

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Evaluación de la resistencia del concreto a  
compresión con diferentes adiciones de material  
puzolánico de Yura - Arequipa, 2022**

Julio Cesar Mayta Mamani

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Dr. Ing. Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Mg. Ing. Felipe Alejandro Núñez Matta  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 18 de febrero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN CON DIFERENTES ADICIONES DE MATERIAL PUZOLÁNICO DE YURA – AREQUIPA, 2022”**, perteneciente al estudiante **BACH. JULIO CESAR MAYTA MAMANI** de la E.A.P. de

Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 00 ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Mg. Ing. Felipe Alejandro Núñez Matta Asesor de tesis

Cc.

Facultad

Oficina de Grados y Títulos Interesado(a)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, JULIO CESAR MAYTA MAMANI, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 80454475, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN CON DIFERENTES ADICIONES DE MATERIAL PUZOLÁNICO DE YURA – AREQUIPA, 2022 ”**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.



18 de ENERO de 2024.

---

JULIO CESAR MAYTA MAMANI

DNI. No. 80454475

# EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN CON DIFERENTES ADICIONES DE MATERIAL PUZOLÁNICO DE YURA – AREQUIPA, 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://ikua.iiap.gob.pe">ikua.iiap.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
11	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.usanpedro.edu.pe">repositorio.usanpedro.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://revistas.utp.ac.pa">revistas.utp.ac.pa</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
19	<a href="http://www.dspace.espol.edu.ec">www.dspace.espol.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

20	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://redi.unjbg.edu.pe">redi.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
28	Submitted to Submitted on 1691687177060 Trabajo del estudiante	<1 %
29	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1 %

31	Submitted to Vietnam Buddhist Institute Trabajo del estudiante	<1 %
32	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
34	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	grad.uprm.edu Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	cuhsu.uct.cl Fuente de Internet	<1 %
39	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
42	zagan.unizar.es	

Fuente de Internet

<1 %

43

[distancia.udh.edu.pe](http://distancia.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

44

[normalista.ilce.edu.mx](http://normalista.ilce.edu.mx)

Fuente de Internet

<1 %

45

[repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080](http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080)

Fuente de Internet

<1 %

46

[repositorio.upp.edu.pe](http://repositorio.upp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

47

[revistas.udistrital.edu.co](http://revistas.udistrital.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

48

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

49

[repositorio.unj.edu.pe](http://repositorio.unj.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecer a Dios por todo lo que me ha dado en el pasado, por lo que me da día a día y por todo lo que está por llegar, por brindarme fuerzas para seguir adelante y lograr mis objetivos.

A mi familia, que, con su ayuda incondicional, me ha ayudado y motivado siempre a seguir adelante en cada reto que se me ha presentado en la vida, especialmente en la culminación de este trabajo de investigación.

A todos los que estuvieron presentes en cada logro que he alcanzado; compañeros de trabajo y amigos, por su tiempo, sus consejos y por entenderme, me ayudaron a culminar mi carrera universitaria. A todos ellos mi gratitud.

## **Dedicatoria**

Con gratitud y amor, dedico la culminación exitosa de este trabajo de investigación a mis padres, quienes me acompañan siempre y me han enseñado, con el ejemplo, que el esfuerzo continuo permite que alcances tus objetivos y ser útil para la sociedad.

A mi esposa Sandra y a mis pequeñas hijas Stephany y Mariangel, por ser mi fuente de apoyo y motivación, por ellas y para ellas que hicieron posible el inicio y la culminación de este proyecto.

Julio Cesar Mayta Mamani

## Índice de Contenidos

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>i</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>ii</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Anexos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>ix</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo I: Planteamiento del Estudio</b> .....	<b>2</b>
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	2
1.1.1. Planteamiento del Problema .....	2
1.1.2. Formulación del Problema .....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Justificación e Importancia .....	4
1.3.1. Justificación.....	4
1.3.2. Importancia .....	5
1.4. Hipótesis.....	5
1.5. Operacionalización de Variables.....	6
1.5.1. Variable Independiente .....	6
1.5.2. Variable Dependiente.....	7
<b>Capítulo II: Marco Teórico</b> .....	<b>8</b>
2.1. Antecedentes del Problema .....	8
2.2. Bases Teóricas .....	11
2.2.1. Materiales Cementicios Suplementarios .....	11
2.2.2. Puzolanas.....	12
2.2.3. Reacción Puzolánica.....	13
2.2.4. Concreto.....	14
2.2.5. Agregado.....	15
<b>Capítulo III: Metodología</b> .....	<b>21</b>
3.1. Método y Alcance de la Investigación .....	21
3.1.1. Método de Investigación .....	21
3.1.2. Alcance de la Investigación.....	21
3.2. Diseño de la Investigación .....	21
3.3. Población y Muestra.....	21

3.3.1. Población.....	21
3.3.2. Muestra.....	22
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	23
3.4.1. Técnicas de Recolección de Datos .....	23
3.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos .....	23
3.4.3. Metodología en Desarrollo .....	24
<b>Capítulo IV: Resultados y Discusión .....</b>	<b>26</b>
4.1. Resultados y Discusión de las Propiedades de los Agregados .....	26
4.1.1. Análisis Granulométrico de los Agregados .....	26
4.1.2. Contenido de Humedad de los Agregados .....	27
4.1.3. Peso Unitario de los Agregados.....	28
4.1.4. Peso Específico y Absorción de los Agregados.....	29
4.1.5. Contenido de Humedad y Absorción de los Agregados .....	30
4.2. Resultados y Discusión de las Propiedades de la Puzolana .....	32
4.2.1. Análisis Granulométrico para la Puzolana de Yura y el Agregado Fino.....	32
4.2.2. Peso Específico y Absorción de la Puzolana Natural .....	32
4.2.3. Contenido de Humedad y Absorción de la Puzolana Natural .....	33
4.2.4. Reactividad de la Puzolana.....	35
4.3 Resultados y Discusión del Diseño de Mezcla, Determinación del Asentamiento del Concreto Fresco con la Sustitución de la Puzolana y Resultados del Concreto en Estado Fresco.....	36
4.3.1. Elaboración del Diseño de Mezclas (ACI 211.1).....	36
4.3.2. Asentamiento del Concreto Fresco.....	38
4.3.3. Peso Unitario, Contenido de Aire y Temperatura del Concreto en Estado Fresco.....	39
4.4. Resultados y Discusión de la Resistencia a la Compresión del Concreto .....	40
4.4.1. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 días.....	40
4.4.2. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 21 días.....	42
4.4.3. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 días.....	43
<b>Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Matriz de operacionalización de la variable independiente .....	6
<b>Tabla 2.</b> Matriz de operacionalización de la variable dependiente .....	7
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los materiales cementicios suplementarios .....	12
<b>Tabla 4.</b> Clases de mezcla según su asentamiento .....	15
<b>Tabla 5.</b> Clasificación del concreto de acuerdo al tipo de agregado utilizado .....	15
<b>Tabla 6.</b> Propiedades químicas de la puzolana.....	17
<b>Tabla 7.</b> Propiedades físicas de la puzolana .....	18
<b>Tabla 8.</b> Diseños de mezcla .....	22
<b>Tabla 9.</b> Cálculo del número de probetas (muestra) .....	22
<b>Tabla 10.</b> Dosificación de materiales para un concreto con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	36
<b>Tabla 11.</b> Cantidad de materiales por $\text{m}^3$ y por número de bolsas de cemento.....	37
<b>Tabla 12.</b> Cantidad de agregado fino y puzolana.....	37
<b>Tabla 13.</b> Diseño de mezcla para un concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo el agregado fino por porcentajes de material puzolánico de Yura.....	38
<b>Tabla 14.</b> Pesos unitarios, contenido de aire y temperaturas del concreto en estado fresco .....	39
<b>Tabla 15.</b> Tabla resumen del concreto en estado fresco. ....	40

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ceniza Volante.....	19
<b>Figura 2.</b> Microsílice .....	20
<b>Figura 3.</b> Esquema de los diseños de mezcla .....	24
<b>Figura 4.</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	26
<b>Figura 5.</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	27
<b>Figura 6.</b> Contenido de humedad del agregado fino y del agregado grueso.....	28
<b>Figura 7.</b> Peso unitario de los agregados fino y grueso.....	29
<b>Figura 8.</b> Peso específico de los agregados fino y grueso.....	30
<b>Figura 9.</b> Contenido de humedad y absorción de los agregados.....	31
<b>Figura 10.</b> Curva Granulométrica de la puzolana de Yura y curva granulométrica del agregado fino.....	32
<b>Figura 11.</b> Peso específico y absorción de la puzolana natural.....	33
<b>Figura 12.</b> Contenido de humedad y absorción de la puzolana natural.....	34
<b>Figura 13.</b> Reactividad potencial álcali-sílice de la puzolana.....	35
<b>Figura 14.</b> Gráfica de cantidad de reducción en alcalinidad VS cantidad de sílice.....	35
<b>Figura 15.</b> Asentamiento del concreto fresco.....	38
<b>Figura 16.</b> Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.....	40
<b>Figura 17.</b> Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días.....	42
<b>Figura 18.</b> Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.....	43
<b>Figura 19.</b> Resistencia a la compresión del concreto según el tiempo de rotura.....	44

