

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$,
elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino
en Abancay - 2023**

Asesor:

Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Huamani Allcca, Ronald

Para optar el título profesional: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de Sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 003

En la ciudad de Abancay, a los quince días del mes de **enero del 2026**, siendo las **9:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° **0026-2026-EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **08 de enero del 2026**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Dr. Soto Palomino, Wilfredo
Replicante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en Abancay – 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Huamani Allcca, Ronald

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Huamani Allcca, Ronald	Aprobado

Siendo las **10:05am** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Cayo Baca, Holguer

Dictaminante: Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Replicante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Abancay 15 de enero del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 399

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

Reporte de Similitud

Ronald Huamani Allca

TESIS CON DEPOSITO

 Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210\text{kg/cm}^2$, elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del a...

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:581063074

Fecha de entrega

20 abr 2026, 17:20 GMT-5

Fecha de descarga

20 abr 2026, 17:26 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS CON DEPOSITO.docx

Tamaño del archivo

48.3 MB

190 páginas

23.680 palabras

121.447 caracteres



Página 1 de 196 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:581063074



Página 2 de 196 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:581063074

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

▸ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

10%  Fuentes de Internet

2%  Publicaciones

8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Huamani Allcca Ronald
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	48335778
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0007-0846-356X
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2 años
Fuente de financiamiento	:	Propia
Porcentaje de similitud	:	11%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Esta tesis la dedico especialmente a mis padres, quienes son mi principal fuente de inspiración, quienes me apoyaron en cada etapa de mi vida y me dieron la mejor educación con valores y respeto.

A mis hermanas, Paty y Nataly, quienes son mis compañeras desde siempre y estuvieron para mí en las buenas y en las malas.

A mis sobrinitos, Kael y Gia, quienes son la bendición más grande de la familia y me esfuerzo cada día por ser una guía para ellos.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Tecnológica de los Andes, por darme la opción de desarrollarme académicamente en sus ambientes, a mis docentes, por brindarme los conocimientos necesarios en toda mi etapa de aprendizaje y a mis amigos que formé en mi etapa universitaria, y a mis padres por su apoyo incondicional.

Agradezco también, a mi asesor de tesis, Ph.D Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su guía comprometida y su apoyo continuo durante todo el desarrollo de esta tesis.

Resumen

Actualmente, podemos observar un aumento considerable de la industria de la construcción en el Perú, lo cual es algo positivo para el desarrollo del país, pero también trae como consecuencia un gran impacto medioambiental generado por los residuos de construcción y demolición (RCD). Una fracción importante de estos restos son los cerámicos, los cuales se pueden evidenciar grandes cantidades desechadas en la ciudad de Abancay, por ello es importante plantear alternativas de reutilización para estos residuos.

En esta tesis, fue tomada en cuenta el reúso de cerámicos desechados, para la fabricación de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, reemplazando al agregado fino en proporciones de 10%, 20%, 30% y 40%, para conocer su impacto en la resistencia a la compresión del concreto, así como en el asentamiento. Para lo cual se elaboraron 3 muestras por cada porcentaje de sustitución más las muestras patrón, que resultan 45 briquetas, para realizar las pruebas a compresión a los periodos de 7, 14 y 28 días. Así mismo, se elaboraron 15 muestras de concreto fresco, 3 por cada porcentaje de sustitución más las muestras patrón, para los ensayos de asentamiento. De esta forma se pudo ejecutar el balance de los resultados respecto al concreto patrón y se evaluó su influencia.

Palabras clave: concreto, asentamiento, resistencia a la compresión, cerámico reciclado.

Abstract

Currently, we are seeing considerable growth in the construction industry in Peru, which is positive for the country's development, but it also has a significant environmental impact due to construction and demolition waste (CDW). A significant portion of this waste is ceramic, large quantities of which can be seen discarded in the city of Abancay. It is therefore important to propose alternatives for reusing this waste.

In this thesis, the reuse of discarded ceramics was taken into account for the manufacture of concrete $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, replacing the fine aggregate in proportions of 10%, 20%, 30%, and 40%, to determine its impact on the compressive strength of the concrete, as well as on settlement. To this end, three samples were prepared for each replacement percentage, plus the standard samples, resulting in 45 briquettes, to perform compression tests at 7, 14, and 28 days. Likewise, 15 samples of fresh concrete were prepared, 3 for each replacement percentage plus the standard samples, for the slump tests. In this way, it was possible to balance the findings with respect to the standard concrete and evaluate their influence.

Keywords: concrete, slump, recycled, compressive strength, recycled ceramic.

Índice General

Portada.....	i
Acta de Sustentación.....	ii
Reporte de Similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice General	ix
Índice de tablas	xii
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Anexos.....	xvii
I. Introducción	1
II. Planteamiento del Problema.....	2
2.1. Descripción y Formulación del Problema	2
Problema General.....	3
Problemas Específicos	3
2.2. Objetivos.....	3
2.2.1. Objetivo General	3
2.2.2. Objetivos Específicos.....	4
2.3. Justificación e Importancia.....	4

2.4.	Hipótesis	5
	Hipótesis General	5
	Hipótesis Específicas.....	5
2.5.	Variables.....	5
	Variable Independiente.....	5
	Variables Dependientes.....	5
III.	Marco Teórico.....	6
3.1.	Antecedentes	6
3.2.	Bases Teóricas	15
	3.2.1. Cemento Portland	15
	3.2.2. Agregados.....	15
	3.2.3. Agua Para el Concreto.....	24
	3.2.4. Diseño de Mezcla.....	25
	3.2.5. Concreto	28
3.3.	Definición de Términos	32
IV.	Metodología	34
4.1.	Tipo y Nivel de Investigación	34
4.2.	Ámbito Temporal y Espacial	34
4.3.	Población y Muestra	34
4.4.	Instrumentos	36
4.5.	Procedimientos	36
4.6.	Análisis de Datos	37
4.7.	Consideraciones Éticas.....	37

V.	Resultados y Discusión	38
5.1.	Resultados.....	38
5.1.1.	Variable independiente: Incorporación de cerámico reciclado.....	38
5.1.2.	Variable dependiente: Resistencia a la compresión y asentamiento.....	66
5.1.3.	Diagramas comparativos de resistencia a la compresión.....	75
5.1.4.	Diagramas comparativos del asentamiento.....	79
5.2.	Discusión	82
5.3.	Prueba de hipótesis	83
VI.	Conclusiones	97
VII.	Recomendaciones	98
VIII.	Referencias.....	99

Índice de tablas

Tabla 1	Tamices normalizados en el estudio granulométrico	16
Tabla 2	Cantidad del agregado grueso para el ensayo de granulometría	17
Tabla 3	Condiciones granulométricas del agregado fino	18
Tabla 4	Condiciones granulométricas del agregado grueso.....	18
Tabla 5	Número de esferas para la prueba de abrasión según la gradación	24
Tabla 6	Factor de seguridad para resistencias requeridas	25
Tabla 7	Asentamiento del concreto	26
Tabla 8	Cálculo del volumen de agua y porcentaje de aire	26
Tabla 9	Factor agua/cemento para diferentes resistencias	27
Tabla 10	Cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto	27
Tabla 11	Estimación del peso del concreto por unidad de volumen.....	28
Tabla 12	Consistencia de la mezcla de concreto	29
Tabla 13	Edades de rotura y tolerancias permitidas	31
Tabla 14	Cantidad de testigos cilíndricos de concreto para la prueba de resistencia a la compresión.....	35
Tabla 15	Número de muestras de concreto para la prueba de asentamiento	36
Tabla 16	Peso unitario suelto y vacíos del agregado grueso	41
Tabla 17	Peso unitario suelto y vacíos del agregado fino	42
Tabla 18	Peso unitario suelto y vacíos del agregado fino de cerámico reciclado.....	43
Tabla 19	Peso unitario compactado y vacíos del agregado grueso	45
Tabla 20	Peso unitario compactado y vacíos del agregado fino	46
Tabla 21	Peso unitario compactado y vacíos del A.F.C.R.....	47
Tabla 22	Peso específico y absorción del agregado grueso	48
Tabla 23	Peso específico y absorción del agregado fino	49
Tabla 24	Peso específico y absorción del agregado fino reciclado	50
Tabla 25	Contenido de humedad del agregado grueso	51

Tabla 26 Contenido de humedad del agregado fino.....	52
Tabla 27 Contenido de humedad del agregado fino de cerámico reciclado	53
Tabla 28 Granulometría del agregado grueso.....	54
Tabla 29 Granulometría del agregado fino	55
Tabla 30 Granulometría del agregado fino de cerámico reciclado	57
Tabla 31 Ensayo de abrasión del agregado grueso	58
Tabla 32 Cuadro resumen de las propiedades de los agregados	59
Tabla 33 Elección del asentamiento de la mezcla.....	60
Tabla 34 Dosificación de pesos finales por volumen unitario	63
Tabla 35 Dosificación de pesos para cada porcentaje de sustitución de A.F.C.R.....	63
Tabla 36 Peso total de materiales para 45 probetas cilíndricas de concreto.....	64
Tabla 37 Cantidad requerida de agregado fino de cerámico reciclado.....	64
Tabla 38 Resistencia a la compresibilidad del concreto patrón.....	67
Tabla 39 Resistencia a la compresión del concreto con 10% de A.F.C.R.....	68
Tabla 40 Resistencia a la compresión del concreto con 20% de A.F.C.R.....	69
Tabla 41 Resistencia a la compresión del concreto con 30% de A.F.C.R.....	70
Tabla 42 Resistencia a la compresión del concreto con 40% de A.F.C.R.....	71
Tabla 43 Asentamiento de la mezcla patrón	72
Tabla 44 Asentamiento de la mezcla de concreto con 10% de A.F.C.R.	73
Tabla 45 Asentamiento de la mezcla de concreto con 20% de A.F.C.R.	73
Tabla 46 Asentamiento de la mezcla de concreto con 30% de A.F.C.R.	74
Tabla 47 Asentamiento de la mezcla de concreto con 40% de A.F.C.R.	74
Tabla 48 Asentamientos promedio de la mezcla de concreto	75
Tabla 49 Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días.....	84
Tabla 50 Varianza común de la muestra patrón y del 10% de A.F.C.R.....	84
Tabla 51 Datos para la campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.....	84
Tabla 52 Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días.....	85

Tabla 53	Varianza común de la muestra patrón y del 20% de A.F.C.R.....	86
Tabla 54	Datos para la campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.....	86
Tabla 55	Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días.....	87
Tabla 56	Varianza común de la muestra patrón y del 30% de A.F.C.R.....	87
Tabla 57	Datos para la campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.....	87
Tabla 58	Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días.....	88
Tabla 59	Varianza común de la muestra patrón y del 40% de A.F.C.R.....	89
Tabla 60	Datos para la campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.....	89
Tabla 61	Valores de asentamientos de las muestras.....	90
Tabla 62	Varianza común de la muestra patrón y del 10% de A.F.C.R.....	90
Tabla 63	Datos para la campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.....	91
Tabla 64	Valores de asentamientos de las muestras.....	92
Tabla 65	Varianza común de la muestra patrón y del 20% de A.F.C.R.....	92
Tabla 66	Datos para la campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.....	92
Tabla 67	Valores de asentamientos de las muestras.....	93
Tabla 68	Varianza común de la muestra patrón y del 30% de A.F.C.R.....	94
Tabla 69	Datos para la campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.....	94
Tabla 70	Valores de asentamientos de las muestras.....	95
Tabla 71	Varianza común de la muestra patrón y del 40% de A.F.C.R.....	95
Tabla 72	Datos para la campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.....	95
Tabla 73	Matriz de consistencia.....	103
Tabla 74	Operacionalización de variables.....	104

Índice de Figuras

Figura 1 Recolección de agregado grueso y fino natural	38
Figura 2 Traslado y puesta de los agregados en el laboratorio	39
Figura 3 Recolección del material reutilizado	39
Figura 4 Trituración y selección del cerámico reciclado	40
Figura 5 Peso unitario suelto del agregado grueso.....	41
Figura 6 Peso unitario suelto del agregado fino.....	42
Figura 7 Peso unitario suelto del agregado fino de cerámico reciclado (A.F.C.R.)	43
Figura 8 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	44
Figura 9 Peso unitario compactado del agregado fino	45
Figura 10 Peso unitario compactado del agregado fino de cerámico reciclado	46
Figura 11 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	48
Figura 12 Peso específico y absorción del agregado fino	49
Figura 13 Peso específico y absorción del agregado fino reciclado.....	50
Figura 14 Contenido de humedad del agregado grueso	51
Figura 15 Contenido de humedad del agregado fino	52
Figura 16 Análisis granulométrico del agregado grueso	53
Figura 17 Curva granulométrica del agregado grueso	54
Figura 18 Análisis granulométrico del agregado fino	55
Figura 19 Curva granulométrica del agregado fino	56
Figura 20 Análisis granulométrico del agregado fino de cerámico reciclado.....	56
Figura 21 Curva granulométrica del agregado fino reciclado.....	57
Figura 22 Ensayo de abrasión del agregado grueso	58
Figura 23 Elaboración de testigos cilíndricos.....	65
Figura 24 Desencofrado de los testigos.....	65
Figura 25 Rotura de briquetas de concreto patrón.....	66
Figura 26 Rotura de briquetas de concreto con 10% de A.F.C.R.	67

Figura 27 Rompimiento de briquetas de concreto con 20% de A.F.C.R.	68
Figura 28 Rotura de briquetas de concreto con 30% de A.F.C.R.	69
Figura 29 Rotura de briquetas de concreto con 40% de A.F.C.R.	70
Figura 30 Comparación de resistencias a los 28 días	71
Figura 31 Asentamiento del concreto (slump)	72
Figura 32 Comparación de asentamientos de la mezcla de concreto.....	75
Figura 33 Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 10% de A.F.C.R. ...	76
Figura 34 Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 20% de A.F.C.R. ...	76
Figura 35 Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 30% de A.F.C.R. ...	77
Figura 36 Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 40% de A.F.C.R. ...	78
Figura 37 Resumen de resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días	78
Figura 38 Asentamiento del concreto patrón frente al 10% de A.F.C.R.....	79
Figura 39 Asentamiento del concreto patrón frente al 20% de A.F.C.R.....	80
Figura 40 Asentamiento del concreto patrón frente al 30% de A.F.C.R.....	80
Figura 41 Asentamiento del concreto patrón frente al 40% de A.F.C.R.....	81
Figura 42 Resumen de asentamientos del concreto patrón frente a las proporciones de A.F.C.R.	81
Figura 43 Campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.	85
Figura 44 Campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.	86
Figura 45 Campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.	88
Figura 46 Campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.	89
Figura 47 Campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.	91
Figura 48 Campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.	93
Figura 49 Campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.	94
Figura 50 Campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.	96
Figura 51 Requisitos granulométricos del agregado grueso	105

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz de Consistencia	103
Anexo 2. Operacionalización de Variables	104
Anexo 3. Requisitos granulométricos del agregado grueso	105
Anexo 4. Fichas de Recolección de Datos	106
Anexo 5. Informe de Laboratorio	125

I. Introducción

En los últimos años se ha evidenciado un aumento en la industria de la construcción, trayendo consigo también un aumento de los residuos provenientes de estas actividades, entre ellos los cerámicos, cuya mala disposición de estos genera un impacto negativo al ecosistema. En la ciudad de Abancay se han planteado estudios para el reúso de algunos residuos de construcción y demolición (RCD) pero no de los materiales cerámicos, siendo estos que constituyen un porcentaje importante de los residuos.

Es por ello que esta tesis se centró en estudiar los cerámicos reciclados triturados para establecer el impacto de la sustitución limitada del agregado fino natural por cerámicos reciclados en la ejecución de concreto de resistencia 210 kg/cm^2 en la localidad de Abancay. Se tomó en cuenta la resistencia a la compresión del concreto rígido y el asentamiento en el concreto fresco, por lo que se ejecutaron las pruebas respectivas y se examinaron los resultados que nos llevaron a concluir la eficiencia de este material reciclado.

Esta tesis nos ayuda a contar con una opción factible para la elaboración de concreto nuevo empleando cerámicos reciclados, de tal manera que contribuye a la reducción del efecto ambiental perjudicial generado por los RCD en nuestra localidad.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

La industria de la construcción tuvo un aumento considerable en todo el mundo y con ello la generación de residuos contaminantes, de acuerdo con POGOTECH (2017) durante el año se originan en todo mundo un aproximado de 6500 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD), esta cantidad incluye entre 2600 y 3000 millones de toneladas de restos inertes.

En ciudades como Bogotá, se adelantó el control y seguimiento a las obras constructivas desde el año 2011, es por esto, que se ha logrado el aprovechamiento de 4.269.776 toneladas de RCD, equivalentes al 20% de los residuos dispuestos en los sitios autorizados para tal fin (SDA, 2016).

Perú aún experimenta problemas graves en la administración de restos sólidos, las legislaciones e instrumentos actuales vinculados a la dirección de restos sólidos carecen de integración entre sí, y están enfocadas principalmente en la administración de los despojos sólidos municipales dejando frágil la gestión de otros tipos como son los RCD, como resultado, es la insuficiencia de base de datos de la generación, reciclaje y disposición final de los RCD y otro tipo de residuos (Flores, 2020). De igual forma, El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) revela que hay disposición inadecuada de grandes volúmenes de RCD dispuestas en diferentes puntos no autorizados del territorio del país.

En el departamento de Apurímac, se ha podido observar que las actividades del sector construcción se ha incrementado considerablemente, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el periodo 2007-2020, la actividad edificación, registró un crecimiento acumulado de 67,4%, equivalente a un índice de desarrollo promedio al año de 4,0%. Siendo Apurímac donde se registró el mayor incremento acumulado (273,4%), que creció a un índice de desarrollo promedio al año de 10,7%. (INEI, 2021). Dicha información es posible contrastarla observando el crecimiento de la infraestructura que tuvo la ciudad de Abancay en los últimos años, por ejemplo, se pueden observar edificaciones

de hasta 7 y 8 pisos, por lo cual los RCD también se incrementaron, entre ellos los residuos de cerámicos.

En Abancay no existen datos exactos para cuantificar la cantidad de desperdicios de cerámicos, pero es posible identificar puntos de mala disposición de estos residuos en la periferia de esta ciudad, por ejemplo, en la carretera Abancay-Challhuanca se encuentran distintos puntos de desechos de RCD, donde se aprecian cantidades considerables de residuos cerámicos provenientes de las construcciones y demoliciones, es por ello que esta tesis formuló la utilización de los residuos de cerámicos para la elaboración de concreto en la localidad de Abancay y así mitigar el impacto ecológico que originan estos residuos, planteando el agregado fino de cerámico reciclado (A.F.C.R.) en reemplazo parcial del agregado fino natural y se estudió su consecuencia en las propiedades del concreto tales como la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido y el asentamiento del concreto en estado fresco.

Problema General

¿De qué manera influye el cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino, en la resistencia a la compresión y en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023?

Problemas Específicos

¿De qué manera influye el cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino, en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023?

¿De qué manera influye el cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino, en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Evaluar la resistencia a la compresión y el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en Abancay – 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

Analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en Abancay – 2023.

Analizar el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en Abancay – 2023.

2.3. Justificación e Importancia

Con esta tesis se pudo determinar si el cerámico reciclado consigue ser empleado satisfactoriamente como ingrediente en la producción del concreto, generando así una nueva alternativa ecológica y económica en la producción de dicho material.

Los restos de cerámico producidos por el rubro construcción no tienen una gestión adecuada en cuanto a su tratamiento y disposición final, por lo que se planteó la reutilización de estos en la fabricación de concreto, teniendo en cuenta las particularidades físicas que posee y así influir positivamente en la resistencia a la compresibilidad del concreto. Además, esto conlleva un efecto positivo en lo ecológico, ya que reduce la contaminación ambiental generada por la inadecuada predisposición de estos residuos, y al ser empleado en sustitución porcentual del agregado fino, reduce el uso de este y al mismo tiempo la degradación este recurso natural no renovable.

En vista que, en la ciudad de Abancay aún no se ha realizado una investigación acerca del uso de los residuos de cerámico en el concreto, es necesaria, para poder dar a conocer un nuevo conocimiento de reciclaje y reutilización de este material.

Mediante los estudios realizados en esta tesis se analizó la integración del cerámico reciclado en el concreto para determinar si cumplen con la normativa y si pueden optimizar las especificaciones físicas y mecánicas del concreto, resultando muy beneficioso para la población en la elaboración de concreto.

2.4. Hipótesis

Hipótesis General

El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la compresión y en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023.

Hipótesis Específicas

El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023.

El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino influye en el asentamiento del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay – 2023.

2.5. Variables

Variable Independiente

Incorporación de cerámico reciclado.

