristalizados junto con la composición de aluminato monocálcico se podría generar resistencias a compresión tempranas y elevadas.

Los cementos aluminosos no se basan principalmente en silicatos y calcio, sino en aluminatos. El Clinker es el elemento principal en la composición del cemento aluminoso, el cual se obtiene mediante la aplicación de altas temperaturas a una mezcla que incluye bauxita y caliza. El procedimiento anterior genera la creación de compuestos considerablemente enriquecidos con aluminio de calcio, teniendo este un papel esencial en este tipo de cemento.

Este cemento se puede utilizar para que la mezcla de fragüe rápido con la intención de obtener una resistencia temprana. Este cemento tiene una alta

resistencia química a los ambientes agresivos, por ello pueden usarse para proyectos como saneamiento, alcantarillado y plantas de tratamiento. Tienen la ventaja de poder ser muy utiliza en climas fríos donde se necesita una hidratación rápida (Centeno, 2016).

7.3.1.2. Cemento expansivo

Los cementos de expansión, un tipo especializado de cemento presenta una particularidad durante su proceso de fraguado y endurecimiento: en lugar de la contracción típica observada en los cementos convencionales, experimentan un controlado fenómeno de expansión. Esta expansión es el producto de reacciones químicas particulares que tienen lugar en el cemento durante su proceso de hidratación.

Estos tipos de cemento expansivo tiene una aplicación en una variedad de formas donde se requiere un proceso de expansión bajo control, como para contrarrestar los efectos de la retracción que ocurre por el secado. Estos cementos se pueden usar como para fijar anclajes y otros elementos de sujeción, para inyectarse en grietas y fisuras, como también para reparaciones.

7.3.1.3. Cemento sulfoaluminoso

Este es un tipo de cemento hidráulico que es destacado por su capacidad para poder enfrentar entornos químicos agresivos y temperaturas elevadas. El elemento principal que conforma este cemento es el sulfoaluminatos.

Interiormente este se compone de Clinker sulfoaluminoso, el cual se obtiene mediante la aplicación de temperaturas altas a una mezcla de bauxita, yeso y otros materiales.

Este tipo de cemento cuenta con algunas ventajas como su resistencia rápida a la compresión. Según Centeno (2016) este cemento puede experimentar una expansión regulada que permite al estar en contacto al agua. Este material tiene la capacidad de soportar altas temperaturas, tales como fundiciones y revestimientos de hornos.

7.3.1.4. Cemento Portland

Joseph Aspdin es considerado el creador del cemento portland, por su descubrimiento de la calcinación de piedras calizas y carbón, dando como resultado una roca semejante al color de las rocas de la isla de Pórtland ubicadas en el Reino Unido. Por ello Joseph Aspdin denoto a su conglomerante como Cemento Pórtland, que la actualidad prevalece (Sanjuán y Chinchón, 2014).

El cemento Portland es un cemento hidráulico el cual tiene un papel de vital importancia en el ámbito de la construcción contemporánea. Este se caracteriza por su capacidad para fraguar y su endurecimiento en entornos acuosos. Este tipo de cemento es el que más se utiliza en las construcciones por eso es el que más se fabrica para crear concreto o mortero.

El cemento Portland se compone principalmente de clinker de cemento, el cual es obtenido por la calcinación de la mezcla de materia prima como es la caliza, arcilla, arena, compuestos de hierro y otros componentes. El clinker del cemento Portland es un material hidráulico el cual debe estar compuesto de al menos de dos tercios de la masa total del cemento. El resto de las partes que componen al cemento es el contenido de aluminio, hierro y otros componentes (Sánchez, 2022).

El cemento Portland tiene una gran ventaja el cual es su diversa utilidad, sabiendo que es utilizado desde elementos estructurales hasta el revestimiento de vías. Esto quiere decir que, el cemento Portland se utiliza de cualquier manera. También posee la capacidad de aumentar su resistencia a largo plazo.

La fabricación del cemento Portland tiene como materia prima la piedra caliza, marga, arena silícea, arcilla, yeso y materiales puzolánicos. Estos materiales se calcinan en un horno a temperaturas de 1,450 °C y 1,600 °C. La composición química del cemento Portland se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Composición química principal de los cementos (% en masa)

Parámetro	Rango aproximado	Resultado de ensayos (%)
Residuo insoluble	0.1-0.4	0.27
Óxido de calcio (CaO)	58.2-65.6	62.9
Sílice (SiO ₂)	19.8-26.5	20.6
Alúmina (Al ₂ O ₃)	4.1-9.5	4.40
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	2.1-4.5	3.30
Magnesia (MgO)	Trazas – 2.9	2.20
Álcalis (K ₂ O Na ₂ O)	0.1-2.8	0.19-0.50
Sulfatos (SO ₃)	0.1-2.2	3.2
Pérdida por calcinación	0.2-2.8	2.7

Nota. Descripción de rangos aproximados y valores de los resultados de ensayos, para cada parámetro del cemento. Obtenido de A. Sánchez (2022). *Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica.* (p. 31). [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato de Ecuador]. Archivo digital. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35974/1/Tesis%20I.C.%201610%20-%20Sanchez%20Muñoz%20Angela%20Geomayra.pdf>

7.3.1.5. Clasificación y uso

La eficacia del concreto está influenciada por una variedad de factores, como las características de los demás componentes del concreto, la formulación de la mezcla, el proceso de producción, la manipulación y las condiciones ambientales. Con respecto a las cualidades de desempeño del concreto, que abarcan aspectos como la permeabilidad (medida según el método de Blaine), la capacidad de resistir ciclos de congelamiento y deshielo, y la prevención del desprendimiento debido al uso de agentes deshielantes, es posible adquirir información adicional por medio de ensayos comparativos realizados en distintas muestras de concreto (Comisión Guatemalteca de Normas, 2018).