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia .....	51
<b>Anexo 2.</b> Informe de ensayo de análisis de granulométrico del agregado fino y grueso. 52	
<b>Anexo 3.</b> Informe de ensayo de contenido de humedad del agregado fino y grueso. ....	54
<b>Anexo 4.</b> Informe de ensayo de peso específico del agregado grueso. ....	55
<b>Anexo 5.</b> Informe de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	56
Anexo 6. Ensayo de reactividad de la puzolana. ....	57
<b>Anexo 7.</b> Informe de diseño de mezcla - Método ACI.....	62
<b>Anexo 8.</b> Informe de prueba de Slump. ....	73
<b>Anexo 9.</b> Informe de tandas para pruebas en laboratorio.....	74
<b>Anexo 10.</b> Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón. ....	75
<b>Anexo 11.</b> Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 15% de puzolana. ....	77
<b>Anexo 12.</b> Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 20% de puzolana. ....	80
<b>Anexo 13.</b> Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 25% de puzolana. ....	84
<b>Anexo 14.</b> Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 30% de puzolana. ....	86
<b>Anexo 15.</b> Fotografías: Caracterización de agregados para el diseño de mezclas. ....	90
<b>Anexo 16.</b> Fotografías: Caracterización mecánica del concreto. ....	91

## Resumen

En la actualidad, existe una necesidad imperante de optimizar las características mecánicas del concreto. Se busca incorporar nuevos agregados o sustituir algunos de sus componentes; por tal motivo, se plantea el objetivo de la presente investigación: la resistencia a compresión del concreto adicionando material, puzolánico de Yura en porcentajes de 15, 20, 25 y 30 % para realizar un diseño de mezcla de 210 kg/cm<sup>2</sup>. La metodología es inductiva con alcance explicativo y diseño experimental. En consecuencia, se procedió a identificar las características de los agregados para luego elaborar probetas y realizar los ensayos de compresión a los 7, 21 y 28 días. Como resultado se obtuvo que, a los 7 días, el concreto, con la sustitución de 25 % de puzolana de Yura, logró la mayor resistencia con 160 kg/cm<sup>2</sup>; a los 21 días fue el concreto con 30 % de puzolana de Yura el que obtuvo la mayor resistencia con 211 kg/cm<sup>2</sup>; y, finalmente, a los 28 días vuelve a ser el concreto con el 25 % el que obtiene la mayor resistencia con 231.50 kg/cm<sup>2</sup>. En conclusión, la puzolana de Yura mejora la resistencia a compresión del concreto sustituyendo al agregado fino, siendo la muestra con 25 % de puzolana de Yura la que obtuvo mejores resultados.

*Palabras clave:* puzolana, concreto, resistencia, agregado.

## Introducción

En la actualidad, el concreto ha desempeñado un papel fundamental en el mejoramiento significativo de la calidad de vida de la población. Los peatones ya no tienen que lidiar con los charcos, el barro y otros problemas habituales en los caminos de tierra, gracias a la presencia de aceras, paseos y otras infraestructuras de concreto (Ventajas y usos del concreto en construcción., 2022).

Gracias a los adelantos y descubrimientos científicos, existen cada vez usos mucho más variados, desde la incorporación de nuevos agregados reciclados, el uso de diferentes tipos de cementos y la adición o sustitución de un componente del concreto por otro que presente mejoras a diferentes niveles (físicos o mecánicos).

Frente a esta realidad, han surgido iniciativas en el mundo para fomentar el cuidado y la preservación del entorno natural. desde la industria de la construcción en toda su cadena de valor. La construcción sostenible, los edificios verdes, la construcción energética y la arquitectura pasiva, entre muchos otros, son términos utilizados hoy para referir a la sostenibilidad, lo que indica que el sector de la construcción está tomando medidas concretas y prestando atención a los desarrollos que demuestran un compromiso con el cuidado del medio ambiente.

No obstante, para el tratamiento de los contaminantes ambientales y la reducción de las consecuencias ambientales, es fundamental recordar que la sostenibilidad debe ser considerada desde su etapa de diseño y durante todo el proceso de construcción (Ventajas y usos del concreto en construcción., 2022).

Por lo tanto, el uso de agregados naturales, provenientes de la zona de estudio o de la construcción proyectada, puede aportar una mejora a nivel ambiental, estructural y económica, puesto que este tipo de mezclas de concreto resultan beneficiosas.

El planteamiento general de esta investigación tiene como directriz el uso de puzolanas o material puzolánico para elaborar una mezcla de concreto que será sometida a diferentes pruebas para determinar qué tan eficiente, conveniente y funcional es el material, y determinar el mejor porcentaje de adición del material.

## Capítulo I: Planteamiento del Estudio

### 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

#### 1.1.1. *Planteamiento del Problema*

La tendencia de un nuevo material en el concreto aumenta la resistencia y la durabilidad para compensar las necesidades en la construcción moderna, así como el uso de puzolanas naturales que comprenden materiales de origen volcánico, incluidos materiales piroclásticos inalterados (piedra pómez, perlita, ceniza volcánica), materiales piroclásticos diagenéticamente alterados (zeolitas) y materiales de origen sedimentario (arcillas quemadas naturalmente y lutitas, materiales de tierra de diatomeas , etc.) (Amez & Enrico, 2020).

En Perú, la construcción se destaca como una de las actividades económicas más importantes que está en constante crecimiento (ComexPerú, 2022). Son muchas las obras de construcción cuyo principal material utilizado es el concreto, el mismo que tiene una creciente demanda y satisface las exigencias de la industria (Molero & Ríos, 2020).

A nivel nacional no se emplean materiales puzolánicos por desconocimiento sobre sus potencialidades y ventajas (Muñoz, 2017). Por otro lado, el concreto convencional se ve perjudicado por esfuerzos producidos por el clima, provocando la disminución en la resistencia y durabilidad (Hidalgo, 2018). Asimismo, las edificaciones se ven afectadas por la brisa del mar o por agentes corrosivos (Molero & Ríos, 2020). En Arequipa, las plantas cementeras producen grandes cantidades de cemento, lo cual incrementa el consumo energético, generando así emisiones de gases en grandes volúmenes (Montero, 2019).

Por ende, es necesario proponer soluciones en áreas de rendimiento óptimo y mejor economía (sin la necesidad de alterar la calidad del producto) debido a los precios elevados asociados a la construcción civil, puesto que el concreto es un componente importante de trabajo que supone inversiones en equipos de construcción y en preparación para su uso. Las puzolanas naturales tienen un gran potencial como alternativa viable al concreto tradicional por su mayor durabilidad, menor coste y menor impacto ambiental. Los edificios actuales deben resistir efectos externos como el cambio de clima u otros fenómenos

naturales como los terremotos y los huracanes, lo que hace que la seguridad de los edificios se torne en un aspecto relevante. El azote del fenómeno del niño costero hacia la costa norte peruana conlleva a examinar y debatir los resultados de las investigaciones para fomentar el uso de la puzolana y mejorar la durabilidad del concreto, establecer sistemas de vigilancia y poner en marcha esfuerzos de colaboración para reforzar las infraestructuras de transporte de la región.

A nivel local, se puede observar, en Arequipa, que el concreto empleado hace que los costos sean elevados, por lo que se buscan costos óptimos. Por lo tanto, con este estudio se pretende disminuir estos costos empleando el material puzolánico, ya que es más barato de adquirir en comparación con los agregados comunes.

### **1.1.2. Formulación del Problema**

#### **1.1.2.1 Formulación del Problema General.**

¿Cómo la incorporación de puzolanas naturales influye en las propiedades del concreto?

#### **1.1.2.2 Formulación de Problemas Específicos.**

¿Cuál es la influencia de las características de los agregados en las propiedades del concreto?

¿Cuál es la influencia de las características de la puzolana de Yura en las propiedades del concreto?

¿Cómo influye la incorporación de la puzolana de Yura en el diseño de mezcla y asentamiento del concreto?

¿Cómo influye la incorporación de la puzolana de Yura en la resistencia a la compresión del concreto?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar la resistencia a compresión del concreto adicionando material puzolánico de Yura, Arequipa, 2022.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Determinar las propiedades de los agregados para la elaboración de un concreto con  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

Determinar las propiedades de la puzolana para la elaboración de un concreto con  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

Determinar el diseño de mezclas y el asentamiento del concreto adicionando puzolana de Yura.

Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón y del concreto con adición de puzolana de Yura.

### **1.3. Justificación e Importancia**

#### **1.3.1. Justificación**

**1.3.1.1 Justificación Técnica.** La justificación técnica va en función de los resultados de la investigación, así como la aplicación del conocimiento adquirido a lo largo de la carrera. Sobre la base de investigaciones anteriores, se podrá demostrar que la sustitución de material puzolánico resultará beneficiosa para el concreto a nivel estructural, puesto que la resistencia a la compresión demostrará una mejora significativa, lo que aporta nuevos conocimientos referentes a los diseños de mezcla que podrán ser usados en posteriores obras civiles o construcciones de viviendas.