Variables Dependientes

Resistencia a la compresión y asentamiento.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

Vallejo (2021), desarrolló su investigación titulada “Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón sintetizado con desechos cerámicos como material cementoso suplementario”, el objetivo fue realizar una revisión sobre el efecto de las particularidades mecánicas de presión y de durabilidad en hormigones sintetizados con desechos cerámicos (polvo) como material cementoso suplementario del CPO mediante el análisis bibliográfico de la literatura para determinar los avances científicos conseguidos en la industria del hormigón. La metodología de la investigación fue con enfoque cualitativo ya que se basó en una revisión bibliográfica del tema planteado. Para la obtención de literatura científica se empleó plataformas académicas, tales como: Springer, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Wiley; asegurándose así que la información sea reconocida por la comunidad científica. Los hallazgos demostraron que el compuesto de hormigón con 20% de residuos CB tienen una mayor resistencia a la presión a diferencia con los otros residuos experimentados, sin embargo, esta presenta una disminución con respecto a la mezcla de control; esto se debe a las propiedades puzolánicas del CB (ladrillos cerámicos) que tienen una mayor ventaja dado a sus componentes. Además, la pérdida de resistencia de la mezcla de control tras el ensayo de envejecimiento acelerado fue del 6%, mientras que las que contienen residuos cerámicos como sustituto de cemento fue menor, oscilando entre 2% (CB) y 5% (WSOF (cerámica blanca cocida una vez)). Estos resultados muestran que las mezclas cerámicas tienen mayor durabilidad, lo que confirma el efecto afirmativo de los aditivos cerámicos en la sustitución del cemento. Se concluyó que las propiedades del hormigón con sustitución del CPO por diferentes tipos de residuos cerámicos tanto de pasta blanca como de pasta roja, presentan similitudes entre sí; obteniendo una reducción en la resistencia a la presión de acuerdo a la mezcla de control, siendo el producto de pasta roja el que mayor semejanza presenta con esta mezcla. En cuanto a la durabilidad la mezcla de control tuvo una pérdida de resistencia del 6% mientras que las mezclas con sustitución tuvieron pérdidas entre el 2% y el 5%. Estos resultados dan la idea de que los hormigones

independientes del tipo de residuo cerámico empleado como reemplazo del cemento, aunque tienen una reducción en su resistencia a la compresión poseen una mayor durabilidad debido a sus propiedades puzolánicas. Por otro lado, el 66.67 % de las investigaciones bibliográficas toma al 10% como el porcentaje óptimo de reemplazo mientras que el porcentaje restante señala que es el 30%.

Molina y Terán (2019), desarrollaron su estudio “Análisis del fraguado y de la resistencia a la compresión de pastas de cemento sustituidas parcialmente por polvo cerámico”, su objetivo era plantear la utilización de restos cerámicos que la corporación ecuatoriana EDESA S.A. desechaba, en la industria de la edificación. La metodología se basó en la determinación de la resistencia a la presión y la evaluación del tiempo de fraguado de cemento reemplazadas en parte por polvo cerámico en los porcentajes mencionados a continuación: 5, 7.5, 10, 12.5, 15%; en donde los materiales usados fueron cemento tipo GU de marca ATENAS®, arena normalizada ASTM C778 y polvo cerámico. Para lo cual el polvo cerámico fue obtenido mediante la molienda y trituración de residuos de cerámicos sanitarios de la fábrica EDESA, y posteriormente se tamizó dicho material hasta obtener el pasante del tamiz N° 200. Los hallazgos mostraron que la resistencia a la presión al día 28 obtenida para el 100% de masa de cemento, es decir sin reemplazo cerámico alguno es de 28.30 MPa, cumpliendo de tal manera con lo estipulado en los estándares de rendimiento para cementos hidráulicos de la norma INEN 2380, se ha determinado que los porcentajes más factibles de ser utilizados son el 5 y 7.5% respectivamente, ya que se encuentran dentro del rango de resistencia máximo permisible entre especímenes el cual corresponde al 8.7% de media de la resistencia determinada para el reemplazo cerámico del 0%, con un valor de 2.4621 MPa. Las conclusiones fueron que la sustitución parcial de cemento en todos los porcentajes por polvo cerámico de residuos sanitarios planteados no tiene mayor incidencia para los periodos de fraguado inicial en tanto que para el fraguado final ayuda al mismo con 15 minutos de adelanto con respecto a la muestra patrón de control que es la del 0% de reemplazo cerámico, y esto se debe a la composición química de la cerámica con una importante cantidad de alúmina.

También se obtuvo que, la sustitución de polvo cerámico no favorece en el incremento de la resistencia a la compresión para cementos hidráulicos, sin embargo, se podría utilizar la sustitución del 5% siempre y cuando los índices de calidad de las cementeras aumenten en un 2.5% la resistencia a la compresión de sus cementos y de esta manera utilizar el componente cemento-cerámico para elementos estructurales.

German y Solis (2019), en su trabajo de investigación denominado "Mortero de fraguado rápido, con cerámicos sanitarios reciclados y polímero super-absorbente", el objetivo fue diseñar morteros de fraguado rápido, con la utilización de cerámicos sanitarios reciclados y polímeros super-absorbentes (gel de sílice), como recubrimiento de mampostería. La metodología del trabajo de investigación corresponde con el método inductivo experimental. Inicialmente se realizó investigación bibliográfica recopilando información sobre la inclusión de residuos de cerámicos y gel de sílice en hormigones y morteros. Además, se propuso la elaboración de morteros de fraguado rápido con la integración de restos de cerámica de sanitarios y polímero super-absorbente (gel de sílice). Posteriormente se ejecutaron ensayos para establecer las particularidades mecánicas y físicas de los desechos de cerámica sanitaria, de esta manera se estableció una dosificación óptima para la obtención de dichos morteros, lo cual se evaluó mediante las datos de la resistencia a la compresión y flexión. Los hallazgos fueron que de las muestras a compresión y flexión se obtuvo un porcentaje de 0.5% como óptimo debido a que la resistencia fue la más superior con un valor de 265.90 kg/cm². Además, de las pruebas con el porcentaje óptimo, pero a diferentes tamaños de partícula de sílica gel, se obtuvo como resultado una resistencia de 288.13 kg/cm², perteneciente a los morteros con inclusión de sílice con tamaño menor a 38µm (pasante tamiz N°400), el mismo que es superior al especificado en la normativa vigente. Se concluyó que, al utilizar 100% de restos de cerámica sanitaria reciclada se determinó la resistencia de 238.05 kg/cm², la misma que es superior a la mínima especificada en la norma (NTE INEN 2 518, 2010), y esta se tomó como mortero patrón. Por otra parte, en los experimentos de resistencia a la compresibilidad de mortero con diferentes porcentajes (0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5%)

de silica gel se obtuvieron resistencias superiores al valor mínimo 17.2 MPa (175.39 kg/cm²) según la norma (NTE INEN 2 518, 2010), siendo el mayor resultado 265.90 kg/cm² perteneciente a los morteros con 0.5% de silica gel.

Hernández y Saravia (2018), en su estudio “Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con cerámicos reciclados como sustituto del agregado grueso”, el objetivo es proponer la sustitución del árido grueso en el hormigón prototipado para mantener una resistencia a la presión de $f'c$: 24 MPa por residuos cerámicos triturados y determinar la repercusión de este reemplazo en las particularidades mecánicas y físicas del hormigón. El método se fundamenta en la caracterización y cumplimiento de especificaciones según las normas y métodos ASTM correspondientes para agregados, con un mayor enfoque en el agregado grueso, el cual fue tamizado y separado de acuerdo con el tamaño de sus partículas en recipientes. Con la separación del material considerando su tamaño se logró controlar los rangos de la faja granulométrica. Este material fue obtenido en la fábrica Edesa, material que ha sido dispuesto como rechazo por dicha empresa, el mismo que fue reutilizado como agregado grueso en esta investigación. Para lo cual, se ejecutaron 72 prototipos cilíndricos de hormigón experimental, formuladas a partir de residuos cerámicos tamizados, y 14 prototipos cilíndricos de hormigón convencional, construidas de acuerdo con el modelado estándar ACI 318. Los hallazgos mostraron que en el hormigón tanto convencional como el realizado con cerámico triturado es fundamental la caracterización de los materiales. El asentamiento prefijado en el diseño correspondiente al hormigón con residuos cerámicos fue de 80 mm, sin embargo, en el experimento de asentamiento con el cono de Abrams se obtuvo un resultado de 46 mm, además se estableció una asociación agua-cemento de a/c : 0,52. Los cilindros sometidos al ensayo de compresión simple tuvieron un desempeño del 90% (29.32Mpa) de la resistencia para la cual fue diseñada en el laboratorio (32,3MPa). Las datas experimentales de los experimentos realizados con prototipados cilíndricos compuestas por excedentes cerámicos utilizados a cambio del agregado grueso, con la finalidad de medir la resistencia a la compresibilidad de las muestras fueron los siguientes: Tras un periodo de 7 días se

alcanzó una resistencia de 13.12 MPa, lo que equivale al 40.86 % de la resistencia a la compresión media necesaria, tras 14 días de curado, la resistencia a la compresión se midió en 17.11 MPa, lo que representaba el 52.97 % de la resistencia media necesaria, tras 28 días de curado, la resistencia promedio a la presión era de 29.32 MPa, lo que representaba el 90.77 % de la resistencia media necesaria, la desviación estándar fue de 1.95 y el índice de diferenciación fue de 0.06. Por lo tanto, se tienen las siguientes conclusiones: el hormigón, en función a la resistencia al deterioro de los áridos mediante la máquina de Los Ángeles, cumplirá los lineamientos de un concreto estructural. Además, Los cilindros sometidos al ensayo de compresión simple tuvieron un desempeño del 90% (29.32Mpa) de la resistencia para la cual fue diseñada en el laboratorio (32.3MPa), Por consiguiente, el hormigón que sustituye los áridos gruesos por desechos cerámicos acepta con la resistencia de diseño requerida.

Chicaiza y Guerra (2017), en su trabajo “Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros”, el objetivo fue estudiar la utilización de restos cerámicos triturados derivados de la empresa Franz Viegner como bien suplente de cemento para la producción de morteros. La metodología se realizó con el mortero ejecutado con cemento al 100% y el mortero ejecutado con múltiples tasas de cerámica molida (3, 5, 7, 10, 15) %. Los hallazgos manifestaron que la resistencia del mortero se mantiene estable hasta un valor de 10.578 MPa, con un porcentaje de sustitución del 5%, para luego subir y alcanzar un máximo, en el porcentaje de sustitución del 10%, de 12.209 MPa. Estos resultados son a 1 día de fraguado. A los 7 días el punto de máxima resistencia se obtiene cuando la sustitución con residuos cerámicos es del 10%. Se observó que la resistencia a los 28 días la mayor resistencia es obtenida, nuevamente, con un porcentaje de sustitución del 10%, alcanzando un incremento del 4% respecto al caso sin sustitución. Es también notable una disminución de la resistencia cuando el porcentaje de reemplazo alcanza el 15%. Se concluyó lo siguiente: el reemplazo óptimo es con la sustitución del 10%. Al efectuar el ensayo a compresión simple con el reemplazo de 15% la resistencia se redujo respecto al valor determinado con

el 10%. El valor de resistencia alcanzada con la sustitución del 10% es de 36,551 MPa, frente a la resistencia media propuesta por la norma es de 32.923 MPa, esto demuestra que es viable la sustitución objeto de dicha investigación.

Cayhualla y Palomino (2022), desarrollaron la investigación denominada “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm² añadiendo residuos cerámicos y ceniza de tronco de eucalipto como sustituto del agregado fino, Ica 2022”, el objetivo era examinar cómo los restos cerámicos, determinados triturando residuos de suelos cerámicos y cenizas de troncos de eucalipto, afectaban a las pruebas realizadas con concreto recién mezclado o fabricado y a las pruebas realizadas con concreto endurecido, como la compresión y la tracción. Para ello, se utilizaron los residuos como áridos finos en un porcentaje determinado. Se utilizaron hipótesis preexistentes que respaldan las variables debido a la metodología ejecutada en este estudio, que es de tipo aplicada. El objetivo principal de la investigación fundamental fue resolver problemas sociales. Los resultados revelaron que cuando el árido fino se sustituyó por restos cerámicos en concentraciones del (2, 8, 14 y 20)%, la resistencia a la compresión de la muestra patrón, que era de 383,74 kg/cm², aumentó a 400,47 kg/cm² cuando había una concentración del 2 % de residuos cerámicos, 407,47 kg/cm² cuando la concentración de residuos cerámicos era del 8 % y 428,49 kg/cm² cuando la concentración de residuos cerámicos era del 14 %, la resistencia a la presión disminuyó a 390,44 kg/cm² cuando la concentración de residuos cerámicos era del 20 %. Además, al realizar el ensayo de resistencia a la tracción, los hallazgos revelaron que, en el caso de la muestra patrón fue de 26,01 kg/cm², la resistencia a la tracción incremento a 28,55 kg/cm² cuando se añadió un 2 % de residuos cerámicos, a 28,83 kg/cm² con un 8 % de residuos cerámicos, a 30,86 kg/cm² con un 14 % de residuos cerámicos y un 26,45 kg/cm² con un 20 % de residuos cerámicos, por lo que, es correcto afirmar que cuando se reemplaza el 14 % del árido fino por restos cerámicos, la resistencia del hormigón aumenta hasta un 111,66 % respecto con el concreto patrón. Según las datas, la suma de un 14 % de material cerámico triturado produjo la mayor resistencia, que alcanzó su punto máximo a los 28 días, esto manifiesta

que la resistencia se aumentó en un 111,66 % a diferencia con el concreto de referencia con esta cantidad de árido fino. De igual manera, la resistencia máxima se logró a los 28 días con un 2 % de ceniza de tronco de eucalipto; por lo tanto, la sustitución de esta proporción de árido fino mejora la resistencia hasta en un 112,20 % a diferencia con el concreto patrón.

Bayona y Berrospi (2021), en su trabajo "Incorporación de cerámica reciclada para analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2021", su finalidad fue evaluar la influencia de la utilización de cerámica reciclada en la resistencia a la compresión del concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$, cuando se reemplaza el cemento por cerámica reutilizable en tasas de (3, 6, 9, 12, 15 y 18) %, mediante muestras que estuvieron constituidas por 84 probetas de concreto. La Metodología tipo aplicada porque permitió ejecutar el entendimiento para un recurso directo de la problemática planteada, además de tener un diseño de tipo experimental. Según las pruebas, existe una cantidad óptima de cerámica reciclada que puede añadirse al hormigón sin comprometer su resistencia a la compresibilidad ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$), de acuerdo con el valor de diseño, se logró una resistencia de $215,987 \text{ kg/cm}^2$ este punto óptimo, lo que equivale al 3 %. La resistencia comienza a disminuir significativamente con el 3 % y el 18 % de reemplazo, como resultado, se encontró que el comportamiento mecánico del concreto de 210 kg/cm^2 no se altera significativamente con agregar cerámica reciclada, no obstante, el 3 % de reemplazo facilita mantener la capacidad de resistencia, lo que convierte a este material reciclado en un sustituto viable y sostenible de una parte del cemento en la producción de concreto.

Espinoza y Pipa (2021), en su estudio "Residuos de cerámica como sustitución porcentual del agregado para mejorar las propiedades mecánicas del concreto", el propósito de este trabajo era estudiar las consecuencias que los residuos cerámicos integrados en el agregado tenían sobre las cualidades del concreto, concretamente su resistencia a la compresión axial, resistencia a la flexión, permeabilidad y módulo de elasticidad. La metodología es de naturaleza deductiva, con una orientación aplicada y de enfoque mixto, porque satisface tanto las necesidades cualitativas como cuantitativas. Es

cualitativa en el sentido de que mejora el concreto, y cuantitativa en el sentido de que utiliza cálculos y tablas estadísticas para evaluar y obtener resultados, que luego se contrastan con las hipótesis proporcionadas. Los resultados del estudio demostraron que se logró una mejora del 6.3 % en la prueba de resistencia a la presión axial cuando se incluyó un 30 % de restos cerámicos en el agregado, en términos de resistencia a la tracción, se logró un incremento del 10 % utilizando un 20 % de residuos cerámicos en el agregado, en cuanto al módulo de elasticidad, el porcentaje que evidenció un aumento fue el 1 % para la muestra que contenía un 10 % de residuos cerámicos; por último, en cuanto a la permeabilidad, se logró un aumento del 9,3 % utilizando un 20 % de residuos cerámicos. Se concluyó que, la inclusión de restos cerámicos como reemplazo del agregado tiene un efecto positivo sobre el concreto, porque optimiza sus particularidades físicas mecánicas, con excepción del módulo de elasticidad, en este caso, los residuos cerámicos tienen un impacto negativo, salvo cuando se incorpora el 10% de estos residuos, lo que provoca una subida del 1%. Y debido a lo que se ha mencionado, lo convierte en una opción ecológica y potencialmente amigable para las construcciones futuras.

Rojas (2019), en su estudio "Influencia de residuos de cerámica como sustitución porcentual del cemento sobre la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo-2019", la finalidad de este trabajo era estudiar el efecto que los restos cerámicos pueden tener en la resistencia a la compresión del concreto cuando se utilizan como sustituto porcentual del cemento. Debido al hecho de que controla y manipula deliberadamente las variables independientes (causas) con el fin de examinar las consecuencias en las variables dependientes (efectos), la metodología fue con un diseño de investigación experimental. Esta investigación requirió la ejecución de 72 probetas de concreto, que luego se sometieron a pruebas a los 14, 21 y 28 días. Es importante señalar que se tuvieron en cuenta seis porcentajes diferentes (0, 5, 10, 15, 20 y 25) % para reemplazar el cemento por restos cerámicos. Si bien ciertas sustituciones de restos cerámicos como sustituto porcentual del cemento aportan a reforzar la resistencia a la presión del concreto tras 28 días, como por ejemplo el 10%, otras provocan una disminución de dicha resistencia, como

por ejemplo el 0%, 5%, 15%, 20% y el 25%. Los resultados demostraron que diferentes porcentajes de residuos cerámicos tienen diferentes efectos. Es evidente que no todos los componentes que se incluyen en el concreto en términos porcentuales tienen un impacto en la resistencia a la compresión del material. Del mismo modo, se determinó que la resistencia a la compresión media del concreto patrón era de 242.13 kg/cm² después de 28 días de fraguado, este valor es inferior a la resistencia a la presión del concreto con un 10 % de restos cerámicos, que fue de 246.78 kg/cm² después de 28 días. La conclusión a la que se llegó fue que, la integración de residuos cerámicos cuando la proporción de reemplazo del cemento es equivalente al 10 % para un diseño de mezcla con $f'c = 210$ kg/cm², tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresibilidad del concreto, según el resultado obtenido. Por otro lado, cuando la proporción de sustitución del cemento es igual al 25 %, se genera una notable reducción de la resistencia.

Heredia (2019) en su estudio "Resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm², incorporando cerámico en 3 % y 5 % en reemplazo de agregado grueso". Este estudio se ejecutó como principalmente con el fin de estudiar las consecuencias la inclusión de cerámico triturado como sustituto del árido grueso en el concreto con resistencia a la compresibilidad de $f'c=210$ kg/cm² y cuya combinación cumple con las normas de granulometría detalladas en la normativa NTP 400.012. El estudio fue de tipo aplicado junto con un diseño experimental. Con este objetivo en mente, el diseño de mezcla se formuló ejecutando la técnica del módulo de fineza y la combinación de agregados, utilizando los componentes: cemento Pacasmayo tipo I, piedras trituradas de 1/2", arena gruesa, agua y cerámica triturada. El árido grueso se integró por cerámica triturada en diferentes proporciones, concretamente, 0 %, 3 % y 5 %, mientras que se produjo concreto con una resistencia de $f'c=210$ kg/cm². Se hicieron pruebas de resistencia a la compresibilidad en muestras cilíndricas de hormigón producidas de acuerdo con las NTP-339-033-2015. Los hallazgos evidenciaron que la resistencia a la compresibilidad no mejoró cuando se sustituía la cerámica por áridos gruesos en el diseño del hormigón, al contrario, cuando se aplicó cerámica triturada en una concentración del 3 % y del 5 %, respectivamente, las

muestras de ensayo mostraron una reducción del 9.80 % y del 7.44 % en comparación con las muestras de ensayo que no incluían cerámica. Se concluyó que la resistencia a la compresión del hormigón se ve impactada entre un 7.44% y un 9.80% cuando se sustituye la cerámica triturada por áridos gruesos en un porcentaje del 3% y el 5%. Además, se descubrió que el procedimiento de curado del hormigón se optimiza cuando se utiliza la sustitución de cerámica.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Cemento Portland

Características del Cemento Portland

Abanto (2009), define que cemento portland tiene un tono gris verdoso y es un polvo fino. El envase comercial consiste en sacos de 42,5 kg, cada uno con aproximadamente un pie cúbico de material. Se utiliza un valor estándar de 3,15 en los cálculos cuando no se proporciona el peso específico precisa

Clasificación del Cemento Portland

De acuerdo a Abanto (2009), el cemento Portland se fabrica en cinco variedades diferentes y está normado por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) según la Norma C150, cada una de las cuales se distingue por ciertos criterios de rendimiento establecidos.

Tipo i: En general, se usa para nombrar al tipo de cemento que se ejecuta en construcciones de concreto cuando no se identifica ninguna de las cuatro clases de cemento como empleado.

Tipo ii: Para construcciones sometidas a la influencia promedio de sulfatos.

Tipo iii: Utilizado cuando se necesita una resistencia inicial mayor.

Tipo iv: Es el cemento cuyo requerimiento indica un calor de hidratación bajo.

Tipo v: Utilizado para obtener una resistencia mayor a los sulfatos.

3.2.2. Agregados

Kosmatka et al. (2004), indica que los áridos finos y gruesos poseen aproximadamente entre el (60 – 75) % del volumen del hormigón y entre el (70 - 85) % de la

masa y poseen repercusión un impacto considerable en los factores del concreto reciente y concreto curado, así como en las fracciones del compuesto y el costo del concreto.

3.2.2.1 Clasificación de los Agregados por su Composición Granulométrica

Los áridos según su composición consiguen ser agregados grueso y árido fino. En la tabla 1 se indica los tamices normalizados de acuerdo la NTP.