El ASTM C150, es una norma desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM International) el cual establece estándares para la categoría del cemento. Esta normativa establece diversas categorías del cemento Portland. Esta clasificación se basa principalmente en las características y composición química, que presenta el cemento Portland. A continuación, se enumeran los tipos de cemento Portland que la norma define:

- Tipo I (UG): es un cemento hidráulico para uso general de la construcción. Este cemento es adecuado para emplearse en la edificación de proyectos de diversas escalas, ya sean pequeños, medianos o de gran envergadura, siempre y cuando no se necesite recurrir a otros tipos de cemento con características particulares (American Standard Testing and Materials, 2007).
- Tipo I A: es un cemento similar al tipo I, solo que se caracteriza por incorporar aire atrapado a la mezcla, con el fin de mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo (American Standard Testing and Materials,

2007).

- Tipo II (MRS): moderada resistencia a los sulfatos, este tipo de cemento ofrece una resistencia elevada a los sulfatos. Se emplea en la elaboración de concreto destinado a ambientes acuáticos y terrenos que presentan presencia de sulfatos, así como en aplicaciones relacionadas con agua o entornos marinos. Además, es utilizado en la construcción de concreto expuesto a niveles elevados de sulfatos de calcio, sodio y magnesio, tanto en agua como en suelos (American Standard Testing and Materials, 2007).
- Tipo II A: la diferencia de este cemento con el tipo II, es que este agrega aire a la mezcla, con el fin de contrarrestar la disminución de resistencia cuando la mezcla está expuesta al congelamiento y deshielo (American Standard Testing and Materials, 2007).
- Tipo III (AR): cemento de alta resistencia inicial, este está hecho para obtener una resistencia inicial considerablemente elevada. La aplicación de este cemento va dirigida a proyectos que involucran concreto simple, reforzado y preesforzado, que tienen la necesidad de obtener resistencias tempranas y un fraguado rápido. Este también se utiliza en la fabricación de elementos prefabricados livianos y estructurales, como en obras que requieren un desencofrado rápido (American Standard Testing and Materials, 2007).
- Tipo III A: este cemento se diferencia del tipo III por su incorporación de aire en la mezcla (American Standard Testing and Materials, 2007).
- Tipo IV (BCH): cementos de bajo calor de hidratación, estos están fabricados para minimizar la generación de calor durante el proceso de

hidratación. La aplicación de este tipo de cemento se emplea donde se necesita limitar la liberación de calor a partir de la reacción de hidratación del cemento, como por ejemplo la construcción de represas de concreto, los cimientos de dimensiones grandes y otras construcciones de envergadura (American Standard Testing and Materials, 2007).

- Tipo V (ARS): cementos de alta resistencia a los sulfatos. Estos al igual que los MRS se aplican en concretos que son utilizados donde existe presencia de sulfatos en aguas y terrenos, abarcando desde situaciones costeras hasta entornos marinos. Estos se emplean en donde el concreto debe obtener una alta resistencia y está expuesto a sulfatos de calcio, sodio y magnesio, los cuales pueden estar presentes en el agua como en el suelo (American Standard Testing and Materials, 2007).

En Guatemala a parte de los cementos definidos por el ASTM C150 se definen en la Comisión Guatemalteca de Normas (2018) los siguientes cementos:

- Tipo DLR: cemento de desarrollo lento de resistencia. Este tiene la función de estabilizar los suelos, utilizado para mezclas de concreto compactado con rodillo (CCR) los cuales se utilizan para pavimentos y para presas.
- Tipo MCH: cemento de moderado calor de hidratación. Este es utilizado para obras de concreto masivo, que son propensas a tener fuertes retracciones debido a la variación térmica, lo cual provoca fisuración. Es comúnmente utilizado en presas, estribos, cimentaciones, muros gruesos y losas de gran tamaño. También es utilizado para obras de concreto normal en ambientes cálidos.

Por lo general en Guatemala el cemento Portland más utilizado es el Tipo I, el cual se usa para el uso general de la construcción en cualquier parte del país, tomando en cuenta la facilidad de encontrarlo y su menor precio ante los demás.

7.3.2. Agregados

Los agregados pétreos constituyen del 60 % al 75 % del volumen final del concreto, por lo que estos se consideran importantes en la resistencia final del concreto. Para que un agregado sea aceptado por la normativa, deberá pasar por una serie de ensayos de laboratorio, que arrojen las cualidades de estos materiales, para poder determinar si estos son aptos para el tipo de concreto a diseñar.

Respecto al origen de los agregados Molina (2006), los clasifica de la siguiente forma:

- Agregados naturales: estos provienen de la extracción de recursos naturales, como depósitos fluviales (arena de río), también los materiales extraídos de canteras que poseen distintos tipos de rocas y piedras naturales. Estos pueden ser aprovechados y utilizados en su granulometría natural o sometidos a procesos de trituración mecánica, esto según con las necesidades específicas y de acuerdo con las especificaciones que requieren.
- Agregados artificiales: estos agregados son generados por procedimientos y técnicas industriales. Algunos de los materiales son las arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro y otros materiales. Comparando con los agregados naturales, estos poseen densidades superiores o inferiores, lo que genera materiales más livianos

o pesados.

