

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ÓXIDO DE CALCIO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. EGOAVIL MORALES, EDGARDO CARLIN

Bach. JIMENEZ ZUBIETA, JESSICA CAROLINE

ASESOR: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres: Zoila y Oscar, mis hermanos Alex y Jean Pier quienes por ellos soy lo que soy, por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, ayuda en momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para mis estudios. Me han dado mis valores, mis principios, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Jessica C. Jimenez Zubieta

"Quiero dedicarle esta investigación a Dios, a mi papá Edgardo, mi mamá Rosanna, a mis dos hermanas, Yusara y Cristal, y hacer un agradecimiento especial a todos los catedráticos de la universidad Ricardo Palma que me enseñaron a ser un buen profesional y persona."

Edgardo C. Egoavil Morales

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por la salud en estos tiempos difíciles de pandemia, a nuestra familia, a nuestra asesora Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes, por su aporte, guía y sabios consejos brindados. De igual modo a nuestro Co-asesor el Dr. Ing. Carlo Magno Chavarry Vallejo, por su orientación y disciplina para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Jessica C. Jimenez Zubieta
Edgardo C. Egoavil Morales

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Formulación de la investigación.....	3
1.3.1 Problema general.....	3
1.3.2 Problemas específicos	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Justificación de la investigación	4
1.5.1 Conveniencia.....	4
1.5.2 Relevancia social.....	4
1.5.3 Aplicaciones prácticas.....	5
1.5.4 Utilidad metodológica	5
1.5.5 Valor teórico.....	5
1.5.6 Importancia.....	5
1.6 Limitaciones de la investigación	5
1.7 Delimitación	6
1.7.1 Delimitación geográfica	6
1.7.2 Delimitación temporal.....	6
1.7.3 Delimitación temática.....	6
1.7.4 Delimitación muestral	6
1.8 Alcance	7
1.9 Viabilidad	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco histórico.....	8
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.2.1 Antecedentes internacionales	9
2.2.2 Antecedentes nacionales.....	19

2.2.3	Artículos relacionados con el tema	22
2.3	Estructuras teóricas y científicas que sustenta el estudio	25
2.3.1	Concreto:	25
2.3.2	Componentes del concreto:	26
2.3.3	Propiedades del concreto:.....	31
2.3.4	La cal	36
2.4	Definición de términos básicos.....	38
2.5	Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis	39
2.5.1	American Society for Testing and Materials (ASTM).....	39
2.5.2	Norma E-060	39
2.5.3	Norma EHE 08	40
2.5.4	American Concrete Institute.....	40
	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	41
3.1	Hipótesis	41
3.1.1	Hipótesis general	41
3.1.2	Hipótesis específicas	41
3.2	Variables	41
3.2.1	Variables independientes.....	41
3.2.2	Variables dependientes.....	41
3.2.3	Variables intervinientes.....	41
3.2.4	Definición conceptual.....	41
3.2.5	Definición operacional	41
2.1.1	Operacionalización de variables.....	43
	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44
4.1	Método de investigación.....	44
4.2	Tipo de investigación.....	45
4.3	Nivel de investigación	47
4.4	Diseño de investigación.....	47
4.5	Población y muestra.....	48
4.5.1	Población.....	48
4.5.2	Muestra.....	48
4.5.3	Unidad de análisis	49
4.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49

4.7 Descripción de procedimiento y análisis	49
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
5.1 Resultados de la investigación.....	66
5.2 Análisis e interpretación de resultados	66
5.3 Contratación de hipótesis:.....	68
DISCUSIÓN	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXO	85
Anexos 1. Matriz de consistencia.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del cemento Portland.....	26
Tabla 2: Clasificación de los suelos.....	30
Tabla 3: Consistencia del concreto (ACI,2015).....	32
Tabla 4: Resumen operacionalizacion de la variable.....	42
Tabla 5: Operacionalización de la variable.....	43
Tabla 6: Ensayo de trabajabilidad con adición de óxido de calcio a los 28 días de curado.	52
Tabla 7: Ensayo de trabajabilidad con adición de porcentajes de óxido de calcio.....	53
Tabla 8: Resultados de trabajabilidad de morteros patrón y morteros definitivos mezcla para el diseño de mezcla.	54
Tabla 9: Ensayo de resistencia a la compresión en las 3 muestras ensayadas y dosificadas con distintos porcentajes de óxido de calcio.	55
Tabla 10: Ensayo de resistencia a la compresión en las 6 muestras ensayadas y dosificadas con distintos porcentajes de óxido de calcio.	57
Tabla 11: Ensayo de resistencia a la compresión en las 10 mezclas ensayadas con adición de distintos porcentajes de óxido de calcio óxido de calcio.....	58
Tabla 12: Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado	59
Tabla 13: Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado final.	60
Tabla 14: Ensayo de Abrams con adición de porcentaje de óxido de calcio.....	62
Tabla 15: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 12,7 mm.	63
Tabla 16: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 12,7 mm.	64
Tabla 17: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 19.1 mm.	65
Tabla 18: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75	69
Tabla 19: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75	71
Tabla 20: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75	72

Tabla 21: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75	74
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evaluación de Factibilidad	28
Figura 2: Ensayo del cono de Abrams	33
Figura 3: Evaluación de Factibilidad	48
Figura 4: Esquematización de procedimiento.....	50
Figura 5: Variación del asentamiento en 6 mezclas diferentes con presencia de porcentajes de óxido de calcio.....	52
Figura 6: Variación del asentamiento en 9 mezclas diferentes con presencia de porcentajes de óxido de calcio.....	53
Figura 7: Variación del asentamiento con presencia de porcentajes de óxido de calcio para el diseño de mezcla.....	54
Figura 8: Resistencia a la compresión para combinaciones con presencia de óxido de calcio (0%,10% y 12%).....	56
Figura 9: Resistencia a la compresión con los diferentes porcentajes de óxido de calcio en la mezcla de concreto.	57
Figura 10: Resistencia a la compresión para combinaciones con presencia de óxido de calcio (5%,10% y 15%).....	58
Figura 11: Tiempo de fraguado inicial de la mezcla adicionando óxido de calcio.....	60
Figura 12: Tiempo de fraguado final de la mezcla adicionando óxido de calcio.	61
Figura 13: Tiempo de fraguado con adición de un porcentaje de óxido de calcio.	62
Figura 14: Resistencia a la compresión del concreto con un tamaño máximo nominal de 0.5 cm.	63
Figura 15: Resistencia a compresión del concreto en tres combinaciones con tamaño máximo nominal de 0.5 cm.	64
Figura 16: Resistencia a la compresión del concreto en tres combinaciones con tamaño máximo nominal de 19.1 mm.	65
Figura 17: Resultados de los asentamientos con adición de un porcentaje de óxido de calcio	70
Figura 18: Resultados de la resistencia a la compresión con adición de un porcentaje de óxido de calcio.	71
Figura 19: Resultados de las resistencias con adición de un porcentaje de óxido de calcio	73

Figura 20: Resultados de las resistencias con adición de un porcentaje de
óxido de calcio 74

RESUMEN

Esta investigación lleva como título “Óxido de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural”. Tuvo como objetivo principal analizar el óxido de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural. Esta investigación fue documental - bibliográfica, donde la información fue recolectada de investigaciones nacionales e internacionales, tanto como tesis y artículos. Las investigaciones revisadas utilizaron el método deductivo, enfoque cuantitativo, el diseño experimental, longitudinal y estudio de cohorte. Al realizar la adición el óxido de calcio en porcentajes óptimos a una mezcla de concreto, esta mejora sus propiedades físicas y mecánicas como la trabajabilidad, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión. Con respecto a la trabajabilidad se determinó que el porcentaje óptimo fue de 4%, con un asentamiento de 11cm. El porcentaje óptimo para aumentar la resistencia a la compresión fue de 4% con una resistencia de 353 kg/cm². Se determinó que la relación a/c de 0.43 con un porcentaje óptimo de óxido de calcio de 4 % en la mezcla de concreto reduce el tiempo de fraguado a 375 minutos. Finalmente, para una mejor mezcla se utilizó del agregado grueso de tamaño máximo nominal de 12.7 mm., con una resistencia máxima de 353 kg/cm².

Palabras clave: Concreto estructural, óxido de calcio, trabajabilidad del concreto, asentamiento del concreto, tiempo de fraguado del concreto, tamaño máximo nominal.

ABSTRACT

The research is entitled "Calcium oxide to improve the physical and mechanical properties of structural concrete." Its main objective was to analyze calcium oxide to improve the physical and mechanical properties of structural concrete. This research was documentary - bibliographic, where the information was collected from national and international research, both as theses and articles. The reviewed investigations used deductive method, quantitative approach, experimental design, longitudinal and cohort study. By adding calcium oxide in optimal percentages to a concrete mix, it improves its physical and mechanical properties such as workability, setting time, and compressive strength. Regarding workability, it was determined that the optimum percentage was 4%, with a settlement of 11cm. The optimum percentage to increase the compressive strength was 4% with a resistance of 353 kg/cm². It was determined that a w/c ratio of 0.43 with an optimum percentage of calcium oxide of 4% in the concrete mix reduces the setting time to 375 minutes. Finally, for a better mixture, the coarse aggregate with a nominal maximum size of 12.7 mm. was used, with a maximum resistance of 353 kg/cm².

Keywords: Structural concrete, calcium oxide, concrete workability, concrete slump, concrete setting time, nominal maximum size.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más utilizado en la construcción debido a su rendimiento en estado fresco y endurecido, sin embargo, las condiciones climáticas pueden afectar en cualquiera de sus dos estados mencionados. Por ese motivo es necesario el uso de diversos aditivos, los cuales permiten reducir los efectos que puedan perjudicar en la calidad final del concreto. Esta investigación nos permite ampliar el conocimiento del óxido de calcio y la utilización de este aditivo en mezclas de concreto, modificando sus propiedades físicas y mecánicas como la trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, puesto que se desarrolla una opción diferente a la usada tradicionalmente. La cual permitirá mejorar diferentes recursos como la mano de obra, rendimiento y parte del costo, de esta manera aportando para una mejora en la industria de la construcción. Las propiedades físico-mecánicas son esenciales para alcanzar un concreto funcional y de calidad en una obra civil, lo cual incentiva este estudio para obtener una mejora en las características de la mezcla como su trabajabilidad, resistencia a la compresión, protegiendo los beneficios de los constructores y usuarios finales. Se analiza la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con la adición de óxido de calcio, estudiando las dosis óptimas de diferentes investigaciones, considerando relaciones agua - cemento, tamaños máximos nominales, y mezclas con la adición de óxido de calcio. La tesis se encuentra organizada en cinco capítulos, cuyo contenido se describe a continuación:

Capítulo I: Planteamiento del problema, descripción del problema, formulación del problema, los objetivos, la justificación, los alcances, limitaciones, delimitaciones, alcance y viabilidad de la investigación.

Capítulo II: Marco teórico, aspectos teóricos relacionados al uso del óxido de calcio en mezclas de concreto, tanto en investigaciones nacionales e internacionales, así mismo sus características, como también los procedimientos adecuados para la realización de los diversos diseños de mezclas.

Capítulo III: Sistema de hipótesis general y específica, el diseño del sistema de variable y la operacionalización de variables.

Capítulo IV: Metodología de la investigación, se propuso la metodología de trabajo para la investigación, determinando el tipo, nivel y diseño de la investigación, así como también las técnicas e instrumentos de la recolección de datos.

Capítulo V: Presentación y análisis de resultados, se expusieron los resultados obtenidos en base a ellos, se realizó el análisis de dichos resultados. Se realizó la contrastación de las hipótesis planteadas.

Finalmente, se presenta la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional la construcción es considerada como una de las actividades económicas más prioritarias, ya sea por su alta demanda de generación de nuevas obras de beneficio social, así como el efecto positivo que genera en las economías de las diversas naciones de nuestro planeta. En el Perú actualmente predomina la construcción informal. Según CAPECO el 80% de viviendas en el país son informales. Nuestra sociedad necesita estructuras eficientes que brinden seguridad y confort a la comunidad. Uno de los componentes más importantes de las estructuras es el concreto, cuyas propiedades deben otorgarle la mejor calidad posible. En esta investigación estudiaremos al óxido de calcio, este es un químico que va a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural. Es por esto que antes de diseñar una mezcla de concreto es importante conocer la geografía y las diversas temperaturas de la zona donde será vaciado este concreto, es por ello que la proporción de los elementos de la mezcla de concreto, así como la cantidad de óxido de calcio podrían variar al momento del diseño en función a las consideraciones térmicas.

1.2 Formulación del problema

Una de las tecnologías estudiadas en el concreto es la aplicación de químicos ya que estos permiten incrementar sus resistencias como el óxido de calcio. Este químico cuenta con un porcentaje óptimo para mejorar las propiedades del concreto estructural. Nuestro país es muy diverso tanto en el aspecto geográfico como en su variedad de microclimas.

1.3 Formulación de la investigación

1.3.1 Problema general

¿De qué manera el óxido de calcio influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural?

1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de óxido influye en la trabajabilidad del concreto estructural?
- b) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de óxido de calcio influye en la resistencia a la compresión del concreto estructural?

- c) ¿De qué manera la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio, influyen en el tiempo de fraguado del concreto estructural?
- d) ¿De qué manera el tamaño máximo nominal influye en la mezcla del concreto estructural?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Analizar el óxido de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio para incrementar la trabajabilidad del concreto estructural.
- b) Determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio para aumentar la resistencia a la compresión del concreto estructural.
- c) Determinar la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio, para reducir el tiempo de fraguado.
- d) Determinar el óptimo tamaño máximo nominal para mejorar la mezcla del concreto estructural.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Conveniencia

Esta investigación servirá como base teórica de la influencia del óxido de calcio en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, para la ampliación de conocimiento sobre el tema, futuras investigaciones, consideraciones en los diseños de mezcla de concreto, asegurando la calidad final del concreto.

1.5.2 Relevancia social

La investigación resalta para la sociedad porque el propósito es de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural para obtener construcciones con alta resistencia y durabilidad, favoreciendo los beneficios de los constructores, clientes y usuarios finales.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

El desarrollo de la investigación aportará a la importancia del óxido de calcio en el concreto, sirviendo de referencia para posteriores investigaciones documentales y experimentales, en las cuales se deba utilizar la información estudiada.

1.5.4 Utilidad metodológica

La investigación consta de artículos, documentos y tesis nacionales e internacionales, relacionadas al tema de investigación, posteriormente se analizará el desarrollo experimental de estas investigaciones, para después realizar una comparación de resultados de dichas investigaciones.

1.5.5 Valor teórico

La presente investigación aportará conocimiento acerca del óxido de calcio en una correcta dosificación, a fin de evitar una disminución en su trabajabilidad, agrietamientos entre otros problemas que se puedan presentar en una estructura de concreto estructural.

1.5.6 Importancia

En la actualidad el concreto estructural es fundamental para diseñar óptimamente diferentes tipos de construcciones, sin embargo, se ha podido apreciar en toda construcción varios tipos de fallas en sus acabados en climas fríos, templados, y cálidos, que al transcurrir los años tienden a dañarse. La importancia de esta investigación es fundamental para ampliar el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural haciendo uso del óxido de calcio en los diversos climas de nuestro país, ya que esto permitirá que el concreto sea más fluido permitiendo la facilidad del vaciado sin necesidad de vibración para su colocación, así mismo evitar las fallas en estructuras de concreto mediante un adecuado control de calidad.

1.6 Limitaciones de la investigación

El estudio está limitado al tema del concreto estructural por la incorporación de óxido de calcio al concreto, así como su dosificación varían según el investigador.

La presente investigación no realiza ensayos de laboratorio, visitas a campo, visitas a plantas de concreto debido al estado de emergencia actual que estamos atravesando por el COVID-19. Por esa razón se realizó una investigación descriptiva, la cual se encuentra limitada por fuente bibliográficas obtenidas en su mayoría virtualmente, tales como libros, documentos, artículos e investigaciones nacionales e internacionales.

1.7 Delimitación

1.7.1 Delimitación geográfica

Lima metropolitana tiene climas calientes, bochornoso, áridos y nublados y los inviernos son frescos y largos, se encuentra a 161 m.s.n.m. Presentando un clima húmedo, de tipo subtropical que varía durante el transcurso del año, cuya temperatura se encuentra en el rango de 16°C a 27°C. Por lo que esta investigación será descriptiva.

1.7.2 Delimitación temporal

La investigación se realizará en el presente año 2021.

1.7.3 Delimitación temática

- Campo:
Elementos estructurales.
- Área académica:
Ingeniería Civil.
- Línea de Investigación:
Tecnología del concreto.
- Sub línea de investigación:
Construcción.

1.7.4 Delimitación muestral

La muestra de estudio en la presente investigación son los ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión del concreto que incluirán el porcentaje de óxido de calcio, realizados por los autores de los artículos e investigaciones de referencia.

1.8 Alcance

El alcance de la investigación llega hasta obtener suficiente estudio del óxido de calcio con referencia a las propiedades físicas y mecánicas en la fase endurecida del concreto fluido, además se hacen recomendaciones sobre el óptimo porcentaje de adición a emplear bajo un cierto requerimiento.

1.9 Viabilidad

La investigación será un proyecto descriptivo, se considera que los objetivos planteados son viables, teniendo en consideración la recolección de investigaciones nacionales e internacionales, ya que no se realizan ensayos en laboratorio y sepamos distinguir de la información que nos aporta al tema de investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

La industria de la construcción es la protagonista en el desarrollo de las sociedades, sin embargo, a pesar de su importancia de la práctica constructiva es uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos. En consecuencia, en la actualidad, muchos países, experimentan nuevas prácticas de ahorro de recursos naturales mediante la utilización de materiales reciclables.

La utilización de residuos es una alternativa que podemos aprovechar para mejorar las propiedades del concreto; con esto estamos contribuyendo con el medio ambiente y el ahorro de costos. Por ello la presente investigación plantea la utilización de óxido de calcio extraído como una alternativa de adición al concreto y así mejorar sus propiedades en estado fresco (trabajabilidad y tiempo de fraguado) y endurecido (resistencia a compresión, densidad, porosidad y absorción). Para el desarrollo se utilizó agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2", agregado fino con módulo de finura de 2.5, cemento Pacasmayo Tipo I y se elaboró un diseño de mezcla de concreto de $f'c$ 280 kg/cm², con relación agua/cemento de 0.52, con súper plastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% con respecto al peso del cemento, siguiendo los parámetros del comité ACI 211(Durand, 2017).

Se adicionó a la mezcla de concreto óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3% ,4%, 5% y 6% con respecto a la mezcla de concreto, donde primero tuvo que pasar por un proceso de precalcinación a una temperatura de 600°C, luego por un proceso de molienda y tamizado hasta obtener un tamaño de 75 μ m y finalmente la calcinación en un horno a temperatura de 750°C por 4 horas. En estado fresco se realizó ensayo de trabajabilidad y el tiempo de fraguado teniendo en cuenta las normativas ASTM C143 y ASTM C403 respectivamente. En estado endurecido, se realizó el ensayo de compresión a probetas cilíndricas de 0.10m de diámetro y 0.20 m de altura a 28 días de curado bajo norma ASTM C31 y ASTM C39; y se determinó la densidad, absorción y porosidad bajo la norma ASTM C642. Se determinó que el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio es al 4% para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido, obteniendo una mezcla plástica, trabajable, con una

resistencia máxima de 353 kg/cm² a 28 días. Asimismo, presentó la mayor densidad, con una mínima porosidad de 4.69% y una absorción de 1.54%. Finalmente se realizó un análisis de costos comparativo con respecto a un concreto adicionado con microsílíce Rheomac SF100 (Durand, 2017).

Realizaron un análisis térmico diferencial y tuvo como objetivo determinar la resistencia a la compresión de un concreto $f^c=210$ kg/cm². demostrando que hay pérdida de masa y calorimetría en una composición química con una sustitución en 5% y 7% del cemento, para su evaluación. En esta investigación concluyo que se podría alcanzar la mayor resistencia a la compresión adicionando un 7% de arcilla. Motivo por el que existe la posibilidad que se puedan obtener resistencias mayores si se incrementa un porcentaje más de arcilla para futuras investigaciones (Vasquez, 2017).