**1.3.1.2 Justificación Económica.** Mediante este estudio se pretende mejorar la calidad del concreto, manejando diversos factores como los costos que se asumirán para la productividad, estableciendo que el costo del concreto ejecutado con puzolánico es inferior al costo de un  $\text{m}^3$  de otros materiales.

**1.3.1.3 Justificación Social.** La justificación va en función del posterior uso y funcionalidad del diseño de mezcla óptimo que se determinará con los resultados, puesto que resultará beneficioso para la construcción de viviendas. Anteriormente, se ha comprobado que el aumento de este agregado mejora significativamente la resistencia a nivel estructural.

### **1.3.2. Importancia**

El estudio se considera importante porque pretende evaluar la resistencia al emplear el material puzolánico, el cual es empleado constantemente en la actualidad y mejora la vida útil del diseño. Cada vez es más frecuente que se empleen adiciones minerales en el cemento como parte de la industria de la construcción, ya que contribuye al desarrollo sostenible y trae beneficios tecnológicos.

### **1.4. Hipótesis**

Al evaluar la resistencia a la compresión, se observa un incremento cuando se agrega material puzolánico de Yura, Arequipa, 2022.

## 1.5. Operacionalización de Variables

### 1.5.1. Variable Independiente

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de la variable independiente*

<b>Variable Independiente</b>					
<b>Agregados</b>	El agregado se define como un material inerte, granular y adecuadamente clasificado que se une mediante una pasta de cemento para formar una estructura de soporte para el concreto. Dado que los agregados son el componente principal del concreto, su elección es muy importante, ya que debe estar hecho de partículas de soporte e impermeables, y no debe contener sustancias que produzcan efectos nocivos. Para usar el cemento de manera efectiva, es necesario mezclar constantemente los grados (Céspedes García, 2003).	Para medir la variable agregados se tendrán las dimensiones: arena y material puzolánico.	Arena	Granulometría	Ordinal
				Características físicas	
			Material puzolánico	Granulometría	
				Características físicas	

### 1.5.2. Variable Dependiente

Tabla 2

Matriz de operacionalización de la variable dependiente

<i>VARIABLE</i>	<i>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</i>	<i>DEFINICIÓN OPERACIONAL</i>	<i>DIMENSIÓN</i>	<i>INDICADOR</i>	<i>ESCALA DE MEDICIÓN</i>
<b>Variable Dependiente</b>					
<b>Resistencia a la compresión</b>	La capacidad del concreto para soportar la fisuración es común en todos los materiales utilizados para realizar todo tipo de estructuras, empezando por las reticulares. El ensayo de compresión de cilindros brinda una investigación de la propiedad mecánica del material y de su comportamiento de manera detallada ante la carga estática o cargas que escalan progresivamente en el tiempo (Hernández Perez, Gómez Chimento, Contreras Bravo, & Padilla Ruiz, 2018)	Para la variable RC, se tendrá la dimensión: diseños de mezcla	Diseños de mezcla	Diseño patrón	Razón
				Diseño patrón + 15 % de puzolana	
				Diseño patrón + 20 % de puzolana	
				Diseño patrón + 25 % de puzolana	
				Diseño patrón + 30 % de puzolana	

## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes del Problema

A nivel internacional, Dahish et al. (2022) investigaron sobre el efecto del reemplazo parcial de agregados finos en concreto con puzolana natural (NP) local disponible en Al-Madinah y Al-Munawarah, Reino de Arabia Saudita (KSA). Para ello prepararon 48 cilindros de concreto en dos grupos de 24 con sustitución de Arena Natural (NS) por NP en volumen en niveles de reemplazo del 20 %, 50 % y 100 %. La utilización de NP ha mostrado un impacto significativo en las características mecánicas del concreto; por lo tanto, fundamentado en los resultados, la sustitución del 20 % del agregado fino y el 5 % del cemento en el concreto por NP, respectivamente, ha aumentado la resistencia a la compresión y a la tracción del concreto.

Pham et al. (2020) investigaron los efectos de la utilización de polvo de piedra caliza y puzolana natural Shirasu, como sustitutos parciales del agregado fino, sobre las propiedades mecánicas y la resistencia del concreto a una solución agresiva que contenía un 3 % de  $H_2SO_4$  y un 5 % de  $MgCl_2$ . Los datos muestran que la sustitución del 5 % del agregado fino por polvo de caliza provoca un deterioro más severo del concreto por la solución química. Sin embargo, la sustitución del 55 % del agregado fino por Shirasu aumenta la RC tras 28 días de curado y mejora la resistencia química del concreto. Además, en este estudio se examinó el mecanismo de deterioro del concreto sumergido en la solución agresiva.

Tchamdjou et al. (2020) investigaron la utilización de escoria volcánica de 'Djoungo' (Camerún) como reemplazo de cemento y agregado fino en mortero de mampostería de cemento Portland. Cuatro puzolanas naturales NPs en polvo: BP, DRP, RP y YP con 8401, 8631, 7708 y 8059  $cm^2/g$  de finura Blaine, respectivamente, de un color diferente (negro, rojo oscuro, rojo y amarillo), y agregados de escoria volcánica fina VSA de 1 a 5 mm de escoria volcánica. El estudio se realizó utilizando dos conjuntos de muestras de morteros: morteros que contenían NP como sustitución del cemento en un 25 y 45 % en peso (morteros OPC/NPs), y morteros que contenían VSA como sustitución de arena en un nivel

de 25, 50, 75 y 100 % en peso (morteros VS). Se evaluó el caudal, la densidad fresca y seca, el módulo dinámico y las resistencias mecánicas de los morteros a los 28, 56 y 90 días. Las densidades secas promedio de los morteros OPC/NPs y las mezclas de morteros VS oscilaron entre 2043 y 2112 kg/m<sup>3</sup> y entre 1381 y 1945 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Los morteros OPC/NPs y las mezclas de morteros VS desarrollaron alrededor de 11,9–28,3 MPa y 9–19,4 MPa de RC, respectivamente. Con base en estos resultados, la adición de escoria volcánica 'Djoungo' como reemplazo del cemento o por sustitución de arena en la proporción adecuada en el mortero puede ser aplicable para la mampostería.

Dahish et al. (2020) investigaron el efecto de reemplazar parcialmente el cemento por peso con polvo de puzolana natural local en cubos de mortero de cemento para disminuir las emanaciones de gases de carbono y el consumo energético durante la producción de cemento, y la sustitución por humo de sílice. El trabajo experimental se realizó sobre 84 cubos, en dos grupos: reemplazo de cemento en peso con puzolana natural local (LNP) en polvo en niveles que oscilaron entre 10 % y 40 %, y reemplazo de arena en volumen con (LNP) en niveles que variaron entre 10 % y 40 %, además del reemplazo de cemento en peso con humo de sílice en niveles que oscilaron entre 0 % y 10 %. Las muestras fueron analizadas a los 28 y 180 días. La utilización de (LNP) y humo de sílice mostró un impacto notable en las características mecánicas del mortero de cemento, especialmente en la sustitución de arena por LNP.

Dahish et al. (2022) determinaron el efecto del reemplazo parcial de cemento y de la arena con polvo de LNP en cubos de mortero de cemento para reducir la huella ambiental dañina de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan de la fabricación de cemento en las propiedades mecánicas de los cubos. Para ello se elaboraron 54 cubos de mortero de cemento de 50 mm (6 cubos como probetas de control, 24 cubos con sustitución de cemento en peso por polvo de puzolana natural local en niveles de reposición del 10, 20, 30 y 40 %, y 24 cubos de mortero de cemento de 50 mm) y cubos con reemplazo de arena por volumen con puzolana natural local en niveles de reemplazo de 10, 20, 30 y 40 %. Los cubos de mortero de cemento fueron ensayados a los 28 y 180 días. La sustitución de

arena por volumen por puzolana natural local mostró un efecto notable sobre las características mecánicas del concreto, en contraste con la sustitución ponderada de cemento por puzolana natural local en forma de polvo.

A nivel nacional, Vásquez y Talaverano (2021) estudiaron la diferencia que se observaron cambios en el rendimiento mecánico del concreto con resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando tufo de piedra volcánica en porcentajes de 4%, 8%, 12% y 15%. Para ello se tuvo 135 muestras de las cuales 45 fueron sometidas a resistencia a la compresión, 45 a resistencia a la tracción y 45 más se sometieron a la resistencia a la flexión. Los resultados mostraron que el 15 % de tufo de piedra volcánica logró la resistencia máxima a compresión y tracción (217.20 kg/cm<sup>2</sup> y 33.48 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que el 8 % logró la máxima resistencia a la flexión con un valor de 32.06 kg/cm<sup>2</sup>. En consecuencia, se concluye que el 15 % de tufo de piedra volcánica es el porcentaje idóneo para su uso en el concreto.