7.3.2.1. Agregado fino

Los agregados finos más conocidos como arenas o áridos, engloban todos los materiales para aportar una mezcla homogénea, dando como resultado una resistencia suficiente. Estos agregados hacen que la adhesión de la pasta de cemento con los agregados gruesos, sean mejores conglomerantes, que endurezcan el concreto de una manera controlada y específica. El agregado fino consiste en arena de origen natural, arena producida de manera industrial o una mezcla de ambas variantes.

En cuanto a las dimensiones de los tamices y al tamaño del agregado el cual es medido a través de tamices de prueba, se utilizan los valores en pulgadas y milímetros. La denominación de los tamices sigue el estándar establecido en la especificación ASTM E11.

Tabla 2.

Graduación del agregado fino

Tamiz (Esp. ASTM E11)	Porcentaje que pasa % arena natural	% Arena manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95-100	95-100
2.36 mm (N°8)	80-100	80-95
1.18 mm (N°16)	50-85	45-95
600 µm (N°30)	25-60	25-75
300 µm (N°50)	5-30	10-35
150 µm (N°100)	0-10	8-20

Nota. Descripción de los porcentajes de arena que pasan, de acuerdo al tamiz utilizado para cumplir valores de uso de la arena. Elaboración propia.

Cuando un concreto tiene granulometrías de agregado fino cercanos a los mínimos porcentajes que pasa 300 μm (N°50) y 150 μm (N°100), estos pueden tener problemas con la trabajabilidad, el bombeo o una exudación excesiva. Para contrarrestar dichos problemas se utilizan métodos como la adición de aire incorporado a la mezcla, adición de cemento o adición de mineral.

7.3.2.2. Agregado grueso

El agregado grueso puede ser grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno la cual es enfriada con aire, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de ellos.

Igualmente, que, en el agregado fino, el contenido de arcillas y finos no debe superar el 5 % y ni el contenido de materias orgánicas, carbón, entre otros, no debe superar el 1.5 %. Se recomienda que el tamaño máximo del agregado no exceda el 1/15 de la distancia entre las paredes del encofrado, 3/14 de la distancia libre entre armaduras y 1/13 del espesor de las losas (American Standard Testing and Materials, 2018).

El concreto de cemento hidráulico triturado también es usado como agregado grueso, el cual ha tenido resultados satisfactorios. Este puede requerir más agua en la mezcla por ser una piedra áspera. Al estar deteriorado el concreto, puede afectar en la reducción de resistencia al congelamiento y deshielo, también puede afectar las propiedades de las burbujas de aire o degradarse durante su manejo, mezclado y colocación. En la tabla 3 se presentarán los requisitos que deben cumplir los agregados gruesos respecto a la granulometría.

Tabla 3.

Requisitos de granulometría para agregados gruesos

Número De	Tamazo nominal	Cantidades				masa	finas	que	pasan	por	un	tamz	en	porcentaje	en	masa
		90 mm (3 1/2 in)	100 mm (4 in)	125 mm (5 in)	150 mm (6 in)	175 mm (7 in)	200 mm (8 in)	250 mm (10 in)	300 mm (12 in)	375 mm (15 in)	475 mm (19 in)	600 mm (24 in)	750 mm (30 in)	950 mm (38 in)	1180 mm (47 in)	300 µm (Nº5)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100	25 a 60	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
2	63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
3	50 a 25 mm (2 a 1 in)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
357	50 a 4.75 mm (2 in a 1/4 in)	100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
4	37.5 a 19 mm (1 1/2 a 3/4 in)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2 a 1/4 in)	100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
5	25 a 9.5 mm (1 a 3/8 in)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
56	25 a 4.75 mm (1 in a 3/8 in)	100	90 a 100	40 a 85	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
57	25 a 4.75 mm (1 in a 1/4 in)	100	95 a 100	25 a 60	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
6	19 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
67	19 a 4.75 mm (3/4 in a 1/4 in)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
7	12.5 a 4.75 mm (1/2 a 1/4 in)	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 in a 1/8 in)	100	85 a 100	10 a 30	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
89	9.5 a 1.18 mm (3/8 in a 1/16 in)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15
94	4.75 a 1.18 mm (1/4 a 1/16 in)	100	85 a 100	10 a 40	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15	0 a 15

Nota. La tabla muestra la clasificación de granulometría, en base a los porcentajes que pasan en cada tamiz especificado. Obtenido de COGUANOR, NTG 41007. (s.f.). *Agregados para concreto.* Especificaciones. (p. 24). <https://iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>

7.3.3. Agua para concreto

Según la figura 1 el volumen de agua en la mezcla es del 14 % al 21 %, esto indica que el agua en la mezcla representa una gran importancia por todo lo que puede cambiar al aumentar o disminuir su porcentaje en la mezcla de concreto.

Desde el enfoque de Centeno (2016) las funciones principales del agua en la mezcla del concreto son:

- Provocar el proceso de hidratación del cemento al estar en contacto.
- Ayudar a la trabajabilidad del concreto, desempeñando un papel de lubricante.
- Generar formaciones de espacios vacíos en la pasta, para que los productos que derivan de la hidratación tengan suficiente espacio para desarrollarse en la mezcla de concreto.

Presentadas las principales funciones del agua en la mezcla se puede determinar que, el agua utilizada para generar la mezcla de concreto debe tener una mejor calidad a comparación del agua que se utiliza para el curado del concreto. Tomando en cuenta que el enfoque principal del agua en la mezcla es garantizar la adecuada trabajabilidad del concreto.