Tabla 1

Tamices normalizados en el estudio granulométrico

Agregado	Tamices Normalizados	
Fino	150 um	N° 100
	300 um	N° 50
	600 um	N° 30
	1.18 mm	N° 16
	2.36 mm	N° 8
	4.75 mm	N° 4
Grueso	9.50 mm	3/8
	12.5 mm	1/2
	19.0 mm	3/4
	25.0 mm	1
	37.5 mm	1 ½
	50.0 mm	2
	63.00 mm	2 ½
	75.0 mm	3
	90.0 mm	3 ½
100.0 mm	4	

Nota. La tabla nos indica los tipos de agregado con sus respectivos tamices. Obtenido de la NTP 400.011 (2013).

3.2.2.2 Ensayos de los Agregados

Las NTP establecen que el análisis granulométrico, el contenido de humedad, el peso unitario, el peso específico y absorción y la resistencia a la degradación son algunas de las pruebas que deben superar los áridos finos y gruesos. Los factores clave para establecer el diseño de mezcla de concreto se basan en los hallazgos de estas pruebas.

Análisis Granulométrico

Según la norma NTP 400.012 (2021), este procedimiento se utiliza para establecer la clasificación de insumos sugeridos para su utilización como adheridos o aquellos que se están empleando como tal.

Para el muestreo, la cuantía mínima de árido fino necesaria para la muestra de prototipado es de 300 gramos, tal y como se establece en la regla NTP 400.012, así mismo, la tabla 2 señala la porción necesaria de árido grueso.

Tabla 2

Cantidad del agregado grueso para el ensayo de granulometría

Tamaño máximo nominal abertura cuadrada		Cantidad mínima de la muestra
(mm)	(in)	(Kg)
9,500	(3/8)	1
12,500	(1/2)	2
19,000	(3/4)	5
25,000	(1)	10
37,500	(1 1/2)	15
50,000	(2)	20
63,000	(2 1/2)	35
75,000	(3)	60
90,000	(3 1/2)	100
100,000	(4)	150
125,000	(5)	300

Nota. La tabla muestra la cantidad requerida de árido grueso para el ensayo de granulometría. Obtenido de la norma NTP 400.012 (2021).

La norma NTP 400.037 (2018), indica que el árido fino requiera las limitaciones de granulometría que se indican en la tabla 3, y el árido grueso debe efectuar los requisitos de granulometría que se indican en la tabla 4, de acuerdo a los usos especificados.

Tabla 3*Condiciones granulométricas del agregado fino*

Tamiz	Mínimo	Máximo
9,5 mm (3/8 pulg)	100,0	100,0
4.75 mm (N°4)	95,0	100,0
2.36 mm (N°8)	80,0	100,0
1.18 mm (N° 16)	50,0	85,0
600 um (N° 30)	25,0	60,0
300 um (N° 50)	5,0	30,0
150 um (N° 100)	0,0	10,0

Nota. La tabla indica los valores máximos y mínimos de cantidad retenida de agregado por cada tamiz. Obtenido de la NTP 400.037 (2018).

Tabla 4*Condiciones granulométricas del agregado grueso*

Tamiz	Mínimo	Máximo
9,5 mm (1 pulg)	70,0	100,0
19,00 mm (3/4")	35,0	70,0
12,500 mm (1/2")	20,0	50,0
9,500 mm (3/8")	10,0	30,0
4,750um (N° 4)	0,0	5,0
2,360 um (N° 8)	0,0	3,0

Nota: La tabla indica los valores máximos y mínimos de cantidad retenida de agregado por cada tamiz (HUSO 467). Obtenido de la NTP 400.037 (2018).

Según la norma NTP 400.012 (2021), el módulo de fineza de un árido se efectúa sumando las masas retenidas acumuladas en una secuencia particular de tamices, comenzando con el n.º 100 (150 µm) y terminando con el n.º 4 (4,75 mm), que incluye tamaños de 9,50 mm (3/8 pulg.), 19 mm (3/4 pulg.), 37,5 mm (1½ pulg.) y tamaños progresivamente superiores, utilizando una proporción de 2:1. El total se divide entre 100.

$$MF = \sum \frac{(\%Retenido\ acumulado)}{100}$$

Peso Unitario y Vacíos

Este proceso se utiliza para determinar el factor de conversión de masa por volumen empleado en transacciones comerciales y para obtener el peso unitario (P.U.) requerido en diversas técnicas de dosificación de concreto, esta prueba estandarizada, que evalúa el peso unitario seco, es especialmente útil cuando el nivel de compactación del agregado durante el almacenamiento o transporte difiere del nivel de compactación detectado mediante esta prueba (MTC E 203, 2016).

Procedimiento para calcular el P.U. compactado:

- Para empezar, colmar el objeto con el material hasta un tercio de su cabida y luego emparejar la superficie. Con la varilla de apisonamiento, aplicar veinticinco golpes al nivel de áridos para compactarla. Los golpes deben aplicarse de manera que se distribuyan uniformemente por toda la superficie.
- Seguir llenando el recipiente, esta vez, a 2/3 de su cabida, nuevamente apisonar y nivelar como el paso anterior.
- Finalmente, llenar con el material al recipiente de tal manera que sobresalga de su capacidad y apisonar. Luego aplanar el plano con los dedillos o una espátula. (NTP 400.017, 2011)

Procedimiento para calcular el P.U. suelto:

- En primer lugar, completar el frasco completamente hasta el rebose utilizando una pala o una cuchara, asegurándose de que el agregado se cargue a una elevación no mayor a 50 milímetros por arriba del borde mayor del recipiente.
- Seguidamente aplanar la superficie.
- Finalmente calcular en la balanza la masa conjunta de la vasija y la muestra, la masa del objeto sin contenido, y plasmar las magnitudes halladas con precisión de 0.05 kg. (NTP 400.017, 2011)

Para determinar el P.U. se usó la fórmula siguiente:

$$M = (G - T)/V$$

$$M = (G - T) * F$$

Donde:

M = PU de la muestra (kg/m³)

G = P. del receptáculo más la muestra (kg)

T = P. del receptáculo vacío (kg)

V = Volumen del receptáculo (m³)

F = Factor de medida (m⁻³)

Para determinar la cantidad de vacíos se usó la fórmula siguiente:

$$\%vacíos = 100 \frac{((S * W) - M)}{(S * W)}$$

Donde:

M = PU de la muestra (kg/m³)

S = PE de la masa calculado según la NTP 400.022

W = Densidad del H₂O (998 kg/m³)

Peso Específico y Absorción

El fin de esta técnica es determinar el P.E. saturado con superficie seca, el P.E. aparente, el P.E. seco y la absorción de los áridos gruesos y finos. Estos valores se utilizarán para calcular y modificar los diseños de mezcla y para controlar la consistencia de las propiedades físicas de los áridos (MTC E 206, 2016).

Procedimiento para calcular el P.E. del agregado grueso:

- La muestra debe secar primero a una temperatura constante, seguidamente debe de sumergirse inmediatamente en H₂O a temperatura ambiente y permanecer allí durante un día.
- Una vez transcurrido el plazo de veinticuatro horas, es necesario tomar la muestra de agua y colocarla sobre una toalla amplia y absorbente, dejándola allí hasta que se haya eliminado por completo cada partícula de agua visible, en ese momento, se determinará el peso de la muestra, teniendo en cuenta que se encuentra bajo el contexto de saturado con superficie seca.

- Una vez pesada, se coloca inmediatamente en la cesta de alambre la muestra saturada superficialmente seca y se estimada su peso en el líquido con $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ de temperatura, densidad $997 \pm 2 \text{ kg/m}^3$.
- Después de secarse en horno hasta obtener una masa estable a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, la muestra debe enfriarse durante una a tres horas, o hasta que alcance una temperatura que sea segura para su manipulación, antes de pesarse. (NTP 400.021, 2002)

Para establecer el P.E. del árido grueso se utilizó la fórmula siguiente:

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

Donde:

A = P. de la muestra (P.M.) en estado seco (gr)

B = P.M. en estado saturado superficialmente seco (gr)

C = P.M. saturada en el agua (gr)

Para el P.E. del peso saturado superficialmente seco (PeSSS):

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

Para la capacidad de captación (ab):

$$Ab, (\%) = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Proceso para establecer el P.E. del árido fino:

- En primer lugar, llenar el picnómetro con H₂O y, a continuación, añadir el agregado fino saturado con superficie seca. Continuar añadiendo agua hasta que el picnómetro esté lleno aproximadamente al noventa por ciento. A continuación, agitar manualmente el picnómetro e ir eliminando las esferas de aire del interior.
- Antes de ajustar el picnómetro a la temperatura correcta, asegúrese de que el instrumento no tenga aire atrapado, si es necesario, puede sumergirlo parcialmente bajo agua corriente, el picnómetro estará listo para usarse cuando el nivel de agua

alcance el punto de llenado calibrado, a continuación, calcule la masa junta del picnómetro, el agua y la muestra.

- El árido fino se extrae del picnómetro y se seca a temperatura constante en el horno. Cuando el picnómetro alcanza su volumen calibrado, se puede determinar su masa gracias a este proceso de secado. (NTP 400.022, 2013)

Para determinar el P.E. del árido fino se utiliza la fórmula siguiente:

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} * 100$$

Donde:

P_{em} = P.E. de masa

W_o = P. en el aire del prototipo secado en el horno en gramos

V = Volumen del recipiente en cm^3

V_a = P. en volumen o gramos en cm^3 del agua puesta al frasco

En el P.E. de la masa saturada de forma superficial seca (P_{eSSS}):

$$P_{eSSS} = \frac{500}{(V - V_a)} * 100$$

Para la capacidad de absorción (ab):

$$Ab = \frac{(500 - W_o)}{W_o} * 100$$

Contenido de Humedad

Este ensayo se ejecuta con el propósito de establecer la proporción de humedecimiento que consiga vaporizar de una porción de áridos finos o gruesos mediante el procedimiento de secado. El humedecimiento que se encuentra en la superficie del árido o en el interior de sus poros se considera humedad evaporable para este ensayo, por otro lado, no se considera la humedad que está químicamente ligada a los minerales del árido, ya que es poco probable que se evapore, este tipo de agua no se incluye en el porcentaje que se obtiene con este método. (NTP 339.185, 2021)

Procedimiento:

- En primer lugar, se tendrá que determinar la masa del prototipo de árido con una precisión de 0.1 %.
- A continuación, se debe proceder con el secado utilizando la fuente seleccionada. Durante este procedimiento, es de suma importancia evadir la eliminación de partículas, como consecuencia de los pasos de secado acelerado, algunas partículas pueden estallar, lo que provocará una pérdida de partículas. En caso de que se vaya a utilizar un horno, es esencial que se regule su temperatura.
- Finalmente, después que la muestra haya refrigerado lo necesario, esto para no dañar la balanza, se deberá pesar la muestra con una cercanía de 0.1%. (NTP 339.185, 2021)

Para establecer el contenido de humedad se utiliza la ecuación siguiente:

$$P = 100 * \frac{(W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido de humedecimiento de la muestra (%)

W = Masa del prototipado húmedo (gr)

D = Masa de la prototipado seco (gr)

Resistencia a la abrasión de Agregados Gruesos con la Máquina de Los Ángeles.

El objetivo de este ensayo o prueba es determinar el grado de degradación que causa un conjunto de acciones, tales como el desgaste o abrasión, el aplastamiento y el impacto, a los agregados minerales de granulometrías estándar en un cilindro giratorio de acero que posee un volumen determinado de bolas de acero, la cual depende de la granulometría de la muestra que se está ensayando. (MTC E 207, 2016)

Equipos:

Se necesita la máquina de Los Ángeles, es un cilindro hueco completamente sellado en los bordes, que tiene un diámetro interior de 0.711 m (711 mm) y una distancia interna de 0.508 m (508 mm). También se emplearán tamices en base con la NTP 350.001,

y una balanza que tiene una exactitud de 0.1 % de la carga de experimento. Por último, la carga, que son las esferas de acero necesarias para el experimento, de acuerdo de la sucesión del agregado, para esta tesis, son de gradación A porque se utilizará agregado grueso natural, según la tabla 5 el número de esferas será 12 y la masa de carga en gramos es 5000 ± 25 . (NTP 400.019, 2014)

Tabla 5

Número de esferas para la prueba de abrasión según la gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la Carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota. La tabla indica el número de esferas a usar en la máquina Los Ángeles. Obtenido de la NTP 400.019 (2014).

Procesos:

- Primero lavar la muestra de agregado reducida a peso constante y secarla al horno, a $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, separar cada fracción singular y recombinar a la gradación.
- Seguidamente, colocar la muestra de árido grueso en el equipo de Los Ángeles y rotarla con una prontitud que se encuentre entre (30 – 33) rpm x 500 revoluciones.
- Terminada la cantidad prescrita de cambios, descargar el agregado de la máquina y apartar preliminarmente del ensayo con el tamiz N°12, y tamizar la fracción más sutil que 1.70 mm, según la NTP 400.012.
- La fracción que se mantuvo por encima del tamiz de 1,70 mm debe enjuagarse y secarse en un horno a $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta que su masa deje de variar. Pese el material con una precisión de un gramo después del secado. (NTP 400.019, 2014)

3.2.3. Agua Para el Concreto

El agua empleada en la mezcla de concreto posee 3 propósitos esenciales:

- a) Responder en la hidratación del cemento.

- b) Optimizar la trabajabilidad de la pasta de concreto actuando como lubricante.
- c) Garantizar la disposición de espacios vacíos requerida en la mezcla para que puedan desarrollarse los agentes de hidratación. (Pasquel, 1993, p. 59)

En el Perú poca agua potable cumple con las condiciones señaladas, principalmente cuando se dirige al contenido de sulfatos y carbonatos, aun así, es usado para el consumo humano y por consiguiente para el concreto, por lo que se debe evitar cometer el error de determinar especificaciones para el agua que luego no puedan cumplirse en la práctica. (Pasquel, 1993)

3.2.4. Diseño de Mezcla

El método utilizado en este estudio se centra en el proceso del American Concrete Institute, creado por el Comité 211 del ACI. Dicho proceso incluye una serie de cálculos que se realizan en orden y secuencia, así como establecer la masa de cada insumo en función de su peso y volumen.

Diseño de Mezcla según el Método ACI 211

1. Selección de la resistencia requerida.

Tabla 6

Factor de seguridad para resistencias requeridas

F'c (kg/cm²)	F'cr
Menos de 210	F'c + 70
210 – 350	F'c + 84
Mayor a 350	F'c + 98

Nota. La tabla indica el factor de seguridad aplicado según la resistencia que sea requerida.

Obtenido del diseño ACI 211.

2. Elección del asentamiento.

Tabla 7*Asentamiento del concreto*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	≥ 5"

Nota. Esta tabla muestra la consistencia de la mezcla de concreto según su asentamiento.

Obtenido del libro "Tecnología del concreto" (Abanto, 2009)

3. Selección del tamaño máximo nominal.

La prueba de análisis granulométrico que se realiza al agregado grueso es la que determina el tamaño nominal máximo del agregado.

4. Cantidad del agua para la pasta y contenido de aire.

Tabla 8*Cálculo del volumen de agua y porcentaje de aire*

Slump	Agua en lt/m³ de concreto para tamaños máximos de agregado grueso según slump requerido					
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"
	Concretos sin aire incorporado					
1" a 2"	205	200	185	180	160	155
3" a 4"	225	215	200	195	175	170
6" a 7"	240	230	210	205	185	180
Porcentaje aproximado de aire atrapado en el concreto	3	2.5	2	1.5	1	0.5

Nota. Muestra los volúmenes de agua y porcentaje de aire según el T.M del árido grueso y el slump. Obtenido del libro "Tecnología del concreto" (Abanto, 2009)

5. Selección de la relación agua/cemento.

Tabla 9*Factor agua/cemento para diferentes resistencias*

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.60
150	0.80	0.71

Nota. Esta tabla indica el factor agua/cemento por resistencia. Obtenido del libro "Tecnología del Concreto" (Abanto, 2009).

6. Cálculo del contenido de agregado grueso.

Tabla 10

Cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tamaño máximo del agg. grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado			
	Módulo de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72

Nota. Esta tabla muestra el volumen de árido grueso en relación con el T.M y el módulo de fineza. Obtenido del libro "Tecnología del concreto" (Abanto, 2009).

7. Cálculo del peso del concreto.

Tabla 11

Estimación del peso del concreto por unidad de volumen

Tamaño máximo del agg. grueso	Peso estimado del concreto en kg/m ³	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
3/4"	2355	2280
1"	2375	2315
1 1/2"	2420	2355
2"	2445	2375

Nota. Esta tabla indica el peso del concreto en relación al T.M. Obtenido del libro "Tecnología del Concreto" (Abanto, 2009).

8. Cálculo del contenido de agregado fino.

Para calcular el peso del árido fino se utilizará la técnica de volumen absoluto:

$$\text{volumen} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}}$$

9. Corrección por humedad.

- Determinando los pesos húmedos de los agregados

$$\text{Peso húmedo del agg.} = \text{peso del agg.} \cdot (1 + \%W)$$

- Realizando la corrección por cantidad de H₂O

$$\text{Agua del agg.} = \text{Peso del agg. seco} \cdot (\%W - \%A)$$

- Cantidad de:

$$\text{Agua efectiva} = \text{Peso del H}_2\text{O} - (\text{H}_2\text{O del A.G.} + \text{H}_2\text{O del A.F.})$$

3.2.5. Concreto

3.2.5.1 Pruebas para el concreto en estado fresco

Prueba de Asentamiento o slump

El ensayo de consistencia, mencionada también como revenimiento o slump test, es una forma de comprobar cómo se comporta el concreto. (Abanto, 2009, p. 47)

Para el ensayo son necesarios los siguientes equipos:

Se utilizará un molde cónico que tiene dos bases paralelas con diámetros de 10 cm en la parte de arriba y 20 cm en el sector inferior y la altura del prototipo es de 30 cm, el

material con el que está construido el molde es acero galvanizado. Además, se requerirá una barra de acero pulido con diámetro de 5/8 de pulgada, con un largo de 60 cm y una punta semiesférica. (Abanto, 2009)

El proceso a seguir es el siguiente:

- Para empezar, se pone el prototipo en una superficie nivelada y húmeda, manteniendo el cono en su sitio ejerciendo presión sobre las aletas del molde. El siguiente paso es añadir una capa de hormigón al molde equivalente a un tercio de su volumen y, a continuación, utilizar una varilla para apisonarlo dando 25 golpes distribuidos uniformemente.
- El siguiente paso es poner las dos capas restantes y seguir con el mismo proceso. Cuando se rellene la tercera capa esta deberá sobresalir y, a continuación, nivelarla una vez completado los 25 golpes. Después, levante el cono verticalmente con cuidado.
- Cuando se retire el molde se medirá la diferencia de altura entre el cono y la mezcla, a esto se le conoce como slump. (Abanto, 2009, pág. 48). Se determinará la densidad de la muestra según indica la tabla 12.

Tabla 12

Consistencia de la mezcla de concreto

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	>5"	Muy trabajable	chuseado

Nota. La tabla muestra la consistencia del concreto fresco en relación al slump. Obtenido del libro "Tecnología del Concreto" (Abanto, 2009).

3.2.5.2 Pruebas para el concreto en estado endurecido

Ensayo de Resistencia a la Compresión

En esta prueba, los cilindros de concreto moldeado se someten a una carga axial controlada que aumenta gradualmente hasta que la muestra se agrieta. Para determinar la

resistencia a la compresión se divide la carga mayor soportada antes de la falla entre el diámetro del cilindro. (NTP 339.034, 2015)

Para la prueba se necesitan los siguientes equipos:

Para este proceso, se requiere el aparato de ensayo de compresión, diseñado para soportar cargas pesadas y que cumpla con todos los requisitos pertinentes, el error de carga permitido debe estar dentro del rango de trabajo certificado del instrumento y no puede superar el $\pm 1,0$ % de la lectura, la máquina también debe contar con 2 platos de carga de acero con superficies duras: uno soportará el cilindro en la base y el otro actuará como soporte superior, además, se necesita un equipo de medición de carga, cuya escala graduada debe proporcionar lecturas con una precisión de al menos el 0,1 % de la capacidad máxima de carga de la máquina. (NTP 339.034, 2015)

El proceso a seguir es el siguiente:

- Para minimizar inconvenientes, los testigos de concreto deben ser ensayados a compresión tan pronto como como sea práctico una vez retirados de la cámara de curado.
- Las probetas deben salvaguardarse contra la pérdida de humedad mediante el uso de cualquier técnica adecuada durante el tiempo que transcurre entre el momento en que se retiran de la cámara de curado y el momento en que se someten a ensayo.
- Las probetas deben ser ensayadas mientras se mantienen húmedas.
- A una determinada edad de ensayo, cada ejemplar deberá ser sometido a la prueba dentro del plazo especificado en la tabla 13.