Duran et al. (2017) Determinaron que al agregar 80.74 % de óxido de calcio disponible se reduce 2.677 % de quemado con una reactividad de 18°C con 0.522 % de pérdida de calcinación, todo ello para un ingreso de 7.050 %.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Antecedentes internacionales

El objetivo fundamental de este proyecto de investigación ecuatoriano se centró en caracterizar de las propiedades en sus estados plástico y endurecido, para morteros adicionados con cal y su comparación con mortero de cemento y arena bajo la norma ecuatoriana INEN 2518_2010 de “morteros para unidades de mampostería” y con el mortero utilizado comúnmente en nuestro medio. De igual forma se investigaron y analizaron los requisitos mínimos de los materiales utilizados en la fabricación del mortero de pega de mampostería, como la cal, el cemento, los áridos, y el agua. Así mismo el investigador realizó y definió los ensayos en laboratorio necesarios para el estudio del mortero de pega de mampostería común y con adiciones de cal. Norma ecuatoriana INEN 2518 numeral 8, además se realizarán pruebas tanto en estado plástico como en estado endurecido, bajo normas ASTM y NTC (Gonzales, 2016).

El propósito de este proyecto español consistió en diseñar concretos para proyectos en armonía con la naturaleza, utilizando el concepto de desarrollo sostenible. Esto implica el uso de materiales de alto rendimiento, respetuosos con el medio ambiente y producidos a un costo razonable. Se tuvo por objeto diseñar un conglomerante con menor huella de carbono sustituyendo el 50% del cemento Portland por ceniza volante y añadiendo cal hidratada (CL), con el fin de mantener unos niveles de resistencia y durabilidad semejantes a concretos de 100% cemento portland, estimados a largo plazo (Calabuig, 2015).

Realizó esta investigación con la finalidad de determinar y analizar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de un diseño de concreto convencional adicionando fibra de cáñamo en condiciones normales. También estableció las condiciones en que se va a trabajar la fibra adicionándola al concreto. Se realizaron diseños en laboratorio como la elaboración de una mezcla para un concreto normal con una resistencia a la compresión de 4000 psi, y la elaboración de una de mezcla para un concreto adicionando fibra de cáñamo al 1% del peso total de concreto, basado en un concreto normal con una resistencia a la compresión de 4000 psi. Las muestras se sometieron condiciones adecuadas a ensayos de compresión y flexión. Finalmente se comparó y evaluó el concreto en estudio con un concreto convencional. (Terrerros et al., 2016).

La finalidad de esta tesis doctoral fue aportar soluciones para gestionar la reutilización y reciclaje de las escorias blancas de Horno Cuchara LF y de la escoria negra de Horno Eléctrico de Arco EAF, y propone aplicaciones útiles y viables desde un punto de vista técnico, económico, energético, medioambiental y logístico. Se caracterizó en estado fresco y estado endurecido los morteros bastardos y de cal con áridos siderúrgicos (García, 2017).

La investigación tuvo como finalidad estabilizar los suelos cohesivos de las vías en la Comunidad San Isidro del Pegón, Municipios de Potosí, Departamento de Rivas con una mezcla de cal hidratada. El tesista recolectó

materiales en diferentes puntos de las vías para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Buscó contribuir de manera sistemática al cálculo de la estabilización de suelos cohesivos con cal, mediante un proceso sencillo y confiable que se pueda usar fácilmente (Altamirano et al., 2015).

Los objetivos de esta investigación incluyen el estudio de los efectos de las cenizas volantes bajas en calcio sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón de alta resistencia y también el estudio de los efectos de la adición de cal sobre las propiedades del hormigón de cenizas volantes de alta resistencia. Las propiedades que se estudiaron incluyen asentamiento, resistencia a la compresión, absorción de agua, soportividad, volumen aparente de huecos permeables y rápida penetración de iones de cloruro. La resistencia a la compresión se probó a los 7, 28, 60 y 90 días, mientras que las propiedades de durabilidad se probaron a los 28, 60 y 90 días (Salman, 2020).

Grandes cantidades de residuos de lodo carbonatado (CMW) deben eliminarse durante la producción de azúcar. Fabricación después del proceso de carbonatación. El peso ligero de CMW permite su utilización como reemplazo parcial del cemento para reducir costos y emisiones de CO₂. Aquí, varios niveles de CMW, es decir, 0, 5, 10, 15, 20 y 25% en peso se aplicaron para producir muestras de cemento compuesto con cemento Portland ordinario (OPC) como una serie de diseño de mezcla regular (Abdelatif et al., 2020).

La búsqueda de materiales alternativos que sustituyan parcialmente el cemento Portland debido a la problemática ambiental que presenta este en su producción, nace la necesidad de investigar el empleo de mezclas ternarias (cemento Portland de uso general (OPC), residuo de mampostería (RM) y cal hidratada (CAL) para mejorar las propiedades de los concretos y disminuir su impacto ambiental. En este sentido, esta investigación realizó un diseño de mezclas de vértices extremos para estudiar el efecto del empleo de RM proveniente de residuos de construcción y demolición (RCD) y CAL

como sustitución parcial del cemento Portland (hasta un 20 % en peso) en concretos ternarios en la resistencia a la compresión a los 28 días de curado. Por otra parte, se evaluó las propiedades en estado fresco (asentamiento) y endurecido, como la resistencia a la compresión, tracción indirecta, absorción y porosidad y succión capilar. Los resultados mostraron que a mayor porcentaje de reemplazo de RM y menores de CAL presentaron mejores resistencias a la compresión que cuando se presentaba mayores porcentajes de cal hidratada. La resistencia a la compresión aumentó en 25,1% y 16,1% a los 28 y 60 días de curado con respecto a la mezcla patrón (Urrego, 2019).

El tesista estudió la durabilidad del hormigón armado recurriendo al análisis de estructuras antiguas, centrandó nuestro estudio en los fenómenos de la carbonatación, penetración de iones de cloruro, y de la corrosión de las armaduras (Rojas, 2006).

En esta investigación se caracterizaron las propiedades en sus estados plástico y endurecido, para morteros adicionados con cal y su comparación con mortero de cemento y arena bajo la norma ecuatoriana INEN 2518_2010 de “morteros para unidades de mampostería” y con el mortero utilizado comúnmente en nuestro medio (Gonzales de la Cadena, 2016).

En este trabajo se determinó y analizó las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo en condiciones normales (Terrerros, 2016).

Se realizaron ensayos de resistencia última a la compresión uniaxial y tracción indirecta en cilindros normalizados de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, en los cuales se indujeron juntas frías planas y lisas de orientación horizontal, diagonal y vertical. Estas juntas frías tuvieron tiempos de formación de 2, 4, 6 y 8 horas y se usaron moldes metálicos para dar cada una de las inclinaciones, razón por la cual el plano resultante era liso (Torres, 2016).

La finalidad de este estudio fue comprobar, experimentalmente, si el uso de cal en la mezcla para el mortero para pega de bloques de mampostería trae

beneficios en sus propiedades. Se obtuvieron los porcentajes de retención de agua y contenido de aire de los morteros y se compararon con las especificaciones de la norma ASTM C270. Asimismo, se determinó la resistencia a la compresión a los 7, 28 y 56 días; la resistencia a los 28 días se comparó con la norma ASTM C270. En primer lugar, se visitaron caleras en Costa Rica, se realizaron pruebas químicas a las cuales, se determinó su granulometría y retención de agua (Navas, 2015).

Las propiedades y el mecanismo del hormigón bajo corrosión por fugas de agua fueron estudiado en términos de la disolución de óxido de calcio y óxido de silicio del hormigón y la variación de un valor de pH del agua de permeado. Los resultados experimentales muestran que la cantidad de óxido de calcio y el óxido de silicio disuelto por metro cúbico de hormigón disminuye gradualmente con el tiempo de penetración y en última instancia, estabilizarse en un cierto valor. El valor de pH del agua de permeado desciende junto con la penetración, tiempo. La durabilidad del hormigón bajo corrosión por fugas se analizó mediante una fórmula colocada en la cantidad disuelta de óxido de calcio (Xueliang, 2008).

En esta investigación experimental se obtuvieron resultados sobre la resistencia a la compresión y las propiedades de permeabilidad de la mosca. En este documento se presentan los hormigones geo poliméricos a base de cenizas. Las cenizas volantes fueron reemplazadas parcialmente con 0%, 10%, 20 y 30% del cemento Portland ordinario (OPC). Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y permeabilidad. Propiedades tales como absorción de agua, porosidad, soportividad y permeabilidad rápida del cloruro hasta la edad de 365 días (Ankur, 2017).

Las cenizas volantes son un subproducto principal de las centrales eléctricas de carbón y están bien aceptadas como material puzolánico que se puede utilizar como aditivo mineral en hormigón. Hormigón de cenizas volantes de alto volumen (HVFA), que tiene típicamente 50-60% de cenizas volantes como el contenido total de materiales cementosos, se usa ampliamente para lograr la sostenibilidad desarrollo de la industria del hormigón. El desarrollo

de la resistencia a la compresión es la más importante propiedad de ingeniería del hormigón endurecido (Xiao-Yong, 2015).

El uso de las cenizas volantes como material de reemplazo del cemento aportan economía y sostenibilidad a la construcción de hormigón. A pesar de los beneficios económicos y ambientales, ceniza voladora, la incorporación en hormigón reduce su rendimiento a temprana edad. Por tanto, el objetivo principal de esta investigación es incrementar el nivel de incorporación de cenizas volantes en el aglutinante híbrido (cemento más cenizas volantes) utilizando la técnica de activación de sulfato para superar el problema de rendimiento a una edad temprana (Muhammad, 2020).

Se investigó sobre el desarrollo de hormigón geo polimérico que puede fraguar y endurecer en condiciones normales, la temperatura ampliará su aplicación más allá del hormigón prefabricado. Este documento se ha centrado en un estudio de concreto geo polímero a base de cenizas volantes adecuado para condiciones de curado ambiental. Un pequeño se agregó una proporción de cemento Portland ordinario (OPC) con cenizas volantes bajas en calcio para que acelere el curado del concreto geo polímero en lugar de usar calor elevado (Nath, 2015).

Se indagó sobre el uso de cal (apagada o viva) para estabilizar suelos. El principal objetivo de esta investigación es mejorar la resistencia del suelo comprimido a la acción del agua de lluvia. Para ello, antiguos y contemporáneos. Se analizó el conocimiento. Se estudiaron diferentes mezclas de suelo estabilizado con el fin de probar los efectos de cal viva, aceites y un aditivo mineral. Los principales resultados obtenidos en esta investigación mostraron que la cal viva conduce a un mayor rendimiento en la resistencia a la compresión y una erosión significativamente reducida en el acelerado (Eires, 2017).

Se estudió la posibilidad de utilizar áridos de hormigón reciclado (RCA) derivados de residuos de construcción y demolición (RCD) ha recibido enormes intereses de investigación en las últimas décadas, debido a su

potencial para reducir la huella de carbono de la fabricación de hormigón (Masood, 2020).

Con la creciente aplicación de estructuras de hormigón con grandes longitudes longitudinales (por ejemplo, estructuras subterráneas de gran volumen, pisos de un solo tramo y losas a nivel), la durabilidad del concreto es un tema crítico que influye en el comportamiento a largo plazo de las estructuras. Es por lo previo que es fundamental indagar en el efecto de los agentes expansivos en el hormigón compensador de retracción con bajo contenido de fibras (Pan, 2020).

Este estudio examina la trabajabilidad, resistencia y microestructura del eco-hormigón de alta resistencia que incorpora agregado de ladrillos de arcilla reciclada y arcilla calcinada (Olofinnade, 2021).

El hormigón permeable es un tipo especial de hormigón utilizado para la gestión de aguas pluviales debido a su alta porosidad y permeabilidad. Sin embargo, los poros grandes en el concreto permeable resultaron en su baja resistencia mecánica. Además, las emisiones de gases de efecto invernadero de Portland. La producción de cemento (PC) es alta y contribuye a los cambios climáticos que conducen al cambio climático. Se utilizaron residuos de carburo de calcio (CCW) y ceniza de cáscara de arroz (RHA) como suplemento. Además de un material cementoso para reemplazar parcialmente el cemento Portland en un 5%, 10%, 15% y 20%. La metodología de superficie de respuesta se utilizó para diseñar los experimentos y desarrollar modelos para predecir la absorción de agua y la permeabilidad de la PC (Adamua, 2021).

Se investigó sobre los hormigones espumados (FC), los cuales tienen una estructura de matriz más fuerte que los hormigones ligeros. La porosidad de la espuma y los hormigones ligeros se reducen a medida que aumenta la densidad del material. además, la porosidad del hormigón ligero se ve muy afectada por las características de los poros de los agregados y la de FC está totalmente afectado por la estructura porosa de la matriz (Calis, 2020).

Este artículo propone realizar una corta revisión sobre la tecnología del concreto autocompactante, cuáles son los beneficios, los métodos de ensayo para la evaluación del concreto los materiales y algunos elementos de diseño (Toxement, 2020).

El presente estudio muestra un análisis del comportamiento de la resistencia con respecto a las relaciones A/C para concretos, al usar cementos tipo UG y MP-AR, con dos marcas nacionales (A y B) y utilizar dos tipos de agregado fino, arena y polvo piedra, a las edades de 7, 28 y 56 días. Esta investigación fue realizada entre el Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto (ICCYC) y el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) (Elizondo, 2013).

En este artículo se determinaron las concentraciones de óxidos en dos tipos de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) de la región caribe colombiana, y se compararon con las concentraciones de los mismos en el cemento portland tipo II (Ávila et al., 2017).

En este artículo, la utilización de agregado de hormigón asfáltico reciclado (RACA) en mortas altas en calcio. Se exploró el concreto geo polímero de ceniza (HFGC). El agregado de piedra caliza gruesa fue reemplazado por RACA al 0, 20 y 40% en peso del agregado. El NaOH (NH) 10 M, silicato de sodio (NS), para hacer un hormigón geo polímero curado a 25 °C (Wongkvanklom, 2021).

Actualmente, y en el ámbito de la ingeniería civil, el georradar se aplica en un gran número de estudios, como son el análisis del estado de pavimentos, puentes, túneles, edificios, en la detección y localización de instalaciones, así como en la caracterización y diagnóstico de materiales de construcción (Martínez, 2017).

Este artículo tuvo como finalidad restaurar la iglesia del Rosselló, aplicando hormigón de cal, cal hidráulica, aditivo reductor de agua, pigmentos (Rosell, 2018).

El uso de carbonato cálcico, óxido cálcico y sulfato cálcico en alta concentración en tuberías de goteo a través del agua de riego provoca la obstrucción de las tuberías de goteo, el objetivo de este estudio fue evaluar la obstrucción de emisores por precipitados químicos de carbonato de calcio, óxido de calcio y sulfato de calcio en alta concentración. Las dosis utilizadas fueron 10 veces la solubilidad de cada producto (Rocha, 2015).

El objetivo principal del artículo es calcular la conductividad térmica para tres experimentos compuestos de cáñamo-cal utilizados con fines de construcción estructural con el uso de la técnica experimental párese dentro de dos compartimentos. Debido a las tendencias actuales de construcción, estamos constantemente buscando materiales ecológicos que tienen una huella de carbono baja (Pochwala et al., 2020).

La lixiviación de calcio es un progreso de degradación dentro de los compuestos de cemento endurecido, donde el Ca^{2+} + los iones en la solución de los poros de cemento pueden migrar a la solución agresiva. En este trabajo, la lixiviación de calcio de compuestos de cemento reforzado con óxido de grafeno (GO) se caracterizó eficazmente por técnicas de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y microscopio electrónico de barrido (SEM). También se examinó el mecanismo inhibitor de GO sobre la lixiviación de calcio de los compuestos (Wu-Jian et al., 2020).

Bajo un estudio de tres tipos de polímero de policarboxilato con diferentes características (Ph, contenido sólido, contenido de aire, etc.) agregado a mezcla de hormigón, evaluando el tiempo de fraguado del cemento, trabajabilidad, densidad y resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado, se añadió un rango de 0 a 25% de este aditivo (en peso seco de cemento). La relación a/c fue inicialmente de 0.60 y disminuyó gradualmente a una relación de 0.46 en función de los tipos y la cantidad de polímeros. Dado que los polímeros superplastificantes de policarboxilato están retrasando la hidratación de C3A, el tiempo de fraguado inicial y final de la pasta de cemento aumentaba al aumentar la cantidad diferente de

polímeros. La trabajabilidad midiendo el asentamiento del concreto mejoró en promedio un 25% realizando ensayos de slump, sin embargo, también incrementó levemente la viscosidad. La resistencia a la compresión con solamente un rango de 0.05% a 0.25% de aditivo aumento entre 24% y 97% a los 3 días de curado, esta tasa de crecimiento fue mayor a corto plazo que a largo plazo. La adición de humo de sílice a este ensayo puede generar un aumento de resistencia a la compresión, un 25% de esta adición a la mezcla con aditivo a base de policarboxilato, puede aumentar un 40% sin embargo el asentamiento se ve afectado gravemente un 50% (Burhan, 2019).

Las características clave del hormigón autocompactante son fluidez, resistencia a la segregación y habilidad de pase. El control de calidad de la fluidez se predice típicamente por el diámetro final. En este estudio se correlaciona el tiempo necesario para alcanzar el diámetro final de la prueba de asentamiento con la segregación dinámica y la relación de agregado a aglutinante. Se demostró que la prueba de asentamiento es capaz de indicar resistencias de segregación dinámica además de la fluidez. Esto refuerza la prueba de asentamiento como una prueba de control de calidad más completa para el SCC (Tregger, 2015).

El concreto unifabricado prácticamente reducen los impactos ambientales negativos y mejoran la rentabilidad en la industria al reemplazar una parte del cemento con un alto volumen de producto de desecho. Se considera el uso de aditivos de residuos para incrementar el valor, especialmente hormigón de alto rendimiento. Autocompactante concreto (SCC) se considera un alto concreto de rendimiento debido a su trabajabilidad. Todos los encofrados con barras de acero congestionadas, pero sin compactación con vibrador. Esta investigación estudia las propiedades del SCC mezcladas con diferentes niveles deflcniza (FA) y polvo de carbonato de calcio (CC). El cemento Portland ordinario fue reemplazado por FA al 20%, 30% y 50% en peso y carbonato de calcio al 5%, 10% y 20% en peso (Promsawata, 2020).

El aumento de la productividad de las cenizas volantes, los desechos de las plantas de energía y la disponibilidad reducida de agregados naturales son amenazas graves para nuestro medio ambiente y sostenibilidad. La utilización estratégica de estos residuos para satisfacer las necesidades de la industria de la construcción puede resolver estos problemas. Este artículo tiene como objetivo evaluar el desempeño del hormigón ligero estructural (LWC) producido mediante la utilización de altos volúmenes de cenosfera de cenizas volantes (FAC) y agregado de cenizas volantes sinterizadas (SFA), obtenido a partir de cenizas volantes, con humo de sílice (SF). Los agregados naturales fueron reemplazados parcial o totalmente por FAC y SFA. De manera similar, el cemento fue reemplazado en parte por SF. Se prepararon diecisiete mezclas de concreto con diferentes combinaciones de FAC (75% y 100%), SFA (75% y 100%) y SF (10%, 12% y 15%), incluida una mezcla de control. Se evaluaron las propiedades mecánicas, físicas y no destructivas de estas mezclas de hormigón para satisfacer los criterios especificados de la LWC estructural (Majhi, 2021).

El hormigón es un material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo y durante la producción de materiales ordinarios. Cemento Portland (OPC), se consume una cantidad significativa de energía y simultáneamente la emisión de una gran cantidad. El hormigón es un material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo y durante la producción de materiales ordinarios de CO₂ en la atmósfera ocurre. El CaCO₃ calcinación. El proceso descarga alrededor de 0,53 toneladas de CO₂ a la atmósfera para la producción de 1 tonelada de OPC y si se utiliza combustible de carbono como una fuente de energía para la producción de OPC, el adicional 0,45 toneladas de CO₂ podría producirse. En consecuencia, para la producción de 1 tonelada de OPC, alrededor de 1 tonelada de CO₂ se libera a la atmósfera. Actualmente, 4.0 mil millones de toneladas de cemento (Pu, 2021)

2.2.2 Antecedentes nacionales

La investigación tiene como finalidad central Evaluar la influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y

absorción del concreto para elementos estructurales. De igual manera se busca Establecer el porcentaje óptimo de óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido. También determinar el comportamiento en estado fresco mediante los ensayos de trabajabilidad y tiempo de fraguado de un concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%. Y finalmente verificar el comportamiento en estado endurecido del concreto medido a través de la resistencia a compresión a 28 días, densidad, porosidad y absorción de un concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% (Durand, 2017).