Corimanya (2023) estudiaron la influencia de la puzolana volcánica en el comportamiento de un concreto con resistencia inicial de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Como muestra se utilizaron agregados de la “Cantera la poderosa” que se encuentra en Uchumayo – Arequipa. Los resultados demostraron que, con 10 % de puzolana volcánica, se lograron las resistencias máximas a compresión y tracción que fueron de 261.27 kg/cm<sup>2</sup> y 26.33 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, demostrando que la ceniza volcánica ejerce una influencia considerable en la resistencia a la compresión y tracción.

Carrera y Lino (2021) analizaron los cambios experimentados en las características mecánicas, como la resistencia a la compresión y la tracción, de un concreto permeable normal a partir de la incorporación de puzolana volcánica en porcentajes de 2.5 %, 5.0 %, 7.5 %, 10 % y 12.5 %. El resultado más favorable se presentó con 2.5 % de puzolana volcánica debido a que mostró una resistencia a la compresión de 217 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual demuestra una influencia significativa en la propiedad mecánica del concreto.

Quiliche (2019) planteó establecer la variación de la resistencia a la compresión de la probeta de concreto con  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, usando agregados de puzolana volcánica de la

zona como remplazo. Los resultados arrojan que, en el caso de la muestra patrón, al día 28 de 214.17 Kg/cm<sup>2</sup> semejante al 100 %, añadiendo un 4% de Puzolana, se obtuvo 215.04 Kg/cm<sup>2</sup> (100.41 %); mientras que añadiendo un 8 % se obtuvo 220.19 Kg/cm<sup>2</sup> (102.81 %). Por otro lado, añadiendo un 12 % se obtuvo 234.66 Kg/cm<sup>2</sup> (109.57 %). Por último, añadiendo un 15 % de Puzolana 252.68 Kg/cm<sup>2</sup> (117.98%). De esta manera, se determinó que la variación fue positiva, puesto que, al aumentar el uso de puzolana, se identifica una mejora significativa en el f'c del diseño patrón.

Huacasi (2022) elaboró un concreto con f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup> influenciado por puzolana volcánica en porcentajes de 5 %, 10 % y 15 %, y fueron evaluados en 44 especímenes donde fueron sometidos a pruebas de capacidad de resistencia a la compresión. Los resultados mostraron que el 5 % de puzolana volcánica logró ampliar la resistencia a la compresión en un 10.01 %. Así mismo, presentó una buena trabajabilidad (4"), por lo que se concluye que la puzolana volcánica influye positivamente en las propiedades del concreto.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Materiales Cementicios Suplementarios**

Los materiales cementicios suplementarios (SMC por sus siglas en inglés) son aquellos materiales no orgánicos que van a dotar de diversas características a una mezcla de tipo cementicia. Dicha acción se va a generar por medio de la actividad hidráulica, actividad puzolánica o por la unión de ambas actividades.

Dichos materiales pueden ser clasificados dentro de tres clases, de acuerdo con su naturaleza: residuos provenientes de los municipios, residuos de tipo agrícolas y residuos provenientes de las industrias (Omen, 2021).

**Tabla 3**

*Clasificación de los materiales cementicios suplementarios*

Clasificación de los SCMs			
	Residuos Industriales	Residuos agrícolas	Residuos Municipales
Comportamiento hidráulico	Ceniza volante clase C (FA-C)		
	Escoria granulada de alto horno (GGBFS)		
Puzolana artificial	Ceniza volante clase F(FA-F)	Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)	Vidrio (GG)
	Humo de Sílice (SF)	Ceniza de aserrín (SA)	Plástico (P)
		Ceniza de mazorca de maíz (CCA)	Papel (WPSA)
		Ceniza de bagazo de caña (SCA)	
		Ceniza de combustión de biomasa (BCA)	
		Ceniza de combustión de palma de aceite (POFA)	
		Concha de ostra quemada (OS)	
		Ceniza de lodo residuales (SSA)	

*Nota.* Adaptado de “Influencia de los materiales cementantes suplementarios (SCMSs) en concretos con agregados reciclados (RAC)”, por J. Omen, 2021.

De lo anterior se pueden deducir dos categorías de SCMs: las que tienen comportamiento hidráulico (autocementantes), como la escoria de alto horno que es un subproducto proveniente del acero; y las puzolanas artificiales, como las cenizas volantes de clase F, cuya producción aparece a partir del carbón bituminoso (París et al., 2016).

**2.2.1.1 Propiedades de los Materiales Cementicios Suplementarios.** Los SMC poseen la capacidad de no afectar de forma negativa la resistencia a la compresión en el tiempo, tampoco afectan la propiedad de contracción por el secado. Sin embargo, es probable que sí dificulte su trabajabilidad en su estado no endurecido. Otra característica de los SMC es la propiedad de reducir la huella de carbono, motivo por el cual se transforma en un componente fundamental para las construcciones sostenibles (Pillai et al., 2020). Disminuyen significativamente la quema de combustibles fósiles, ya que reducen la producción de cemento y gestionan los residuos de una mejor manera. Cubren las necesidades de la construcción resiliente actual (Exactitude Consultancy, 2022).

**2.2.2. Puzolanas**

Se denominan puzolanas a aquellos elementos obtenidos de forma natural o artificial, que de forma independiente no van a poseer propiedades aglomerantes. Tampoco poseen actividad hidráulica; sin embargo, al darles tratamiento y adicionarles agua, obtienen

propiedades hidráulicas y aglomerantes. Se clasifican de acuerdo al origen en: naturales, artificiales y mixtas (Estuardo, 2020).

**2.2.2.1 Puzolanas Naturales.** Constituyen esta clase las puzolanas propiamente dichas y las cortezas de volcán, entre otros elementos naturales, los cuales deben comportarse de la misma manera ante la cal. Son naturalmente cenizas de volcán. Tienen una estructura tipo escoria, poseen colores parecidos al ladrillo cocido. Una temperatura de fusión de 1.140°C, y la cara que se expone directamente al calor termina vitrificándose. Poseen un alto contenido de agua y una textura que les permite absorber agua (Carpio & Peña, 2017).

**2.2.2.2 Puzolanas Artificiales.** Las puzolanas artificiales se van a obtener a través de procesos de tipo industrial (Ydrogo, 2023), y pueden ser:

- Escorias de fundición: se van a obtener al fundir aleaciones de hierro en hornos de altas temperaturas. Luego de ser calcinadas, deben ser enfriadas rápidamente para que la forma sea irregular.
- Arcillas calcinadas: se obtienen de los restos de la calcinación de los ladrillos arcillosos. La temperatura a la cual se somete es ocho veces más que la temperatura de ebullición del agua.
- Cenizas volantes: se obtienen del lignito, específicamente de sus cenizas.
- Cenizas agrícolas: se obtienen de todas las cenizas provenientes de la combustión de residuos agrícolas tales como bagazos, pajas, cáscaras, cascarillas, etc.

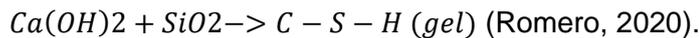
**2.2.2.3 Puzolanas Mixtas.** Las puzolanas mixtas son originalmente naturales, pero se someten a variaciones térmicas para modificar sus características y, de esta manera, se incrementa su actividad química (Avedaño, 2023).

### **2.2.3. Reacción Puzolánica**

Naturalmente, la puzolana está constituida por alúmina activa y silicatos. Dichos compuestos no reaccionan al unirse con el cemento; ahora, cuando el agua está presente y cuando la temperatura tiene sus valores normales, va a reaccionar con la portlandita

formando de esta manera componentes que tienen características ligantes (Adami & Rinaldi, 2012).

La reacción viene explicada de la siguiente manera: al agregarse puzolana al cemento, la mezcla responde a la cal (liberada durante la hidratación del Portland) y al agua, y recibe su nombre debido a la interacción entre la sílice amorfa y el hidróxido de calcio, representada de la siguiente manera:



Esta reacción puzolánica incrementa el hermetismo del concreto; en ese sentido, dicha mezcla no va a disminuir la penetración de agua y acero, lo cual impide la corrosión y los efectos negativos de la pasivación (Soria, 2012).

#### **2.2.4. Concreto**

Material formado principalmente por un medio conglomerante que tiene partículas áridas o de polvo incrustadas en su interior; en los hormigones de el caso del cemento hidráulico, el mecanismo aglutinante se produce mediante la combinación de cemento hidráulico y agua (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2006).

**2.2.4.1 Propiedades del Concreto en Estado Fresco.** La trabajabilidad es la cantidad de fuerza que debe aplicarse al interior del material para lograr la compactación total (Reyes Chaupis, 2019). La compacidad es una característica que deben tener todos los concretos para que se compacten los agregados y la pasta en un determinado volumen de espacio (Kosmatka et al., 2004). La cohesividad puede considerarse como la transmisión de fuerza de atracción existente entre las partículas del concreto que están mediadas por el medio líquido que las rodea (Mehta & Monteiro, 2014).