De acuerdo con Reyes (2012):

Los factores principales del agua, que pueden afectar a la mezcla de concreto son: la pureza del agua utilizada y la cantidad que se esté proporcionando a la mezcla, dado que estas podrían ocasionar reacciones químicas que afecten a la resistencia a compresión del concreto (p. 25).

Cuando el agua contiene impurezas puede verse como resultado, el retardo del fraguado, reducción de la resistencia a compresión, formación de manchas en el concreto, corrosión del acero, cambios en el volumen del concreto, entre otros (Centeno, 2016).

Desde el enfoque de Irungaray (2007):

Una forma rápida y práctica para determinar que un tipo de agua es apropiada para utilizar en la fabricación del concreto, es comprobar si es apta para el consumo humano, esto porque para considerar el agua potable se debe realizar estudios más estrictos de lo que se necesita.
(p. 7)

Por tanto, también se debe considerar que alguna de las aguas no potables es adecuada para utilizarlas en la mezcla.

La forma más segura para determinar que el agua cumpla con lo requerido, es ensayar las probetas de concreto conforme a la norma ASTM C-109, la cual indica que, si un elemento alcanza a los siete días un nivel de

resistencia superior al 90 % del obtenido con probetas que han sido producidas con agua potable o destilada, si esto es así, se indica que el agua es idónea para la fabricación de concreto.

También se puede llevar a cabo el ensayo, definido en la norma ASTM C-191 con el fin de confirmar que las impurezas en el agua no afectan el proceso de fraguado del concreto. La norma ASTM C-94 especifica los criterios y los límites químicos que debe cumplir el agua para su aceptación, los cuales se detallan en las tablas 4 y 5 (American Standard Testing and Materials, 2003).

Tabla 4.

Criterios de aceptación para fuentes de agua

	Límites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, porcentaje mínimo, control a los 7 días	90	ASTM C-109
Tiempo de fraguado, desviación del control, h:mín	De 1:00 antes a 1:30 después	ASTM C 191

Nota. Requerimientos de aceptación de agua para concreto. Obtenido de American Standard Testing and Materials (2003). *Especificaciones normalizadas para el concreto premezclado* (p. 6). <https://www.gcc.com/wp-content/uploads/2020/08/FT-Concreto-Premezclado-0817.pdf>

Tabla 5.*Límites químicos optativos para el agua de lavado*

Producto químico	Concentración máxima, ppm	Método de ensayo
Cloruro como Cl, ppm		
Concreto pretensado o en cubiertas de puentes	500	ASTM D-512
Otros concretos armados en ambientes húmedos o que contengan insertos de aluminio o metales diferentes o con moldes metálicos galvanizados permanentes	1,000	ASTM D-512
Sulfato como SO_4	3,000	ASTM D-516
Álcalis, como $(Na_2O + 0.658 K_2O)$	600	ASTM D-516
Sólidos totales	50,000	AASHTO T-26

Nota. Composición química que debe poseer el agua utilizada para concreto, según su uso. Obtenido de S. Irungaray, S. (2007). *Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado entregado en obra por camiones mezcladores en el departamento de Guatemala, según la norma ASTM C-94.* (p. 8). [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala] Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2714_C.pdf

El uso adecuado del agua en la elaboración de concreto se relaciona con su contenido de sólidos disueltos totales. El agua que contiene una concentración inferior a 2,000 ppm de sólidos disueltos totales es apta para la fabricación de concreto de manera efectiva. Si el contenido de sólidos disueltos supera los 2,000 ppm, deberá someterse a pruebas para poder evaluar el impacto que genera en la resistencia del material y el proceso de fraguado.

7.4. Factores atmosféricos influyentes en la resistencia del concreto

El concreto está conformado por distintos materiales, los cuales tienen distintas propiedades químicas y físicas, que pueden ser afectadas por varios factores, entre estos los factores atmosféricos influyen un 22 % aproximadamente en la resistencia a compresión.

“Existe un gran número de factores que afectan la resistencia a compresión de elementos de concreto fundidos *in situ*” (Morales y Prieto, 2015, p. 6). Algunos de ellos pueden ser los siguientes:

- Temperatura ambiente durante el fraguado
- Humedad ambiente durante el fraguado
- Temperatura del concreto fresco al colocarlo en los elementos a fundir
- Tipo de cemento a utilizar en la mezcla
- Dosificación de cemento
- Relación agua/cemento
- Aditivos usados, que pueden acelerar o retardar el fraguado.

7.5. Efectos de la temperatura en el concreto

Por lo regular las características del concreto se evalúan en condiciones de temperatura controlada, habitualmente estable. Esto es debido a que la mayoría de las pruebas se realizaban en climas moderados.

El resultado de esto, según Neville (2013):

Llevó a seleccionar una temperatura estándar para no generar cambios drásticos, por lo que el rango de temperatura de evaluación ronda entre

los 18 °C y 21 °C. Gran parte del conocimiento sobre las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, están basados en el comportamiento del concreto en este rango térmico. (p. 248)

La realidad es que el concreto es mezclado en una amplia gama de temperaturas, por ello el rango de temperaturas se ha expandido considerablemente debido a él gran número de construcciones modernas que están siendo desarrolladas en regiones del país en climas cálidos y en climas fríos.

En Guatemala existen climas extremadamente cálidos y fríos, dependiendo la región a considerar. El clima más frío hasta la fecha se ha dado en la región de Los Altos, en el departamento de Quetzaltenango, donde se ha registrado una temperatura de -4.6 °C (INSIVUMEH, 2023).