La presente investigación tuvo por finalidad analizar los resultados de la evaluación del uso de óxido de calcio (CaO) el cual disminuirá el asentamiento del concreto mejorando su resistencia a la compresión para los diferentes elementos estructurales en la provincia de Huaura - Lima provincia, durante el año 2018. Emplear el uso del óxido de calcio en el concreto en estado endurecido, la cual mejora la compresión, densidad y porosidad para los diferentes elementos estructurales en la provincia de Huaura (Padua, 2019).

El propósito fundamental de esta investigación consistió en obtener la combinación adecuada de la cal y arcilla que, sustituida al cemento en determinado porcentaje, mantenga u optimice la resistencia a la compresión del concreto de diseño. Para lograr el fin previamente expuesto se realizó la extracción y activación mecánica de la arcilla para ser empleada en la sustitución del cemento. Se determinó el pH de la arcilla, cal y las combinaciones de cal, arcilla y cemento empleados para la elaboración de los testigos de concreto. Posteriormente se determinó la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de los especímenes de concreto elaborado con las nueve combinaciones de cemento, cal y arcilla. Finalmente se obtuvo la combinación óptima de cemento, la cal y arcilla que proporcione un

concreto con una resistencia muy cercana a la resistencia de diseño (Pajuelo, 2018).

Esta investigación Moqueguana tuvo como finalidad principal estudiar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. De igual forma identificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, realizar los ensayos inherentes a las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Y finalmente realizar una tabla de información de los ensayos requeridos para identificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido (Pacheco, 2017).

Esta investigación tuvo como finalidad determinar el efecto de la adición de óxido de calcio en el control de la saturación del afirmado con material híbrido de las canteras Chacras de Sapallanga y Palián, Huancayo. El tesista Identificó el porcentaje de humedad a partir del cual se produce la saturación (acolchonamiento) en material de afirmado. De igual forma calculó el porcentaje óptimo de óxido de calcio para la reducción de la saturación (acolchonamiento) en el material de afirmado (Albiluz, 2020).

El tesista basó su investigación en determinar la resistencia a la compresión, sustituyendo al cemento en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maíz) y 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maíz); por una combinación de ceniza de la planta de maíz y cal. De igual forma determinar el grado de calcinación mediante el ensayo ATD, los componentes químicos de la cal y ceniza de la planta de maíz, mediante el ensayo de fluorescencia de rayos x (Velásquez, 2019).

Esta investigación buscó determinar la influencia del mineral cal en la producción de concretos. Se determinó también la proporción del diseño de mezcla para un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Concluyó determinando las resistencias del concreto endurecido con cal a diferentes proporciones (Pacco, 2016).

El investigador tuvo con objetivo principal determinar la resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento en 15% y 25% de arcilla y cal. De igual forma determinar el límite del

ATEMBER de la arcilla (límite plástico y límite líquido), el análisis térmico diferencial de la arcilla, y realizar el ensayo fluorescencia de rayos X de la arcilla y la cal para determinar la composición química (Cruz, 2019).

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2" y 1" en la resistencia a la compresión a los de 7, 14 y 28 días, usando cemento Portland tipo I y agregado del Rio Amojú, para un $f'_c=250$ kg/cm²; en la ciudad de Jaén (Morales, 2017).

En esta investigación se analizaron los elementos químicos que contienen la argopecten purpuratus y fibra de saccharum officinarum empleando como método la observación y siguiendo los reglamentos de acuerdo a las normas establecidas (Chumioque, 2019).

Los investigadores basaron su proyecto en realizar el diseño de mezcla de concreto con adición de fibras secas de maíz para mejorar las propiedades del concreto en habilitaciones en el distrito de Villa María del Triunfo. De igual forma determinaron la dosificación del aditivo superplastificante SikaCem para aumentar el asentamiento del concreto con adición de fibras secas de maíz en habilitaciones en el distrito previamente mencionado (Vílchez, 2019).

Este artículo busca determinar el efecto de la ceniza volante en la resistencia del concreto e identificar el porcentaje óptimo de utilización en la dosificación. Material y métodos: Se utilizó concreto normal con adiciones de ceniza volante al diseño en proporciones de 2,5%, 5,0%, 10,0% y 15,0% para roturas a los 7, 14 y 28 días (Huaquisto, 2015).

Este artículo desarrollo La investigación fue cuantitativa de carácter no experimental, del tipo comparativo, en el cual se tienen las variables porcentaje de ceniza volante y resistencia del concreto (Samuel, 2018).

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Los investigadores estudiaron grandes cantidades de residuos de lodo carbonatado (CMW) deben eliminarse durante la fabricación del azúcar

después del proceso de carbonatación. El peso ligero de CMW permite su utilización como reemplazo parcial del cemento para reducir costos y emisiones de CO₂. Aquí, se aplicaron varios niveles de CMW, a saber, 0, 5, 10, 15, 20 y 25% en peso para producir muestras de cemento compuesto con cemento Portland ordinario (OPC) como una serie de diseño de mezcla regular. Se obtuvieron nanopartículas de óxido de calcio puro (CaO) después de la calcinación de CMW. Las técnicas de espectrómetros de fluorescencia de rayos X (XRF), microscopio electrónico de transmisión (TEM), difracción de área seleccionada (SAED), microscopio electrónico de barrido (SEM), rayos X de dispersión de energía (EDX) y dispersión dinámica de luz (DLS) fueron utilizado para caracterizar las nanopartículas de CaO obtenidas. La forma ecológica se está volviendo común no solo entre los desarrolladores de espacios, sino también en las grandes escuelas de investigación como “Liderazgo global en Energía y Diseño Ambiental (LEED) o Establecimiento de Investigación de Edificios”. De igual forma entre personas que piensan en habitar una vivienda eco sostenible (Abdelatif et al., 2020).

La lima cáñamo es un material que tiene la posibilidad de revolucionar la construcción natural del mundo, ya que encaja fuertemente en la tendencia de los recursos renovables. Tiene una huella de carbono negativa porque durante su crecimiento, el cáñamo absorbe más dióxido de carbono que se utiliza más tarde para fabricar materiales de construcción. La cal de cáñamo tiene un alto aislamiento térmico, calor, acumulación, permeabilidad al vapor, no es inflamable, se puede utilizar como fertilizante después de la demolición y es 100% descomponible. El objetivo del trabajo es la identificación experimental de la conductividad térmica para tres mezclas experimentales de compuestos de cáñamo-cal utilizados con fines de construcción, analizados para el uso de edificios unifamiliares. El cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) tiene una larga historia con la civilización humana y a menudo se encontraba cerca de los primeros asentamientos nómadas cerca de arroyos en áreas bien abonadas (Pochwala et al., 2020).

La lixiviación de calcio es un proceso combinado de difusión-disolución dentro de compuestos de cemento endurecido. Los entornos agresivos alrededor de una estructura pueden provocar gradientes de concentración de iones Ca^{2+} en solución de poros y entornos circundantes, lo que conduce a la difusión de iones Ca^{2+} en entornos circundantes. Este proceso de transferencia modifica el equilibrio químico de los iones Ca^{2+} en el sistema del cemento, y además da como resultado la disolución de hidróxido de calcio (CH), etringita e hidrato de silicato de calcio (C-S-H), que conduce a los cambios microestructurales de los compuestos. Los cambios en la microestructura producen efectos perjudiciales sobre los composites como la disminución en propiedades mecánicas. Según Gaitero et al., después de un curado de 28 días y una lixiviación de 9 días acelerada con una solución de nitrato de amonio (NH_4NO_3) 6 mol / L, se forma una pasta de cemento simple con agua para relación de cemento (p / c) de 0.4 sufriendo este una reducción de la resistencia a la compresión de aproximadamente 75%. Arribas y Col. manifiestan que después de 21 días de lixiviación, la pasta de cemento simple con w / c de 0.5 sufre una reducción de la fuerza de aproximadamente el 85% (Wu-Jian et al. 2020).

Partiendo de la hipótesis de que el uso de carbonato cálcico, óxido cálcico y sulfato cálcico en alta concentración en tuberías de goteo a través del agua de riego provoca la obstrucción de las tuberías de goteo, el objetivo de este estudio fue evaluar la obstrucción de emisores por precipitados químicos de carbonato de calcio, óxido de calcio y sulfato de calcio en alta concentración. Las dosis utilizadas fueron 10 veces la solubilidad de cada producto (660 mg L⁻¹, 13 g L⁻¹ y 24.5 g L⁻¹, respectivamente). Para la prueba se utilizaron cuatro modelos de tubos goteros autocompensantes, con los goteros dispuestos en dos direcciones (orificio del gotero hacia arriba y hacia abajo). Se insertaron en cuatro niveles diferentes en un banco con estructura metálica instalado en el Laboratorio de Riego de DER-ESALQ / USP. Se adoptó como ciclo de prueba, dos aplicaciones y una lectura de caudal, repitiendo el ciclo dos veces y, posteriormente, se determinó el caudal medio (qm.), el coeficiente de variación de caudal (CV) y la

uniformidad de distribución de agua (UD). El modelo M4 fue el que presentó mayor reducción para la medida de caudal promedio. La aplicación de cal viva directamente en la línea lateral provocó las mayores perturbaciones de flujo para los diferentes modelos de goteros probados (Rocha, 2016).

Este artículo español tuvo por estudio la formulación de un hormigón de cal hidráulica para la restauración del campanario de la iglesia de Rosselló (Lleida) y que como premisas se debe cumplir con las siguientes características: Resistencia a compresión de 100 kg/cm² a 90 días, consistencia fluida y un color lo más similar posible a la piedra original que forma la mampostería de las fachadas de la iglesia. Le resistencia no es estrictamente necesaria para las sollicitaciones del caso concreto, pero se establece como objetivo pensando en otros usos posteriores. Este estudio se estructura en dos etapas: una primera etapa experimental, llevada a cabo en el Laboratorio de Materiales de la EPSEB, y la segunda, la puesta en obra del material en la iglesia. Inicialmente, se decidió formular 3 hormigones de cal distintos. Un primer hormigón sin adiciones puzolánicas, un segundo con sustitución de una parte de cal por microsílíce, y un tercer hormigón también con sustitución de cal por nano y micosílíce. Dada la sensibilidad del comportamiento mecánico de estos hormigones respecto del contenido de agua de la dosificación, antes de la formulación definitiva a estudiar, se llevó a cabo un estudio de efectividad de unos aditivos reductores de agua. Las probetas de 15x30 cm se ensayaron a compresión a 28, 60, 90, 120 días y se determinaron las porosidades. Paralelamente se llevó a cabo el correspondiente estudio de color para las dosificaciones con y sin puzolanas (Rosell, 2018).

2.3 Estructuras teóricas y científicas que sustenta el estudio

2.3.1 Concreto:

Material compuesto por cemento, agregados, agua y aditivos, usado para todo tipo de infraestructuras de construcción, siendo un componente fundamental de los elementos estructurales (Pajuelo, 2018).

Es un material utilizado en la construcción civil, que tiene como principal característica su resistencia a los esfuerzos de compresión, pero no un buen comportamiento frente a la tracción, flexión, cortante, etc., por tal motivo que se requiere el uso asociado con el acero, teniendo así un comportamiento favorable ante diferentes sollicitaciones (Durand, 2017).

2.3.2 Componentes del concreto:

a) Cemento

El cemento está conformado por el óxido de calcio (CaO), la alumina (Al₂O₃), la sílica (SiO₂) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), también se presentan otros componentes como el silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricalcio, el aluminoferrito tetracálcico y otros. En la Tabla 1 se muestra la composición química del cemento Portland (Velásquez, 2019).

Tabla 1: Composición química del cemento Portland.

Componente	Rango (% Óxidos en peso)
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6
Na ₂ O+K ₂ O	0.2 - 1.3
MgO	0.1 - 4
Cal libre	0 - 2
SO ₃	1 - 3

Fuente: (Velásquez, 2019).

b) Agua

El agua es una sustancia líquida, componente del concreto que cumple funciones importantes en la mezcla, realizar la hidratación del cemento para que se puedan mezclar los agregados para conformar el concreto y también darle fluidez en estado fresco a la mezcla de concreto.

El agua que se utiliza en la elaboración del concreto debe cumplir los requisitos de calidad establecidos por la NTP 339.008, cuando se refiere a los niveles de pH (Pajuelo, 2018).

c) Agregados

Son elementos indispensables en la composición del concreto, ya que representa el mayor porcentaje del volumen del mismo, por las características que tienen contribuyen con el mejoramiento de la resistencia y permiten que la elaboración de la mezcla sea compacta (Durand, 2017).

Es el conjunto de partículas que tienen un origen natural o artificial, que pueden ser elaboradas o tratadas, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites estandarizados por la norma NPT 400.037. Los agregados pueden constituir hasta las $\frac{3}{4}$ partes en volumen de una mezcla típica de concreto, por esta razón deben pasar por un análisis granulométrico minucioso hasta de ser parte de un diseño de mezcla (Durand, 2017).

d) Agregado grueso

El agregado grueso está compuesto por grava triturada o natural, piedra cortada, escorias de altos hornos o la composición de todos estos; las partículas deben estar limpias de formas semiangular o angular, compactadamente duros, resistentes y con una texturación rugosa. Este el compuesto grueso es retenido por la malla número 4 (4.75mm) cumpliendo con las normas establecidas en la Norma Técnica Peruana 400.037 (Morales, 2017).

e) Agregado fino

Es el material resultante de la desintegración artificial o natural de las rocas que pasan por el de $\frac{3}{8}$ " (9.5 mm) y quedan retenidos en la malla número 200 (0.074 mm); cumplen con los límites establecidos en la norma Técnica Peruana 400.037.

Estos finos se componen de arena natural o manufacturada; las partículas de estos agregados deberán ser limpios y de perfil angular, duros, bien compactados y resistentes, no deberán estar compuestos

de materiales perjudiciales como el polvo, los terrones, partículas escamosas, álcalis, material orgánico, sales y algunas otras sustancias que dañen la elaboración y desempeño del concreto estructural (Morales, 2017).

f) Aditivos

Son empleados como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente, antes, o durante su mezclado, con el objetivo de modificar sus propiedades para que sea más adecuadas las condiciones de trabajo o para reducir los costos de producción. En el Perú son muy comunes emplear los aditivos que ofrece el catálogo de la empresa Sika AG (Pajuelo, 2018).

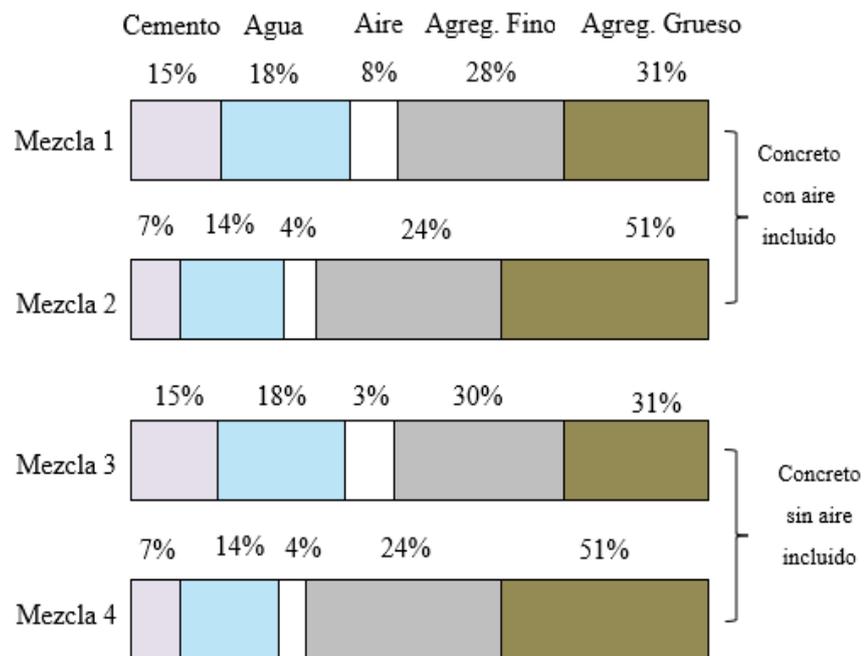


Figura 1: Evaluación de Factibilidad

Fuente: Kosmatka et al. (2004)

g) Diseño de mezcla

El proceso de selección de los adecuados agregados para el concreto, determinando cantidades y requerimientos específicos de manejabilidad, resistencia y dureza. Actualmente se usa mezclas diseñadas para cuyas especificaciones existen valores límite respecto a un rango de propiedades que deben cumplirse. Estas son la relación

máxima de agua/cemento, el contenido mínimo de cemento, la resistencia mínima, la manejabilidad mínima, el tamaño máximo del agregado y el contenido de aire dentro de los límites especificados. En este proceso se calculan las proporciones de los elementos que formarán parte del diseño, con la finalidad de conseguir mejores resultados. Existe una gama variada de diseños de mezcla de concreto, algunos de estos pueden ser complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así se desconoce el método adecuado que ofrezca resultados perfectos, pero esto no impide seleccionar el más idóneo o disponible que según la ocasión en la cual nos encontremos (Cruz, 2019).

h) Granulometría

Estudia la distribución estadística de los tamaños de un material sólido grueso fraccionado, separa la fracción gruesa de la fina. Implica reconocer los diferentes tamaños de partículas que se encuentran en los agregados, si estas presentan los mismos tamaños, la mezcla de concreto contendrá vacíos en su interior, afectando su trabajabilidad (Durand, 2017).

Tabla 2: Clasificación de los suelos

GW	Gravas con arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.	SM	Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
GP	Grava mal graduados, mezcla de arena-grava con poco nada de material fino.	SC	Arenas arcillosos, mezclas de arena-arcillosa.
GM	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa.	ML	Limos orgánicos y arenas muy finos, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosos con ligera plasticidad.
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla gravas con material fino cantidad apreciable de material fino.	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras.
SW	Arena bien graduados, arena con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, amplia variación en tamaño granulares y cantidades de partículas en tamaño intermedios.	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
SP	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino, un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas internas	MH	Limo inorgánicas suelos finos granosos o limosos, micáceas o diatometoceas, limos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas.	OH	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicos

Fuente: (Albiluz, 2020).

i) Distribución estadística de los tamaños de las partículas

Los diversos análisis de distribución de tamaños de partículas que se utilizan en mezclas de especias y aromas para conocer los tamaños de las partículas que las componen y sus proporciones, así como para determinar su homogeneidad. Comúnmente, se emplean como control de calidad y para tener un registro adecuado de la distribución de tamaños en las mezclas que se requieren producir. Se puede optar por la técnica que el investigador considere sea la más práctica, pero para obtener esta distribución de tamaño de partículas, la información de tal análisis de tamaño de partícula se tiene que tabular para mostrar la fracción en masa o el porcentaje de la cantidad de partículas en cada incremento de tamaño. Este análisis fabulístico se denomina “análisis diferencial” y es el más común de todos. Los resultados comúnmente se grafican como un histograma, como aprecia en la figura de la parte izquierda, con una curva continua para aproximar la distribución. Una segunda forma de representar esta información es a través de un análisis de carácter acumulativo obtenido por agregar consecutivamente los incrementos individuales, empezando por el que contiene las partículas más pequeñas y tabulando las sumas acumuladas frente al diámetro máximo de partícula en cada incremento. La segunda figura representa la gráfica de este análisis acumulativo (Garcés, 2016).

2.3.3 Propiedades del concreto:

- Propiedades del concreto en estado fresco

Se le denomina concreto en estado fresco al periodo cuando la mezcla preparada todavía se encuentra estado fluido, este lapso dura hasta que se empieza a fraguar el concreto (Ayuque, 2019).

Las principales propiedades en este estado son la trabajabilidad o manejabilidad, tiempo de fraguado, segregación, exudación y contracción (Cruz, 2019).

En el cual detallamos las siguientes:

a) Trabajabilidad

Se define como el trabajo que aporta el concreto en estado fresco en su proceso de fabricación, transporte, colocación, compactación y acabado (Durand, 2017).

Su evaluación es relativa depende de las facilidades manuales o mecánicas durante la elaboración de la mezcla, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas colocaciones de compactación y colocación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian (Pajuelo, 2018).