Tabla 13*Edades de rotura y tolerancias permitidas*

Edad de rotura	Tolerancia permitida
24 horas	$\pm 0.5 \text{ h o } 2.1 \%$
3 días	$\pm 2 \text{ h o } 2.8 \%$
7 días	$\pm 6 \text{ h o } 3.6 \%$
28 días	$\pm 20 \text{ h o } 3.0 \%$
90 días	$\pm 48 \text{ h o } 2.2 \%$

Nota. Esta tabla indica la tolerancia para cada edad de rotura de las probetas. Obtenido de la NPT 339.034 (2015)

- Coloque el bloque de apoyo superior debajo del cabezal de carga y el bloque de apoyo inferior sobre la base de la máquina, verifique que todas las superficies de relación, incluyendo las de la muestra y los bloques, estén limpias de residuos o imperfecciones que puedan impedir una transmisión de carga adecuada, para asegurar una extensión pareja y estable de la compresión durante todo el ensayo, coloque el cilindro alineando con precisión su eje vertical con el centroide de carga de la máquina.
- Aplicar la carga de manera continua sin detenerse.
- Aplicar la carga de compresión de forma secuencial, verificando que la guía registre una reducción progresiva de la carga y que el insumo desarrolle un patrón de grieta completamente determinado. En el caso de máquinas de ensayo automatizadas, permitir que el sistema ejecute el cierre programado al alcanzar la carga máxima. Cuando se emplean capas de embonado, es posible que se produzca una fractura en una de las esquinas antes de que el espécimen llegue a su capacidad última.
- Registrar cuidadosamente la carga máxima resistida por la muestra en el procedimiento, así como describir de forma concisa el tipo de ruptura observada. Si la resistencia obtenida resulta inferior a la prevista, evaluar detalladamente la superficie de fractura del concreto para identificar posibles signos de segregación, determinar si las fisuras se propagaron mayoritariamente alrededor o a través de

los adheridos gruesos, y confirmar que el procedimiento de refrentado haya cumplido con los requisitos establecidos. (NTP 339.034, 2015)

3.3. Definición de Términos

Agregados: Es un grupo de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser elaborados o tratados, y sus dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana. Se les conoce también como áridos (NTP 400.011, 2013).

Agregado fino: Es el agregado compuesto por partículas resultantes de la desintegración de rocas sea natural o artificial, las cuales atraviesan el tamiz de 3/8" (9.51 mm) y permanecer moderadas en el tamiz N.º 200 (0.074 mm) (NTP 400.011, 2013).

Agregado grueso: Cúmulo de partículas que permanece retenido en el tamiz de N.º 4 (4.75 mm). Este tipo de material podrá estar compuesto por grava o roca partida procedentes tanto de fuentes naturales como de procesos de fabricación artificial (NTP 400.011, 2013).

Cemento portland: Cemento hidráulico extraído por medio de la molienda fina del clínker, donde está constituido predominantemente por silicatos de calcio con propiedades hidráulicas. Durante este proceso de trituración, suele incorporarse sulfato de calcio y, en ocasiones, cantidades controladas de caliza (NTP 334.009, 2016).

Concreto: Material resultante de la combinación controlada de varios componentes, entre ellos el agregado grueso, el agregado fino, el cemento y el agua. Los dos últimos elementos conforman la pasta cementante, cuya función principal es asegurar la adherencia entre las partículas de los agregados (Kosmatka et al., 2004).

Agua: Agua potable, totalmente natural, inodora e insípida, como el fluido adecuado para la preparación de mezclas de concreto. Este recurso hídrico puede emplearse de manera eficiente en la producción de concretos cuya concentración de sólidos disueltos no exceda los 2000 ppm. En caso de que el contenido de sólidos supere dicho límite, es necesario realizar una evaluación técnica que determine su influencia sobre la resistencia mecánica del material y el tiempo de curado (Kosmatka et al., 2004).

Densidad de masa: Se mide en kilogramos por metro cúbico, se utiliza para indicar la masa de una unidad de volumen del agregado, teniendo en cuenta así el volumen ocupado por las propias partículas, así como los espacios entre ellas (NTP 400.017, 2011).

Peso unitario: La cantidad de peso (masa) por unidad de volumen, aunque actualmente es mejor aceptado el término densidad de masa (NTP 400.017, 2011).

Agregado reciclado: Agregado elaborado a partir de escombros que han sido procesados después de que se han demolido construcciones anteriores (NTP 400.017, 2011).

Cerámico: Se trata de placas delgadas que se utilizan en la construcción como revestimientos superficiales para paredes y suelos, para obtener sus características finales, se fabrican con arcilla mezclada con diversos aditivos, se muelen o amasan, se moldean, se secan y se cuecen a altas temperaturas (Restrepo, 2011).

Cerámico reciclado: Describe los residuos de construcción que se pueden reciclar para su uso como nuevos materiales en la construcción pero que no son comercialmente viables (Zito, Irassar y Rahhal, 2016).

Resistencia a la compresión: Es la capacidad de un material de concreto para soportar una carga máxima para una unidad de área, antes de fallar debido a agrietamiento o fractura bajo compresión (Abanto, 2009).

Asentamiento: Evalúa la facilidad de manejo del concreto, indicando el nivel de fluidez de la mezcla y determinando si esta se encuentra seca o fluida. (Instituto del concreto, 1997)

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicada. Según Vásquez et al. (2023), “es un tipo de investigación científica que tiene como objetivo la resolución de problemas prácticos y la toma de decisiones. A diferencia de la investigación básica, que se centra en la adquisición de nuevos conocimientos, esta ejecuta los conocimientos existentes para abordar problemas prácticos en el mundo real” (pág. 22).

Nivel de Investigación

La investigación es de nivel explicativo. Para Vásquez et al. (2023), “la investigación explicativa es una metodología de investigación que se utiliza para explicar la relación causal entre dos o más variables. En esta metodología, se manipula una variable y se mide el efecto sobre otra variable, lo que permite establecer una relación causal entre ellas” (pág. 31).

4.2. Ámbito Temporal y Espacial

Ámbito temporal

La tesis se ejecutó durante los años 2024-2025.

Ámbito espacial

La tesis tuvo lugar en la ciudad de Abancay.

4.3. Población y Muestra

Población

Es el grupo de individuos, cosas o eventos que cumplen los requisitos para ser objeto de la investigación. (Valverde, 2023)

En esta tesis la población fueron las probetas o cilindros de concreto para las pruebas de resistencia a la compresión y las muestras de concreto fresco para las pruebas de asentamiento.

Muestra

Se compone de un subconjunto de la población que ha sido elegida para la recopilación de datos, este subconjunto debe estar definido con exactitud, restrictivo adecuadamente y ser característico de toda la población.

En esta tesis se determinó la fabricación de testigos de concreto según nos establece la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), por lo cual fueron necesarias 3 probetas de concreto para cada porcentaje con su respectiva edad de ensayo.

En total se fabricaron 45 testigos cilíndricos de concreto (15x30cm) y 15 muestras de concreto fresco, los cuales fueron elaborados teniendo en cuenta la sustitución del agregado fino por cerámico reciclado en proporciones de 0% (concreto patrón), 10%, 20%, 30% y 40%, para un diseño de $f'c=210$ kg/cm². La fabricación y curado de las probetas cilíndricas fue en cumplimiento con la Norma Técnica Peruana 339.183. la cantidad de muestras elaboradas se puntualizan en las tablas 14 y 15.

Tabla 14

Cantidad de testigos cilíndricos de concreto para la prueba de resistencia a la compresión

Edad de testigos	Muestra de concreto patrón (diseño $f'c=210$ kg/cm ²)	Muestra de porcentajes de sustitución del agregado fino por cerámico reciclado				Subtotal
		10%	20%	30%	40%	
7 días	3 und	3 und	3 und	3 und	3 und	15 und
14 días	3 und	3 und	3 und	3 und	3 und	15 und
28 días	3 und	3 und	3 und	3 und	3 und	15 und
Total de testigos cilíndricos de concreto						45 und

Nota. La tabla evidencia la cantidad de cilindros de concreto necesarias para los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla 15

Número de muestras de concreto para la prueba de asentamiento

Muestra de concreto patrón (diseño $f'c=210$ kg/cm ²)	Muestra de porcentajes de sustitución del agregado fino por cerámico reciclado				Total
	10%	20%	30%	40%	
3 und	3 und	3 und	3 und	3 und	15 und

Nota. La tabla evidencia la cantidad de muestras de concreto fresco a elaborar para los ensayos de asentamiento.

4.4. Instrumentos

El método experimental empleado en esta tesis requirió del laboratorio para la recopilación de datos, se utilizaron como instrumento de recolección de datos protocolos de ensayos y hojas de datos, cuidadosamente elaborados para reflejar los marcadores que revelarían los resultados. Se utilizaron las siguientes hojas o fichas de ensayos de laboratorio:

- Hoja de datos del ensayo de asentamiento del concreto.
- Hoja de datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto.
- Hoja de datos del ensayo de análisis granulométrico de los áridos.
- Hoja de datos del P.U. y vacíos de los áridos.
- Hoja de datos del ensayo de gravedad específica y absorción del árido.
- Hoja de datos del ensayo de contenido de humedad del árido.
- Hoja de datos del ensayo de abrasión del árido grueso.
- Hoja de datos para el diseño de mezcla.

4.5. Procedimientos

Primeramente, se procedió a recolectar y seleccionar los insumos a utilizar para la tesis, luego se trasladó dichos materiales al laboratorio, donde se obtuvo las muestras representativas para realizar los estudios y ensayos correspondientes.

Una vez obtenidos los resultados se procedió a realizar trabajos de gabinete para procesar la información y poder elaborar el informe final de tesis con los resultados obtenidos.

4.6. Análisis de Datos

El procesamiento y evaluación de datos se realiza a través de los protocolos establecidos para la elaboración de tesis a través del uso de tablas estadísticas que nos permiten contrastar los resultados con la hipótesis de la tesis.

Es fundamental recordar que la información proporcionada es real, proveniente de las pruebas correspondientes, y que la interpretación y análisis de los datos se siguieron con las normas técnicas peruanas.

Se ejecutó la prueba “t” de student para las pruebas de hipótesis, porque es una de las técnicas más reconocidas y empleadas en la estadística, además es adecuada para el análisis de muestras menores a 30. Rodó (2019), indica que la distribución t es una distribución de probabilidad que estima el valor de la media de una muestra pequeña extraída de una población que sigue una distribución normal y de la cual no conocemos su desviación típica.

4.7. Consideraciones Éticas

Esta tesis se realizó respetando las normas establecidas, así como también a los involucrados durante todo el proceso de elaboración.

V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

Además de seguir el orden de sustitución de agregado fino por cerámica reciclada al 10%, 20%, 30% y 40%, los resultados de las pruebas se organizan según las variables independientes y dependientes.

5.1.1. Variable independiente: Incorporación de cerámico reciclado

Para realizar la incorporación de agregado fino de cerámico reciclado se utilizaron el árido grueso y fino natural y el árido fino de cerámico reciclado para preparar el concreto con una resistencia de diseño de 210 kg/cm². Cada tipo de agregado se estudió independientemente, como sigue a continuación:

5.1.1.1 Recolección de los agregados

- **Agregado grueso y agregado fino natural**

Se utilizó los agregados del sector Pachachaca de la ciudad de Abancay, específicamente de la cantera Murillo, para recolectar tanto el árido grueso como el fino natural utilizados en esta investigación.

Figura 1

Recolección de agregado grueso y fino natural



Nota. Se aprecia la recolección de los agregados naturales, como grueso y fino de la cantera Murillo.

Figura 2

Traslado y puesta de los agregados en el laboratorio



Nota. Se observa los materiales puestos en el centro laboratorio donde se ejecutaron las pruebas respectivas.

- **Agregado fino de cerámico reciclado**

La recolección de los cerámicos se tuvo que realizar buscando los desperdicios en las construcciones y también desechos que se encontraban en la periferia de la ciudad, una vez recolectados se procedió a la trituration y zarandeo correspondiente.

Figura 3

Recolección del material reutilizado



Nota. Se puede ver la recolección y selección de los cerámicos reciclados encontrados en construcciones y en las carreteras a las afueras de nuestra ciudad.

Figura 4

Trituración y selección del cerámico reciclado



Nota. La trituración del material reciclado se realizó en una trituradora de minerales llamada chancadora tipo martillo.

5.1.1.2 Propiedades físico-mecánicas de los agregados

Dado que las normas nacionales e internacionales especifican los requisitos que garantizan la calidad de los materiales, la normativa vigente exige examinar las características físicas y mecánicas de los áridos destinados al diseño de mezclas, a continuación, se desarrolla un resumen de los estudios realizados a los agregados.

5.1.1.2.1 Peso unitario suelto, compactado y vacíos del agregado grueso, fino y fino reciclado

El ensayo de Peso unitario (P.U.) fue hecho de acuerdo con la NTP 400.017.

Para la prueba de P.U. suelto se seleccionó el material para obtener la muestra y se redujo la magnitud del prototipo de prueba por cuarteo. Siguiendo el procedimiento se llenó el envase con el material soltándolo a una altura no superior de 5 cm hasta que rebalse y se eliminó el material sobrante con una regla metálica, consiguientemente se determinó los pesos como se muestran seguidamente.

Figura 5

Peso unitario suelto del agregado grueso



Nota. Podemos observar la ejecución de la prueba de P.U. suelto del agregado grueso, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los hallazgos se señalan en la tabla 16.

Tabla 16

Peso unitario suelto y vacíos del agregado grueso

Agregado grueso		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	9438.95	9438.95
Peso del molde (gr)	4802	4802
Peso del molde + muestra suelta (gr)	18198	18229
Peso muestra suelta (gr)	13396	13427
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.419	1.423
Peso específico (kg/m ³)	2731.01	2731.01
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1419.23	1422.51
Porcentaje de vacíos (%)	48.03	47.91
Peso unitario suelto promedio (kg/m³):	1420.87	
Porcentaje de vacíos promedio (%):	47.97	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. suelto del agregado grueso es igual a 1420.87 kg/m³ y el porcentaje de vacíos es igual a 47.97 %.

Figura 6

Peso unitario suelto del agregado fino



Nota. Podemos observar el desarrollo de la prueba de P.U. suelto del agregado fino, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los hallazgos se manifiestan en la tabla 17.

Tabla 17

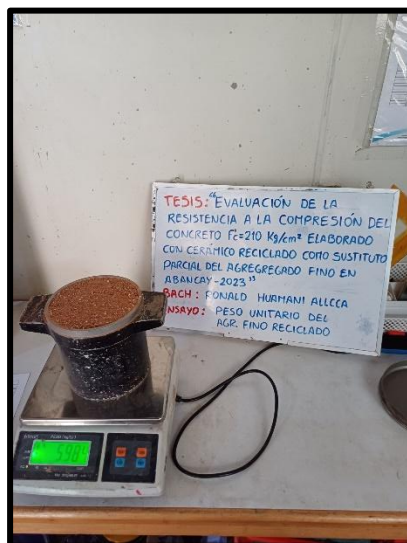
Peso unitario suelto y vacíos del agregado fino

Agregado fino		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	2831.70	2831.70
Peso del molde (gr)	2008	2008
Peso del molde + muestra suelta (gr)	6506	6522
Peso muestra suelta (gr)	4498	4514
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.588	1.594
Peso específico (kg/m ³)	2720.02	2720.02
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1588.45	1594.10
Porcentaje de vacíos (%)	41.60	41.39
Peso unitario suelto promedio (kg/m³):	1591.27	
Porcentaje de vacíos promedio (%):	41.50	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. suelto del agregado fino es igual a 1591.27 kg/m³ y el porcentaje de vacíos es igual a 41.50 %.

Figura 7

Peso unitario suelto del agregado fino de cerámico reciclado (A.F.C.R.)



Nota. Podemos observar la ejecución de la prueba de P.U. suelto del A.F.C.R., así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los hallazgos se evidencian en la tabla 18.

Tabla 18

Peso unitario suelto y vacíos del agregado fino de cerámico reciclado

Agregado fino de cerámico reciclado		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	2831.70	2831.70
Peso del molde (gr)	2008	2008
Peso del molde + muestra suelta (gr)	5984	5958
Peso muestra suelta (gr)	3976	3950
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.404	1.395
Peso específico (kg/m ³)	2618.52	2618.52
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1404.10	1394.92
Porcentaje de vacíos (%)	46.38	46.73
Peso unitario suelto promedio (kg/m³):	1399.51	
Porcentaje de vacíos promedio (%):	46.55	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. suelto del A.F.C.R. es igual a 1399.51 kg/m³ y el porcentaje de vacíos es igual a 46.55%.

Para el ensayo de P.U. compactado se seleccionó el material para obtener la muestra y se redujo la magnitud de la muestra de prueba por cuarteo. Siguiendo el procedimiento, se colmó el recipiente con el material en 3 capas, la primera a una altura de 1/3, y se apisonó con 25 golpes de varilla acomodados uniformemente, luego se hizo lo mismo con la siguiente capa llenada a 2/3 del recipiente, por último, se llenó por completo apisonándolo y nivelando la superficie con la varilla. Los datos obtenidos se evidencian a continuación.

Figura 8

Peso unitario compactado del agregado grueso



Nota. En la figura podemos observar la ejecución del ensayo de P.U. compactado del agregado grueso, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los datos resultantes se evidencian en la tabla 19.

Tabla 19

Peso unitario compactado y vacíos del agregado grueso

Agregado grueso		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	9438.95	9438.95
Peso del molde (gr)	4802	4802
Peso del molde + muestra compactada (gr)	19914	19919
Peso muestra compactada (gr)	15112	15117
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.601	1.602
Peso específico (kg/m ³)	2731.01	2731.01
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1601.03	1601.56
Porcentaje de vacíos (%)	41.38	41.36
Peso unitario compactado prom. (kg/m³):	1601.29	
Porcentaje de vacíos prom. (%):	41.37	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. compactado del agregado grueso es equivalente a 1601.29 kg/m³ y la cantidad de vacíos es igual a 41.37 %.

Figura 9

Peso unitario compactado del agregado fino



Nota. En la figura podemos observar el desarrollo del ensayo de P.U. compactado del agregado fino, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 20.

Tabla 20*Peso unitario compactado y vacíos del agregado fino*

Agregado fino		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	2831.70	2831.70
Peso del molde (gr)	2008	2008
Peso del molde + muestra compactada (gr)	6952	7045
Peso muestra compactada (gr)	4944	5037
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.746	1.779
Peso específico (kg/m ³)	2720.02	2720.02
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1745.95	1778.79
Porcentaje de vacíos (%)	35.81	34.60
Peso unitario compactado prom. (kg/m³):	1762.37	
Porcentaje de vacíos prom. (%):	35.21	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. compactado del agregado fino es equivalente a 1762.37 kg/m³ y la cantidad de vacíos es igual a 35.21 %.

Figura 10*Peso unitario compactado del agregado fino de cerámico reciclado*

Nota. En la figura podemos observar la ejecución de la prueba de P.U. compactado del agregado fino reciclado, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los hallazgos se evidencian en la tabla 21.

Tabla 21

Peso unitario compactado y vacíos del A.F.C.R.

Agregado fino de cerámico reciclado		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Volumen del molde (cm ³)	2831.70	2831.70
Peso del molde (gr)	2008	2008
Peso del molde + muestra compactada (gr)	6402	6469
Peso muestra compactada (gr)	4394	4461
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.552	1.575
Peso específico (kg/m ³)	2618.52	2618.52
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1551.72	1575.38
Porcentaje de vacíos (%)	40.74	39.84
Peso unitario compactado prom. (kg/m³):	1563.55	
Porcentaje de vacíos prom. (%):	40.29	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el P.U. compactado del A.F.C.R. es igual a 1563.55 kg/m³ y la cantidad de vacíos es igual a 40.29 %.

5.1.1.2.2 *Peso específico, gravedad específica y absorción del agregado grueso, fino y fino reciclado*

El ensayo de peso específico (P.E.) se realiza con la finalidad de calcular el volumen que ocupa el agregado en el compuesto de concreto y así determinar valores que nos permitan usar en el cálculo y corrección del diseño de mezcla. Se realizó según la norma NTP 400.021 y NTP 400.022.

Figura 11

Peso específico y absorción del agregado grueso



Nota. En la figura podemos observar la ejecución del ensayo de P.E. y absorción del árido grueso, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los datos obtenidos se manifiestan en la tabla 22.

Tabla 22

Peso específico y absorción del agregado grueso

Agregado grueso	
Datos del ensayo	Muestra 1
P. Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	4001
P. de la Canastilla Sumergida (gr)	749
P. Canastilla + Muestra Sumergida (gr)	3289
P. Muestra SS Sumergida (gr)	2540
P. del Recipiente (Para secado en horno)	532
P. de la Muestra seca + Recipiente (gr)	4522
P. de la muestra seca (gr)	3990
P. del Agua Absorbida (gr)	11
Peso Específico (gr/cm³):	2.73
Capacidad de Absorción (%):	0.28

Nota. La tabla muestra como hallazgo que el P.E. del árido grueso es igual a 2.73 gr/cm³ y el porcentaje de absorción es igual a 0.28 %.

Figura 12

Peso específico y absorción del agregado fino



Nota. En la figura podemos observar la ejecución de la prueba de P.E. y absorción del agregado fino, así como los materiales e instrumentos utilizados.

Los hallazgos se evidencian en la tabla 23.

Tabla 23

Peso específico y absorción del agregado fino

Agregado fino	
Datos del ensayo	Muestra 1
Volumen del picnómetro (ml)	500
Peso del picnómetro (gr)	150.7
P. Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	500.6
P. Picnómetro + Agua (gr)	648.40
P. Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	956.80
P. de la muestra sumergida (gr)	308.40
P. del recipiente (para secado en horno)	196.90
P. de la muestra seca + recipiente (gr)	684.60
P. de la muestra seca (gr)	487.70
P. del agua desplazada (gr)	179.30
P. del agua absorbida	12.90
Peso Específico (gr/cm³)	2.72
Capacidad de Absorción (%)	2.65

Nota. Según la tabla, se muestra como resultado que el P.E. del árido fino es igual a 2.72 gr/cm³ y el porcentaje de absorción es igual a 2.65 %.