**Tabla 4***Clases de mezcla según su asentamiento*

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	trabajable	Vibración ligera
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseada/Chuseado

*Nota.* Adaptado de "Diseño de concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa", por Sánchez y Chong, 2019.

**Tabla 5***Clasificación del concreto de acuerdo al tipo de agregado utilizado*

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	trabajable	Vibración ligera
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseada/Chuseado

*Nota.* Adaptado de "Diseño de concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa", por Sánchez y Chong, 2019.

**2.2.4.2 Propiedades del Concreto Endurecido.** La resistencia a la compresión es el factor más importante en las estructuras. Sin embargo, en algunos casos es necesario dejar trabajar antes de este punto, dando preferencia al uso de dosificadores de concreto y aceleradores de resistencia (Loya, 2018).

El  $f'c$  es el resultado de la mayor carga de fractura por compresión y el área de la sección transversal de la muestra bajo ensayo (Rodríguez et al., 2020).

### **2.2.5. Agregado**

Es un material inerte, granular y adecuadamente clasificado que se une mediante una mezcla (pasta) para formar una estructura de soporte para el concreto. Puede ser piedra triturada, grava o arena, y siempre constituye la mayor parte del peso del concreto. Dado que los agregados son el componente principal del concreto, su elección es muy

importante, ya que deben estar hechos de partículas de soporte e impermeables, y no deben contener sustancias que produzcan efectos nocivos (Rodríguez et al., 2020).

### **Clases de agregados**

#### **Agregado grueso**

Se trata del agregado que queda retenido en el tamiz N.º 4 que proviene de la descomposición de rocas y corresponde a NTP 400.037. Se puede clasificar a su vez en grava y piedra triturada (Vila et al., 2017).

El material atrapado en el tamiz N.º 4 se conoce como agregado grueso. Puede ser grava natural, piedra triturada, agregado mineral natural o artificial; debe incluir partículas limpias y estables, libres de incrustaciones, polvo, tierra, limo, materia orgánica, humus, residuos superficiales, preferiblemente angulares o semiangulares, sólidas, fuertes, duraderas y con mejor textura gruesa (Vila et al., 2017).

#### **Agregado fino**

Es el grado en que el tamiz supera los 3/8" y se mantiene en una malla N°200, que es la arena más común por descomposición de rocas y se ajusta a la norma NTP - 400.037. La lisa utilizada para un trabajo en particular debe ser uniforme. Diferencias en más o menos 0,2 pulgadas. El coeficiente de precisión puede ser la razón del rechazo. Si se requiere un mecanismo adecuado en la mezcla, este tipo de agregado debe contener el material suficiente para pasar la rejilla número 50 (Vila et al., 2017).

**2.2.5.1 Material Puzolánico.** La puzolana se caracteriza fundamentalmente por ser una sustancia de silicio o silicoaluminio que es ligeramente maleable y que interactúa químicamente con el calcio en presencia de humedad. Aunque la puzolana tiene poco o ningún valor cementante por sí misma, se define como una sustancia silicoaluminio (Fuentes et al., 2015).

Los cementos hidráulicos están formados por dos o más componentes diferentes que favorecen la optimización de las características del cemento. La molienda es una combinación de clinker (70 %), puzolana (25 %) y yeso. Se utiliza para la fabricación (5 %).

Existe la posibilidad de encontrar puzolana en concentraciones que van del 15 % al 40 % (Walhoff, 2017).

### **Propiedades del material puzolánico**

De acuerdo con ASTM C 618 y N.T.P. 334 090, la puzolana es un material de silicio o silicoaluminio finamente dividido que, cuando se una con el agua, químicamente reacciona con el hidróxido de calcio con la finalidad de establecer compuestos con características hidráulicas, los datos se presentan a continuación en la tabla.

**Tabla 6**

*Propiedades químicas de la puzolana*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>CLASE DE ADICIÓN MINERAL</b>		
	<b>N</b>	<b>F</b>	<b>C</b>
Dióxido de silicio + óxido de aluminio + óxido de hierro, min., %	70	70	50
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx., %	4	5	5
Contenido de humedad, máx., %	3	3	3
Pérdida por calcinación máx., %	10	6	6

*Nota.* ASTM C618 (ASTM C618-22, 2023).

**Tabla 7***Propiedades físicas de la puzolana*

REQUISITOS		CLASE DE ADICIÓN MINERAL		
		N	F	C
<b>Fineza</b>	Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 µm (N°325), máx., %A	34	34	34
<b>Índice de actividad resistente</b>	Con cemento portland a 7 días, min, %	75	75	75
	Con cemento portland a 28 días, min, %	75	75	75
	Demanda de agua máx. % del control	115	105	105
<b>Estabilidad</b>	Expansión, contracción en autoclave, máx, %	0.8	0.8	0.8
<b>Requisitos de uniformidad</b>	Densidad, máxima variación del promedio, %	0.5	0.5	0.5
	Porcentaje retenido en 45 µm (N°325), variación máx., puntos de % del promedio	0.5	0.5	0.5

Nota. ASTM C618 (ASTM C618-22, 2023).

### **Clasificación en puzolanas naturales**

Según Sumalave (2019), esta adición se divide en tres grupos primordiales, como se detalla:

#### **Puzolanas naturales**

- **Cenizas volcánicas:** se forma por erupción explosiva en forma de pequeñas partículas calentadas a temperatura de ambiente, provocando la formación de un estado vítreo.
- **Tobas volcánicas (zeolitas):** se clasifica como miembro del grupo conocido como silicatos hidratados de aluminio, que se compone de más de cuarenta especies diferentes y tiene cantidades significativas de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y aluminio reactivo (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Es el producto final de la actividad hidrotermal que influye en la ceniza volcánica y la posterior multiplicación de ese material.

- **Tierras de diatomeas (diatomitas):** la puzolana se origina en la materia orgánica. La deposición de la costra de rodajas deriva de estudios microscópicos de algas acuáticas aisladas (diatomeas).

### **Puzolanas artificiales**

Son subproductos industriales y elementos tratados térmicamente, clasificándose de la siguiente manera:

- **Ceniza volante:** subproducto de la combustión de las centrales térmicas que, como combustible, emplea carbón pulverizado. La precipitación mecánica o la electrostática es utilizada para su separación del humo, lo cual, finalmente, es un polvo fino que consiste principalmente en partículas esféricas ( $\varnothing \sim 1$  a  $100 \mu\text{m}$ ).

### **Figura 1**

*Ceniza Volante*



**La Norma ASTM C 618-03** posee dos clases de cenizas:

- **Clase F:** se produce calentando carbón o betún. La ceniza tiene propiedades puzolánicas (Molero Pacheco & Rios Vidarte, 2020).
- **Clase C:** se produce calentando lignito o lignito bituminoso. Este tipo de ceniza tiene propiedades adhesivas además de las puzolánicas (Molero Pacheco & Rios Vidarte, 2020).
  - **Arcillas activadas térmicamente:** si la arcilla natural se concurre un tratamiento térmico a temperaturas que oscilan entre los 600 y los 900 °C, la estructura cristalina de la arcilla se romperá dando lugar a la acción puzolánica.

- **Microsílice (silica fume):** se trata de un subproducto resultante de la disminución de cuarzo de alta pureza con carbono en un horno de arco eléctrico para producir aleaciones de ferrosilicio o silicio.
- Muestra mucha actividad puzolánica.
- Partícula esférica muy fina ( $\varnothing \sim 0,1 \mu m$ ).
- Contenido elevado de sílice amorfa ( $SiO_2$ : 90 - 96 %).
- Área superficial mayor a  $15 m^2/gr$ .

## Figura 2

### *Microsílice*



## **Capítulo III: Metodología**

### **3.1. Método y Alcance de la Investigación**

#### ***3.1.1. Método de Investigación***

Se empleó el método inductivo, puesto que comienza en la experiencia y va hasta la idea abstracta. Cuando se hace referencia a la idea abstracta se habla de la teoría, mientras que la experiencia es la percepción u opinión del investigador (Palmett, 2020).

#### ***3.1.2. Alcance de la Investigación***

La naturaleza de la investigación es explicativa, ya que posee como objetivo proporcionar una comprensión del uso de la puzolana en la producción del concreto, explicando los efectos que tiene la variable independiente sobre la dependiente. Ramos (2020) analiza un evento específico para explicarlo en el entorno en el que ocurre, lo interpreta y comunica el mensaje adecuado.

### **3.2. Diseño de la Investigación**

El diseño utilizado es el cuasi-experimental, ya que es el proceso de control a partir del cual el tesista manipula de modo intencional una o más variables. Según Angelino (36), es un proceso sistemático y un método científico de investigación en el que el investigador manipula, controla y mide cualquier cambio en una o más variables. Además, cuenta con dos muestras: control y experimental (Angelino, 2019).