La temperatura máxima registrada hasta la fecha se ha dado en el municipio de Estanduela del departamento de Zacapa, donde se ha registrado una temperatura de 46 °C (INSIVUMEH, 2021).

7.5.1. Efectos que causa la temperatura temprana sobre la resistencia del concreto fundido *in situ*

Los efectos que causa aumentar la temperatura en el proceso de curado del concreto son de mucha importancia. Al aumentar la temperatura se aceleran las reacciones de hidratación, por lo que esto beneficia la resistencia temprana sin perjudicar su resistencia futura.

A pesar de ello, las altas temperaturas iniciales pueden tener efectos desfavorables en la resistencia a partir de una semana después de la fundición. Considerando que la hidratación inicial rápida produce elementos con estructuras físicas menos sólidas, por lo que genera porosidad en los elementos, dando como resultado elementos no homogéneos, lo que provoca una reducción de la resistencia a compresión. Las altas temperaturas iniciales pueden ocasionar una distribución desigual de los productos de hidratación en la pasta de cemento, lo que afecta la resistencia a compresión en un largo plazo.

Investigaciones como la de Neville (2013) demuestran que, las temperaturas iniciales ejercen un impacto significativo en el desarrollo de la resistencia del concreto fundido *in situ*, en sus primeras horas. En conclusión se puede mencionar que, las temperaturas más altas en las primeras 24 horas generan una pérdida de resistencia, mientras que las bajas temperaturas, generan un aumento en la resistencia a corto plazo. Los resultados varían dependiendo de las distintas combinaciones del tiempo de curado y la temperatura de la región.

7.6. Concreto en climas fríos

Son considerados climas fríos cuando la temperatura ambiente promedio es inferior a 5 °C, durante más de 3 días consecutivos. Cuando la temperatura ambiente se mantiene por encima de 10 °C, no se puede considerar como un clima frío (American Concrete Institute, 2016).

El congelamiento del agua en el concreto da como resultado la formación de hielo, el cual, al expandirse en su estado sólido puede debilitar la adherencia entre las partículas del concreto, especialmente cuando el proceso de fraguado no ha comenzado. También las bajas temperaturas producen una reducción de

la actividad química y la velocidad de fraguado del concreto. Por estas razones el ciclo de congelamiento y deshielo tienen graves consecuencias en la calidad final del concreto, incluso si el proceso de fraguado ya ha comenzado.

Cuando se cuenta con obras expuestas a climas fríos es aconsejable tener un equipo adecuado en el sitio para poder calentar tanto el agua como los agregados. Es aconsejable también proteger el concreto durante su colocación y posterior proceso de fraguado, especialmente cuando la temperatura desciende por debajo de los 5 °C. Se debe prevenir el congelamiento del concreto hasta que alcance su resistencia mínima.

7.7. Concreto en climas cálidos

En climas superiores a 28 °C también se puede considerar la baja humedad relativa y vientos intensos. Cuando se presenten estas circunstancias, se debe tomar en cuenta las precauciones adecuadas, especialmente en obras de volúmenes grandes, losas y extensos pavimentos.

Desde el enfoque de Viacava (2015), el clima cálido genera una serie de impactos negativos los cuales son:

- Aumento de la demanda de agua, lo cual altera las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido.
- Reducción de la trabajabilidad generado por la evaporación rápida del agua, lo cual acelera el proceso de fraguado y endurecimiento.
- Cambios significativos en la resistencia, con un aumento a las 24 horas y una disminución a los 28 días. A 40 °C, las resistencias son

aproximadamente un 10 % inferiores que a 20 °C.

- Incremento de la contracción plástica, esto debido a la evaporación acelerada del agua, aumentando en sí la fisuración de los elementos.

Un dato muy importante deduce que, el tiempo disponible para la colocación del concreto fundido *in situ*, se reduce a medida que disminuye el tiempo de fraguado. Se estima que los tiempos de fraguado inicial y final disminuyen en un 50 % cuando la temperatura pasa de 20 °C a 40 °C.

Para contrarrestar estos efectos se debe mantener la temperatura del concreto a un rango por debajo de los 32 °C, pero en caso de estructuras de gran volumen se sugiere no superar los 16 °C. Por ello se debe regular la temperatura de los componentes (Viacava, 2015).

Se puede evitar la pérdida de agua en la mezcla, resguardando la zona donde se funde el concreto, evitando que el sol y el viento afecten a este, con ello se mantiene una temperatura y humedad adecuadas.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Se puede determinar que el porcentaje de la disminución de la resistencia a compresión del concreto fundido *in situ*, en situaciones ambientales extremas utilizando materia prima de la misma fuente de producción, puede llegar al 10 %.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades

1.2. Concreto

1.3. Materiales

1.3.1. Cemento

1.3.1.1. Cemento de aluminato de calcio (CAC)

1.3.1.2. Cemento expansivo

1.3.1.3. Cemento Sulfoaluminoso

1.3.1.4. Cemento Portland

1.3.1.5. Clasificación y uso

1.3.2. Agregados

1.3.2.1. Agregado fino

1.3.2.2. Agregado grueso

1.3.3. Agua para concreto

- 1.4. Factores atmosféricos influyentes en la resistencia del concreto
- 1.5. Efectos de la temperatura en el concreto
 - 1.5.1. Efectos que causa la temperatura temprana sobre la resistencia del concreto fundido *in situ*
- 1.6. Concreto en climas fríos
- 1.7. Concreto en climas cálidos