Figura 13

Peso específico y absorción del agregado fino reciclado



Nota. En la figura podemos observar la ejecución del experimento de P.E. y absorción del A.F.C.R., así como los materiales e instrumentos utilizados.

Las datas se manifiestan en la tabla 24.

Tabla 24

Peso específico y absorción del agregado fino reciclado

Agregado fino de cerámico reciclado	
Datos del ensayo	Muestra 1
Volumen del picnómetro (ml)	500
Peso del picnómetro (gr)	150.7
P. Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	501
P. Picnómetro + Agua (gr)	648.40
P. Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	942.00
P. de la muestra sumergida (gr)	293.60
P. del recipiente (para secado en horno)	197.00
P. de la muestra seca + recipiente (gr)	672.00
P. de la muestra seca (gr)	475.00
P del agua desplazada (gr)	181.40
P. del agua absorbida	26.00
Peso Específico (gr/cm³)	2.62
Capacidad de Absorción (%)	5.48

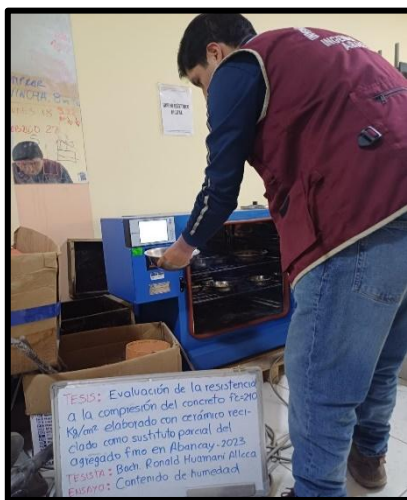
Nota. Según la tabla, se muestra como resultado que el P.E. del A.F.C.R. es igual a 2.62 gr/cm³ y la absorción es igual a 5.48 %.

4.1.1.2.3 Contenido de humedad del agregado grueso, fino y fino reciclado

Se ejecutó el ensayo de contenido de humedad para establecer el porcentaje de humedad que contienen tanto el agregado grueso como el fino y el A.F.C.R, según indica la norma NTP 339.185, para ello se tuvo una porción significativa de cada material y se halló los pesos antes y después de colocarlos en el horno por un periodo de 24 horas.

Figura 14

Contenido de humedad del agregado grueso



Nota. En la figura podemos verificar el desarrollo de la prueba de contenido de humedad del agregado grueso, cuyos resultados se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

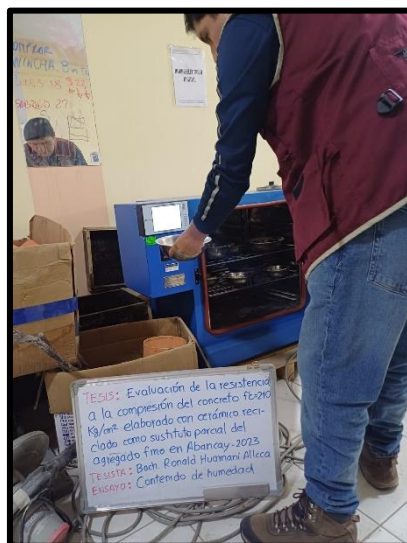
Contenido de humedad del agregado grueso

Agregado grueso		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Recipiente N.º	1	2
P. muestra húmeda + recipiente (gr)	10475.0	10285.0
P. muestra seca + recipiente (gr)	10458.0	10263.0
P. del agua (gr)	17.0	22.0
P. del recipiente (gr)	0.0	0.0
P. de la muestra seca (gr)	10458.0	10263.0
% de Humedad	0.16	0.21
% de Humedad promedio:	0.18	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el porcentaje de humedad del agregado grueso es igual a 0.18 %.

Figura 15

Contenido de humedad del agregado fino



Nota. En la figura podemos observación la realización de la prueba de contenido de humedad del árido fino, así como los materiales y equipos utilizados.

Los hallazgos se visualizan en la tabla 26.

Tabla 26

Contenido de humedad del agregado fino

Agregado fino		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Recipiente N.º	1	2
P. muestra húmeda + recipiente (gr)	542.70	628.60
P. muestra seca + recipiente (gr)	541.30	623.10
P. del agua (gr)	1.40	5.50
P. del recipiente (gr)	0.00	0.00
P. de la muestra seca (gr)	541.30	623.10
% de Humedad	0.26	0.88
% de Humedad promedio:	0.66	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, donde se halló que el contenido de humedad del árido fino es igual a 0.66 %.

También, se efectuó la prueba de contenido de humedad del A.F.C.R, cuyos resultados se manifiestan en la tabla 27.

Tabla 27

Contenido de humedad del agregado fino de cerámico reciclado

Agregado fino de cerámico reciclado		
Datos del ensayo	Muestra 1	Muestra 2
Recipiente N°	1	2
P. muestra húmeda + recipiente (gr)	2179.0	2235.0
P. muestra seca + recipiente (gr)	2008.0	2015.0
P. del agua (gr)	171.0	220.0
P. del recipiente (gr)	100.0	100.0
P. de la muestra seca (gr)	1908.0	1915.0
% de Humedad	8.96	8.95
% de Humedad promedio:	8.96	

Nota. Según la tabla, se sacó el promedio de dos muestras, dando como resultado que el contenido de humedad del A.F.C.R. es igual a 8.96 %.

5.1.1.2.4 Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y fino reciclado.

Este ensayo es importante para determinar la gradación de los agregados y verificar que se encuentren dentro de los lineamientos señalados por la norma NTP 400.012.

Figura 16

Análisis granulométrico del agregado grueso



Nota. En la figura podemos observar el desarrollo de la prueba de análisis granulométrico del árido grueso, así como los materiales y equipos utilizados.

Los datos resultantes se visualizan en la tabla 28.

Tabla 28

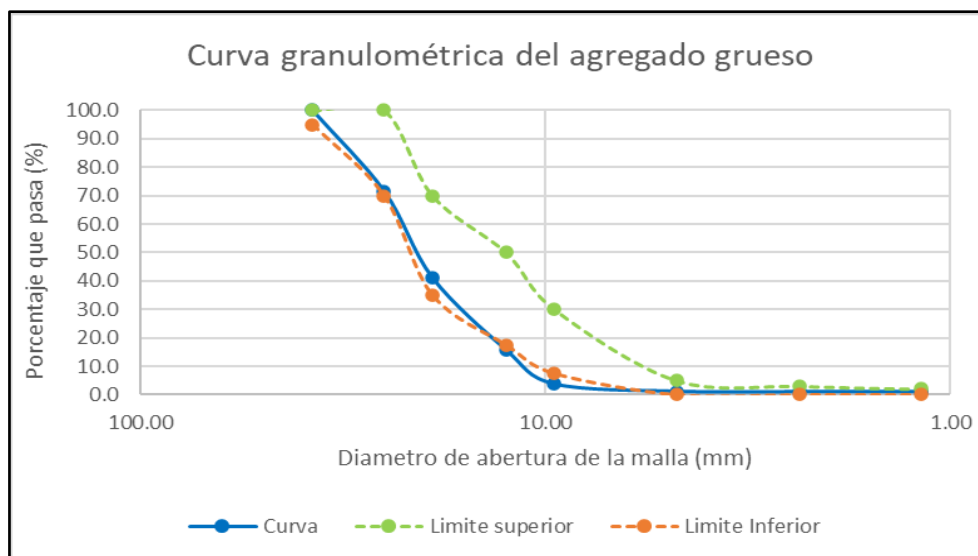
Granulometría del agregado grueso

Agregado grueso							
Peso inicial de la muestra:		8895.0 gr					
Tamiz	Abertura en mm	Peso (gr)	Retenido Parcial	% Retenido	Corregido	% Retenido Acumulado	% que Pasa
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	2523.00	2523.00	28.36	15.53	28.36	71.64
3/4"	19.00	2717.80	2717.80	30.55	45.04	58.92	41.08
1/2"	12.50	2262.00	2262.00	25.43	26.37	84.35	15.65
3/8"	9.50	1063.70	1063.70	11.96	10.15	96.31	3.69
N° 4	4.75	232.50	232.50	2.61	2.22	98.92	1.08
N° 8	2.36	9.30	9.30	0.10	0.09	99.03	0.97
N° 16	1.18	2.60	2.60	0.03	0.02	99.05	0.95
N° 50	0.30	4.00	4.00	0.04	0.04	99.10	0.90
N° 200	0.075	10.00	10.00	0.11	0.10	99.21	0.79
Fondo		1.40	70.10	0.79	0.44	100.00	0.00
Total		8826.00	8895.00	100.00	100.00		

Nota. En la tabla, se visualiza los resultados del ensayo de granulometría del árido grueso, y se observa que el tamaño máximo nominal es de 1".

Figura 17

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. En la figura se visualiza la curva granulométrica del agregado grueso, la cual se ubica dentro de los límites establecidos según al huso 467 de la NTP 400.037.

Figura 18

Análisis granulométrico del agregado fino



Nota. En la figura podemos observar la ejecución de prueba de análisis granulométrico del árido fino, así como los insumos y equipos empleados.

Los datos resultantes se visualizan en la tabla 29.

Tabla 29

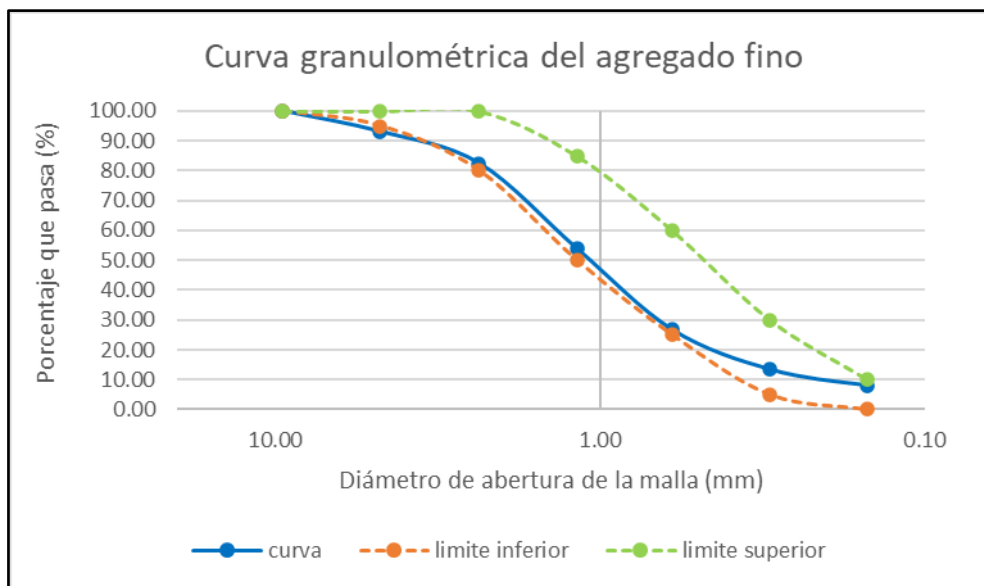
Granulometría del agregado fino

Agregado fino							
Peso inicial de la muestra:		485.60 gr					
Tamiz	Abertura en mm	Peso (gr)	Retenido Parcial	% Retenido	Corregido	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	33.71	33.71	6.94	6.94	6.94	93.06
N°8	2.36	51.60	51.60	10.63	10.63	17.57	82.43
N°16	1.18	138.75	138.75	28.57	28.57	46.14	53.86
N°30	0.60	131.75	131.75	27.13	27.13	73.27	26.73
N°50	0.30	64.41	64.41	13.26	13.26	86.54	13.46
N°100	0.15	25.89	25.89	5.33	5.33	91.87	8.13
N°200	0.075	11.11	11.11	2.29	2.29	94.16	5.84
Fondo	0.00	1.73	28.38	0.36	5.84	100.00	0.00
Total		458.95	485.60	94.51	100.00		

Nota. En la tabla, se visualiza los datos obtenidos de la granulometría del árido fino, se observa que el módulo de fineza es igual a 3.22.

Figura 19

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. En la figura se muestra la curva granulométrica del agregado fino, la cual se halla dentro de los rangos establecidos por la NTP 400.037.

Figura 20

Análisis granulométrico del agregado fino de cerámico reciclado



Nota. En la figura podemos observar el desarrollo del ensayo de granulometría del A.F.C.R., así como los materiales y equipos utilizados.

Los resultados del ensayo se manifiestan en la tabla 30.

Tabla 30

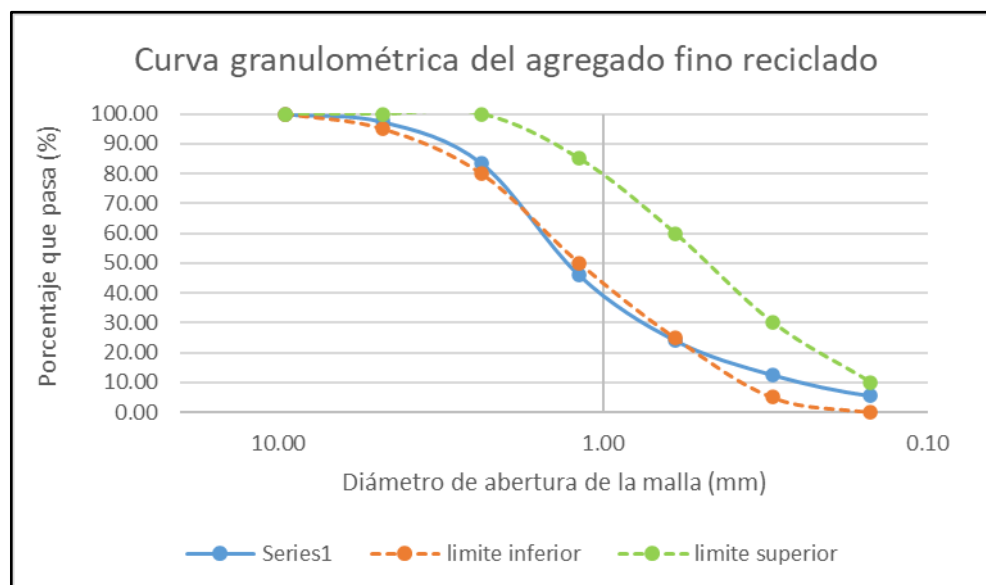
Granulometría del agregado fino de cerámico reciclado

Agregado fino de cerámico reciclado							
Peso inicial de la muestra:		1623 gr					
Tamiz	Abertura en mm	Peso (gr)	Retenido Parcial	% Retenido	Corregido	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	41.11	41.11	2.53	2.53	2.53	97.47
N°8	2.36	225.60	225.60	13.90	13.90	16.43	83.57
N°16	1.18	651.00	651.00	40.11	40.11	56.54	43.46
N°30	0.60	313.85	313.85	19.34	19.34	75.88	24.12
N°50	0.30	188.57	188.57	11.62	11.62	87.50	12.50
N°100	0.15	113.64	113.64	7.00	7.00	94.50	5.50
N°200	0.075	39.39	39.39	2.43	2.43	96.93	3.07
Fondo	0.00	2.29	49.84	0.14	3.07	100.00	0.00
Total		1575.5	1623.0	97.07	100.00		

Nota. La tabla manifiesta los hallazgos del experimento de granulometría del agregado fino de cerámico reciclado, se obtuvo un módulo de fineza de 3.33.

Figura 21

Curva granulométrica del agregado fino reciclado



Nota. En la figura se visualiza la curva granulométrica del A.F.C.R., la cual se ubica dentro de los rangos establecidos por la NTP 400.037.

5.1.1.2.5 Abrasión Los Ángeles al desgaste del agregado grueso

Este ensayo se efectuó para determinar el desgaste o degradación del material grueso, lo que nos permite saber la calidad del material a utilizar. Esta prueba se ejecuta mediante un tambor metálico con esferas que giran a 500rpm de acuerdo a la NTP 400.019.

Figura 22

Ensayo de abrasión del agregado grueso



Nota. En la figura se observa la ejecución del ensayo de abrasión del árido grueso mediante la máquina de Los Ángeles.

Los hallazgos de la prueba de abrasión se señalan en la tabla 31.

Tabla 31

Ensayo de abrasión del agregado grueso

N° de malla	Gradaciones			
	A	B	C	D
1"	1251.40			
3/4"	1251.80			
1/2"	1250.30			
3/8"	1250.80			
Porcentaje de desgaste				
Tipo de gradación	A			
P. del material antes del ensayo (gr)	5004.30			
P. del material después del ensayo (gr)	4547.60			
P. de desgaste (gr)	456.70			
Desgaste (%)	9.13			

Nota. En la tabla se manifiesta los datos que resultaron de la prueba de abrasión del árido grueso, se evidencia un descaste de 9.13 %.

5.1.1.3 Diseño de mezcla

La finalidad del diseño de mezcla fue calcular las cantidades de cemento, áridos y aguas necesarias para lograr una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El diseño se realizó por el método ACI 211.

El cuadro resumen de las propiedades de los agregados para el diseño, obtenidos de los ensayos realizados se revelan en la tabla 32.

Tabla 32

Cuadro resumen de las propiedades de los agregados

Propiedades	Agr. fino	Agr. grueso
Peso específico	2720.02 kg/m ³	2731.01 kg/m ³
Peso unitario suelto	1591.27 kg/m ³	1420.87 kg/m ³
Peso unitario compactado	1762.37 kg/m ³	1601.29 kg/m ³
Contenido de humedad	0.66 %	0.18 %
Porcentaje de absorción	2.65 %	0.28 %
Módulo de fineza	3.22	-
Tamaño máximo nominal	-	1"

Nota. En la tabla se evidencia los datos de diseño resultantes de los estudios de las propiedades físico mecánicas de los agregados.

El cemento usado para el diseño de mezcla es el cemento Yura tipo I, el cual tiene un P.E. de 3.10 gr/cm^3 . La resistencia de diseño del concreto es de 210 kg/cm^2 . Seguidamente, se detalla por pasos el desarrollo del diseño de mezcla.

Método de ACI 211

1. Factor de seguridad:

El factor de seguridad de acuerdo con la tabla 7 es:

$$f'_{cr} = f'c + 84$$

$$f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

2. Asentamiento:

Tabla 33*Elección del asentamiento de la mezcla*

Consistencia	Revenimiento
Plástica	3" a 4"

Nota. En la tabla se evidencia el asentamiento requerido, el cual corresponde a una consistencia plástica.

3. Tamaño máximo nominal del agregado

El tamaño máximo nominal es de 1 pulgada, fue obtenida del ensayo de granulometría del agregado grueso.

4. Estimación de agua y contenido de aire

La tabla 5 nos indica que para un asentamiento entre 3 y 4 pulgadas y un tamaño nominal máximo de agregado de 1 pulgada el concreto necesita 193 l/m³ de agua con un contenido de aire de 1.5%.

$$\text{Volumen unitario del agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Porcentaje de aire} = 1.5$$

5. Vinculo agua cemento (a/c)

En vista que la resistencia necesaria es $f'c=294 \text{ kg/cm}^2$, se obtendrá que realizar la interpolación de acuerdo a la tabla 9:

300	0.55
294	X
250	0.62

$$x = 0.55 + \frac{(0.62 - 0.55) * (300 - 294)}{(300 - 250)}$$

$$\text{Relación (a/c)} = 0.5484$$

6. Cálculo de la cantidad de cemento

El factor cemento será igual a la división del agua de la mezcla entre la relación a/c

$$\text{Factor cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{H2O de mezclado (kg/m}^3\text{)}}{\text{a/c (para f'cr)}}$$

$$\text{Factor cemento} = 351.93 \text{ kg/m}^3$$

7. Contenido de agregado grueso

El tamaño máximo nominal del árido grueso y el módulo de fineza del árido fino son los factores utilizados para determinar el volumen de árido grueso, utilizando la Tabla 10, se calcula la cantidad de árido grueso, el tamaño máximo nominal es de una pulgada y el módulo de fineza es de 3.22 según las pruebas realizadas, resultando que, el volumen de árido que se muestra en la Tabla 10 es de 0,65 m³, por consiguiente, se obtienen los siguientes valores:

$$\text{Contenido de agregado grueso (kg)} = \text{Volumen de A.G} * \text{P.U. compactado A.G}''$$

$$\text{Vol. de agregado grueso} = 0.65 \text{ m}^3$$

$$\text{PU compacto} = 1601.29 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Adjunto de agregado grueso} = 1040.84 \text{ kg}$$

8. Contenido de agregado fino

El método basado en pesos y el método de volumen absoluto son dos métodos que pueden utilizarse para calcular el contenido de árido fino.