Tabla 3: Consistencia del concreto (ACI,2015)

Consistencia	Asentamiento (cm)	Grado de Trabajabilidad
Seca	0 - 2.5	Muy pequeño
Semi plástica	2.5 - 7.5	Pequeño
Plástica	7.5 – 12.5	Medio
Fluida	12.5 – 20.0	Alto
Líquida	20.0 a más	Muy alto

Fuente: Elaboración propia

Cono de Abrams

Es muy importante la combinación de los componentes del concreto y su relación agua/cemento, ya que deben ser las adecuadas para lograr las propiedades fundamentales como la consistencia y la resistencia.

Este ensayo se realiza en un molde metálico troncocónico, llenándolo en tres capas siendo compactada cada una con 25 golpes de varilla. El método consiste en medir la disminución de altura del concreto en estado fresco. A mayor disminución de altura, menor consistencia (Padua, 2019).

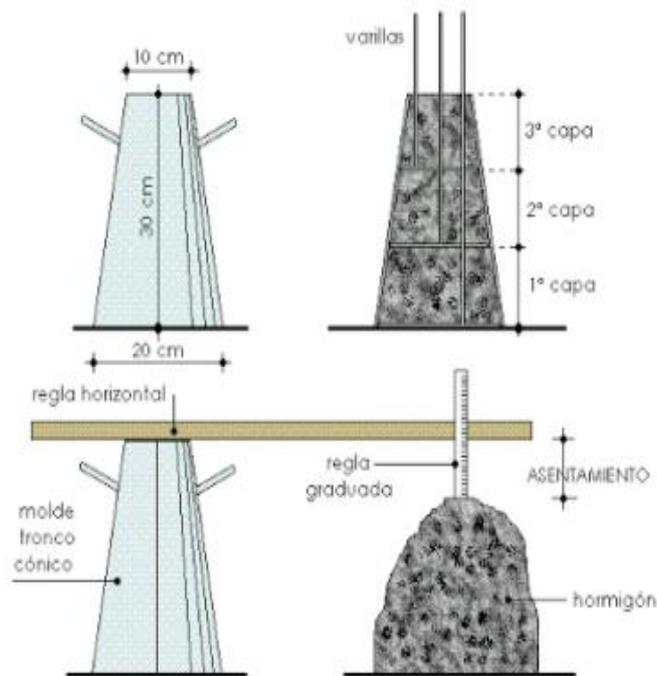


Figura 2: Ensayo del cono de Abrams

Fuente: Cruces et al (2018).

b) Tiempo de fraguado

Es el proceso por el cual el cemento y el agua se mezclan e inician una reacción química exotérmica que establece el endurecimiento de la mezcla. En este proceso de endurecimiento la mezcla pierde su plasticidad y se vuelve complejo de manejar, esto corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se va endureciendo la mezcla, esta presenta un nuevo estado y es considerado como fraguado final (Durand, 2017).

c) Segregación

Las variaciones de densidades entre los componentes de la mezcla de concreto ocasionan una tendencia natural de que las partículas más pesadas descienda, por lo general la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor con referencial al agregado grueso, lo cual sumando a su innata viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz. Cuando la viscosidad

del mortero se aminora por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o una granulometría deficiente, las partículas gruesas tienden a separarse del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los diseños de mezcla con contenidos de piedra mayores del 55% en peso con respecto al peso total de agregados es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, esto es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de lugares diferente y comparar el contenido de gruesos en el proceso de lavado, que no deben diferir en más del 6%. La mezcla de concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, y los desgastes a los cuales estará sometida en actividad (Cruz, 2019).

d) Exudación

Es la propiedad por la cual una parte del agua del diseño de mezcla se separa de la masa y asciende hacia la superficie. Es un fenómeno típico de sedimentación en el cual los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. La exudación está influenciada por la cantidad de compuestos finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este agregado y mayor es el porcentaje del material menor que la malla número 100, la exudación será menor, puesto que se retiene agua en la mezcla. Este fenómeno de la exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura. Lo importante es evaluar y controlar la exudación en cuanto a los efectos negativos que pudiera ocasionar. Es una propiedad muy importante del concreto que puede mejorarse con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en el diseño de mezcla (Pajuelo, 2018).

e) Contracción

Esta propiedad es muy importante en función de los inconvenientes de fisuración que se ven con habitualidad. Anteriormente hemos observado que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del agua en volumen por una combinación química, a esto

se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible en la mezcla. Además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, este evento ocurre mucho en estado plástico como en el endurecido si es que se permite la pérdida de agua en la mezcla. Este proceso no es irreversible ya que si se repone el agua perdida por secado se recupera gran parte de la contracción acaecida. La contracción del concreto es una propiedad que eventualmente es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta ensayada en compresión, ya que el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión en los 28 días es la forma más común de medir esta propiedad (Cruz, 2019).

Propiedades del concreto en estado endurecido

Se le denomina concreto en estado endurecido al periodo cuando la mezcla pasa del estado plástico al de endurecimiento, esto pone en evidencia por la resistencia que tendrá con el pasar de los días (Ayuque, 2019).

Después que el concreto ha fraguado a los 28 días empieza a ganar resistencia y se endurece (Durand, 2017).

Las principales propiedades en este estado son la resistencia a la compresión, absorción, porosidad y elasticidad (Cruz, 2019).

En el cual detallamos las siguientes:

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una propiedad principal del concreto en estado endurecido, esta se determina en un ensayo realizado en laboratorio, en la cual se moldean probetas que será sometidas a pruebas bajo la acción de cargas a la compresión para así poder determinar la resistencia del concreto. La relación agua - cemento es el factor principal que permite determinar la resistencia a la compresión. A menor relación a/c, mayor es la resistencia a la compresión del concreto (Ayuque, 2019).

Densidad

La densidad es el peso de la unidad de volumen de la mezcla de concreto en estado endurecido, esta depende de la granulometría que entren en la composición de la mezcla. Cuando se tiene una buena resistencia y durabilidad quiere decir que se tiene una densidad elevada (Durand, 2017).

Absorción

Se presenta el proceso de absorción en el concreto en el momento que el agua es incorporado a los poros saturables de la mezcla (Durand, 2017).

Porosidad

Es la cantidad de espacios vacíos que quedan en la mezcla del material, debido a la evaporación del agua libre y de la presencia de aire naturalmente. Se dividen de acuerdo con su tamaño en poros de aire, poros capilares y poros gel. Para la durabilidad del concreto lo más importantes son los poros capilares y los microporos (Durand, 2017).

Elasticidad

Es la capacidad que tiene el concreto de deformarse sometido a carga, sin llegar a tener una deformación permanente. El concreto es un material completamente elástico, esto se puede observar fácilmente si se somete a un espécimen a diversos esfuerzos de compresión crecientes hasta que este falle, para cada nivel de esfuerzo registra la deformación unitaria del material, se podría graficar la curva que relaciona estos parámetros (Cruz, 2019).

2.3.4 La cal

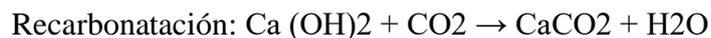
Es un material compuesto por óxido de calcio (CaO), color blanco o blanco grisáceo, que al mezclarla con agua se hidrata o apaga, y mezclada con arena da como resultado un mortero de cal o argamasa (Velásquez, 2019).

La cal es un derivado, producto de la calcinación de la piedra caliza que al desprender anhídrido carbónico se transforma en óxido de calcio (Durand, 2017).

La cal viva al ser mezclada con agua produce una reacción que desprende mucho calor, que da como resultado el hidróxido de calcio que se comercializa en forma de polvo llamado coloquialmente como cal muerta o apagada (Albiluz, 2020).

a) Ciclo de la cal

Este ciclo empieza con la explotación de la roca caliza que es triturada y calcinada a una temperatura mayor a los 900 grados C° para obtener la cal viva, la cual, al contacto con agua en cierto porcentaje, se hidrata para dar origen a la cal apagada que es muy común. Para las mezclas de albañilería, se le agrega el agregado fino y agua; y una vez que la cal ya aplicada en la construcción entra en contacto con el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y se decarbonata en la siguiente solución:



La mezcla se convierte en roca, y es muy durable, similar a las edificaciones antiguas, la resistencia que las mezclas de cal alcanzan al paso del tiempo es superior a la de cualquier otra mezcla; además, no produce sales nocivas por su elasticidad y evita retracciones (Albiluz, 2020).

b) Carbonato de calcio

Este compuesto se trata de un material calcáreo es decir una roca sedimentaria en forma de calcita o aragonita, con un contenido de calcita que sobrepasa el 80%. Este carbonato es también un compuesto químico (CaCO₃). Es un compuesto geológico ternario que se categoriza como un ocal. El carbonato de calcio es muy abundante en el medio ambiente, formando rocas como componente principal, y dentro de cualquier organismo vivo es el componen fundamental del esqueleto (Durand, 2017).

c) Derivados de la caliza

Esta roca sedimentaria se compone mayormente por carbonato de calcio (CaCO₃), fundamentalmente de calcita, aunque en la mayoría de los casos presenta porcentajes de magnesita (MgCo₃) y una serie más de carbonatos. En cantidades reducidas puede componerse de hemanita,

cuarzo, arcilla, siderita, estos compuestos modifican en algunas ocasiones el color y grado de coherencia de la roca sedimentaria. De carácter dentro de las calizas es mono mineral, no es complicado reconocerlas ya que existen dos características químicas y físicas de la calcita, es menos dura que el cobre (Cu) que en la escala de Mohs presenta una escala de 3 y reacciona con mucha efervescencia cuando existe la presencia de ácidos como el clorhídrico (Cruz, 2019).

2.4 Definición de términos básicos

a) Óxido de calcio

Es el carbonato de calcio, que al calcinarlo en un horno a temperaturas entre 900 y 1000°C, el óxido se descompone en óxido de calcio y anhídrido carbónico. La calcinación es un proceso en el cual libera una molécula de dióxido de calcio (CO₂), dando como resultado un material de color blanco llamado óxido de calcio (Durand, 2017).

b) Trabajabilidad del concreto

Se define como la capacidad del concreto para el mezclado, transporte, colocación y su compactación, y el método más adecuado para la evaluación de esta propiedad es la utilización del cono de Abrams para determinar el máximo asentamiento vertical (Slump) (Cruz, 2019).

c) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión pertenece a una propiedad física y es un requisito para el diseño de estructuras, para asegurar que la estructura pueda soportar una carga pretendida. Esta prueba se realiza con probetas cilíndricas que son sumergidas en agua durante 28 días para que posteriormente sea sometido a fuerzas de compresión axial. Su unidad métrica se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) o en Megapascales (MPa) (Durand, 2017).

d) Relación de agua - cemento

La relación agua - cemento influye sobre la trabajabilidad del concreto, a mayor relación agua - cemento el asentamiento es mayor debido a que las partículas se encuentran más dispersas (Durand, 2017).

e) Tiempo de fraguado

Es el tiempo transcurrido que se contabiliza desde que se mezcla el cemento con el agua, en donde progresivamente se va endureciendo y va perdiendo su plasticidad. Durante el endurecimiento de la mezcla, se presenta un estado en el que la consistencia es apreciable y se denomina fraguado final (Pajuelo, 2018).

f) Tamaño máximo nominal

Según la norma E.060 del RNE (2020) el tamaño máximo nominal del agregado grueso corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

g) Concreto estructural

Se define al concreto estructural como “Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos” (ACI, 2019).

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

2.5.1 American Society for Testing and Materials (ASTM)

La ASTM International fue fundada como la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, es una organización sin fines de lucro que se encarga de desarrollar y publicar aproximadamente 12000 normas técnicas, que cubren los procedimientos de prueba y clasificación de los materiales de construcción de todo tipo. Teniendo su sede en West Conshohocken, Estados Unidos, las normas de ASTM se utilizan en todo el mundo y su organización está formada por más de 30000 miembros que representan a 135 países. La ASTM también se desempeña como administrador de los TAG de EE. UU. (Grupo Asesor Técnico de los Estados Unidos) para una gran cantidad de ISO / TC (Organización Internacional de Normalización / Comité Técnico) y sus subcomités (International ASTM, 2021).

2.5.2 Norma E-060

La Norma técnica peruana de edificación “E060 – Concreto armado” la cual se fijan los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, preesforzado y simple. Esta no controla el

diseño e instalación de las porciones de pilotes de concreto, pilas excavadas y cajones de cimentación que quedan empotrados en el suelo.

Esta Norma se emplea para el diseño de losas de concreto estructural vaciadas sobre moldes permanentes de acero consideradas como compuestas. El concreto usado en la construcción de tales losas debe estar regido por los Capítulos 1 a 7 de esta dicha Norma, en lo que sea aplicable (MVCS, 2009).

2.5.3 Norma EHE 08

Esta Instrucción de Hormigón Estructural, EHE, es el marco reglamentario por el que se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de hormigón para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio, además de la protección del medio ambiente, proporcionando procedimientos que permiten demostrar su cumplimiento con suficientes garantías técnicas.

Los elementos de hormigón estructural pueden ser construidos con hormigón en masa, armado o pretensado. Cuando, en función de las características de la estructura, exista reglamentación específica de acciones, esta Instrucción se aplicará complementariamente a la misma (MTMAU, 2008).

2.5.4 American Concrete Institute

ACI publica información verificada sobre el hormigón y sus aplicaciones. Es una autoridad y un recurso líder en todo el mundo para el desarrollo, la difusión y la adopción de sus estándares basados en consenso, recursos técnicos, programas educativos y de capacitación, programas de certificación y experiencia comprobada para personas y organizaciones involucradas en el diseño, la construcción y los materiales del concreto, que comparten el compromiso de buscar el mejor uso del concreto (ACI, 2019).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al determinar el porcentaje óptimo del óxido de calcio se mejoran las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, utilizando la norma E060, ASTM, ACI y EHE-08.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) El porcentaje óptimo de óxido de calcio incrementa la trabajabilidad del concreto estructural.
- b) El porcentaje óptimo de óxido de calcio aumenta la resistencia a la compresión del concreto estructural.
- c) La relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio reducen el tiempo de fraguado.
- d) El óptimo tamaño máximo nominal mejora la mezcla del concreto estructural.

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente

Óxido de calcio.

3.2.2 Variables dependientes

Clima, tipo de estructura (losas, columnas, placas, etc.).

3.2.3 Variables intervinientes

Clima, tipo de estructura (losas, columnas, placas, etc.).

3.2.4 Definición conceptual

Oxido de calcio

El óxido de calcio es conocido como cal viva, extraído de ganado bovino, estos residuos de carbonato de calcio son calcinados a temperaturas altas y tiene como resultado el óxido de calcio.

3.2.5 Definición operacional

Oxido de calcio:

Resultado de la calcinación de carbonato de calcio.

Tabla 4: Resumen operazonalizacion de la variable

Variable dependiente		Variable independiente	
Propiedades del concreto		Oxido de calcio	
Cohesividad	Segregacion	Indicadores	Indices
Trabajabilidad	Fisura	Geometria	% calcio
Resistencia	Compresion Traccion Flexion	Cantidad	Volumen
Durabilidad	Curado		

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Operacionalización de variables

Tabla 5: Operacionalización de la variable

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	Ítems
VI Óxido de Calcio	Se obtiene de la calcinación de las rocas calizas o dolomías, este material es de color blanco o blanco grisáceo y muy cáustico. Se usa como conglomerante en la construcción.	La cal se puede obtener normalmente por descomposición térmica de materiales como la piedra caliza, que contiene carbonato de calcio (CaCO ₃), material extraído de depósitos sedimentarios	Relación Agua/Cemento	Relación Agua/Cemento	lts/kg	cuantitativa continua	formato de laboratorio	Norma E060 ACI	Indicado en los formatos
			Análisis granulométrico	Tamaño máximo nominal	mm	cuantitativa continua			
			Porcentaje de óxido de calcio	Porcentaje óptimo de óxido de calcio	%	cuantitativa continua			
VD. Propiedades físicas y mecánicas del concreto	Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales son: trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad	La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.)	trabajabilidad	Agregados Plasticidad Manejable	Relación a/c	cuantitativa continua	Normas nacionales e internacionales/ investigaciones	Norma E060	
			cohesividad	segregación					
			resistencia	Compresión Tracción Flexión	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	cuantitativa continua			
			durabilidad	vida útil (resistencia)	años (kg/cm ²)	cuantitativa continua			

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es un estudio documental, bibliográfica y descriptiva. Es documental/bibliográfica porque se apoya en un marco teórico-técnico a partir de artículos científicos, investigaciones que involucran las variables en estudio, especificaciones técnicas, entre otros; basados en distintas normas utilizadas por los especialistas e investigadores acerca del comportamiento del hormigón con aditivos y/o adiciones en el estado fresco y/o endurecido, obteniendo información relevante y fidedigna. En el estudio efectuado por Chavarry, Chavarría, Valencia, Pereyra, Arieta y Rengifo (2020), reforzaron un hormigón mediante la incorporación de vidrio molido para controlar la contracción plástica. El método empleado fue el deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. Utilizaron un diseño experimental, longitudinal, prospectivo y es una investigación causal dado que estudia la relación entre la variable independiente incorporación de vidrio molido (causa) y variable la variable dependiente la contracción plástica (efecto). Su objetivo es conocer el efecto positivo o negativo que puede producir un cambio inesperado entre las variables. (Chavarry et al., 2020).

4.1 Método de investigación

En esta investigación La extracción del óxido de calcio será a partir de residuos de ganado bovino. La dosificación de las cenizas de hueso calcinado está comprendida entre 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% (n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6) del volumen total. Estos residuos serán calcinados a una temperatura entre 750^a C y así obtener las cenizas de hueso calcinado. Posteriormente las cenizas serán molidas, hasta alcanzar un tamaño de partículas menor a 75 μm (pasar malla N°200) (Durand, 2017).

(Padua, 2019) Le da énfasis a la aplicación de conocimientos teóricos utilizados en la tecnología del concreto para entender el comportamiento de las estructuras de concreto armado reforzadas con óxido de calcio en la provincia de Huaura.

La investigación según su alcance y naturaleza corresponde a una metodología experimental del caso diseño en bloque completo al azar, porque mediante la aplicación del método de la experimentación y de la observación científica se determinó el resultado de la resistencia a la compresión en el diseño de mezcla de

concreto en donde se comparó nueve grupos de estudio realizando el control y manipulación de la variable independiente en base a las dimensiones del diseño de mezcla del concreto, sustituyendo al cemento por la combinación de cal en 10% y 12% y arcilla en 7% y 9%, buscando resultados a través de una serie de repeticiones de acuerdo al ensayo de concreto en estado endurecido, evaluando principalmente la resistencia a la compresión. Todos los ensayos se ejecutaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro - Huaraz, observando y debatiendo los resultados con técnicos profesionales conocedores del tema (Pajuelo, 2018).

4.2 Tipo de investigación

(Durand, 2017) Según su investigación de tipo cuasiexperimental, por lo que la tesista manipula la variable independiente para ver su efecto en las variables que dependen de esta, y se trabaja con una observación, después de la aplicación del estímulo o variable independiente.

Investiga las posibilidades fácticas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver los problemas y necesidades que se plantean los hombres en sociedad en un corto, mediano o largo plazo. Es decir, se interesa fundamentalmente por la propuesta de solución en un contexto físico-social específico, este tipo de investigación se caracteriza por el interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y a las consecuencias prácticas que de ella se deriven; fundamentalmente en las propuestas de un plan de aseguramiento de la calidad en empresas constructoras de edificaciones en la Región Lima, en el 2017 (Padua, 2019).

Explica el porqué de cada uno de los comportamientos mecánicos que se obtengan mediante los ensayos de laboratorio. El tipo de investigación es también aplicada, porque los resultados obtenidos servirán para la solución de problemas relacionados al diseño de mezcla, mejorando así las propiedades del concreto tales como: resistencia a la compresión y trabajabilidad (Pajuelo, 2018).

En el Anexo 2, se muestra la matriz de revisión bibliográfica donde se presenta el título, la pregunta general, la justificación y viabilidad de nuestra investigación.

En el Anexo 3, se hace el listado en la matriz de tesis y artículos nacionales e internacionales que nos ayudó, como referencia para hacer una recolección de datos las cuales se traten acerca de nuestra investigación.

4.2.1 Técnicas e instrumentos

Para la recolección utilizaremos diversas investigaciones nacionales e internacionales, que aportan información teórica y experimental sobre dosis óptimas de óxido de calcio y uso de normas técnicas.