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

- 2.1. Caracterización de materiales
 - 2.1.1. Agua
 - 2.1.2. Cemento
 - 2.1.3. Agregados
 - 2.1.4. Aditivos
- 2.2. Concretos
 - 2.2.1. Cantidad de agua
 - 2.2.2. Cantidad de cemento
 - 2.2.3. Cantidad de agregados
 - 2.2.4. Cantidad de aditivos
- 2.3. Características de los factores ambientales presentes en la fundición
 - 2.3.1. Temperatura del agua al fundir
 - 2.3.2. Temperatura ambiente al fundir
 - 2.3.3. Cantidad de humedad presente en el ambiente
 - 2.3.4. Temperatura de los agregados
 - 2.3.5. Temperatura de la probeta al colocar el concreto fundido *in situ*
 - 2.3.6. Temperatura del concreto fundido *in situ*
- 2.4. Evaluación de concretos
 - 2.4.1. Estado fresco

2.4.2. Estado endurecido

- 2.4.2.1. Evaluación por el Método de ensayo para la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C-39/C-39M-17b)

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Estado fresco de la mezcla

- 3.1.1. Trabajabilidad
3.1.2. Relación A/C
3.1.3. Temperatura de la mezcla
3.1.4. Masa unitaria

3.2. Estado endurecido de la mezcla

- 3.2.1. Resistencia a compresión a los 28 días

3.3. Comparación de resultados

- 3.3.1. Resistencia a compresión de concreto fundido a temperatura ambiente adecuada contra concreto fundido en temperaturas altas
3.3.2. Resistencia a compresión de concreto fundido a temperatura ambiente contra concreto fundido en temperaturas bajas
3.3.3. Resistencia a compresión de concreto fundido a temperatura ambiente adecuada contra concreto fundido en ambientes con alta humedad o baja humedad
3.3.4. Porcentaje de disminución de la resistencia a compresión del concreto fundido *in situ*, afectado por factores ambientales

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

- 4.1. Formas para contrarrestar la disminución de resistencia a compresión de elementos fundidos *in situ*, afectados por factores ambientales

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo y diseño de investigación

El trabajo de investigación denominado, determinación de la disminución de resistencia del concreto *in situ*, al ser expuesto a factores ambientales, se basa en una investigación tipo exploratoria, la cual busca determinar el comportamiento sobre la resistencia de un concreto fundido *in situ*, ante la exposición de factores ambientales.

La investigación plantea un diseño tipo experimental, tomando acciones luego de evaluar los elementos de concreto, con el fin de evitar la disminución de la resistencia del concreto fundido *in situ*.

10.2. Variables

Los factores ambientales que influyen en la resistencia a compresión del concreto, son clasificados como variables dependientes, los cuales dependerán de varios factores como la temporada del año, la región del país donde se evaluarán los elementos, entre otros factores.

Los resultados obtenidos de las pruebas a compresión de los elementos de concreto arrojarán valores numéricos, clasificándolos como cuantitativos.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La investigación se basará en un análisis univariados de cilindros de concreto, los cuales arrojarán un resultado de la resistencia a compresión cuando son expuestos a factores ambientales en diferentes partes del país y fundidos a diferentes horas del día, esto con el fin de identificar la disminución de resistencia a compresión por lo ya mencionado. Se analizarán tres cilindros por cada región a evaluar, de los cuales uno se fundirá por la madrugada, el otro a medio día y por la noche, para poder evaluar el comportamiento, determinar si existe una disminución y comparar los resultados de estos ensayos.

11.1. Revisión bibliográfica

Se efectuará una investigación previa a realizar la parte práctica, con el fin de conocer cómo se comporta el concreto en su interior y en su exterior, tomando en cuenta que cada material aporta distintas cualidades en el concreto endurecido. Cada cilindro de concreto debe cumplir con ciertos requerimientos que especifican las normas, las cuales se adjuntarán para su respaldo. Esta fase es muy importante porque determina los antecedentes de investigaciones interesadas en el tema, las cuales ayudan a fortalecer la investigación.

11.2. Investigación en campo

Se realizará una visita previa a la fundición de los lugares seleccionados, tomando en cuenta que estos deberán estar expuestos a factores ambientales extremos, como es el caso de la temperatura. En la visita de campo se evaluará

el espacio donde se dejará fraguar los cilindros, se evaluará el comportamiento del clima durante el día en la época del año seleccionada.

11.3. Plan de selección de materiales

Los materiales deberán tener cualidades que aporten sus diferentes objetivos al concreto endurecido. Se deberá seleccionar el agregado grueso, fino, agua, marca y calidad del cemento a utilizar, también se seleccionarán los cilindros utilizados para fundir estos elementos.

11.3.1. Análisis práctico

Se realizará una investigación práctica, con enfoque desde los antecedentes del proyecto y la información generada respecto al tema. Esto con el fin de determinar la disminución de resistencia a compresión en concretos fundidos *in situ* expuestos a factores ambientales.

- Se realizarán las siguientes fases:
 - La determinación de la disminución de resistencia del concreto fundido *in situ* por factores atmosféricos, comenzará con el diseño de mezcla del concreto, tomando en cuenta que se utilizarán agregados iguales para todas las mezclas, con el fin de que estos no tengan una influencia en la disminución de resistencia.
 - Teniendo un diseño de mezcla establecido, con cantidades establecidas de cada material, se procederá a fundir los elementos en diferentes lugares del país donde existen casos extremos de interferencia de factores ambientales. Se fundirán tres cilindros en

cada lugar seleccionado, con el mismo diseño de mezcla y la misma forma de homogeneizar los elementos.