- **Método de los pesos**

Este cálculo se presenta a continuación de la Tabla 11, La tabla muestra un peso estimado de 2375 kg/m³ para un T.M.N de agregado de 1 pulgada sin aire incorporado, la masa del agregado fino se calcula utilizando este valor y los datos obtenidos previamente.

$$\text{P. del concreto} = 2375 \text{ kg}$$

$$\text{P. de agregado grueso} = 1040.84 \text{ kg}$$

$$\text{P. de cemento} = 351.93 \text{ kg}$$

$$\text{P. de agua} = 193 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de A.F} = \text{Peso de C}^\circ - (\text{Peso del A.G} + \text{Peso del agua} + \text{Peso del cemento})$$

$$\text{Peso de A.F.} = 789.23 \text{ kg}$$

- **Método de volúmenes absolutos**

El peso seco se dividirá por la gravedad específica para establecer el volumen del agregado

fino:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}}$$

Tenemos:

Vol. de cemento =	0.114 m ³	P.E. cemento =	3140 kg/m ³
Vol. del agua =	0.193 m ³	P.E. agua =	1000 kg/m ³
Vol. del aire =	0.015 m ³		
Vol. del A.G. =	0.381 m ³	P.E. A.G. =	2731.01 kg/m ³

El volumen de agregado fino es:

$$\text{Vol. A.F.} = 1 - (\text{Vol. A.G.} + \text{Vol. de aire} + \text{Vol. de agua} + \text{Vol. Cemento})$$

$$\text{Volumen de A. F.} = 0.297 \text{ m}^3$$

$$\text{P.E. A. F.} = 2720.02 \text{ kg/m}^3$$

Dado el peso de agregado fino es:

$$\text{Peso de A. F.} = 808.81 \text{ kg}$$

9. Corrección por contenido de humedad de los agregados

- Estimación de pesos húmedos

Peso de humedecimiento de los agregados(kg) = peso del agregado * (1 + %W)

$$\text{P. del agregado grueso húmedo} = 1042.74 \text{ kg}$$

$$\text{P. del agregado fino húmedo} = 814.12 \text{ kg}$$

- Corrección de la cuantía del H₂O

$$\text{H}_2\text{O en agregados} = \text{Peso seco del agregado} * (\%W - \%A)$$

- Agua efectiva

$$\text{H}_2\text{O efectiva} = \text{P. del H}_2\text{O} - (\text{H}_2\text{O que aporta el A.G} + \text{H}_2\text{O que aporta el A.F})$$

$$\text{H}_2\text{O efectiva} = 210.04 \text{ kg}$$

Cantidad de materiales y proporción

Tabla 34

Dosificación de pesos finales por volumen unitario

Material	Cantidad por m³
Cemento	351.93 kg/m ³
Agregado fino	814.12 kg/m ³
Agregado grueso	1042.74 kg/m ³
Agua	210.04 lt/m ³

Nota. En la tabla se observa la proporción de los pesos finales de los materiales por unidad de volumen para el concreto patrón.

Tabla 35

Dosificación de pesos para cada porcentaje de sustitución de A.F.C.R.

Material	Dosificación en kg/m³			
	para el 10 % de sust.	para el 20 % de sust.	para el 30 % de sust.	para el 40 % de sust.
Cemento	351.93	351.93	351.93	351.93
Agregado fino	732.71	651.30	569.88	488.47
A.F.C.R.	81.41	162.82	244.24	325.65
Agregado grueso	1042.74	1042.74	1042.74	1042.74
Agua	210.04	210.04	210.04	210.04

Nota. En la tabla se observa la dosificación de los materiales calculado en peso por metro cúbico, según el porcentaje de sustitución de agregado fino de cerámico reciclado por el agregado fino natural.

Proporción de peso para 45 probetas de concreto

Volumen de 45 probetas.

Volumen de prototipo = 0.00530 m³

N.º de moldes = 45

Volumen total = 0.2385 m³

Tabla 36

Peso total de materiales para 45 probetas cilíndricas de concreto

Peso total de materiales para 45 probetas de concreto		
Descripción	Peso (kg/m³)	Peso (kg)
Cemento	351.93	83.94
Agregado fino	814.12	194.17
Agregado grueso	1042.74	248.69
Agua	210.04	50.09

Nota. En la tabla se evidencian la cantidad de material a utilizar para la elaboración de las 45 probetas.

La cantidad de cerámico reciclado requerido se puntualiza en la tabla 37.

Tabla 37

Cantidad requerida de agregado fino de cerámico reciclado

Descripción	Porcentaje de Sustitución			
	10%	20%	30%	40%
Peso de A.F.C.R para briquetas	3.88 kg	7.77 kg	11.65 kg	15.53 kg
	Total =			38.83 kg

Nota. En la tabla se manifiestan la cuantía de material fino reciclado que se necesita para la elaboración de las briquetas por cada porcentaje de reemplazo.

La cantidad de agregado fino de cerámico reciclado es de 3.88 kg para un 10 % de sustitución, 7.77 kg para un 20 % de sustitución, 11.65 kg para un 30 % de sustitución y 15.53 kg para un 40 % de sustitución, resultando un total de 38.83 kg de agregado fino de cerámico reciclado requerido.

Figura 23*Elaboración de testigos cilíndricos*

Nota. En la figura podemos observar el vaciado y elaboración de las briquetas las cuales se realizaron en 5 tandas, para el concreto patrón, la sustitución del 10%, la sustitución del 20%, la sustitución del 30% y la sustitución del 40%.

Figura 24*Desencofrado de los testigos*

Nota. En la figura logramos verificar el desencofrado de los testigos de concreto.

5.1.2. Variable dependiente: Resistencia a la compresión y asentamiento

5.1.2.1 Resistencia a la compresión del concreto patrón y concreto con cerámico reciclado.

Para lograr resultados confiables se elaboraron 45 briquetas de concreto, distribuidas de acuerdo al porcentaje de adición, así se hicieron 9 briquetas para el concreto patrón, 10%, 20%, 30% y 40% de adición, respectivamente. Se elaboraron y ensayaron las briquetas de acuerdo a la normativa la NTP 339.034.

5.1.2.1.1 Resistencia a la compresión del concreto patrón

El concreto patrón se elaboró con los agregados naturales y un 0% de sustitución de A.F.C.R.

Figura 25

Rotura de briquetas de concreto patrón



Nota. En la figura se muestra la ruptura de briquetas del concreto patrón a los 28 días de curado.

Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón se plasman en la tabla 38.

Tabla 38

Resistencia a la compresión del concreto patrón

Concreto patrón: 100% agregado fino natural								
Nombre	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Días de Curado	Diámetro (cm)		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
				Superior	Inferior			
C. Patrón (1/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.05	15.06	178.01	39354	221.07
C. Patrón (2/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.10	15.11	179.20	40572	226.41
C. Patrón (3/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.06	15.05	178.01	39640	222.68
C. Patrón (4/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.08	15.09	178.72	48372	270.65
C. Patrón (5/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.02	15.04	177.42	46251	260.69
C. Patrón (6/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.01	15.04	177.30	46909	264.57
C. Patrón (7/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.06	15.05	178.01	52142	292.91
C. Patrón (8/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.03	15.04	177.54	54135	304.91
C. Patrón (9/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.05	15.02	177.54	52654	296.57

Nota. En la tabla se observa que la resistencia promedio lograda a los 28 días es de 298.13 kg/cm², superando en 1.41% a la resistencia de diseño.

5.1.2.1.2 Resistencia a la compresión del concreto con sustitución del 10% de

A.F.C.R.

Figura 26

Rotura de briquetas de concreto con 10% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se indica la ruptura de briquetas del concreto con sustitución del 10% de A.F.C.R. a los 28 días de curado. Los resultados se muestran en la tabla 39.

Tabla 39

Resistencia a la compresión del concreto con 10% de A.F.C.R.

Primera Sustitución: 10% de A.F.C.R.								
Nombre	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Días de Curado	Diámetro (cm)		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
				Superior	Inferior			
C. 10% (1/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.18	15.16	180.74	41209	228.00
C. 10% (2/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.08	15.10	178.84	41459	231.82
C. 10% (3/9)	8/02/2024	15/02/2024	7 días	15.13	15.11	179.55	41172	229.30
C. 10% (4/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.10	15.09	178.96	47706	266.57
C. 10% (5/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.20	15.18	181.22	48163	265.77
C. 10% (6/9)	8/02/2024	22/02/2024	14 días	15.21	15.22	181.82	49772	273.75
C. 10% (7/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.17	15.19	180.98	54216	299.57
C. 10% (8/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.20	15.19	181.34	55557	306.37
C. 10% (9/9)	8/02/2024	7/03/2024	28 días	15.15	15.14	180.15	55603	308.65

Nota. En la tabla se puede observar que la resistencia media del concreto con 10% de sustitución de A.F.C.R. lograda a los 28 días es de 304.86 kg/cm², esta supera en 3.69% a la resistencia de diseño.

5.1.2.1.3 Resistencia a la compresión del concreto con sustitución del 20% de A.F.C.R.

Figura 27

Rompimiento de briquetas de concreto con 20% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se visualiza la rotura de briquetas del concreto con sustitución del 20% de A.F.C.R. a los 28 días. Los resultados del ensayo se manifiestan en la tabla 40.

Tabla 40

Resistencia a la compresión del concreto con 20% de A.F.C.R.

Segunda Sustitución: 20% de A.F.C.R.								
Nombre	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Días de Curado	Diámetro (cm)		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
				Superior	Inferior			
C. 20% (1/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.16	15.14	180.27	43312	240.27
C. 20% (2/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.10	15.12	179.32	40505	225.88
C. 20% (3/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.11	15.13	179.55	41040	228.57
C. 20% (4/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.09	15.10	178.96	52593	293.88
C. 20% (5/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.18	15.20	181.22	53789	296.82
C. 20% (6/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.22	15.21	181.82	53126	292.19
C. 20% (7/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.19	15.16	180.86	55004	304.12
C. 20% (8/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.19	15.21	181.46	58178	320.61
C. 20% (9/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.14	15.15	180.15	56842	315.53

Nota. En la tabla podemos observar que la resistencia media del concreto con 20% de sustitución de A.F.C.R. alcanzada a los 28 días de curado es de 313.42 kg/cm², superando en 6.61% a la resistencia diseñada.

5.1.2.1.4 Resistencia a la compresión del concreto con sustitución del 30% de A.F.C.R.

Figura 28

Rotura de briquetas de concreto con 30% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se visualiza la rotura de briquetas del concreto con sustitución del 30% de A.F.C.R. a los 28 días. Los resultados del ensayo se visualizan en la tabla 41.

Tabla 41

Resistencia a la compresión del concreto con 30% de A.F.C.R.

Tercera Sustitución: 30% de A.F.C.R.								
Nombre	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Días de Curado	Diámetro (cm)		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
				Superior	Inferior			
C. 30% (1/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.17	15.19	180.98	45229	249.91
C. 30% (2/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.10	15.08	178.84	43971	245.86
C. 30% (3/9)	9/02/2024	16/02/2024	7 días	15.13	15.11	179.55	42954	239.23
C. 30% (4/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.11	15.10	179.20	52896	295.18
C. 30% (5/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.19	15.17	180.98	53842	297.50
C. 30% (6/9)	9/02/2024	23/02/2024	14 días	15.21	15.22	181.82	53285	293.07
C. 30% (7/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.15	15.18	180.62	59309	328.35
C. 30% (8/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.21	15.19	181.46	59290	326.74
C. 30% (9/9)	9/02/2024	8/03/2024	28 días	15.16	15.16	180.51	56899	315.22

Nota. En la tabla se muestra que la resistencia media del concreto con 30% de sustitución de A.F.C.R. alcanzada a los 28 días de curado es de 323.44 kg/cm², esta supera en 10.01% a la resistencia de diseño.

5.1.2.1.5 Resistencia a la compresión del concreto con sustitución del 40% de A.F.C.R.

Figura 29

Rotura de briquetas de concreto con 40% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se observa la rotura de briquetas del concreto con sustitución del 40% de A.F.C.R. a los 28 días de curado. Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 42.

Tabla 42

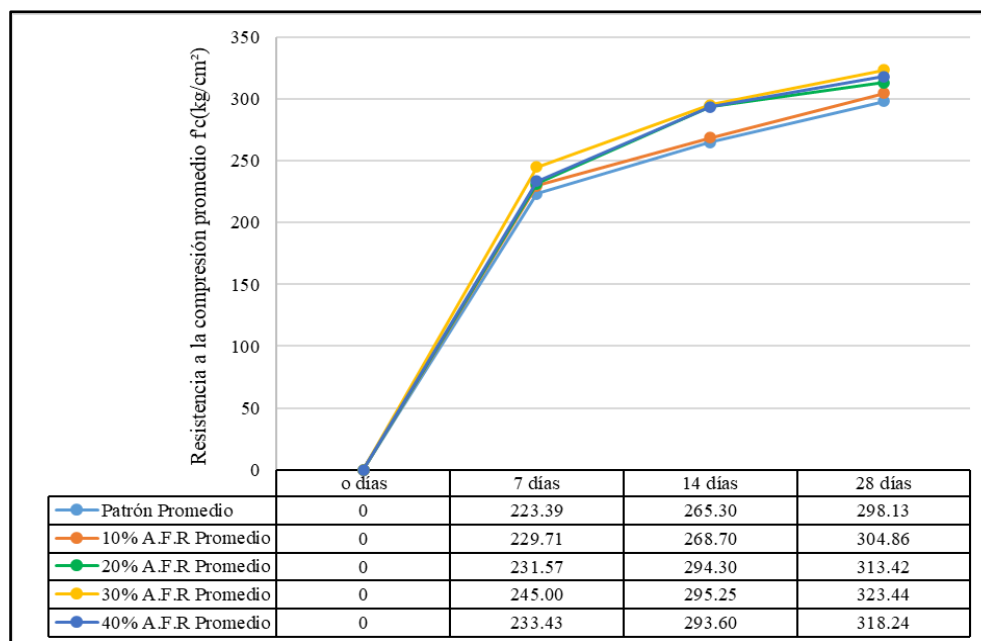
Resistencia a la compresión del concreto con 40% de A.F.C.R.

Cuarta Sustitución: 40% de A.F.C.R.								
Nombre	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Días de Curado	Diámetro (cm)		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
				Superior	Inferior			
C. 40% (1/9)	10/02/24	17/02/2024	7 días	15.16	15.15	180.39	41176	228.27
C. 40% (2/9)	10/02/24	17/02/2024	7 días	15.12	15.14	179.79	42280	235.16
C. 40% (3/9)	10/02/24	17/02/2024	7 días	15.11	15.12	179.44	42501	236.86
C. 40% (4/9)	10/02/24	24/02/2024	14 días	15.12	15.13	179.67	53656	298.63
C. 40% (5/9)	10/02/24	24/02/2024	14 días	15.17	15.19	180.98	52600	290.64
C. 40% (6/9)	10/02/24	24/02/2024	14 días	15.20	15.19	181.34	52864	291.52
C. 40% (7/9)	10/02/24	9/03/2024	28 días	15.16	15.15	180.39	55849	309.61
C. 40% (8/9)	10/02/24	9/03/2024	28 días	15.19	15.21	181.46	58623	323.06
C. 40% (9/9)	10/02/24	9/03/2024	28 días	15.16	15.18	180.74	58210	322.06

Nota. En la tabla se visualiza que la resistencia media del concreto con 40% de sustitución de A.F.C.R. alcanzada a los 28 días de curado es de 318.24 kg/cm², superando en 8.25% a la resistencia de diseño.

Figura 30

Comparación de resistencias a los 28 días



Nota. En la figura se muestra la comparación de las resistencias promedio alcanzadas de las briquetas, se observa que la mayor resistencia a la compresión a los 28 días corresponde al concreto con sustitución del 30% de A.F.C.R.

5.1.2.2 Asentamiento del concreto patrón y concreto con cerámico reciclado.

Se realizó este ensayo para establecer el asentamiento de la mezcla de concreto patrón y con sustituciones del 10%, 20%, 30% y 40% de A.F.C.R. los cuales se realizaron según la NTP 339.035, y así determinar su consistencia.

Figura 31

Asentamiento del concreto (slump)



Nota. En la figura se visualiza la prueba de asentamiento mediante el cono de Abrams.

5.1.2.2.1 Asentamiento de la mezcla de concreto patrón

Los resultados del ensayo de asentamiento se señalan en la tabla 43.

Tabla 43

Asentamiento de la mezcla patrón

Descripción	Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
	Slump (cm)	Promedio (cm)	Consistencia
C. Patrón	7.6	7.67	Plástica
	7.5		
	7.9		

Nota. En la tabla se manifiesta los datos resultantes del ensayo de asentamiento para la mezcla patrón.

5.1.2.2.2 Asentamiento de la mezcla de concreto con 10% de sustitución de A.F.C.R

Los hallazgos del ensayo de asentamiento se indican en la tabla 44.

Tabla 44

Asentamiento de la mezcla de concreto con 10% de A.F.C.R.

Descripción	Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
	Slump (cm)	Promedio (cm)	Consistencia
C. 10% A.F.C.R.	7.4	7.20	Plástica
	7.3		
	6.9		

Nota. En la tabla se señalan los datos resultantes del ensayo de asentamiento para la sustitución del 10% de A.F.C.R.

5.1.2.2.3 Asentamiento de la mezcla de concreto con 20% de sustitución de A.F.C.R

Las datos del ensayo de asentamiento se señalan en la tabla 45.

Tabla 45

Asentamiento de la mezcla de concreto con 20% de A.F.C.R.

Descripción	Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
	Slump (cm)	Promedio (cm)	Consistencia
C. 20% A.F.C.R.	6.5	6.50	Plástica
	6.9		
	6.1		

Nota. En la tabla se señalan los datos resultantes del ensayo de asentamiento para la sustitución del 20% de A.F.C.R., donde se obtuvo un asentamiento de 6.5 cm.

5.1.2.2.4 Asentamiento del material de concreto con 30% de sustitución de A.F.C.R

Las datos del ensayo de asentamiento se manifiestan en la tabla 46.

Tabla 46

Asentamiento de la mezcla de concreto con 30% de A.F.C.R.

Descripción	Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
	Slump (cm)	Promedio (cm)	Consistencia
C. 30% A.F.C.R.	6.2	6.00	Plástica
	5.8		
	6.0		

Nota. En la tabla se indica los datos resultantes de la prueba de asentamiento para la sustitución del 30% de A.F.C.R., donde se obtuvo un asentamiento de 6 cm.

5.1.2.2.5 Asentamiento de la mezcla de concreto con 40% de sustitución de A.F.C.R

Las datos del ensayo de asentamiento se señalan en la tabla 47.

Tabla 47

Asentamiento de la mezcla de concreto con 40% de A.F.C.R.

Descripción	Asentamiento del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$		
	Slump (cm)	Promedio (cm)	Consistencia
C. 40% A.F.C.R.	6.3	5.93	Plástica
	5.9		
	5.6		

Nota. En la tabla se manifiesta los datos resultantes de la prueba de asentamiento para la sustitución del 40% de A.F.C.R., donde se obtuvo un asentamiento de 5.93 cm.

El resumen de asentamientos promedio de cada porcentaje de sustitución se evidencian en la tabla 48.

Tabla 48

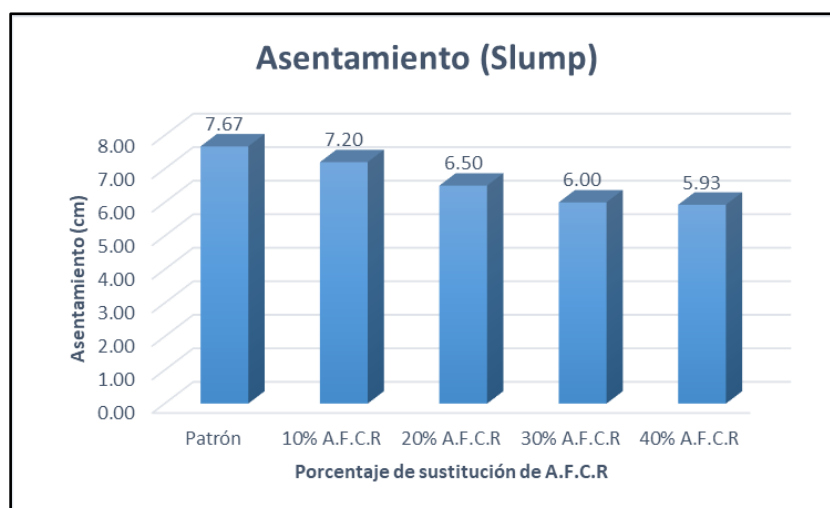
Asentamientos promedio de la mezcla de concreto

Descripción	Asentamiento promedio	
	Slump (cm)	Consistencia
C. Patrón	7.67	Plástica
C. con 10% A.F.C.R.	7.20	Plástica
C. con 20% A.F.C.R.	6.50	Plástica
C. con 30% A.F.C.R.	6.00	Plástica
C. con 40% A.F.C.R.	5.93	Plástica

Nota. En la tabla se evidencian la diferencia de asentamientos promedio para cada tipo de mezcla de concreto, según el porcentaje de sustitución de A.F.C.R.

Figura 32

Comparación de asentamientos de la mezcla de concreto



Nota. En la figura se muestra el diagrama de barras comparando el asentamiento de cada porcentaje de sustitución de A.F.C.R.

Podemos observar que, a medida que aumenta el grado de sustitución de árido fino por A.F.C.R disminuye el asentamiento, sin embargo, todavía se encuentran dentro de la consistencia plástica.

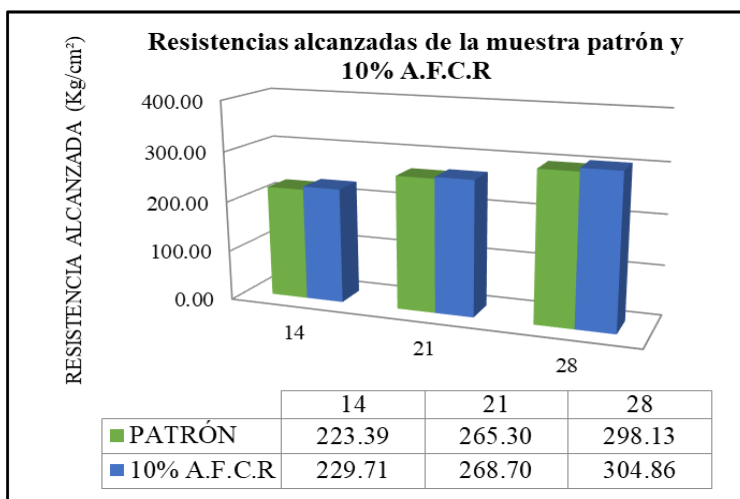
5.1.3. Diagramas comparativos de resistencia a la compresión

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión nos evidenciaron que el reemplazo del agregado fino por cerámico reciclado influye positivamente en esta

propiedad del concreto, como podemos apreciar en los siguientes diagramas de barras.