4.2.2 Instrumento de recolección de datos

En esta investigación los instrumentos utilizados son formatos de ensayos de resistencia a la compresión, ensayo de cono de Abrams propio de las investigaciones de cada autor, que nos permitieron una buena recolección de datos y sus respectivas especificaciones técnicas.

4.2.3 Modelos y técnicas

- Norma E060 Fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis.
- ASTM C143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ASTM C403 Standard Test Method for time off Setting of Concrete Mixtures.
- ASTM C39/C39M-17 Historical Standard: Método de Ensayo de Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- American Concrete Institute (ACI).
- EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural.
- NTP 339.034:2015 Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- NTP 400.012 Agregados – Análisis Granulométrico de los agregados.
- Norma ACI 318S-05 – Requisitos de reglamento para concreto estructural.

4.3 Nivel de investigación

(Durand, 2017) El nivel de esta investigación fue cuasi – experimental ya que las variables en indicadores están definidas y correlacionas para demostrar la influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad, y absorción del concreto en elementos estructurarles.

El nivel de esta investigación fue cuasi - experimental, ya que consiste en una serie de mediciones periódicas que se hacen en las personas en estudio, antes y después que se ha introducido la variable experimental. La cual es definida: “Son aquellas situaciones sociales en que el investigador no puede presentar los valores de la Variable Independiente a voluntad ni puede crear los grupos experimentales por aleatorización, pero sí puede, en cambio, introducir algo similar al diseño experimental en su programación de procedimientos para la recogida de datos” (Padua, 2019).

(Pajuelo, 2018) El tesista plantea un enfoque científico, donde sus variables se mantienen constantes, y son medidas como sujeto del experimento, para con esto demostrar la resistencia del concreto al sustituir el cemento por el óxido de calcio.

4.4 Diseño de investigación

La tesista al realizar un diseño de investigación cuasi - experimental, realiza una manipulación de la variable independiente para ver su efecto en las variables que dependen de esta, y se trabaja con una observación, después de la aplicación del estímulo o variable independiente para obtener los resultados correspondientes (Durand, 2017).

Para el diseño de esta investigación se realizó una distribución de variables. Teniendo como variable dependiente al concreto, y como variable independiente al óxido de calcio. Desde esa base el tesista empezó a diseñar el procedimiento que le permitiría conseguir los objetivos previamente planteados (Padua, 2019).

En esta investigación el diseño establecido para la evaluación de la factibilidad de sustituir al cemento por la combinación de cal y arcilla fue del tipo factorial, en el siguiente esquema se detalla las combinaciones realizadas:

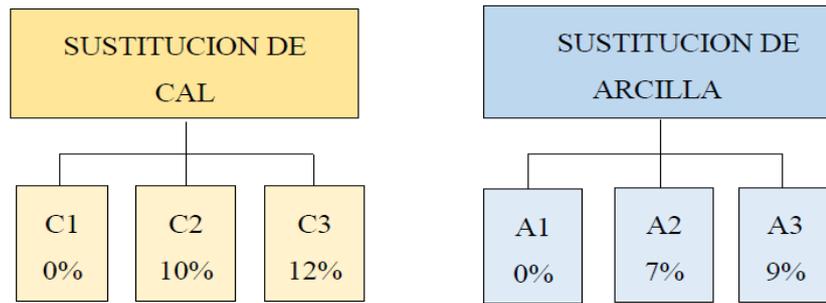


Figura 3: Evaluación de Factibilidad.

Fuente: (Pajuelo, 2018).

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

(Durand, 2017) La población son todos los concretos adicionados con óxido de calcio.

(Padua, 2019) La población la conformaron 20 probetas con concreto adicionado con oxido de calcio en el 2017.

(Pajuelo, 2018) La población es el conjunto de probetas cilíndricas con un diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm².

4.5.2 Muestra

En esta investigación la tesista realiza un tipo de muestreo no probabilístico, siendo la muestra seleccionada por conveniencia aleatoriamente y bajo criterio del investigador. La muestra seleccionada por este método intenta ser representativas bajo los criterios dictados por el Instituto Americano de Concreto (ACI), establece en el apartado 318-08, sobre los requisitos para concreto estructural que solo es necesario 2 probetas de concreto de 15cm x 30 cm o 3 probetas de 10cm x 20cm (Durand, 2017).

(Padua, 2019) La muestra la conformaron lo 10 probetas con concreto adicionado con oxido de calcio en el 2017.

(Pajuelo, 2018) La muestra está constituida por 81 probetas de concreto elaborado con las siguientes combinaciones de cemento, cal y arcilla:
Combinación 1: 100% de cemento + 0% de cal + 0% arcilla.

4.5.3 Unidad de análisis

(Durand, 2017) La unidad de análisis es el concreto no convencional.

(Padua, 2019) La unidad de análisis es el óxido de calcio en las estructuras de concreto de la ciudad de Huarua.

(Pajuelo, 2018) La unidad de análisis es el óxido de calcio como sustitutorio del cemento.

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

(Durand, 2017) Para la recolección de datos de esta investigación se realizó un diseño cuasiexperimental, donde se varía la cantidad de óxido de calcio como adición en el concreto.

(Padua, 2019) En lo referente a instrumentación el tesista se basó en la evidencia experimental existente, Kent y Park propusieron la curva esfuerzo-deformación para concreto confinado por estribos rectangulares.

Referente a la recolección de datos el tesista realizó ensayos en laboratorio de probetas sometidas a la tracción y flexión, para con esto medir su resistencia después del curado, el diseño de la mezcla de concreto se sustituyó el cemento por el óxido de calcio (Pajuelo, 2018).

4.7 Descripción de procedimiento y análisis

Para el cálculo de resultados el tesista empleó software MATHCAD, es un software de computadora diseñado principalmente para la verificación, validación, documentación y reuso de cálculos de ingeniería. Finalmente, la recolección de datos ha sido producto de la búsqueda bibliográfica y el cálculo comparativo se realizó mediante la adición del módulo de elasticidad de la fibra de carbono SIKAWRAP 600C, presente en la especificación técnica (Padua, 2019).

En esta investigación se ha podido deducir que es factible realizar la sustitución del cemento por acilla del Distrito de Acopampa, esto en los porcentajes de 7 y 9%, presentándose un mejor comportamiento mecánico del concreto a los 28 días de curado en condiciones normales con la combinación 2 que contiene como conglomerante al cemento en un 83% y a la arcilla en un 7%, la resistencia máxima alcanzada fue de $f^c=226.81 \text{ kg/cm}^2$, siendo esto el 108.00% de la resistencia de diseño. Menor a esta resistencia fue obtenida con la combinación 3, la cual contenía

un 81% de cemento y un 9% de arcilla, la resistencia máxima alcanzada con esta combinación fue de $f'c = 213.58 \text{ kg/cm}^2$, el cual se encuentra bastante cercano a la resistencia del concreto patrón que fue de 212.00 kg/cm^2 (Pajuelo, 2018).

(Durand, 2017) En la siguiente imagen se observa de forma esquemática el procedimiento de la investigación.

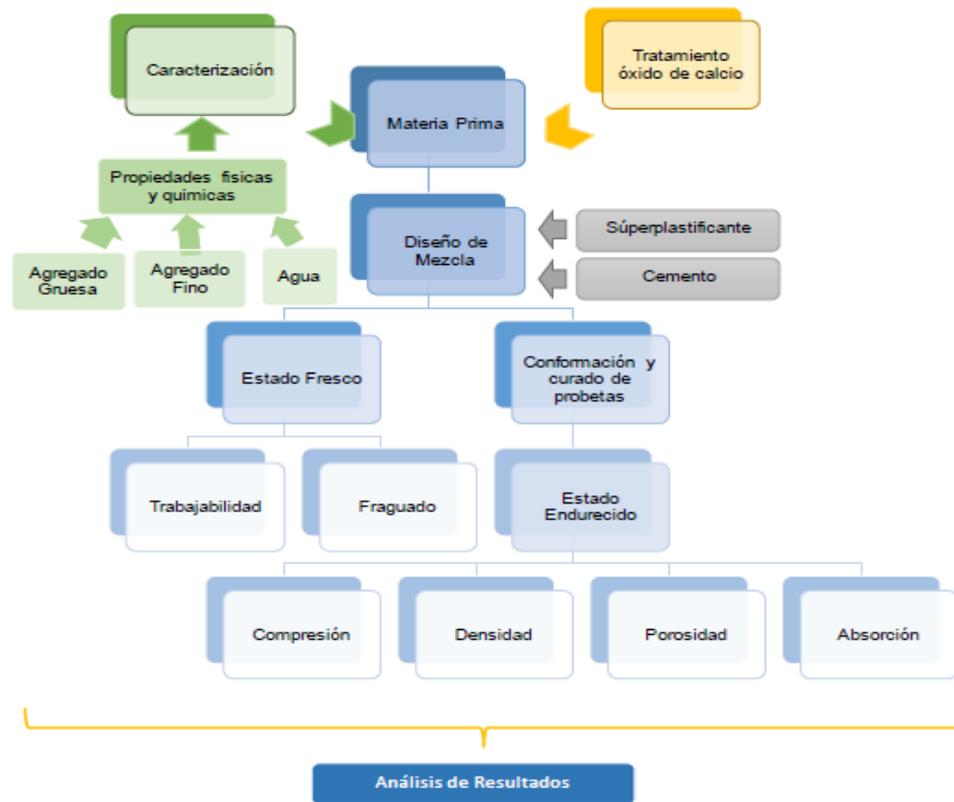


Figura 4: Esquematización de procedimiento.

Fuente: (Durand, 2017).

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la investigación

Resultados de los óptimos porcentajes de óxido de calcio para incrementar la trabajabilidad del concreto estructural.

(Durand, 2017).

- Tipo de óxido: óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado de bovino.
- En esta investigación se realizaron 6 mezclas a la cual se le adicionó un porcentaje de óxido de calcio, para lo cual, primero tuvo que pasar un proceso de precalcación No = 0%, N1 = 1%, N2 = 2%, N3 = 3%, N4 = 4%, N5 = 5% y N6 = 6%.
- Diseño de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.52, adicionalmente superplastificante Sika ViscoCrete - 3330 en dosificación de 0.2% y la adición de óxido de calcio en porcentajes 0%, 1 %, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a las diferentes mezclas que se realizaron.
- Método de Ensayo: La tesista en laboratorio realizó el ensayo de trabajabilidad teniendo en cuenta la norma ASTM143. Se utilizó el cono de Abrams, se mantuvo el cono firme contra la base, se llenó la mezcla en 3 capas, se compactó cada capa con 25 golpes. En seguida se levantó el cono verticalmente y se midió la distancia entre la altura del molde y la parte superior de la mezcla.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 6, y Figura 5.

Tabla 6: Ensayo de trabajabilidad con adición de óxido de calcio a los 28 días de curado.

Mezcla	Óxido de calcio (%)	Asentamiento (cm)
n0	0	21.59
n1	1	20.32
n2	2	16.51
n3	3	13.34
n4	4	10.8
n5	5	6.35
n6	6	3.81

Fuente: Elaboración propia.

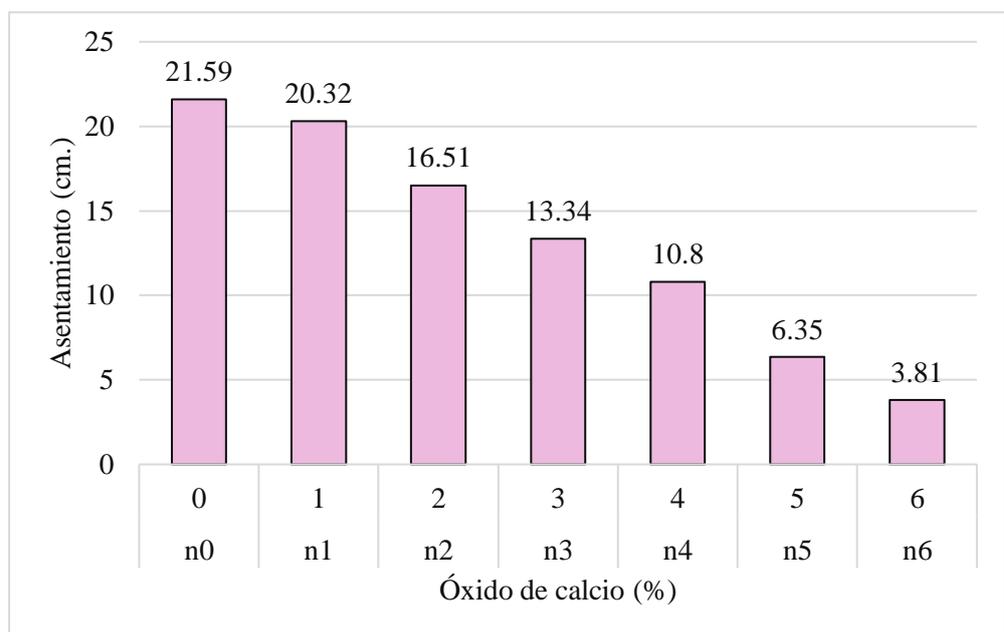


Figura 5: Variación del asentamiento en 6 mezclas diferentes con presencia de porcentajes de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

(Padua, 2019).

- Tipo de óxido: Cal viva o óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado de bovino.
- En esta investigación se realizaron 9 mezclas a la cual se le adicionó un porcentaje de óxido de calcio, para lo cual, primero tuvo que pasar un proceso de precalcificación No = 0%, N1 = 1%, N2 = 2%, N3 = 3%, N4 = 4%, N5 = 5% y N6 = 6%.

- Diseño de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.51, adicionalmente superplastificante Sika ViscoCrete - 3330 en dosificación de 0.2%, donde se elaboró el diseño de mezcla $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$. A la cual se le adicionó óxido de calcio en porcentajes 0%, 1 %, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, 7%, 9% con respecto a las diferentes mezclas de concreto que se realizaron.
- Método de Ensayo: El tesista en laboratorio realizó el ensayo del Slump o mejor conocido como Cono de Abrams.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 7, y Figura 6.

Tabla 7: Ensayo de trabajabilidad con adición de porcentajes de óxido de calcio.

Mezcla	Óxido de calcio (%)	Asentamiento (cm)
n0	0	22
n1	1	21
n2	2	17
n3	3	14
n4	4	11
n5	5	6
n6	6	4

Fuente: Elaboración propia

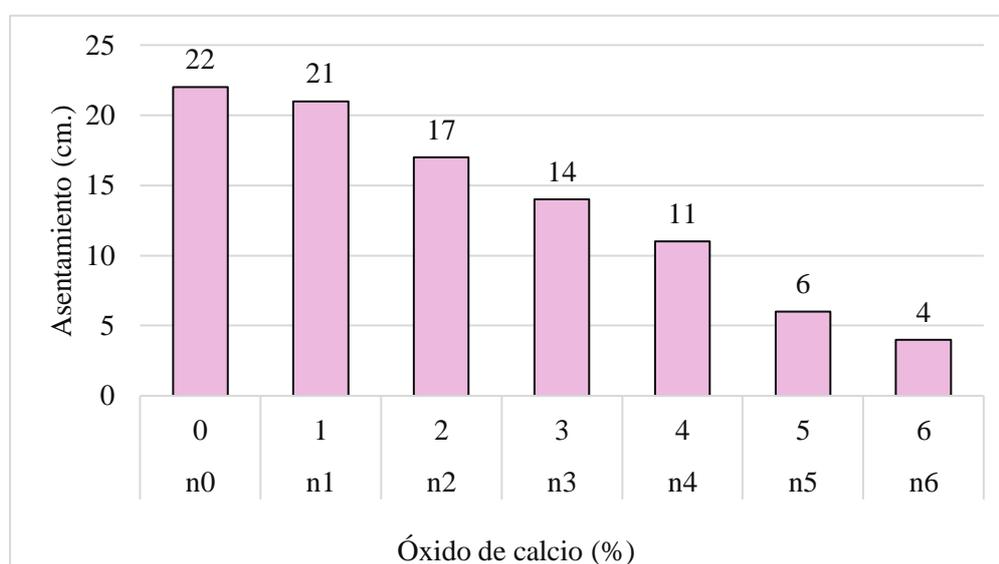


Figura 6: Variación del asentamiento en 9 mezclas diferentes con presencia de porcentajes de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

(Salman, 2020).

- Tipo de óxido: Óxido de calcio
- En esta investigación se buscó evaluar la influencia de la cal como activador químico en las propiedades mecánicas del concreto. Se hicieron mezclas sustituyendo en un 5%, 10% y 12% de cal por cemento. Para cada mezcla de concreto se midió el asentamiento.
- Diseño de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de las tres mezclas empleando, cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y superplastificante. Cabe mencionar que para cada mezcla las dosificaciones fueron distintas.
- Método de Ensayo: Se realizó el ensayo de Cono Abrams (Slump).
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 8, y Figura 7.

Tabla 8: Resultados de trabajabilidad de morteros patrón y morteros definitivos mezcla para el diseño de mezcla.

Mezclas	Óxido de calcio (%)	Asentamientos (cm)
M1	5	9
M2	10	8
M3	12	6.5

Fuente: Elaboración propia.

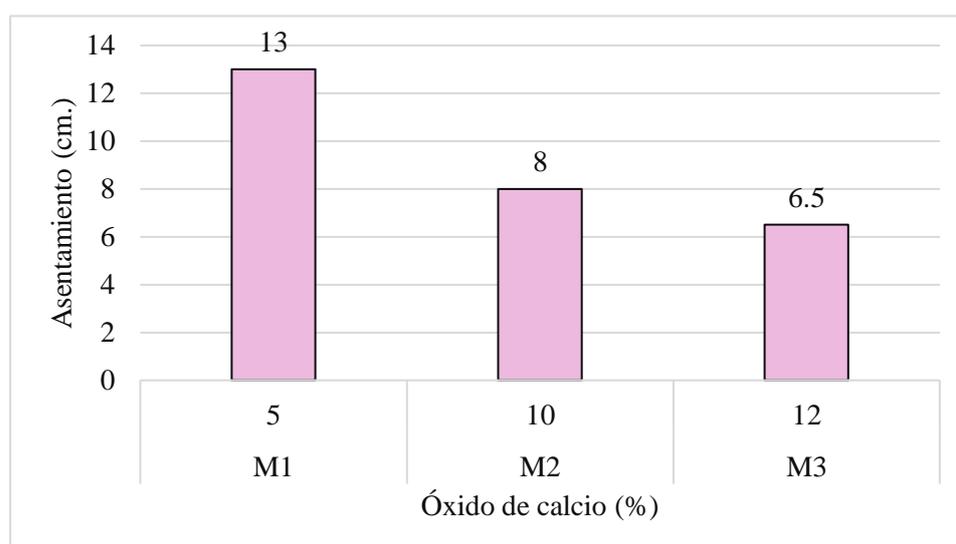


Figura 7: Variación del asentamiento con presencia de porcentajes de óxido de calcio para el diseño de mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los óptimos porcentajes de óxido de calcio para aumentar la resistencia a la compresión del concreto estructural.

(Pajuelo, 2018).

- Tipo de óxido: Cal, arcilla.
- En esta investigación se comparó tres combinaciones aleatorias de cemento, agregado fino, agregado grueso y cal, para obtener distintas resistencias a la compresión, sustituyendo al cemento por la combinación de cal en 10% y 12% buscando resultados de acuerdo al ensayo de concreto endurecido.
- Diseño de mezcla: Se realizó 3 mezclas de concreto mediante el diseño de mezcla establecido por el Instituto Americano del Concreto (ACI), se utilizaron Cemento Portland Tipo I, 0.9 litros de agua, agregado fino y agregado grueso para un concreto patrón que fue de 212 kg/cm². A partir de ellos se determinó el porcentaje de cal que sustituyó al cemento. La cantidad de porcentaje para cada combinación de cemento, cal y arcilla se elaboró para la combinación 1 no se añadió ningún porcentaje de cal en la combinación 2 se añadió 10% de óxido de calcio, en la combinación 3 se añadió 12% de óxido de calcio.
- Método de Ensayo: Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado, se pudo obtener diferentes resistencias a la compresión que se vieron diferenciados por las cantidades de cal y arcillaron que sustituyeron al cemento.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 9, y Figura 8.