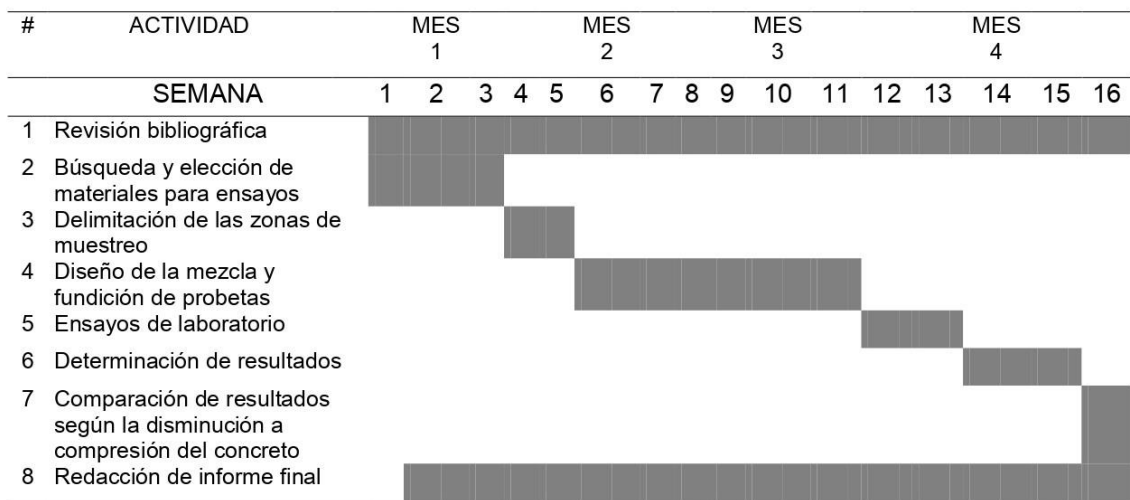
- El primer cilindro se fundirá por la madrugada, considerando que por la mañana es probable tener un ambiente húmedo, frío y que por lo regular las fundiciones de elementos se realizan por la mañana.
- El segundo cilindro se fundirá a medio día, tomando en cuenta que a estas horas del día el sol se posiciona en el centro, donde aporta temperaturas altas, mayor evaporación de agua, entre otros. Se considera estas horas del día, dado que en el país se funden elementos en estas circunstancias.
- El tercer cilindro se fundirá por la noche, donde se puede encontrar intervención de temperaturas bajas y menor humedad en el ambiente. Se considera esta parte del día porque también se funde a estas horas en el país.
- Teniendo tres elementos por cada lugar seleccionado, los cuales fraguarán 28 días, para alcanzar su resistencia máxima a compresión, se proceda a evaluar la resistencia a compresión que estos obtendrán, dando resultados cuantitativos, de los cuales se generará un análisis para determinar la disminución de la resistencia del concreto fundido *in situ*.
- Con los resultados obtenidos y el análisis de estos, se procederá a dar propuestas para poder contrarrestar la influencia de factores atmosféricos al momento de fundir concreto *in situ*.

12. CRONOGRAMA

A continuación, en la siguiente figura, se presenta la organización y duración del trabajo de investigación, fecha de inicio y finalización de cada actividad.

Figura 3.

Cronograma de actividades



Nota. Descripción de las actividades a realizar. Elaboración propia, realizado con Excel.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La factibilidad del estudio está enfocada en la determinación de recursos necesarios para llevar a cabo las investigaciones, para que esta sea factible en la parte técnica como en la parte financiera.

13.1. Factibilidad técnica

La factibilidad técnica se basa en el análisis de los recursos necesarios que se deben tener para realizar el estudio, como los recursos tecnológicos, acceso a información, permisos, recursos humanos, infraestructura, equipo, entre otros.

Tabla 6.

Elementos de investigación

No.	Tipo de elemento
1	Recurso humano
2	Recurso tecnológico
3	Equipo y herramienta

Nota. Recursos a utilizar para realización de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los elementos anteriormente mencionados, describen los recursos técnicos principales para realizar los estudios de investigación del presente trabajo. El recurso humano será realizado por el maestrante, el asesor y el personal de laboratorio para el ensayo de las probetas. Los recursos tecnológicos

se refieren a computadora, internet, programas del paquete Office, herramientas para medir la temperatura de los materiales, herramientas para medir el porcentaje de humedad de los materiales y otras que se requieran en la investigación.

El equipo y herramienta se refiere a los utilizados para fundir la mezcla de concreto *in situ*, al equipo para transportar el material a los diferentes sectores donde se fundirá el concreto y herramientas para evaluar las probetas.

13.2. Factibilidad económica

Es importante evaluar la factibilidad económica de la investigación, para así poder comprobar si se puede ejecutar.

Tabla 7.

Estimación de recursos financieros para la elaboración de la investigación

No.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total (Q)
1	Asesoramiento del trabajo de graduación	Global	1	Q 2,500.00	Q 2,500.00
2	Probetas para ensayo a compresión de concreto	Unidad	12	Q 83.00	Q 996.00
3	Ensayo a compresión de probetas de concreto	Unidad	12	Q 200.00	Q 2,400.00
4	Cemento	Sacos	1	Q 81.30	Q 81.30
5	Arena	m3	1/2	Q 36.00	Q 68.00
6	Piedrín	m3	1/2	Q 248.00	Q 124.00
7	Agua	Litros	12	Q 0.00	Q 0.00
8	Equipo y herramienta para fundición	Global	1	Q 269.00	Q 269.00
9	Mano de obra	Global	4	Q 100.00	Q 400.00
10	Combustible	Galón	20	Q 37.50	Q 750.00

Continuación de la tabla 7.