Figura 33

Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 10% de A.F.C.R.

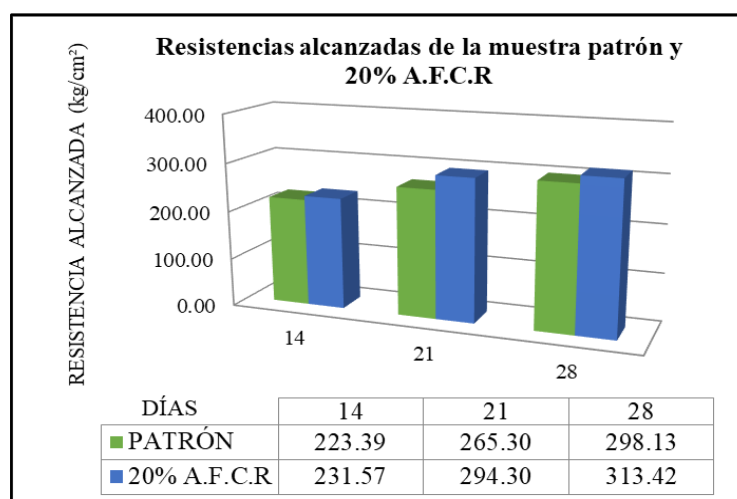


Nota. En la figura se muestra el diagrama de barras comparando las resistencias alcanzadas del concreto patrón y el 10% de A.F.C.R.

Se evidencia que después de 28 días de curado, el concreto con un reemplazo del 10% de A.F.C.R. tuvo una resistencia media de 304.86 kg/cm², superando en 2.26% a la resistencia promedio de 298.13 kg/cm² del concreto patrón.

Figura 34

Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 20% de A.F.C.R.

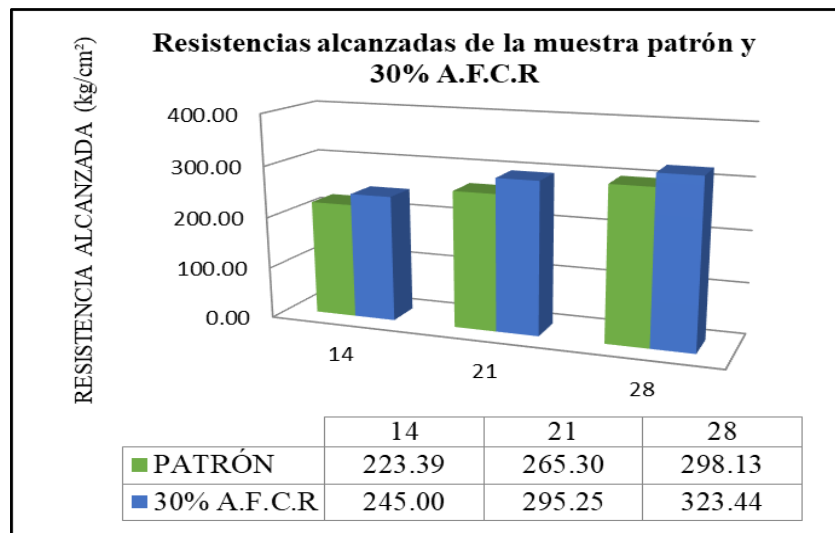


Nota. En la figura se observa el diagrama de barras comparativo de las resistencias alcanzadas del concreto patrón y el 20% de A.F.C.R.

Según los resultados, el concreto con un reemplazo del 20% de A.F.C.R. tuvo una resistencia a la compresión promedio de 313.42 kg/cm² a los 28 días, lo que fue un 5.13% superior a la resistencia promedio de 298.13 kg/cm² del concreto patrón.

Figura 35

Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 30% de A.F.C.R.

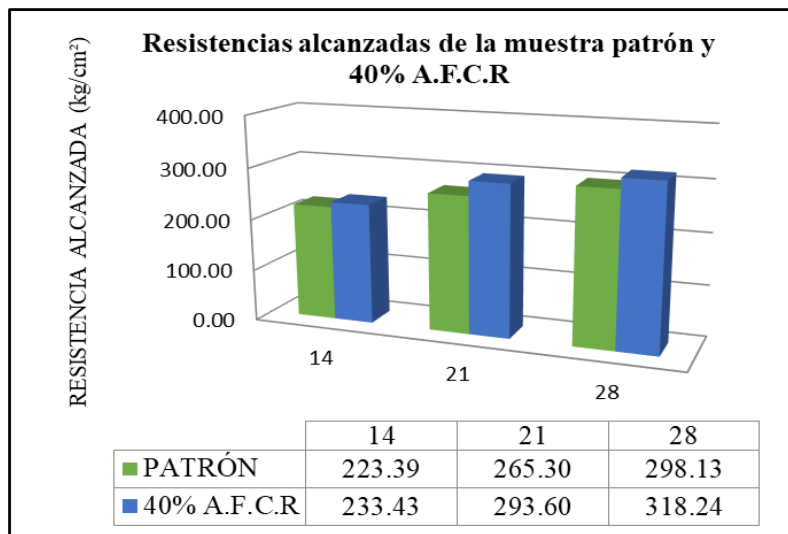


Nota. En la figura se señala el diagrama de barras comparando las resistencias alcanzadas del concreto patrón y el 30% de A.F.C.R.

La resistencia a la compresión promedio del concreto con una sustitución del 30% de A.F.C.R. fue de 323.44 kg/cm² después de 28 días de curado, lo que es un 8.49% superior que los 298.13 kg/cm² del concreto patrón.

Figura 36

Resistencia a la compresión del concreto patrón frente al 40% de A.F.C.R.

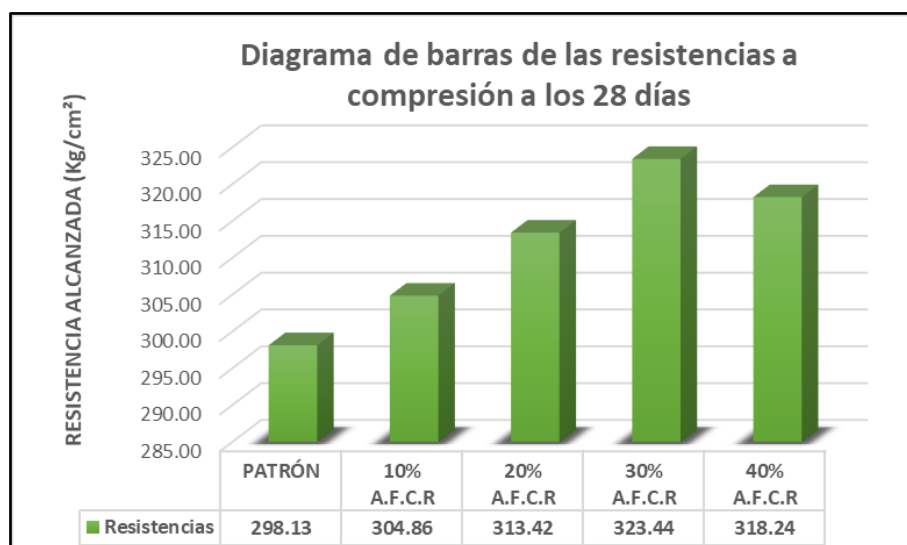


Nota. En la figura se indica el diagrama de barras comparando las resistencias alcanzadas del concreto patrón y el 40% de A.F.C.R.

Después de 28 días de curado, el concreto con un reemplazo del 40% de A.F.C.R. tuvo una resistencia a la compresión media de 318,24 kg/cm², que fue 6,75% mayor que los 298.13 kg/cm² del concreto patrón.

Figura 37

Resumen de resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días



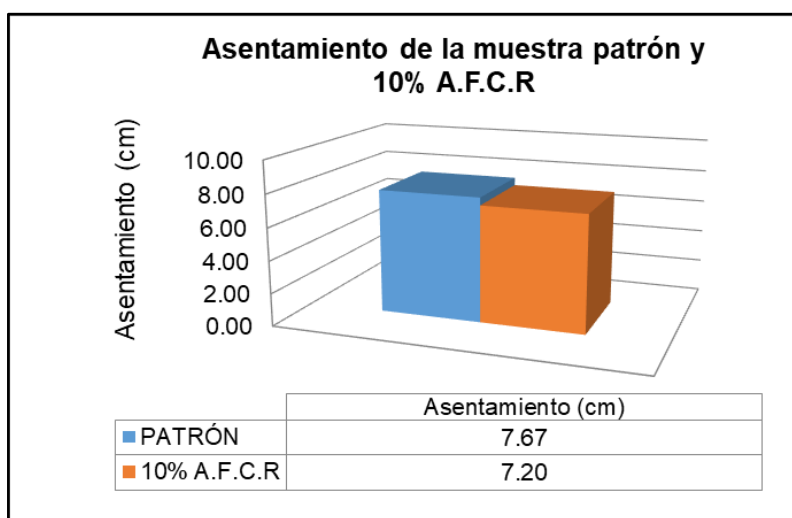
Nota. En la figura se muestra el resumen comparativo de las resistencias logradas a los 28 días de cada porcentaje de sustitución.

5.1.4. Diagramas comparativos del asentamiento

Las pruebas de asentamiento nos dieron como resultado que el reemplazo del agregado fino por cerámico reciclado impacta en el asentamiento de la mezcla de forma que a mayor proporción de sustitución es menor el asentamiento, como podremos apreciar en los siguientes diagramas.

Figura 38

Asentamiento del concreto patrón frente al 10% de A.F.C.R.

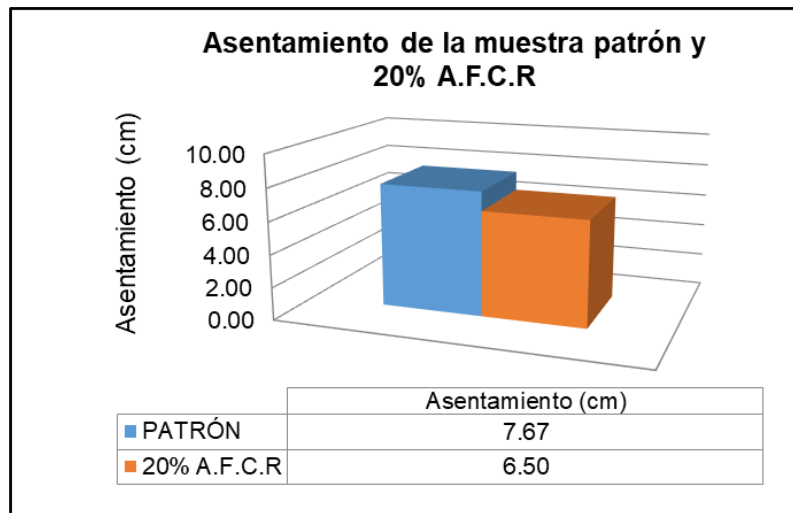


Nota. En la figura se muestra el diagrama de barras comparando los asentamientos del concreto patrón y el 10% de A.F.C.R.

Podemos observar que el asentamiento promedio del concreto con sustitución del 10% de A.F.C.R. es de 7.20 cm, siendo este, 6.13% menor que el asentamiento promedio del concreto patrón que es de 7.67 cm.

Figura 39

Asentamiento del concreto patrón frente al 20% de A.F.C.R.

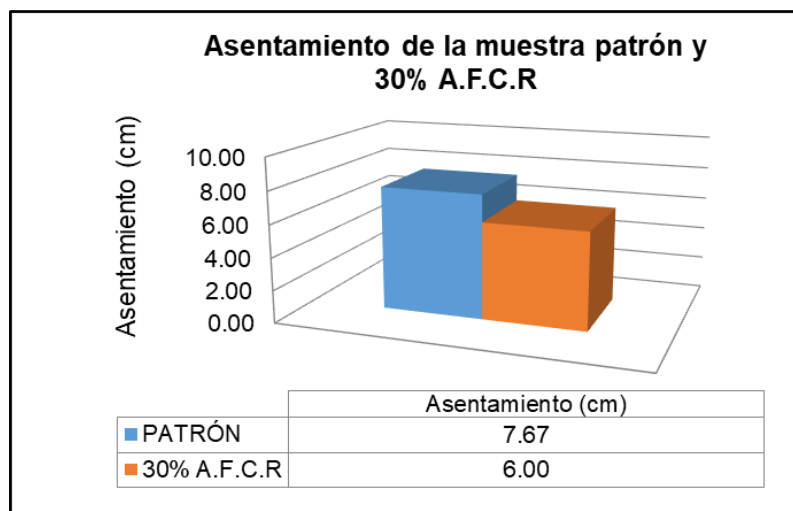


Nota. En la figura se verifica el diagrama de barras comparando los asentamientos del concreto patrón y el 20% de A.F.C.R.

Podemos observar que el asentamiento promedio del concreto con sustitución del 20% de A.F.C.R. es de 6.50 cm, siendo este, 15.25% menor que el asentamiento promedio del concreto patrón que es de 7.67 cm.

Figura 40

Asentamiento del concreto patrón frente al 30% de A.F.C.R.

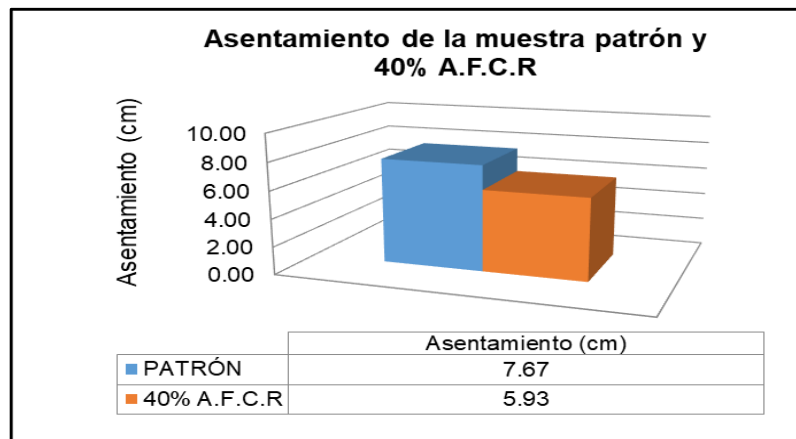


Nota. En la figura se indica el diagrama de barras comparando los asentamientos del concreto patrón y el 30% de A.F.C.R.

Podemos verificar que el asentamiento promedio del concreto con sustitución del 30% de A.F.C.R. es de 6.00 cm, siendo este, 21.77% menor que el asentamiento promedio del concreto patrón que es de 7.67 cm.

Figura 41

Asentamiento del concreto patrón frente al 40% de A.F.C.R.

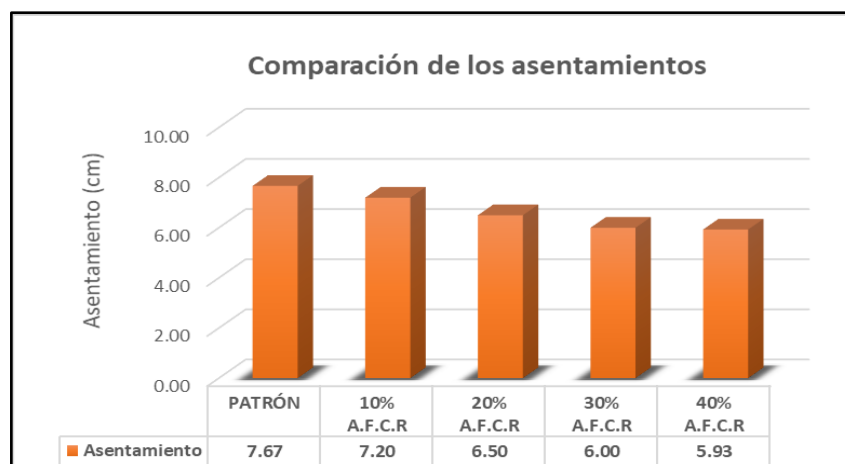


Nota. En la figura se muestra el diagrama de barras comparando los asentamientos del concreto patrón y el 30% de A.F.C.R.

Podemos observar que el asentamiento promedio del concreto con sustitución del 40% de A.F.C.R. es de 5.93 cm, siendo este, 22.69% menor que el asentamiento promedio del concreto patrón que es de 7.67 cm.

Figura 42

Resumen de asentamientos del concreto patrón frente a las proporciones de A.F.C.R.



Nota. En la figura se muestra el diagrama de barras comparando los asentamientos promedio de cada porcentaje de sustitución.

5.2. Discusión

Los resultados de esta tesis demuestran que, la resistencia a la compresión a los 28 días suele mejorar al incrementar el porcentaje de cerámica reciclada en sustitución del agregado fino, siendo un 30 % de sustitución el que produce el valor más alto, en esta etapa, la resistencia aumenta un 8.49 % con respecto al concreto patrón y un 10.01 % por encima de la resistencia de diseño, la resistencia comienza a disminuir significativamente cuando el reemplazo se incrementa al 40%, pero aún supera al concreto patrón, estos resultados indican que la utilización de este material reciclado es viable para mejorar la resistencia del concreto y significa una buena alternativa ecológica.

Cayhualla y Palomino (2022) obtuvieron resultados similares utilizando ceniza de troncos de eucalipto y residuos cerámicos como sustitutos parciales de agregados finos. Según su investigación, la adición de un 14% de residuos cerámicos resultó en la mayor resistencia a la compresión a los 28 días, siendo un 111.66% mayor a la resistencia del concreto patrón. De igual manera, Espinoza y Pipa (2021), quienes evaluaron la resistencia a la compresión axial, resistencia a la tracción, permeabilidad y el módulo elástico del concreto con sustitución del agregado por residuos cerámicos, observaron patrones similares, según sus resultados, la sustitución del 30% de residuos cerámicos en el agregado resultó en un aumento del 6.3% en la resistencia a la compresibilidad axial.

Por otro lado, podemos observar que la sustitución del agregado fino por cerámico reciclado tiene impacto en el asentamiento de la mezcla de concreto, de manera que, a mayor porcentaje de sustitución se obtiene un menor asentamiento, sin embargo, aún se encuentra dentro del límite plástico, como se aprecia en la figura 42.

Hernández y Saravia (2018), obtuvieron resultados similares cuando analizaron las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con cerámicos reciclados como sustituto del agregado grueso, en el que el asentamiento prefijado en el diseño correspondiente al hormigón con residuos cerámicos fue de 80 mm, sin embargo, en el experimento de asentamiento con el cono de Abrams se obtuvo un resultado de 46 mm, significando una reducción en esta propiedad del hormigón fresco.

5.3. Prueba de hipótesis

Para analizar la validez de la hipótesis se empleará la prueba t student, de la siguiente forma:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}}$$

Donde:

t : estadístico t calculado

V_c : varianza común

V : varianza

X₁; X₂ : promedios muestrales

Donde la varianza común es:

$$V_c = \frac{(n_1 - 1) * V_1 + (n_2 - 1) * V_2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

V : varianza de la muestra

Nota: La hipótesis nula Ho se rechaza cuando $t > t_c$ (Valor crítico)

Con esta premisa se procedió a realizar las pruebas de hipótesis.

Hipótesis específica HE1:

Ho ($\mu_1 = \mu_2$): El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino **no influye** en la resistencia a la compresibilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Hi ($\mu_1 \neq \mu_2$): El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino **influye** en la resistencia a la compresibilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

El primer ensayo de hipótesis se realizará en cuatro partes de acuerdo con los porcentajes de sustitución de A.F.C.R. de 10%, 20%, 30% y 40% para hacer el análisis con el concreto patrón.

a) Prueba t para resistencia a la compresión del concreto patrón con la sustitución del 10% de A.F.C.R.

Tabla 49

Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días

Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
	Muestra patrón	10% A.F.C.R.
	n1	n2
28 días	292.91	299.57
	304.91	306.37
	296.57	308.65

Nota. La tabla muestra los valores de resistencia a los 28 días.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (tc) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 50

Varianza común de la muestra patrón y del 10% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	10% A.F.C.R.
	V ₁	V ₂
Media	298.13	304.86
Varianza	37.839	22.326
Varianza Común	30.083	

Nota: La tabla indica la varianza común de las muestras.

Tabla 51

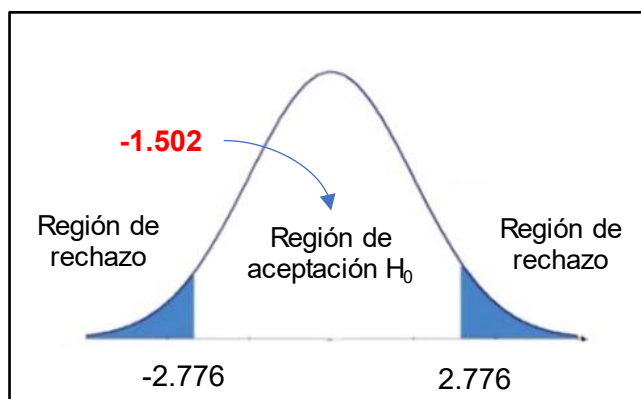
Datos para la campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.

Descripción	10% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (tc)	±2.776
Valor estadístico (t)	-1.502
Prueba	t < tc
Decisión	Se acepta la hipótesis nula Ho

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos del 10% de A.F.C.R.