Tabla 9: Ensayo de resistencia a la compresión en las 3 muestras ensayadas y dosificadas con distintos porcentajes de óxido de calcio.

Combinaciones	Óxido de Calcio (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Combó. 1	0	212
Combó. 2	10	236
Combó. 3	12	237

Fuente: Elaboración propia.

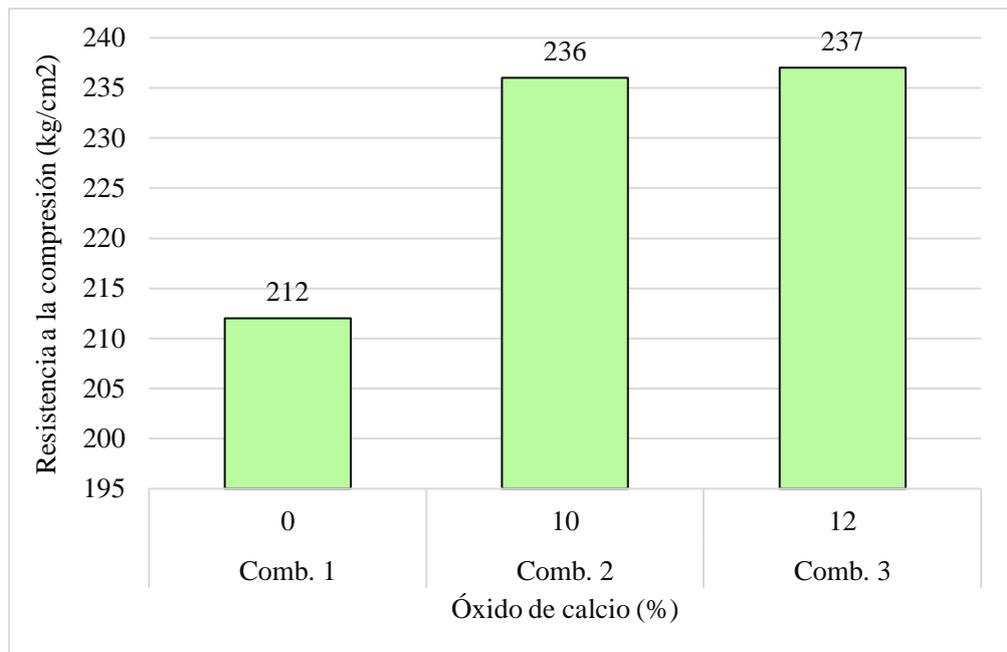


Figura 8: Resistencia a la compresión para combinaciones con presencia de óxido de calcio (0%,10% y 12%).

Fuente: Elaboración propia.

(Durand, 2017).

- Tipo de óxido: Tipo de óxido: óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado de bovino.
- Diseño de mezcla: Se preparó una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.52, adicionalmente superplastificante Sika ViscoCrete - 3330 en dosificación de 0.2% y la adición de óxido de calcio en porcentajes 0%, 1 %, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a las diferentes mezclas que se realizaron.
- Método de Ensayo: Se preparó 96 de probetas de concreto de 10 cm. x 20 cm. adicionados con diferentes porcentajes de óxido de calcio, las que fueron preparadas y curadas bajo la NTP 339:183:2013 (ASTM C192) Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 10, y Figura 9.

Tabla 10: Ensayo de resistencia a la compresión en las 6 muestras ensayadas y dosificadas con distintos porcentajes de óxido de calcio.

Mezcla	Óxido de Calcio (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
n0	0	309
n1	1	312
n2	2	337
n3	3	341
n4	4	353
n5	5	335
n6	6	325

Fuente: Elaboración propia.

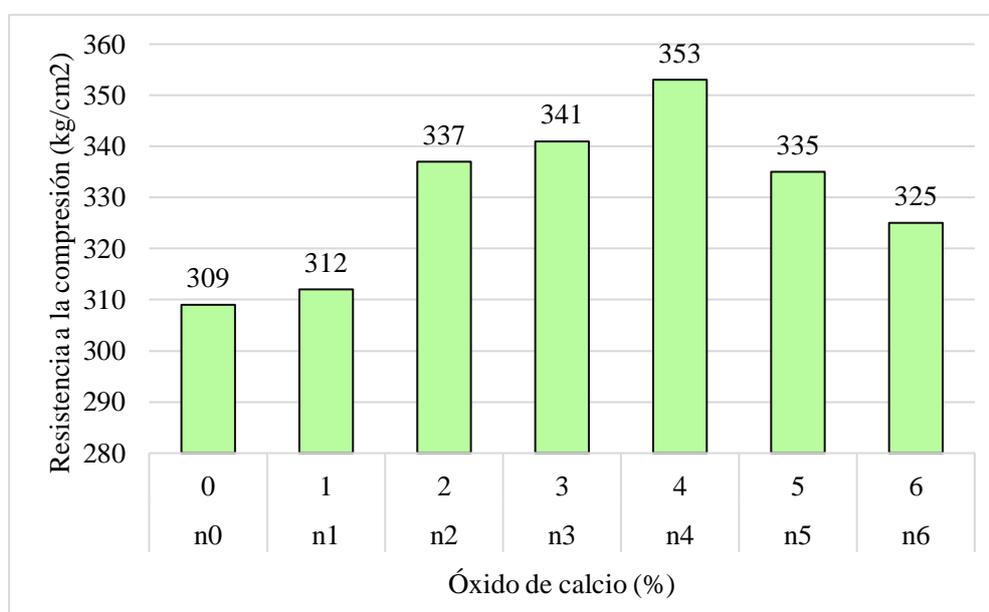


Figura 9: Resistencia a la compresión con los diferentes porcentajes de óxido de calcio en la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Silva et al., (2019).

- Tipo de óxido: Cal
- En esta investigación se realizó un diseño de mezclas de vértices extremos para estudiar al óxido de calcio como sustitución parcial del cemento Portland en concreto para determinar la resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

- Diseño de mezcla: Esta investigación realizó un diseño de mezcla, la cal se reemplazó al cemento Portland de 5%, 10% y 15% en peso, la proporción entre los agregados fue de 57% arena y 43% grava, con una relación agua/cemento de 0.54.
- Método de Ensayo: Máquina de ensayo de resistencia a la compresión ELE Soiltest.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 11, y Figura 10.

Tabla 11: Ensayo de resistencia a la compresión en las 10 mezclas ensayadas con adición de distintos porcentajes de óxido de calcio óxido de calcio.

Mezcla	Óxido de calcio (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
M4	5	237
M5	10	243
M6	15	266

Fuente: Elaboración propia.

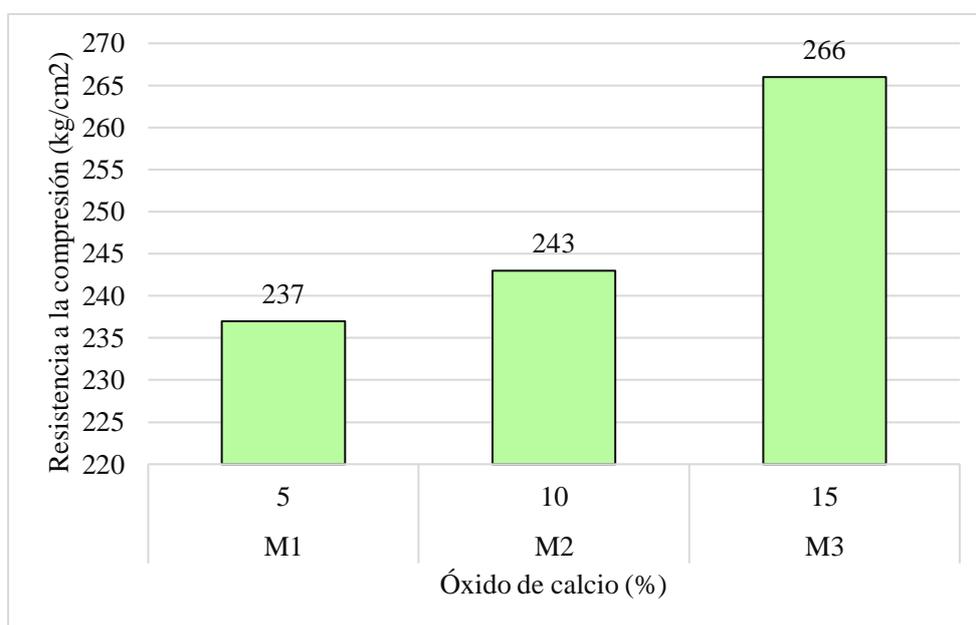


Figura 10: Resistencia a la compresión para combinaciones con presencia de óxido de calcio (5%,10% y 15%).

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la relación/agua y los óptimos porcentajes de óxido de calcio para reducir el tiempo de fraguado.

(Durand, 2017).

- Tipo de óxido: calcio extraído a partir de residuos de ganado de bovino
- En esta investigación se realizaron 6 mezclas con porcentajes de óxido calcio y su respectiva relación a/c, N0 a/c = 0.52, N1 a/c= 0.52, N2 a/c = 0.49, N3 a/c =0.47, N4 a/c =0.45, N5 a/c = 0.41 y N6 a/c = 0.40.
- Diseño de mezcla: Se preparó una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.52, adicionalmente superplastificante Sika ViscoCrete - 3330 en dosificación de 0.2% y la adición de óxido de calcio en porcentajes 0%, 1 %, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a las diferentes mezclas que se realizaron.
- Método de Ensayo: Se tamizó las muestras a través del tamiz N° 4 y luego se colocó en un recipiente hasta una altura no menor a 135 mm. de manera homogénea. Se realizó el ensayo en el penetrómetro con agujas, se compactó 25 veces la mezcla con la varilla de acero, distribuyendo uniformemente los golpes, según la NTP 339.082:2011 (ASTM C403) Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 12, Figura 11 y Figura12.

Tabla 12: Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado

Muestra	Óxido de calcio (%)	Tiempo de fraguado (min.)
n0	0	282
n1	1	267
n2	2	264
n3	3	260
n4	4	256
n5	5	257
n6	6	265

Fuente: Elaboración propia.

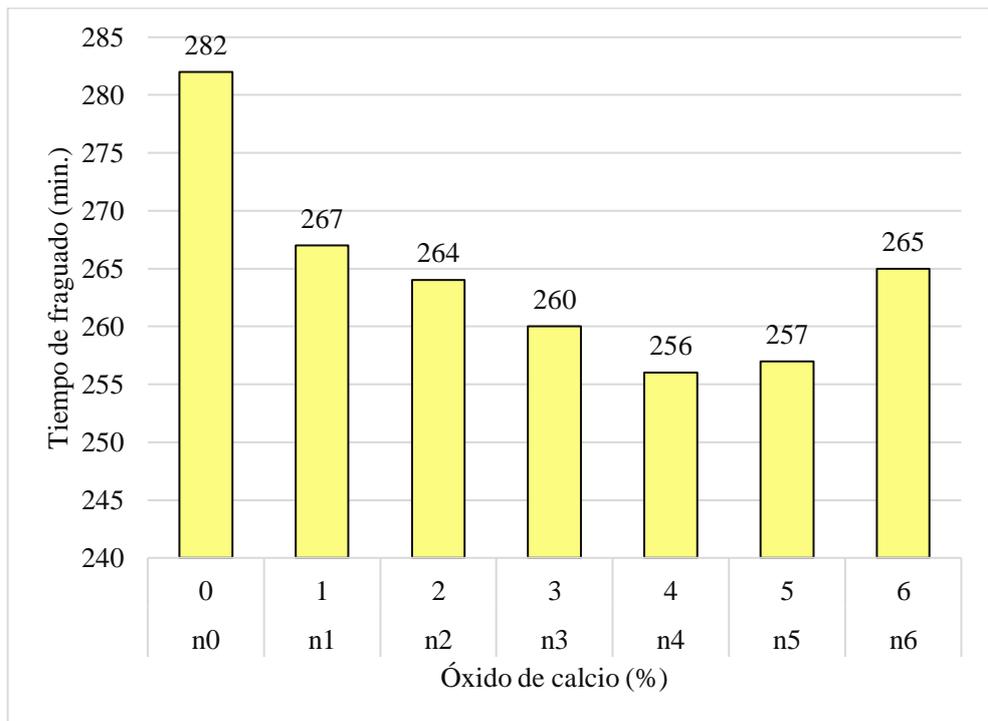


Figura 11: Tiempo de fraguado inicial de la mezcla adicionando óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado final.

Muestra	Óxido de calcio (%)	Tiempo de fraguado (min.)
n0	0	422
n1	1	410
n2	2	390
n3	3	379
n4	4	375
n5	5	376
n6	6	387

Fuente: Elaboración propia.

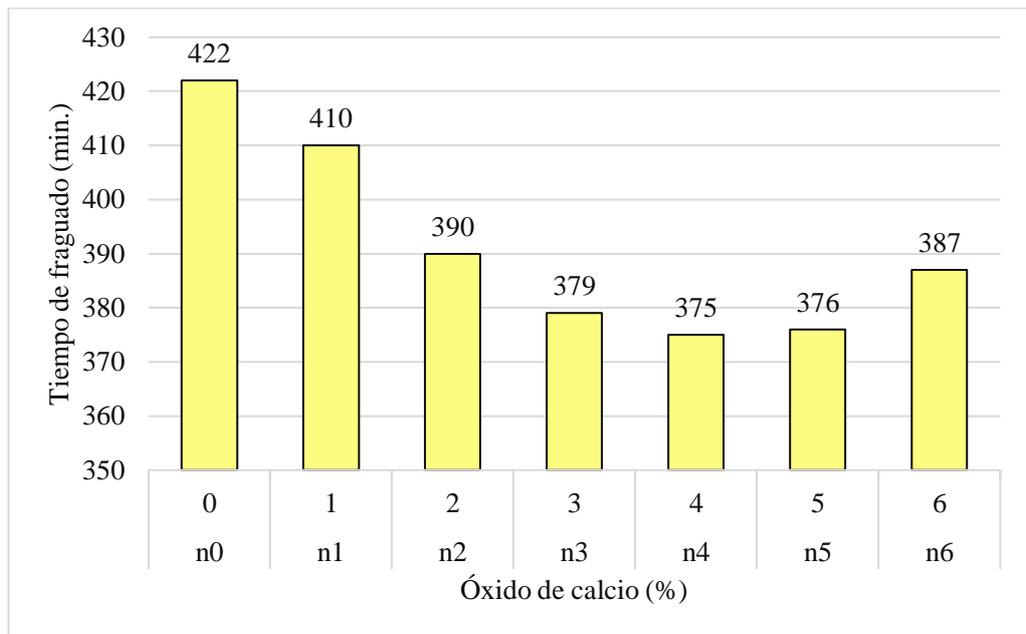


Figura 12: Tiempo de fraguado final de la mezcla adicionando óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

(Pacco, 2016).

- Tipo de óxido: Cal viva.
- En esta investigación se realizaron 5 muestras con diferentes porcentajes de cal viva. N1 = 0 %, N2 = 5%, N3 = 10%, N4 = 15%.
- Diseño de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.52, y la adición de óxido de cal viva en porcentajes 0%, 5%, 10%, y 15% con respecto a las diferentes mezclas que se realizaron. Se diseñaron las cuatro mezclas para una resistencia de 210 kg/cm².
- Método de Ensayo: El tesista en laboratorio realizó el ensayo de Cono de Abrams y controló el tiempo que demoraban en fraguar todas las mezclas con su dispositivo móvil.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 14, y Figura 13.

Tabla 14: Ensayo de Abrams con adición de porcentaje de óxido de calcio.

Muestra	Óxido de calcio (%)	Tiempo de fraguado (min.)
M1	0	279
M2	5	256
M3	10	250
M4	15	242

Fuente: Elaboración propia.

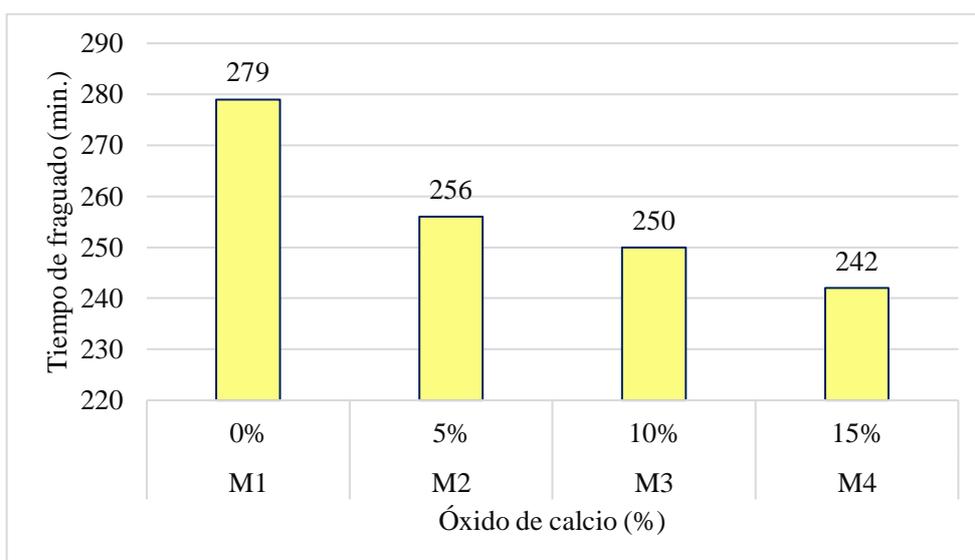


Figura 13: Tiempo de fraguado con adición de un porcentaje de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los óptimos tamaños máximo nominal para mejorar la mezcla del concreto estructural.

(Durand, 2017).

- Tipo de óxido: óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado de bovino.
- Diseño de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de cemento Pacasmayo Tipo I con una relación a/c de 0.52, adicionalmente superplastificante Sika ViscoCrete - 3330 en dosificación de 0.2% y la adición de óxido de calcio en porcentajes 0%, 1 %, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a las diferentes mezclas que se realizaron.

- Método de Ensayo: Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas, considerando el TMN y la relación agua/cemento.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 15, y Figura 14.

Tabla 15: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 12,7 mm.

Óxido de calcio (%)	TMN (mm.)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	12.7	312
2		337
3		341
4		353
5		335
6		325

Fuente: Elaboración propia.

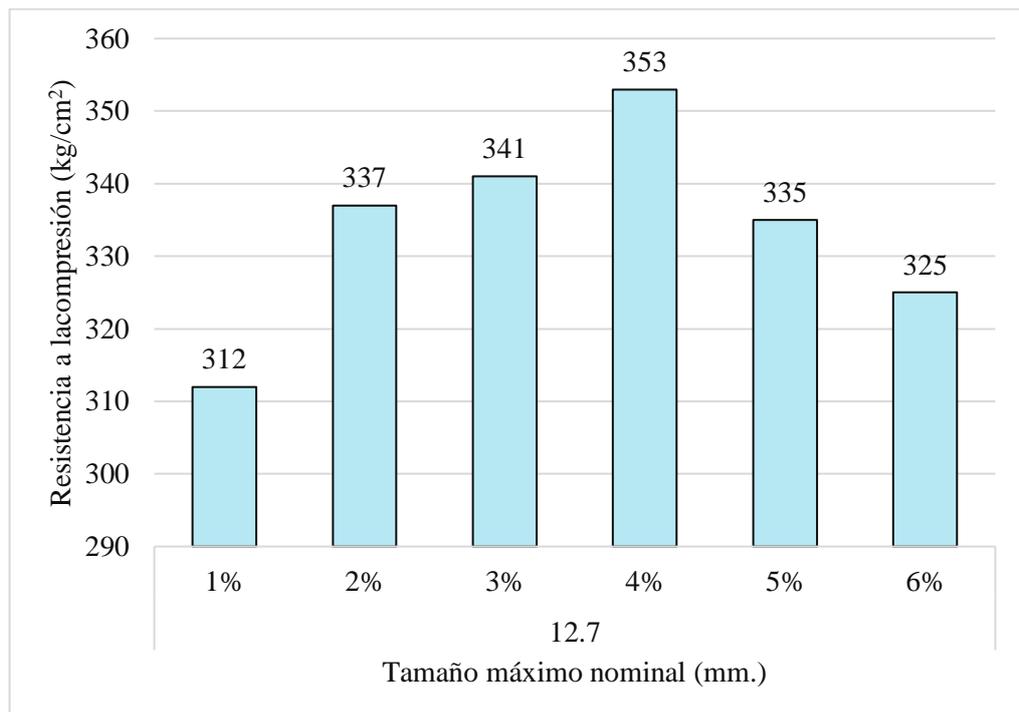


Figura 14: Resistencia a la compresión del concreto con un tamaño máximo nominal de 0.5 cm.