No.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total (Q)
11	Gastos varios e imprevistos	Unidad	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
12	Impresiones de borradores de trabajo final	Global	3	Q 75.00	Q 225.00
13	Impresiones de trabajo final	Global	1	Q 100.00	Q 100.00
Total, de gastos de elaboración de investigación					Q 9,413.30

Nota. Recursos financieros requeridos para realizar la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Analizando lo antes mencionado se puede determinar que, el proyecto de investigación es viable para su realización, el cual será financiado por el maestrante.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute ACI. (2016). *Guide to cold weather concreting (ACI 306R-16)*. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/University/306R-16_excerpt.pdf.
- American Standard Testing and Materials ASTM C-94. (2003). *Especificaciones normalizadas para el concreto premezclado* <https://www.gcc.com/wp-content/uploads/2020/08/FT-Concreto-Premezclado-0817.pdf>
- American Standard Testing and Materials. (2007). *Standard specification for Portland cement (C-150-07)* [Especificación normalizada para cemento Portland (C-150-07)]. <https://dl.azmanco.com/standards/ASTM-C/ASTM-C-Series-Full/C/C150.pdf>
- American Standard Testing and Materials. (2018). *Standard specification for concrete aggregates (C-33-18)*. [Especificación estándar para agregados de concreto (C-33-18)] https://www.astm.org/c0033_c0033m-18.html
- Burg, R. (1996). *The influence of casting and curing temperature on the properties of fresh and hardened concrete* [La influencia de la temperatura de colado y curado en las propiedades del concreto fresco y endurecido]. Portland Cement Association. <https://inspectapedia.com/structure/Temperature-effect-on-concrete-pours-Burg-1996.pdf>.

Centeno, R. (2016). *Fisuramiento no sísmico del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas de Perú]. Archivo digital. https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4104/Tesis_Fisuramiento_Sísmico_Concreto.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR. (s.f.). *Agregados para concreto. Especificaciones (NTG-41007)*. <https://iccg.org.gt/index.php/normas-tecnicas/normas-tecnicas-guatemaltecas-ntg/agregados>

Comisión Guatemalteca de Normas. (2018). *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño (NTG 41095)*. https://conred.gob.gt/normas/NRD3/1_cemento/NTG_41095_ASTM_C1_157_Cementos_hidraulicos_Especificaciones_por_desempeño.pdf

González, O., y Robles, F. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Limusa. https://www.academia.edu/77126156/Aspectos_fundamentales_del_Concreto_Reforzado_4taEd_Gonz_Cuevas

Harmesen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2021). *Perspectiva climática mensual mes de mayo 2021*. https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2020/05/perspectivaClimaticamay2021_insivumeh.pdf

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2023). *Perspectiva climática mensual enero 2023*.

https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2022/12/perspectivaClimatica_ene2023_insivumeh-2.pdf

Irungaray, S. A. (2007). *Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado entregado en obra por camiones mezcladores en el departamento de Guatemala, según la norma ASTM C-94*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala] Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2714_C.pdf

Kosmatka, S., Herkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association <https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/files/original/4e03b9ddedc81f98353a2e65478f0c50.pdf>

Molina, K. (2006). *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala] Archivo digital. <https://docplayer.es/68253003-Evaluacion-de-morteros-para-albanileria-y-revestimientos-elaborados-a-base-de-cementos-mezclados-con-escorias-de-horno.html>

Morales, J., y Prieto, A. (2015). Análisis de la influencia de factores ambientales en la resistencia a compresión del hormigón armado. *Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente*, 13, 19-27. https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/viewFile/620/576

Neville, A. (2013). *Tecnología del concreto*. IMCYC. <https://www.udocz.com/apuntes/66641/tecnologia-del-concreto-neville>

- Orozco, M., Ávila, R., y Parody. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 10-12. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n2/0718-5073-ric-33-02-00161.pdf>
- Posada, B. (s.f.). La degradación del concreto armado. *Revista Universidad Ealt*, (93), 83-98. <https://es.scribd.com/document/410629068/la-degradacion-del-concreto-pdf>
- Powers. T. (1947). *A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete* [Una discusión sobre la hidratación del cemento en relación con el curado del concreto]. Digital/other <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbproceedings/27/27-018.pdf>
- Reyes, E. (2012). *Resistencia a la corrosión de concretos aligerados con mezclas ternarias*. [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAR de México]. Archivo digital <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2351/1/Tesis%20D.%20Elva%20Patricia%20Reyes.pdf>
- Roa, O. (2016). *Las mezclas de concreto hidráulico con aditivos inclusores de aire cenizas volantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5069/roaparraoscaradolfo2016;jsessionid=BC1DA57A1672F46C713262CB561D07C0?sequence=1>
- Sánchez, A. G. (2022). *Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato de Ecuador]. Archivo digital.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35974/1/Tesis%20I.C.%201610%20-%20Sanchez%20Muñoz%20Angela%20Geomayra.pdf>

Sanjuán, M., y Chinchón, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Universidad de Alicante.
<https://core.ac.uk/download/pdf/32322379.pdf>

Viacava, J. L. (2015). *El concreto en climas extremos*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/el-concreto-en-climas-extremos/47408342>.