### **3.3. Población y Muestra**

#### ***3.3.1. Población***

De acuerdo al trabajo, la población está conformada por los diseños de mezcla, los cuales son cinco e incluyen al diseño patrón y las diferentes sustituciones de puzolana. Estos diseños serán presentados a continuación. Según Muñoz (2015), una población es un conjunto de objetos o personas relacionadas con un proyecto o investigación a realizar mediante la cual se obtiene una muestra en la que se trabajarán los resultados.

**Tabla 8***Diseños de mezcla*

Diseños de mezcla	
Nomenclatura	Diseños
P	Patrón
P-15	Adición 15 % de puzolana
P-20	Adición 20 % de puzolana
P-25	Adición 25 % de puzolana
P-30	Adición 30 % de puzolana

**3.3.2. Muestra**

La muestra está compuesta por la cantidad de probetas respecto a las pruebas mecánicas que se realizarán para poder determinar y evaluar la resistencia de los diseños de mezcla de concreto con distintas sustituciones de puzolana. Son un total de 35, calculadas en función de las mínimas pruebas solicitadas por la normativa E.060 (2 probetas por prueba).

**Tabla 9***Cálculo del número de probetas (muestra)*

Propiedades mecánicas	Diseños de mezcla					TOTAL
	P	P-15	P-20	P-25	P-30	
Resistencia a la compresión a los 7 días	2	2	2	2	2	10
Resistencia a la compresión a los 21 días	2	2	2	2	2	10
Resistencia a la compresión a los 28 días	2	2	2	2	2	10
Trabajabilidad	1	1	1	1	1	5
<b>Probetas</b>						<b>35</b>

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.4.1. Técnicas de Recolección de Datos**

**La observación:** permitió la recopilación sistemática y pausada de información mediante un método establecido, teniendo en cuenta los eventos que ocurren naturalmente en el área de estudio. Así mismo, esta técnica es utilizada frecuentemente en las investigaciones de ingeniería por obtener, naturalmente, (mediante la vista) información acerca de la problemática o el tema que se está estudiando (Sánchez et al., 2018).

**Análisis documental:** la técnica del análisis documental permite encontrar información de investigaciones anteriores que puede ser actualizada posteriormente. En definitiva, dicha documentación es objeto de análisis que se convierte en un documento secundario de fácil acceso y difusión (Pulido Polo). Esta información permitió obtener datos sobre las propiedades de material puzolánico de Yura.

#### **3.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos**

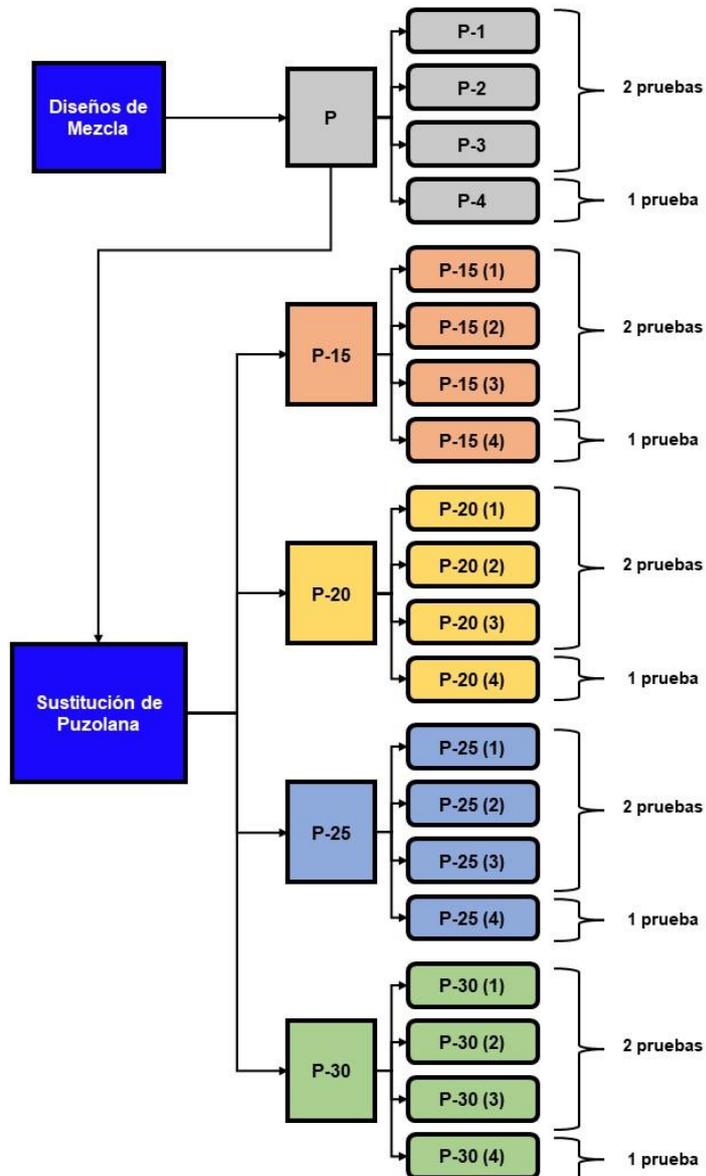
**Guía de observación:** los registros de laboratorio utilizados en este estudio son los puntos de observación, e incluyen los resultados de las numerosas pruebas realizadas en el diseño del patrón de concreto y el diseño con sustitución parcial del material Yura puzolana.

**Guía de análisis documental:** permitió la búsqueda de información bibliográfica referente al tema de investigación, específicamente de las propiedades del material puzolánico de Yura.

### 3.4.3. Metodología en Desarrollo

Figura 3

Esquema de los diseños de mezcla



En relación con las configuraciones de las mezclas y las pruebas a las que fueron sometidas:

Se observa que se tuvo un diseño patrón (P), donde se realizaron 7 pruebas, 2 para determinar  $f'c$  a la edad de 7 días (P-1), 2 para determinar  $f'c$  a la edad de 21 días (P-2), 2

para determinar  $f'c$  a la edad de 28 días (P-3), y 1 para determinar la trabajabilidad (prueba Slump) (P-4).

Para los siguientes diseños, realizados sobre la base del patrón más añadidos de puzolana y disminución del agregado fino, se tuvo P-15, P-20, P-25, y P-30 (15 %, 20 %, 25 % y 30 %, respectivamente). Aquí se realizaron 7 pruebas por cada diseño de sustitución, 2 para determinar  $f'c$  a la edad de 7 días para cada diseño, P-15 (1), P-20 (1), P-25 (1), P-30 (1), 2 para determinar  $f'c$  a la edad de 21 días para cada diseño, P-15 (2), P-20 (2), P-25 (2), y P-30 (2), 2 para determinar  $f'c$  a la edad de 28 días para cada diseño, P-15 (3), P-20 (3), P-25 (3), y P-30 (3), y 1 para determinar la trabajabilidad (prueba Slump), para cada diseño, P-15 (4), P-20 (4), P-25 (4), y P-30 (4).

## Capítulo IV: Resultados y Discusión

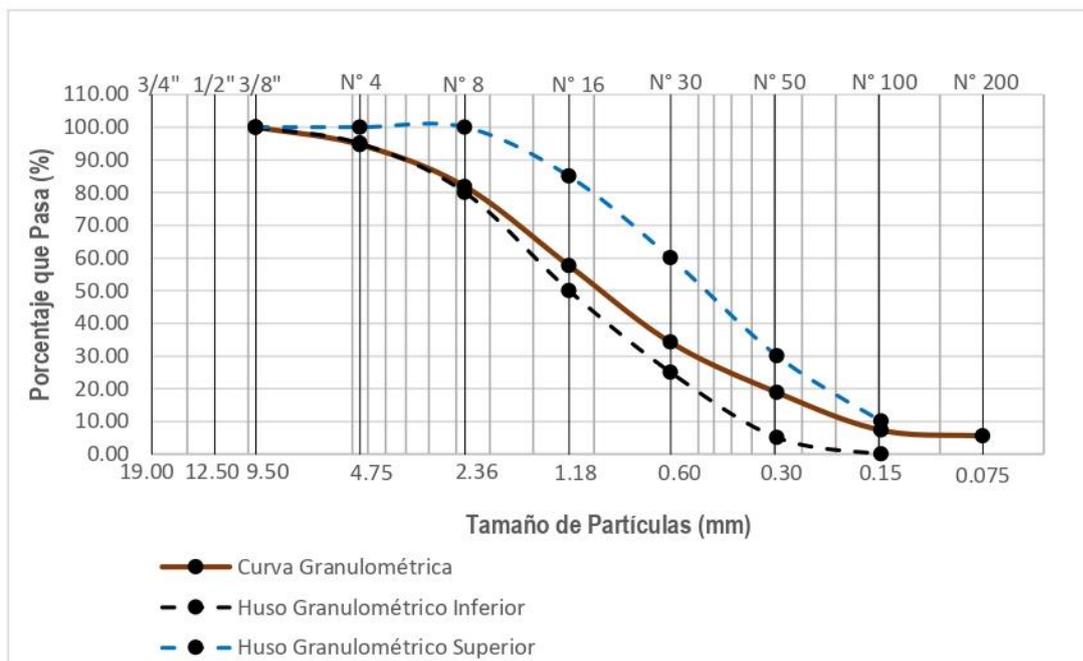
### 4.1. Resultados y Discusión de las Propiedades de los Agregados

#### 4.1.1. Análisis Granulométrico de los Agregados

La figura 4 exhibe la distribución granulométrica del agregado fino que permitirá determinar el módulo de finura (MF) que se utilizará para diseñar la mezcla del concreto, en el que el valor del MF es 3.06, tal como se muestra en el anexo. Se observa que la curva granulométrica se localiza entre los usos inferiores y superiores, por lo que está dentro de lo especificado según las normas NTP 400.12 y ASTM C136. Así mismo, cumple con los requisitos que se encuentra en la tabla 2 de la ASTM C 33 – 03.