Fuente: Elaboración propia.

(Cruz, 2019).

- Tipo de óxido: óxido de calcio extraído de la cantera Alpamayo del Distrito de Acopampa.
- Diseño de mezcla: Se realizó una mezcla de concreto sustituyendo al cemento por la combinación de cal y ceniza de la planta de maíz, la combinación 1 contenía 100% de cemento, la combinación 2 un 85 % de cemento y un 15% de cal la combinación 3 un 88% de cemento y un 75% de cal.
- Método de Ensayo: Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 16, y Figura 15.

Tabla 16: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 12,7 mm.

Óxido de calcio (%)	TMN (mm.)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0	12,7	210
15		218
25		209

Fuente: Elaboración propia.

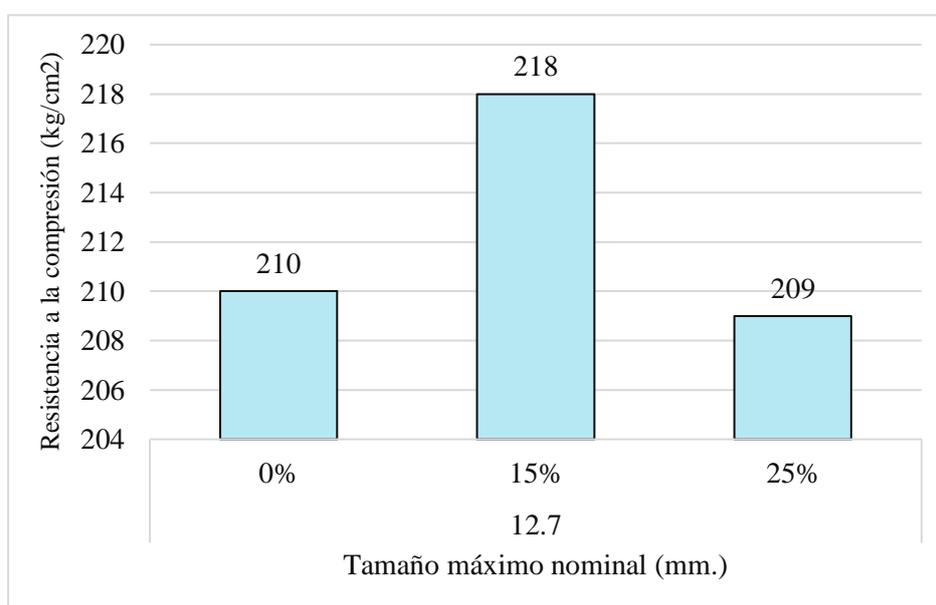


Figura 15: Resistencia a compresión del concreto en tres combinaciones con tamaño máximo nominal de 0.5 cm.

Fuente: Elaboración propia.

(Velásquez, 2019).

- Tipo de óxido: óxido de calcio extraído del Callejón de Huaylas.
- Diseño de mezcla: Se realizó una mezcla de concreto sustituyendo al cemento, se tiene mezcla 1 con 0% de cal, la mezcla 2 8% de cal y la mezcla 3 contiene 12% de cal. Para la elaboración de las mezclas de concreto se cumplió lo establecido por el ACI.
- Método de Ensayo: Ensayo de compresión axial.
- Resultado de ensayo experimental: Ver Tabla 17, y Figura 16.

Tabla 17: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 19.1 mm.

Óxido de calcio (%)	TMN (mm.)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0		210
8	19.1	245
12		190

Fuente: Elaboración propia.

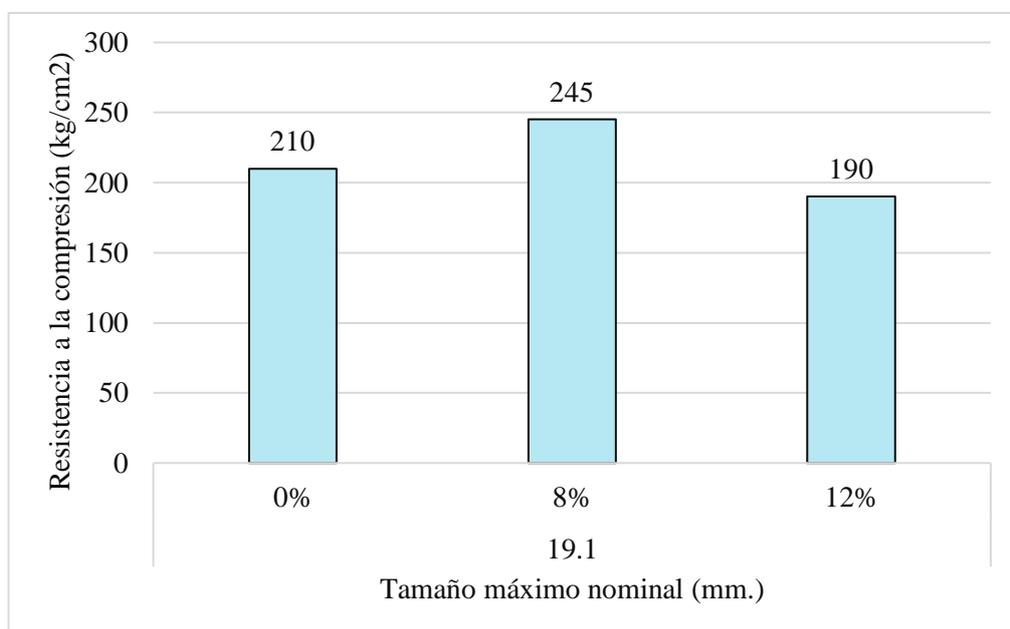


Figura 16: Resistencia a la compresión del concreto en tres combinaciones con tamaño máximo nominal de 19.1 mm.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Análisis e interpretación de los resultados

Analizando los resultados de los óptimos porcentajes de óxido de calcio para mejorar la trabajabilidad.

(Durand, 2017).

Analizamos la Figura 5 y observamos que el óptimo porcentaje de óxido de calcio es de 4% dando un asentamiento de 10.8 cm, la consistencia es plástica y una trabajabilidad media ya que se encuentra entre el rango de 7.5 cm – 12.5cm, que es ideal para el concreto estructural. Además, el aumento del porcentaje de óxido de calcio a partir del 1%, condujo a la reducción de asentamiento. Se hace notorio que a partir de la adición del porcentaje de óxido de calcio el asentamiento comienza a disminuir, no obstante que hasta un 6% de adición de óxido de calcio el asentamiento reduce hasta 3.81 cm.

(Padua, 2019).

Analizando los resultados de los asentamientos en la Figura 6 podemos interpretar que el óptimo porcentaje de óxido de calcio es del 4% ya que presento un asentamiento de 11 cm. con un grado de trabajabilidad intermedio.

(Salman, 2020).

En la Figura 7 los resultados demostraron que la muestra de concreto con 10% de óxido de calcio, presentó 8 cm. que se encuentra en el parámetro de una consistencia plástica, y un grado de trabajabilidad media.

Analizando los resultados al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio para aumentar la resistencia a la compresión del concreto estructural.

(Pajuelo, 2018).

En la Figura 8 se observa los resultados de la resistencia a la compresión que se obtuvo con la adición de diferentes porcentajes de óxido de calcio con un curado de 28 días. El óptimo porcentaje de óxido de calcio fue de 12%, ya que presento una resistencia a la compresión de 237 kg/cm². Respecto a la mezcla patrón la resistencia va incrementando al añadir más porcentaje de óxido de calcio.

(Durand, 2017).

Analizando los resultados de la Figura 9 se observa la resistencia a la compresión para cada porcentaje de adición, asimismo se observa el incremento de la resistencia con respecto al diseño de mezcla. La máxima resistencia se dio al 4% de adición alcanzando una resistencia a la compresión de 353 kg/cm².

Silva et al., (2019).

Al analizar los resultados podemos apreciar con respecto a la resistencia del concreto estas van incrementando, el óptimo porcentaje de óxido de calcio fue de 15 %, ya que logró tener la mayor resistencia a la compresión de 266 kg/cm² como se puede observar en la Figura 10.

Analizando los resultados al determinar la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio para reducir el tiempo de fraguado.

(Durand, 2017).

En la Figura 11 se observa los resultados del tiempo de fraguado que se obtiene con la adición de diferentes porcentajes de óxido de calcio con una relación agua/cemento de 0.5 todas las mezclas. Se observa que el porcentaje óptimo de óxido de calcio fue de 4% con una reducción de tiempo de fraguado inicial de 256 min. para el proceso en que la mezcla se va endureciendo y pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve de manejar, notando que al añadir un 5% de óxido de calcio a la mezcla el tiempo de fraguado vuelve a incrementar.

(Durand, 2017).

Respecto a la Figura 12 se muestran los resultados de los tiempos de fraguado final que tuvo un 4% como porcentaje óptimo de calcio dando como resultado un tiempo de fraguado de 375 min., se da en el endurecimiento de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el que la consistencia alcanza un valor muy apreciable.

(Pacco, 2016).

Analizando los resultados de la Figura 13 se observan los resultados una mezcla con una relación agua/cemento de 0.54 y la adición de diferentes porcentajes de óxido de calcio. El porcentaje óptimo de óxido de calcio fue

de 15% dando como resultado un tiempo de fraguado de 242 min, esto se da al aumentar la relación agua/cemento el calor de hidratación y la velocidad de reacción disminuye.

Analizando los resultados al determinar el tamaño máximo nominal para mejorar la mezcla del concreto estructural.

(Durand, 2017).

Analizando los resultados de la resistencia a la compresión de la Figura 14, se obtiene con diferentes porcentajes de óxido de calcio con un tamaño máximo nominal de 12,7 mm (1/2”), notando que, al adicionar progresivamente el porcentaje de óxido de calcio, incrementa la resistencia. Notando que al añadir 4% de óxido de calcio se alcanzó la mayor resistencia a la compresión la cual fue de 353 kg/cm².

(Cruz, 2019).

Respecto a los resultados de resistencia a la compresión de la Figura 15, ante la adición de diferentes porcentajes de óxido de calcio con un tamaño máximo nominal de 12,7 mm. (1/2”), se obtuvo la mayor resistencia a la compresión que fue de 218 kg/cm², con la adición de 15% de óxido de calcio. Asimismo, se le añadió un 25% de óxido de calcio y la resistencia a la compresión disminuyó a kg/cm².

(Velásquez, 2019).

En la Figura 16 se observa los resultados de la resistencia a la compresión que se obtuvo al añadir 8% y 12% de óxido de calcio con un tamaño máximo nominal de 19.1, notando que al llegar al 8% de óxido de calcio en reemplazo del cemento, su resistencia incrementa a 245 kg/cm², al añadir 12% de óxido de calcio la resistencia disminuye.

5.3 Contratación de hipótesis:

Al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio incrementa la trabajabilidad del concreto estructural.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio no se incrementa la trabajabilidad del concreto estructural.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio si se incrementa la trabajabilidad del concreto estructural.

Observación:

Según la autora (Durand, 2017), en su tesis realiza 6 ensayos con diferentes porcentajes de óxido de calcio, el mejor ensayo se obtuvo con un porcentaje óptimo de 4% de óxido de calcio, y tuvo 10.80 cm en su asentamiento como resultado y su trabajabilidad fue blanda, ideal para el concreto estructural.

Respecto al resultado del autor (Padua, 2019), se observó que entre los 6 ensayos que realizó con una adición de porcentaje, se obtiene que la adición óptima de óxido de calcio en un 4% es aceptable para una mejora en la trabajabilidad del concreto.

Según el autor (Salman, 2020), se pudo observar que el asentamiento de las mezclas aumenta con la adición de cal, el porcentaje óptimo y único de cal fue de 10 %, en todas las dosificaciones se empleó ese porcentaje.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de óxido calcio incrementa la trabajabilidad del concreto estructural.

Tabla 18: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75

Autor	Óxido de calcio (%)	Asentamiento (cm.)
Salman (2020)	10	10
Durand (2018)	4	10.8
Padua (2019)	4	11

Fuente: Elaboración propia.

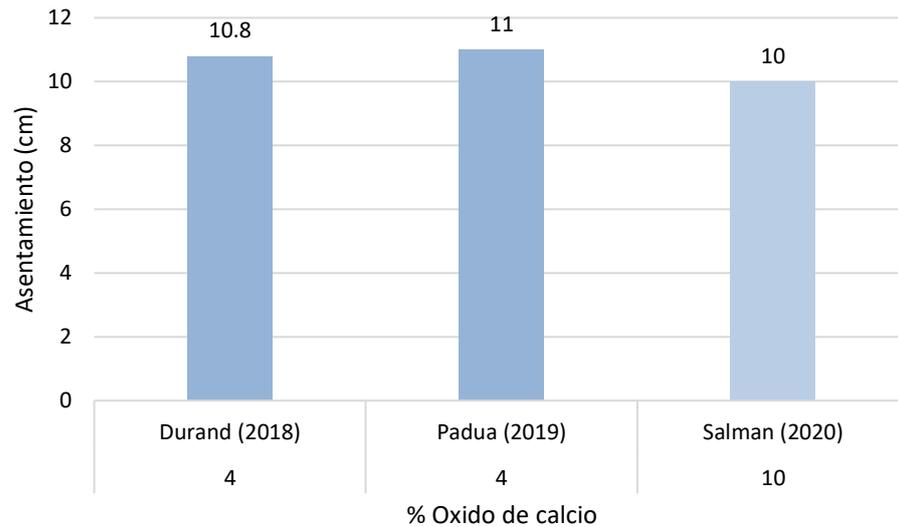


Figura 17: Resultados de los asentamientos con adición de un porcentaje de óxido de calcio

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje óptimo de óxido de calcio aumenta la resistencia a la compresión del concreto estructural.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio no mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio si se mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

Observación:

Respecto al resultado del autor (Pajuelo, 2018), se analizó 3 combinaciones, la cual se comprobó que la combinación 3 que sustituye al cemento por óxido de calcio en un 12% fue la que obtuvo mayor resistencia a la compresión. Según la autora (Durand, 2017), en su tesis se realizaron 6 mezclas de concreto, el mejor porcentaje para el diseño de mezcla fue 5% de óxido de calcio, esta obtuvo la mayor resistencia a la compresión que fue de 237 kg/cm², ideal para el concreto estructural. Respecto a los resultados de los autores (Silva et al., 2019), en su artículo se realizaron mezclas de concreto, la mejor para el diseño de mezcla fue 15% de óxido de calcio, esta obtuvo la mayor resistencia a la compresión ideal para el concreto estructural.

Según la autora (Velásquez, 2019), en su tesis se realizan 3 mezclas, la cual concluyó que su mejor porcentaje óptimo fue de 6% para una mayor resistencia a la compresión para el concreto estructural.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de calcio mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

Tabla 19: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75

Autor	Óxido de calcio (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Pajuelo (2018)	12	237
Silva et al. (2019)	15	266
Durand (2018)	4	353

Fuente: Elaboración propia.

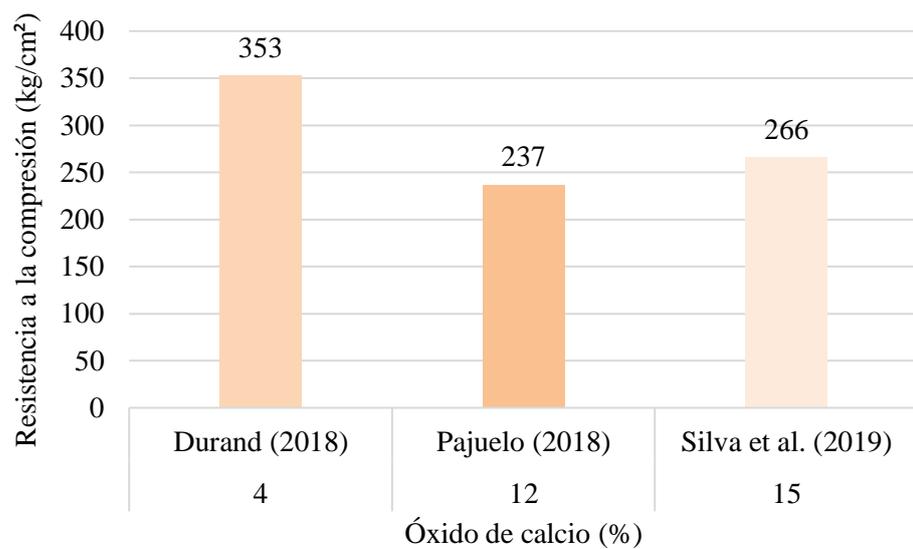


Figura 18: Resultados de la resistencia a la compresión con adición de un porcentaje de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

La relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio reducen el tiempo de fraguado.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio reduce el tiempo de fraguado.

H1: Al determinar la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio no reduce el tiempo de fraguado.

Observación:

Según la autora (Durand, 2017), en su tesis realiza 7 ensayos con diferentes porcentajes de óxido de calcio, el porcentaje óptimo fue de 4%, también se realizó ensayo de tiempo de fraguado según norma ASTM C403 para la mezcla con aditivos superplastificante y sin superplastificante, utilizó el superplastificante porque permitió reducir hasta un 30% de la cantidad de agua y trabaja con mezclas secas de relación a/c de 0.30 a 0.45.

Según el autor (Pacco, 2016), utilizó una relación a/c de 0.54 al aumentar esta disminuye el calor de hidratación y la velocidad de reacción de procesos, adicionando el aditivo reduce el tiempo de fraguado.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio reduce el tiempo de fraguado.

Tabla 20: Ensayo de Resistencia a compresión con tamaño máximo nominal de 0.75

Autor	Relación a/c	Óxido de calcio (%)	Tiempo de fraguado (min.)
Pacco (2016)	0.54	15%	242
Durand (2017)	0.43	4% <u>4%</u>	256 375

Fuentes: Elaboración propia

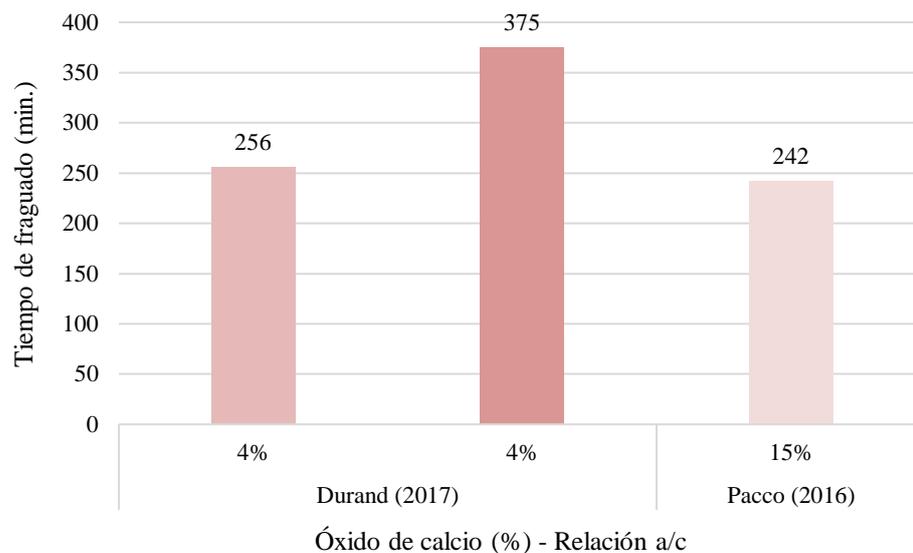


Figura19: Resultados de los tiempos de fraguado con la relación a/c y la adición de un porcentaje de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia.

El óptimo tamaño máximo nominal mejora la mezcla del concreto estructural.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el óptimo tamaño máximo nominal no mejora la mezcla del concreto estructural.

H1: Al determinar el óptimo tamaño máximo nominal si mejora la mezcla del concreto estructural.

Observación:

Según la autora (Durand, 2017), el óptimo tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ ", concluyó que a menor tamaño del agregado grueso se mejora el acomodamiento de las partículas y permite reducir la cantidad de vacíos en concreto y por ende aumenta la resistencia a compresión.

Según el autor (Cruz, 2019), el óptimo tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ ", concluyó que este factor influye en la cantidad de agua que se requiere en la mezcla para satisfacer las condiciones de trabajabilidad, y así cuando mayor sea el TMN, menor será el requerimiento de agua y mayor la resistencia a la compresión.