Figura 43

Campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se observa el diagrama de la Campana de Gauss con el 10% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se encuentra en la región de aceptación de la hipótesis nula, por lo tanto, la sustitución del 10% de agregado fino por cerámico reciclado **no influye** en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en relación al concreto patrón.

b) Prueba t para la resistencia a la compresión del concreto patrón con la sustitución del 20% de A.F.C.R.

Tabla 52

Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días

Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	
	Muestra patrón	20% A.F.C.R.
	n1	n2
28 días	292.91	304.12
	304.91	320.61
	296.57	315.53

Nota. La tabla muestra los valores de resistencia a los 28 días.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 53

Varianza común de la muestra patrón y del 20% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	20% A.F.C.R.
	V_1	V_2
Media	298.13	313.42
Varianza	37.839	71.314
Varianza Común	54.577	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras.

Tabla 54

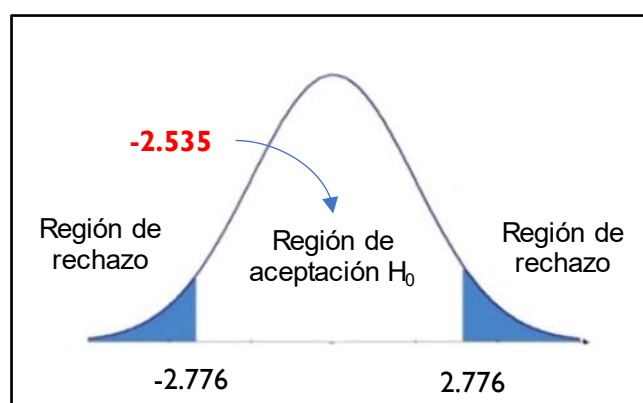
Datos para la campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.

Descripción	20% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	-2.535
Prueba	$t < t_c$
Decisión	Se acepta la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos del 20% de A.F.C.R.

Figura 44

Campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se muestra el diagrama de la Campana de Gauss con el 20% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se encuentra dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula de la H_0 , por lo tanto, el reemplazo del 20% de agregado fino por cerámico reciclado **no influye** en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en relación al concreto patrón.

c) Prueba t para la resistencia a la compresión del concreto patrón con la sustitución del 30% de A.F.C.R.

Tabla 55

Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días

Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
	Muestra patrón	30% A.F.C.R.
	n1	n2
28 días	292.91	328.35
	304.91	326.74
	296.57	315.22

Nota. La tabla muestra los valores de resistencia a los 28 días.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (tc) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 56

Varianza común de la muestra patrón y del 30% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	30% A.F.C.R.
	V ₁	V ₂
Media	298.13	323.44
Varianza	37.839	51.308
Varianza Común	44.574	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras.

Tabla 57

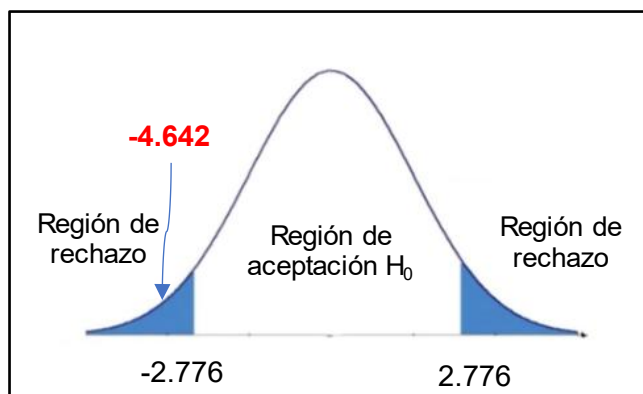
Datos para la campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.

Descripción	30% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (tc)	±2.776
Valor estadístico (t)	-4.642
Prueba	t > tc
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula Ho

Nota. La tabla indica los datos estadísticos del 30% de A.F.C.R.

Figura 45

Campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se muestra el diagrama de la Campana de Gauss con el 30% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se ubica dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, la sustitución del 30% de agregado fino por cerámico reciclado **influye** en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² en relación al concreto patrón.

d) Prueba t para la resistencia a la compresión del concreto patrón con la sustitución del 40% de A.F.C.R.

Tabla 58

Valores de las resistencias a la compresión alcanzadas a los 28 días

Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
	Muestra patrón	40% A.F.C.R.
	n1	n2
28 días	292.91	309.61
	304.91	323.06
	296.57	322.06

Nota. La tabla muestra los valores de resistencia a los 28 días.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 59

Varianza común de la muestra patrón y del 40% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	40% A.F.C.R.
	V_1	V_2
Media	298.13	318.24
Varianza	37.839	56.202
Varianza Común	47.021	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras.

Tabla 60

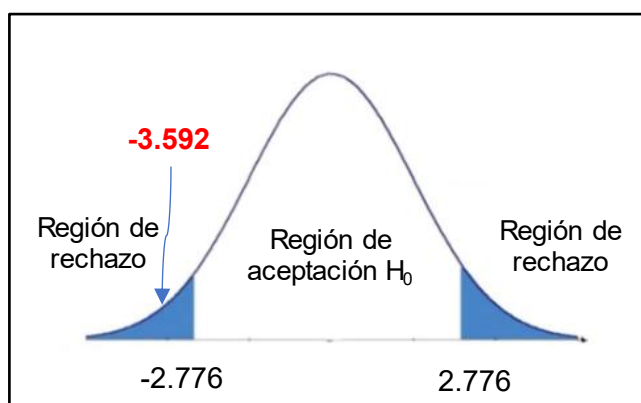
Datos para la campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.

Descripción	40% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	-3.592
Prueba	$t > t_c$
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla manifiesta los datos estadísticos del 40% de A.F.C.R.

Figura 46

Campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se visualiza el diagrama de la Campana de Gauss con el 40% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se sitúa dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, la sustitución del 40% de agregado fino por cerámico reciclado **influye** en la resistencia a la compresibilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm² respecto del concreto patrón.

Hipótesis específica HE2:

Ho ($\mu_1 = \mu_2$): El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino **no influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm².

Hi ($\mu_1 \neq \mu_2$): El cerámico reciclado como sustituto parcial del agregado fino **influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm².

Esta segunda prueba de hipótesis se realizará en cuatro partes según los porcentajes de sustitución de A.F.C.R. de 10%, 20%, 30% y 40% para hacer el análisis con el concreto patrón.

a) Prueba t para el asentamiento del concreto patrón con la sustitución del 10% de A.F.C.R.

Tabla 61

Valores de asentamientos de las muestras

Descripción	Muestra patrón	10% A.F.C.R.
	n1	n2
	7.60	7.40
Asentamiento (cm)	7.50	7.30
	7.90	6.90

Nota. La tabla señala los asentamientos del C.P. y el 10% A.F.C.R.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 62

Varianza común de la muestra patrón y del 10% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	10% A.F.C.R.
	V ₁	V ₂
Media	6.67	7.20
Varianza	0.043	0.070
Varianza Común	0.057	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras de C.P. y el 10% A.F.C.R.

Tabla 63

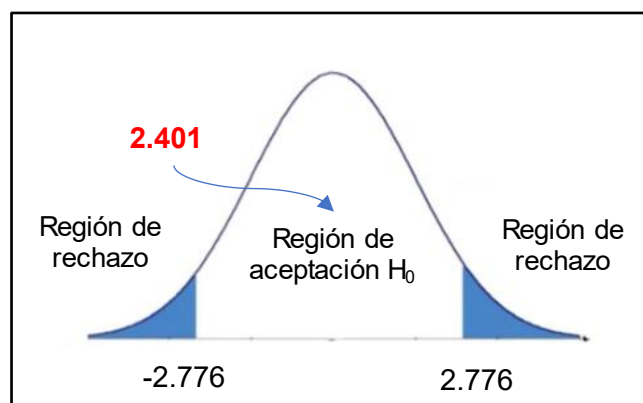
Datos para la campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.

Descripción	10% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	2.401
Prueba	$t < t_c$
Decisión	Se acepta la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos para el 10% A.F.C.R.

Figura 47

Campana de Gauss del 10% de A.F.C.R.



Nota. En el gráfico se muestra el diagrama de la campana de Gauss con el 10% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se encuentra dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, la sustitución del 10% de agregado fino por cerámico reciclado **no influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² respecto del concreto patrón.

b) Prueba t para el asentamiento del concreto patrón con la sustitución del 20% de A.F.C.R.

Tabla 64

Valores de asentamientos de las muestras

Descripción	Muestra patrón	20% A.F.C.R.
	n1	n2
Asentamiento (cm)	7.60	6.50
	7.50	6.90
	7.90	6.10

Nota. La tabla señala los asentamientos del C.P. y el 20% de A.F.C.R.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 65

Varianza común de la muestra patrón y del 20% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	20% A.F.C.R.
	V_1	V_2
Media	7.67	6.50
Varianza	0.043	0.160
Varianza Común	0.102	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras de C.P. y el 20% de A.F.C.R.

Tabla 66

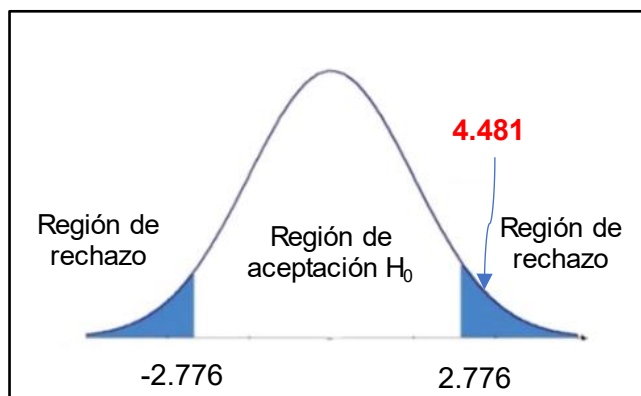
Datos para la campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.

Descripción	20% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valor de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	4.481
Prueba	$t > t_c$
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos para el 20% de A.F.C.R.

Figura 48

Campana de Gauss del 20% de A.F.C.R.



Nota. En la figura, se muestra el diagrama de la Campana de Gauss con el 20% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se ubica dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, la sustitución del 20% de agregado fino por cerámico reciclado **influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² respecto del concreto patrón.

c) Prueba t para el asentamiento del concreto patrón con la sustitución del 30% de A.F.C.R.

Tabla 67

Valores de asentamientos de las muestras

Descripción	Muestra patrón	30% A.F.C.R.
	n1	n2
Asentamiento (cm)	7.60	6.20
	7.50	5.80
	7.90	6.00

Nota. La tabla muestra los asentamientos del C.P. y el 30% de A.F.C.R.

Nivel de significancia = 0.05

Monto de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2$

Donde: $n = 4$

Tabla 68

Varianza común de la muestra patrón y del 30% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	30% A.F.C.R.
	V_1	V_2
Media	7.67	6.00
Varianza	0.043	0.040
Varianza Común	0.042	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras de C.P. y el 30% de A.F.C.R.

Tabla 69

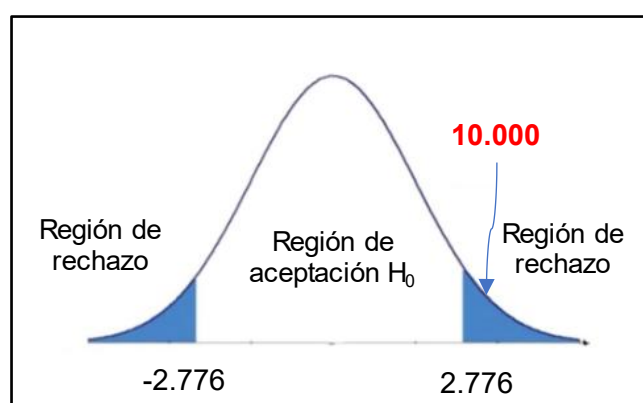
Datos para la campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.

Descripción	30% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valores de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	10.000
Prueba	$t > t_c$
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos para el 30% de A.F.C.R.

Figura 49

Campana de Gauss del 30% de A.F.C.R.



Nota. En la figura, se muestra el diagrama de la campana de Gauss con el 30% de A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se ubica dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, el reemplazo del 30% de agregado fino por cerámico reciclado **influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² respecto del concreto patrón.

d) Prueba t para el asentamiento del concreto patrón con la sustitución del 40% de A.F.C.R.

Tabla 70

Valores de asentamientos de las muestras

Descripción	Muestra patrón	40% A.F.C.R.
	n1	n2
	7.60	6.30
Asentamiento (cm)	7.50	5.90
	7.90	5.60

Nota. La tabla enseña los asentamientos del C.P. y el 40% de A.F.C.R.

Nivel de significancia = 0.05

Valor de control (t_c) = 2.776

Grados de libertad: $n = n_1 + n_2 - 2 = 4$

Tabla 71

Varianza común de la muestra patrón y del 40% de A.F.C.R.

Descripción	C. patrón	40% A.F.C.R.
	V_1	V_2
Media	7.67	5.93
Varianza	0.043	0.123
Varianza Común	0.083	

Nota. La tabla indica la varianza común de las muestras de C.P. y el 40% de A.F.C.R.

Tabla 72

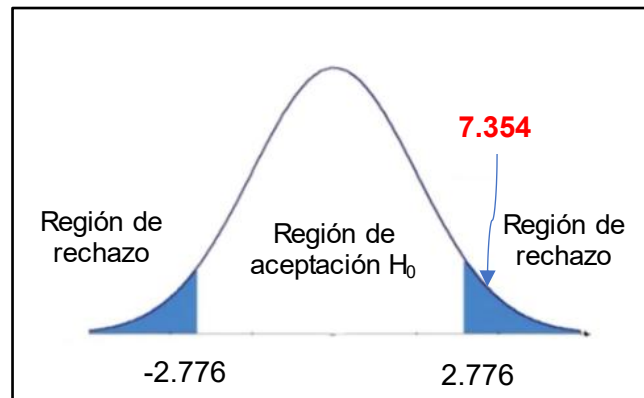
Datos para la campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.

Descripción	40% A.F.C.R.
Nivel de significancia	0.05
Valores de control (t_c)	± 2.776
Valor estadístico (t)	7.354
Prueba	$t > t_c$
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula H_0

Nota. La tabla muestra los datos estadísticos para el 40% de A.F.C.R.

Figura 50

Campana de Gauss del 40% de A.F.C.R.



Nota. En la figura se muestra el diagrama de la Campana de Gauss con el 40% A.F.C.R.

Podemos observar que el valor estadístico t calculado se ubica dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula H_0 , por lo tanto, el reemplazo del 40% de agregado fino por cerámico reciclado **influye** en el asentamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² respecto del concreto patrón.

VI. Conclusiones

Conclusión del objetivo general

La evaluación de los resultados de la presente tesis nos deja concluir que la sustitución del agregado fino por cerámico reciclado en porcentajes del 30% y 40% sí influye en la resistencia a la compresión y en el asentamiento del concreto $f'_c=210$ kg/cm², por otro lado, el reemplazo del 20% no influye en la resistencia a la compresibilidad, pero sí en el asentamiento, caso contrario de la sustitución del 10% que no influye en la resistencia a la compresión ni en el asentamiento del concreto.

Conclusión del objetivo específico 1

El análisis de las resistencias a la compresión del concreto patrón y las sustituciones del 10%, 20%, 30% y 40% de A.F.C.R nos indican que, en un periodo de 28 días alcanzaron una resistencia promedio de 298.13 kg/cm², 304.86 kg/cm², 313.42 kg/cm², 323.44 kg/cm² y 318.24 kg/cm² respectivamente, por lo que concluimos que, a medida que sube el porcentaje de sustitución de A.F.C.R. aumenta la resistencia respecto al concreto patrón, en 2.26%, 5.13%, 8.49% y 6.75% respectivamente, alcanzando un valor máximo con el 30% de A.F.C.R., con el 40% de A.F.C.R. la resistencia tiende a bajar, pero aún se conserva por encima respecto al concreto patrón, tal como se aprecia en la figura 37.

Conclusión del objetivo específico 2

El análisis de los asentamientos nos indica que el concreto patrón tuvo un asentamiento promedio de 7.67 cm, mientras con las sustituciones de 10%, 20%, 30% y 40% de A.F.C.R tuvieron asentamientos de 7.20 cm, 6.50 cm, 6.00 cm y 5.93 cm respectivamente, por lo que concluimos que, a mayor porcentaje de sustitución de A.F.C.R. se obtiene un menor asentamiento de la mezcla respecto al concreto patrón, esto ocurre debido a que el cerámico triturado posee una mayor capacidad de absorción que el agregado fino natural, y esto hace que la mezcla pierda fluidez.

VII. Recomendaciones

Recomendación del objetivo general

Dados los hallazgos de la presente tesis, se recomienda que se tenga en cuenta la utilización de cerámicos reciclados para la elaboración de concreto no solo de bajos requerimientos sino en concretos para elementos estructurales tales como zapatas y columnas, puesto que se vio una mejora en la propiedad de resistencia a la compresión.

Recomendación del objetivo específico 1

Se recomienda realizar nuevos estudios para sustituciones mayores al 40% de A.F.C.R. ya que se evidenció que después del 30% la resistencia tiende a bajar, y sería bueno determinar hasta qué punto puede ser factible la utilización de este material.

Recomendación del objetivo específico 2

Se recomienda hacer un análisis previo para la utilización del A.F.C.R. ya que se comprobó que disminuye el asentamiento, haciendo que la mezcla de concreto sea menos fluida, por lo que sería factible su utilización con un aditivo plastificante para requerimientos específicos.

VIII. Referencias

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*. Editorial "San Marcos". Lima, Perú.
- Bayona Panta, I. y Berrospi Mori, C. A. (2021). *Incorporación de cerámica reciclada para analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm², Lima 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo], Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83963>
- Cayhualla Valencia, P. M. y Palomino Valdivia, E. I. (2022). *Evaluación de las propiedades físico mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ añadiendo residuos cerámicos y ceniza de tronco de eucalipto como sustituto del agregado fino, Ica 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97677>
- Chicaiza Casa, C. A. y Guerra Bastidas, G. J. (2017). *Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13045>
- Espinoza Rojas, A. B. y Pipa Huamán, J. L. (2021). *Residuos de cerámica como sustitución porcentual del agregado para mejorar las propiedades mecánicas del concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4718>
- Flores Condori, J. (2020). *Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición en la Municipalidad Provincial del Cusco* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. <https://hdl.handle.net/2117/335990>
- German Olmos, E. E. y Solis Armijo, G. F. (2019). *Mortero de fraguado rápido, con cerámicos sanitarios reciclados y polímero super-absorbente* [Tesis de pregrado,

- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Heredia Sarmiento, C. F. (2019). *Resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm²; incorporando cerámico en 3% y 5% en remplazo de agregado grueso* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/22271>
- Hernández Ávila, E. E. y Saravia Zambrano, F. B. (2018). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con cerámicos reciclados como sustituto del agregado grueso* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15547>
- Instituto del Concreto (1997). *Tecnología y propiedades*. Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO). Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2021). *Producto Bruto Interno por Departamentos 2007-2020* (Archivo PDF). Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3437883/Producto%20Bruto%20Interno%20por%20Departamentos%202007-2020.pdf>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. EE.UU. Portland Cement Association.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. LIMA: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Molina Hernández, B. P., y Terán López, J. P. (2019). *Análisis del fraguado y de la resistencia a la compresión de pastas de cemento sustituidas parcialmente por polvo cerámico* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18190>
- NTP 334.009 (2016). *Cemento Portland. Requisitos*. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

- NTP 339.034 (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas* (Adaptada de ASTM C39/C39M-050). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 339.035 (2015). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland* (Adaptada de ASTM C143/C143M-2012). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 339.185 (2021). *Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo* (Adaptada de ASTM C566-19). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.011 (2013). *Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones*. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.012 (2021). *Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo*. (Adaptada de ASTM C 136/C136M:2019). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.017 (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y vacíos de los agregados* (Adaptada de ASTM C29/C29M-2009). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.021 (2018). AGREGADOS. *Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico y absorción del agregado grueso*. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.022 (2018). AGREGADOS. *Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico y absorción del agregado fino*. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- NTP 400.037 (2018). *Agregados para concreto. Requisitos*. (Adaptada de ASTM C33/C33M-2016). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- Pasquel Carbajal, E. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (Vol. 17). Colección del Ingeniero Civil.

- POGOTECH. (2017). *Cifras mundiales acerca del procesamiento de RCD: Residuos de la construcción y demolición*. <https://pogotech.eu/es/rcd/>
- Restrepo Baena, O. J. (20011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Centro Editorial Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Rojas Ledesma, A. E. (2019). *Influencia de residuos de cerámica como sustitución porcentual del cemento sobre la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo – 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/21287>
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2016). *Escombros: Conceptos básicos*. <http://www.ambientebogota.gov.co/>
- Vallejo Cevallos, G. D. (2021). *Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón sintetizado con desechos cerámicos como material cementoso suplementario* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7754>
- Valverde Cortez, A. A. (2022). *Determinación de la resistencia a compresión axial del concreto estructural $f'c=210$ kg/cm² integrando a la mezcla como aditivo natural el mucílago de penca de tuna en la ciudad de Abancay, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/492>
- Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R. D., Vera Treves, R., & Holgado Tisoc, J. (2023). *Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología – Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>
- Zito S, Irassar E, Rahhal V. (2016). Estudio sobre pastas y morteros de cemento Portland con reemplazo por loza sanitaria. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7(2), 57-66. <http://hdl.handle.net/11336/58800>