**Figura 4**

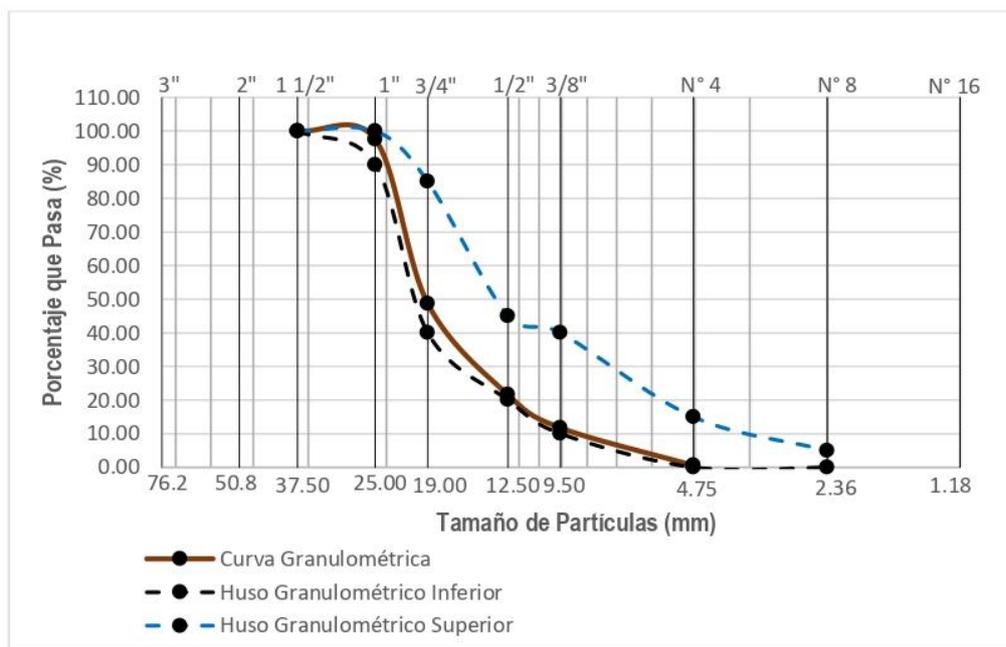
*Curva granulométrica del agregado fino*



La figura 5 ilustra detalladamente la distribución de tamaños de partículas a lo largo de la curva granulométrica del material analizado del material grueso añadido que se utilizará en el diseño de la mezcla específica, el cual alcanza un tamaño máximo nominal (TMN) de 1". Este ensayo fue realizado según los parámetros máximos y mínimos que se encuentran en las normas ASTM C136/C 33 – 03 y NTP 400.12.

**Figura 5**

*Curva granulométrica del agregado grueso*



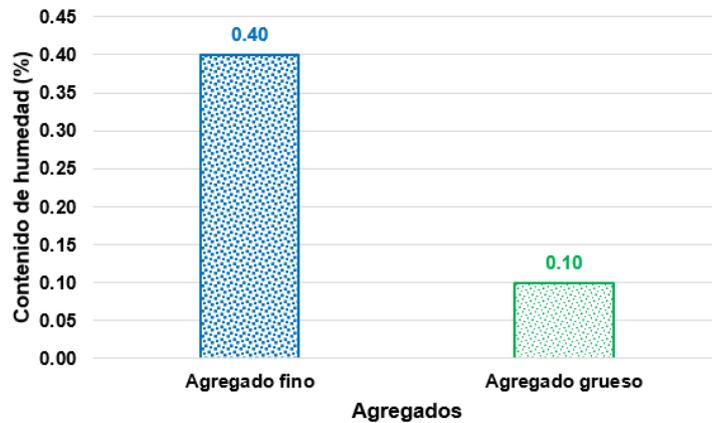
En su investigación, Quiliche (2019) caracterizó los agregados, logrando determinar que el módulo de fineza del agregado fino fue 2.66, siendo menor al de la investigación actúa. En cuanto al agregado grueso, presentó un TMN igual al de la investigación (1"). Huacasi (2022) logró determinar que el agregado fino presentó un MF de 2.58, mientras que el TMN del agregado grueso fue de 3/4".

#### **4.1.2. Contenido de Humedad de los Agregados**

El ensayo de contenido de humedad (CH) se realizó según lo especificado en las normas NTP. 339.185 y ASTM D-2216.

**Figura 6**

*Contenido de humedad del agregado fino y del agregado grueso*



La figura 6 presenta el CH del agregado fino y grueso, en el que se observa que el agregado fino tiene 0.4 % de CH, mientras que el agregado grueso muestra CH de 0.1 %.

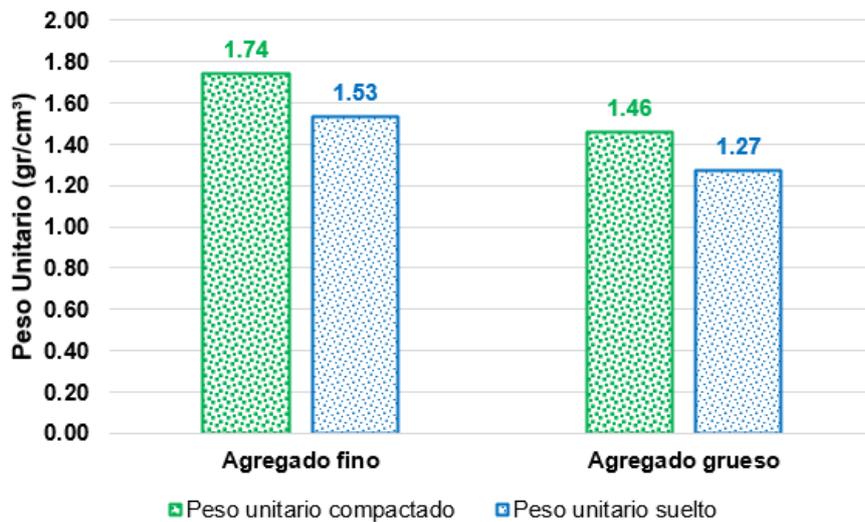
Huacasi (2022) realizó un ensayo de contenido de humedad a sus agregados en el que pudo identificar que el agregado fino tuvo 0.3 % de humedad, mientras que el agregado grueso presentó 0.1 %, una ligera variación con los resultados de la investigación actual. Por su parte, Quiliche (2019) identificó que el agregado fino y el agregado grueso presentaron un contenido de humedad de 1.92 % y 0.46 %, respectivamente, lo cual muestra una variación moderada con los contenidos de humedad presentada en la investigación.

#### **4.1.3. Peso Unitario de los Agregados**

El ensayo de peso unitario (PU) de los agregados fue realizado bajo las normativas NTP 400-017 y ASTM C29/C29M.

**Figura 7**

*Peso unitario de los agregados fino y grueso*



Tal como se evidencia en la figura 7, se puede apreciar que el agregado fino presenta un peso unitario compactado (PUC) de 1.74 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el peso unitario suelto (PUS) es de 1.53 gr/cm<sup>3</sup>. Respecto al agregado grueso también se obtuvieron el PUC y el PUS teniendo como resultados 1.46 gr/cm<sup>3</sup> y 1.27 gr/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