Según el autor (Velásquez, 2019), el óptimo tamaño máximo nominal es de $\frac{3}{4}$ ", concluyó que los agregados de forma redondeada producen mayor resistencia, los de mayor tamaño, superficies más ásperas, mientras que los de tamaño pequeño y textura suave son más fáciles de colocar, aunque requieran más cantidad de cemento.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el tamaño máximo nominal si mejora la mezcla del concreto estructural.

Tabla 21: Ensayo de Resistencia a la compresión con tamaño máximo nominal de 0.75

Autor	TMN (mm.)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Cruz (2019)	12.7	218
Velásquez (2019)	19.1	245
Durand (2018)	12.7	353

Fuente: Elaboración propia.

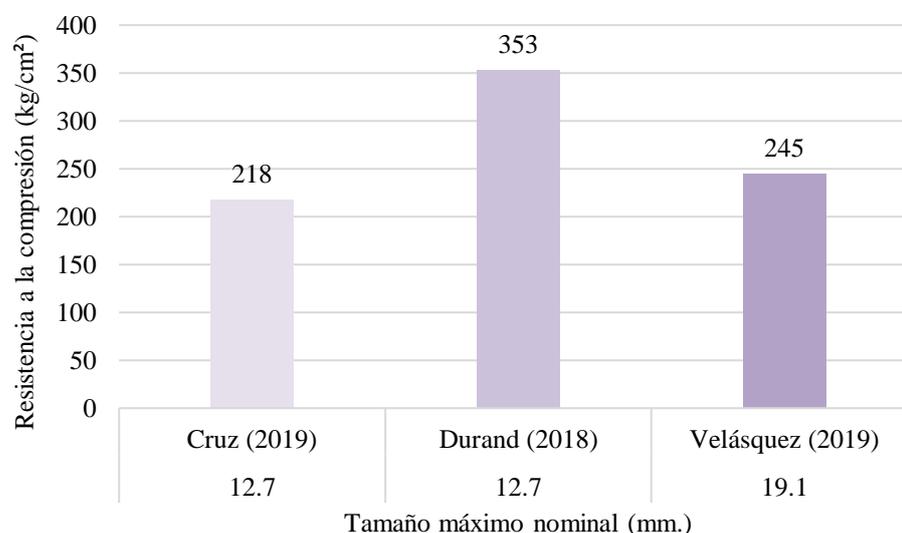


Figura 20: Resultados de las resistencias con adición de un porcentaje de óxido de calcio

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

1. Según los resultados de asentamiento de las tesis que tienen como autores a (Durand, 2017), (Padua, 2019), y (Salman, 2020) se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 1, la cual menciona que un porcentaje óptimo incrementa la trabajabilidad del concreto estructural, en la Figura 17 se evidencia el incremento de los asentamientos, se obtuvo diversos resultados para las diferentes mezclas, obteniendo porcentajes óptimos en un rango de 4% a 10%, demostrando que todos los componentes de la mezcla contienen diferentes características que pueden incrementar o disminuir el asentamiento, el mayor asentamiento obtenido fue de 11 cm con un 4% de óxido de calcio y el menor asentamiento fue de 10 cm con un 10% de óxido de calcio.
2. Según los resultados de resistencia a la compresión que tienen como autores a (Padua, 2019), (Abdelatif et al., 2020), y (Velásquez, 2019), se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis 2, ya que se reportan mejoras en la resistencia a la compresión del concreto estructural con el uso de un porcentaje de óxido de calcio, la Figura 18 se evidencia el incremento de la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas, obteniendo porcentajes óptimos en un rango de 4% a 15%, la mayor resistencia a la compresión fue de 353 kg/cm² con un 4% de óxido de calcio y la menor resistencia a la compresión fue de 237 kg/cm² con un 12 % de óxido de calcio.
3. Según los resultados de la relación agua - cemento y el porcentaje de óxido de calcio que tienen como autores a (Durand, 2017) y (Pacco, 2016) reportan reducción en el tiempo de fraguado con relación al agua/cemento y adición de porcentaje de óxido de calcio como se muestra en la Figura 19, aceptando la hipótesis 3, la mayor relación a/c para reducir el tiempo de fraguado fue de 0.54 con un 15% de óxido de calcio y tiempo de fraguado de 242 minutos y la menor relación a/c fue de 0.43 con un 4% de óxido de calcio y tiempo de fraguado de 375 minutos.
4. Según los resultados del tamaño máximo nominal que tienen como autores a (Durand, 2017), (Cruz, 2019) y (Velásquez, 2019), los cuales mencionan que la mezcla mejora con relación al tamaño máximo nominal, aceptando la hipótesis, sin embargo, difieren en la relación a/c utilizado por los autores de la Figura 20, esto

se da por los componentes que van a ser utilizados en la mezcla, se pudo obtener la mayor resistencia a la compresión fue de 353 kg/cm² mezcla con un tamaño máximo nominal de 12.7 mm, y la menor resistencia a la compresión fue de 218 kg/cm² con un tamaño máximo nominal de 12.7mm.

CONCLUSIONES

1. Al realizar la adición el óxido de calcio en porcentajes óptimos a una mezcla de concreto, esta mejora sus propiedades físicas y mecánicas como la trabajabilidad, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión. Con respecto a la trabajabilidad se determinó que el porcentaje óptimo fue de 4%, con un asentamiento de 11cm. El porcentaje óptimo para aumentar la resistencia a la compresión fue de 4% con una resistencia de 353 kg/cm². Se determinó que la relación a/c de 0.43 con un porcentaje óptimo de óxido de calcio de 4 % en la mezcla de concreto reduce el tiempo de fraguado a 375 minutos. Finalmente, para una mejor mezcla se utilizó del agregado grueso de tamaño máximo nominal de 12.7 mm., con una resistencia máxima de 353 kg/cm².
2. Al añadir óxido de calcio a la mezcla de hormigón, se observa que para el ensayo con 280 kg/cm² el patrón obtiene un asentamiento de 21.6 cm. Y añadiendo 1% y 6% se obtiene un asentamiento de 20.3 cm y 3.8 cm respectivamente. Así mismo para los ensayos con patrón objetivo de 509 kg/cm² y 713 kg/cm² que contienen un contenido de cenizas volantes porcentaje se obtiene un asentamiento de 6.5 cm y 6 cm respectivamente y al añadir un 10% de óxido de calcio se obtiene un asentamiento de 10 cm y 8.5 cm, del mismo modo concluimos que a mayor porcentaje de óxido de calcio se reduce el asentamiento.
3. Por otro lado, el ensayo de resistencia a la compresión con 210 kg/cm² el patrón obtiene 212 kg/cm² y añadiendo 10% y 12% de óxido de calcio obtiene una resistencia de 235 kg/cm² y 237 kg/cm² respectivamente. Así mismo añadiéndole al patrón 6% y 9% de óxido de calcio obtiene una resistencia de 244 kg/cm² y 189 kg/cm², de esta manera concluimos que a menor porcentaje de óxido de calcio incrementa la resistencia a la compresión.
4. En la Figura 13 se observa que, al adicionar progresivamente óxido de calcio, el tiempo de fraguado inicial tiende a reducirse en un rango de 267 minutos para 1 % de óxido y 257 minutos para 5% de óxido, en la Figura 14 se visualiza el tiempo de fraguado final, observamos que este tiempo tiende a reducirse en un rango de 410 minutos para 1 % de óxido y 376 minutos para 5% de óxido. Centrándonos en la Figura número 17 en la que se adicionó tres porcentajes progresivos de óxido de

calcio, la fragua tiende a reducirse en un rango de 256 minutos para 5% de óxido, 250 minutos para 10% de óxido, y 242 minutos para 15% de óxido de calcio. Se manifiesta que el tiempo de fraguado se reduce con la intervención de óxido de calcio, esto hace que la mezcla se endurezca en menor tiempo y pierda plasticidad, con esto se obtiene una resistencia a la compresión óptima.

5. En la primera investigación (Durand, 2017), se realizaron diversos ensayos de diseño de mezcla, en todos estos ensayos el TMN fue el de 1/2", se puede apreciar que la mayor resistencia a la compresión es de 353 kg/cm², la cual se obtiene con un 5% de óxido de calcio. Un caso distinto se observa en la segunda investigación (Cruz, 2019), ahí se visualizan tres diseños de mezcla, los tres diseños tuvieron un mismo tamaño máximo nominal de 1/2", una igual relación agua/cemento de 0.63, y una elaboración en su dosificación para obtener en los tres casos una resistencia muy aproximada a la de 210 kg/cm², para el primer diseño una resistencia de 210 kg/cm² con 0% de óxido de calcio, en el segundo diseño una resistencia de 218 kg/cm² con 11.25%, en el tercero diseño una resistencia de 209 kg/cm² con 19%, se deduce entonces que en este caso el porcentaje óptimo es del 11% junto a una correcta separación de agregados para su dosificación. Manifestamos que seleccionar el adecuado tamaño máximo nominal en un diseño de mezcla es muy importante, ya que con esto sabremos la cantidad de agua a requerir, las proporciones adecuadas de los agregados, también obtendremos una resistencia a la compresión óptima, todo esto será optimizado con el óxido de calcio para obtener el diseño de mezcla esperado en el menor tiempo posible.

RECOMENDACIONES

1. Adicionar a la mezcla de concreto porcentajes de óxido de calcio en un rango del 5% al 10%, se consigue el asentamiento adecuado, brindando una notable mejora en sus propiedades físico – químicas, de tal modo se obtiene una mezcla entre blanda y fluida, ubicándose entre los rangos de 7.5 centímetros a 12.5 centímetros, la cual es apropiada para la obtención de un concreto estructural con grado medio de trabajabilidad , de igual manera en futuras investigaciones se podrían adicionar una serie de aditivos junto al óxido de calcio para tener un mejor panorama de sus resultados netamente en sus consistencias, y con esto poder obtener el asentamiento ideal con la dosificación correcta.
2. Referente a la propiedad mecánica de la resistencia a la compresión. Sería importante indagar más sobre el comportamiento de esta propiedad potenciada con óxido de calcio en elementos estructurales como losas de concreto armado, estructuras aperticadas, placas. Ya que las estructuras previamente mencionadas requieren resistencias altas porque estarán sometidas a grandes esfuerzos, estudiar el óxido de calcio en este contexto brindará a los investigadores un abanico de conocimientos del comportamiento del concreto en obras de gran envergadura.
3. La relación agua - cemento influye en la trabajabilidad del concreto, a mayor relación agua - cemento el asentamiento es mayor, debido a que las partículas se encuentran más dispersas. A mayor contenido de adiciones cementosas y menor relación agua – cemento se reduce el tiempo de fraguado y se acelera el proceso de hidratación del cemento. El tiempo de fraguado facilita a los constructores la preparación de los tiempos de encofrado y desencofrado de las estructuras.
4. El análisis granulométrico es de gran relevancia para la elaboración de una mezcla de concreto, al no determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso puede producir un incremento de la relación a/c. A menor tamaño del agregado grueso hay un mejor acomodamiento de las partículas que permite reducir la cantidad de vacíos en la mezcla de concreto y por ende aumenta la resistencia a la compresión.
5. Debido a la emergencia sanitaria que estamos atravesando durante este año no se pudo realizar una tesis experimental, en consecuencia, esta investigación queda

como antecedente para investigaciones futuras relacionadas a este tema. Es importante ensayar las muestras en laboratorio y en base a ello analizar los resultados, es por esto que es necesario seguir indagando sobre las bondades del óxido de calcio como potenciador químico de la mezcla de concreto estructural. De igual forma es fundamental analizar el comportamiento del y su aplicación del óxido de calcio en la elaboración de una mezcla de concreto, beneficiando en la parte ambiental, estructural y económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelatif, Y., Abdel-Aal, G., Fouda, A., & Alsoukarry, T. (2020). Evaluación de nanopartículas de óxido de calcio de residuos industriales sobre el rendimiento de pastas de cemento endurecido: estudio fisicoquímico.
- Albiluz, E. (2020). *Aplicación del óxido de calcio como propuesta de control de la saturación en el material de afirmado*. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7840>
- Altamirano, G., & Díaz, A. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí-Rivas*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>
- Ayuque, E. (2019). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cementos comerciales en la ciudad de Huancavelica*. Obtenido de Universidad Nacional de Huancavelica: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3178>
- Calabuig, R. (2015). *Efecto de la adicción de cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de hormigones con alto contenidos en cenizas volantes silíceas*.
- Chavarry, C., Chavarría, L., A, V., Pereyra, E., Arieta, J., & Reginfo, C. (28 de 02 de 2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. Peru. Obtenido de <http://www.journalprosciencences.com/index.php/ps/article/view/230>
- Chavarry, C., Chavarría, L., A, V., Pereyra, E., Arieta, J., & Reginfo, C. (28 de 02 de 2020). *Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica*. Obtenido de <http://www.journalprosciencences.com/index.php/ps/article/view/230>
- Concrete, I. A. (2019). Estados Unidos de Norte América. Obtenido de <https://www.concrete.org/>
- Cruces, J., & Quinta, F. (2018). *Diseños de mezclas del concreto por el método ACI, $F'c = 210\text{kg/cm}^2$* . Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín: <https://xdocs.pl/doc/disenio-de-mezclas-210docx-loxw2q7rv5nx>
- Cruz, O. (2019). *Resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento en 15% y 25% de arcilla y cal*. Obtenido de Universidad San Pedro: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14324>

- Duran, J. C., & Mendoza, R. (2017). *Influencia de sílice en el proceso de calcinación para reducir el contenido de quemado en el óxido de calcio*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4615/IQdualjc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Durand, A. (2017). *Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad fraguado, compresión, densidad, porosidad, y absorción del concreto para elementos estructurales Trujillo*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.05.004>
- Garcés, J. G. (2016). *ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS MEDIANTE DIFRACCIÓN LÁSER*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85416/26751784R_TFG_14992723243857862105924948047208.pdf?sequence=2
- García, J. (2017). *Elaboración de morteros de cal y bastardos para albañilería fabricados con áridos siderúrgicos*. Universidad de Burgos, Burgos, España. Obtenido de <https://riubu.ubu.es/handle/10259/5174>
- GONZALES SACSI, S., & TICONA CANSAYA, K. A. (2016). *“Evaluación de la influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato de calcio tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención de óxido de calcio*. obtenido de universidad nacional de san agustín de arequipa: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2403/IQticaka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, d. l. (2016). *Estudio del mortero de pega usado en el cantón*. Internacional, A. (2021). Obtenido de https://webstore.ansi.org/SDO/ASTM?gclid=CjwKCAjww-CGBhALEiwAQzWxOmOdSqytadWuddHLJkmpTjeNBa201Nsq0rphG1TWRtUJU53JmEP9xoCZ7kQAvD_BwE
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., William, P., & Tanes, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association .
- Llatas, E. I. (2015). Resistencia a la compresión axial del concreto utilizando agregado de piedra caliza triturada lavada. *Tesis* . Universidad privada del norte, Cajamarca.
- Ministerio de transportes, M. y. (2008). España. Obtenido de <https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/mas-organos->

colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/instrucciones/ehe-08-
version-en-castellano

- Ministerio de Vivienda, C. y. (2009). *Norma E060*. Obtenido de <http://www3.vivienda.gob.pe/destacados/producto.aspx>
- Montoya, C. M. (03 de 01 de 2017). *Incidencias del contenido de agua en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad del concreto*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193955500001.pdf>
- Morales, D. (2017). *Influencia del tamaño máximo nominal de 1/2" y 1" del agregado grueso del río Amojú en el esfuerzo a la compresión del concreto para $F'_{C}=250\text{kg/cm}^2$* . Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1099>
- Nemocon, M. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cañamo*. Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Pacco, J. F. (2016). *Efecto de la adición de cal en la resistencia a la compresión de un concreto*. Obtenido de Universidad Nacional del Altiplano - Puno: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3677>
- Pacheco, L. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*. Obtenido de <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/226>
- Padua, C. (2019). *Uso del óxido de calcio en el proceso del concreto para elementos estructurales, en la provincia de Huaura*. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2930>
- Pajuelo, L. (2018). *Resistencia del concreto con cemento sustituido por la combinación de cal (en 0%, 10 % y 12%) y arcilla (en 0%, 7% y 9%)*. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/10409>
- Pochwala, S., Makiola, D., Anweiler, S., & Bohm, M. (2020). Las propiedades de conductividad térmica del material compuesto cañamo - cal utilizado en edificios unifamiliares.
- Ramirez, M. (2017). *Determinación de la manejabilidad de mezclas de concreto de bajo asentamiento utilizando el método de ensayo del consistómetro vebe*. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2017/02/09/Ram%C3%ADrez-Maria.pdf>

- Rocha, F. J. (2016). Uso de carbonato, óxido y sulfato de calcio, en alta concentración en tubos de goteo. Obtenido de <http://www.inovagri.org.br>
- Romero, J. (2019). Resistencia a la compresión de un concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$. *Resistencia a la compresión de un concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$* . UNIVERSIDAD SAN PEDRO, Huaraz, Perú.
- Rosell, J. (2018). HORMIGÓN DE CAL PARA LA RESTAURACIÓN DE LA IGLESIA DEL. *REHABEND*, 7.
- Salman, A. M. (2020). Estudio sobre hormigón de alta resistencia con cal y cenizas volantes bajas en calcio. *ResearchGate*, 9.
- Silva, Y., Rojas, J., Gamboa, J., Gordillo, M., & Delvasto, S. (2019). *Optimización de la resistencia a compresión usando un diseño de mezcla de vértices extremos, en concretos ternarios basados en residuo de mampostería y cal hidratada*. Obtenido de Revista EIA: <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1177>.
- Terreros, R. L., & Carvajal, C. I. (2016). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3%81NICAS%20DE%20UN%20CONCRETO%20CONVENCIONAL%20ADICIONANDO%20FIBRA%20DE%20C%C3%81%C3%91A.pdf>
- Vasquez, C. J. (2017). *Resistencia en concreto con cemento sustituido en un 5% y 7% por arcilla de Carhuaz - Ancash*. Obtenido de http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/1526/Tesis_50979.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Velásquez, D. (2019). *Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la planta de maíz*. Obtenido de Universidad San Pedro: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14296>
- Wu-Jian, Tao-Hua, Y., Li-Xiao, L., & Gan-Lin, F. (2020). Mecanismo de inhibición y caracterización electroquímica de la lixiviación de calcio de compuestos de cemento reforzado con óxido de grafeno.

ANEXO

Anexo 1: Matriz de consistencia. Tema: Oxido de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores	Diseño Metodológico
¿De qué manera el óxido de calcio influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural?	Analizar el óxido de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural.	Al determinar el porcentaje óptimo del óxido de calcio se mejoran las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural.	Oxido de calcio		Según las bibliografías, documental bibliográfico y según las bibliografías consultadas, el método es deductivo, la orientación es aplicada
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variable Dependiente	Indicadores	Diseño Metodológico
¿De qué manera el porcentaje óptimo de óxido de calcio influye en la trabajabilidad del concreto estructural?	Determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio para mejorar la trabajabilidad del concreto estructural	El porcentaje óptimo de óxido de calcio mejora la trabajabilidad del concreto estructural.	Propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural.	Trabajabilidad	Según las bibliografías, documental bibliográfico y según las bibliografías consultadas, el método es

¿De qué manera el porcentaje óptimo de óxido de calcio influye en la resistencia a la compresión del concreto estructural?	Determinar el porcentaje óptimo de óxido de calcio para aumentar la resistencia a la compresión del concreto estructural.	El porcentaje óptimo de óxido de calcio aumenta la resistencia a la compresión del concreto estructural.	Resistencia a la compresión.	deductivo, la orientación es aplicada
¿De qué manera la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio, influyen en el tiempo de fraguado del concreto estructural?	Determinar la relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio, para reducir el tiempo de fraguado.	La relación agua/cemento y el porcentaje óptimo de óxido de calcio reducen el tiempo de fraguado.	Tiempo de fraguado	
¿De qué manera el tamaño máximo nominal influye en la mezcla del concreto estructural?	Determinar el óptimo tamaño máximo nominal para mejorar la mezcla del concreto estructural.	El óptimo tamaño máximo nominal mejora la mezcla del concreto estructural.	Tamaño máximo nominal	

Fuente: Elaboración propia.