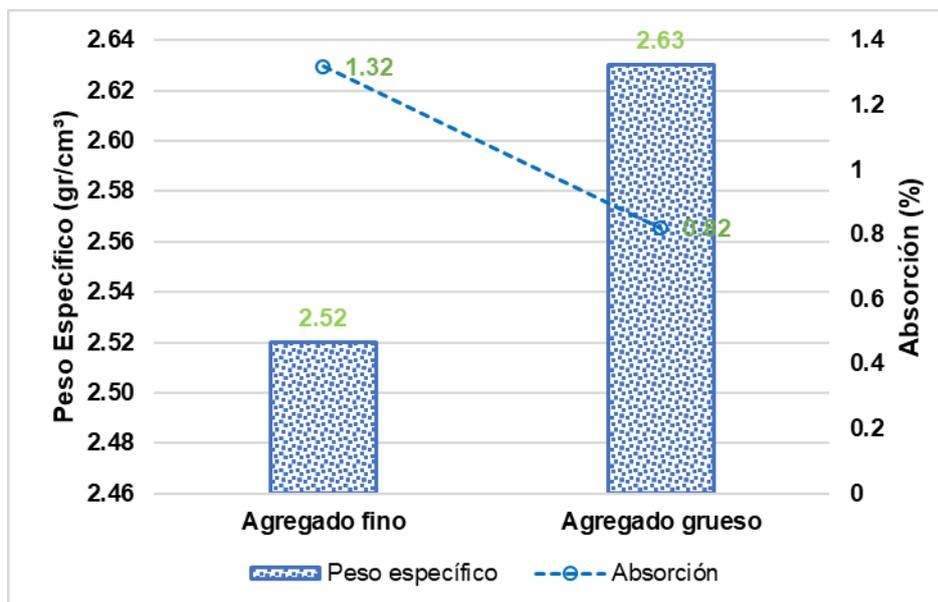
Huacasi (2022) halló que el agregado fino que utilizó para el diseño de su mezcla tuvo un peso unitario suelto de 1.616 gr/cm<sup>3</sup>, y el peso unitario compactado presentó un valor de 1.682 gr/cm<sup>3</sup>. Para el agregado grueso los valores fueron de 1.371 gr/cm<sup>3</sup> y 1.514 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, presentando una diferencia con los resultados obtenidos en la investigación. Al realizar el ensayo de peso unitario a los agregados, Quiliche (2019) mostró que el agregado fino en estado compactado logró un valor de 1.868 gr/cm<sup>3</sup> y 1.765 gr/cm<sup>3</sup> en estado suelto, mientras que el agregado grueso tuvo un valor de 1.539 gr/cm<sup>3</sup> en estado compactado y 1.430 gr/cm<sup>3</sup> en estado suelto.

#### **4.1.4. Peso Específico y Absorción de los Agregados**

El procedimiento de determinación del peso específico (PS) y absorción se realizó bajo las normativas NTP 400.022 y ASTM C-128 en el caso del agregado fino, y NTP 400.021 y ASTM C-127 en el caso del agregado grueso.

**Figura 8**

*Peso específico de los agregados fino y grueso*



La figura 8 exhibe los resultados obtenidos a partir del ensayo de peso específico y absorción al que fue sometido el agregado fino, teniendo como resultados 2.52 gr/cm<sup>3</sup> de peso específico y una absorción del 1.32 %. Los resultados obtenidos del agregado grueso en el ensayo de peso específico son de 2.63 gr/cm<sup>3</sup> y de absorción es del 0.82 %.

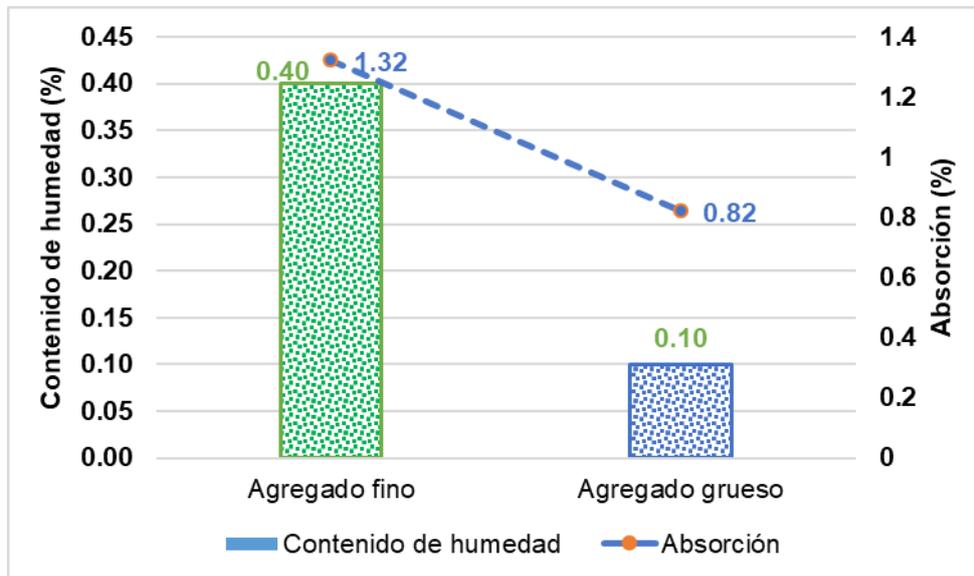
Quiliche (2019) obtuvo un peso específico de 2.80 gr/cm<sup>3</sup> en el agregado fino, siendo mayor al que se presenta en la investigación. Así mismo, determinó que la absorción fue de 13.85 %, siendo, también, mucho mayor a la que se presenta en la investigación. Respecto al agregado grueso, su peso específico fue también mayor al de la investigación, debido a que presentó 2.65 gr/cm<sup>3</sup>, pero la absorción fue menor con un valor de 0.36 %. Huacasi (2022) obtuvo un peso específico de 2.503 gr/cm<sup>3</sup> en el agregado fino; además, su absorción fue de 2.2 %, presentando una cercanía a los resultados obtenidos en la investigación, mientras que para el agregado grueso el peso específico fue de 2.549 gr/cm<sup>3</sup> con una absorción de 1.8 %, presentando una leve discrepancia con la investigación.

#### **4.1.5. Contenido de Humedad y Absorción de los Agregados**

El ensayo de contenido de humedad y absorción se realizó bajo las normativas NTP 400.022 y ASTM C-127.

**Figura 9**

*Contenido de humedad y absorción de los agregados*



La figura 9 muestra los resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad y absorción al que fue sometido el agregado fino, teniendo como resultados 0.4 % de contenido de humedad y una absorción del 1.32 %. Los resultados obtenidos del agregado grueso en el ensayo de contenido de humedad son de 0.1 % y 0.82 % de absorción.

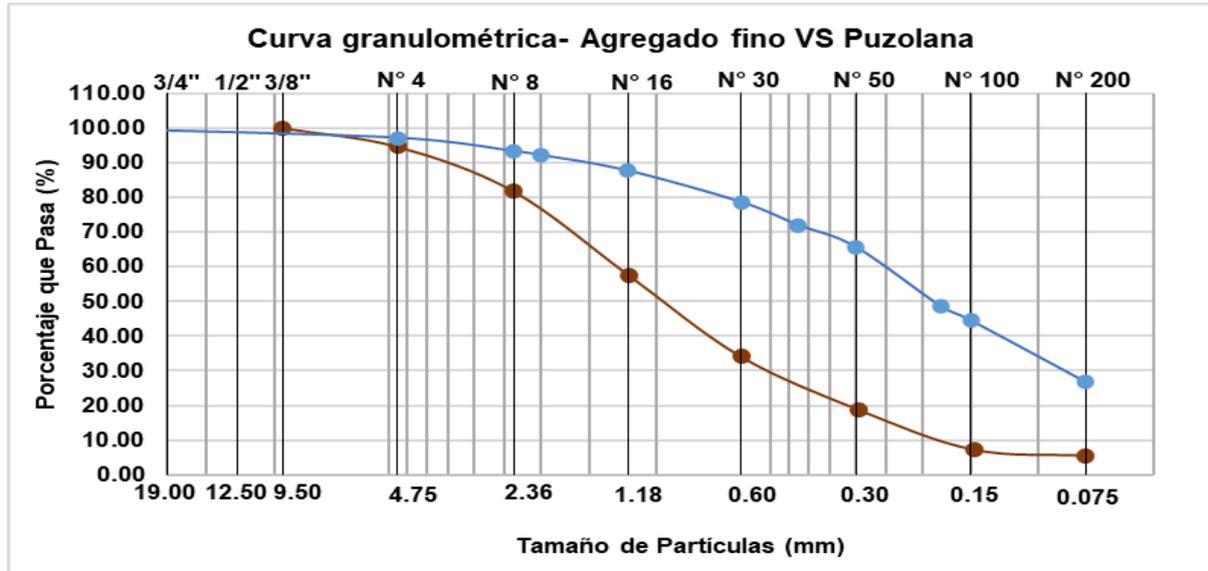
Al respecto, Huacasi (2022) logró determinar un contenido de humedad en el agregado fino equivalente al 0.3% y una absorción de 2.2 %, lo cual representa una variación moderada respecto a la presente investigación. Asimismo, obtuvo un contenido de humedad y absorción del agregado grueso de 0.1 % y 1.8 %, respectivamente. Por su parte, Quiliche (2019) presentó un contenido de humedad y absorción del agregado fino de 1.92 % y 13.85 % respectivamente, siendo estos valores superiores a los de la presente investigación, y un contenido de humedad y absorción del agregado grueso de 0.46 % y 0.36 %, respectivamente, difiriendo ligeramente con los valores hallados.

## 4.2. Resultados y Discusión de las Propiedades de la Puzolana

### 4.2.1. Análisis Granulométrico para la Puzolana de Yura y el Agregado Fino

Figura 10

Curva granulométrica de la puzolana de Yura y curva granulométrica del agregado fino



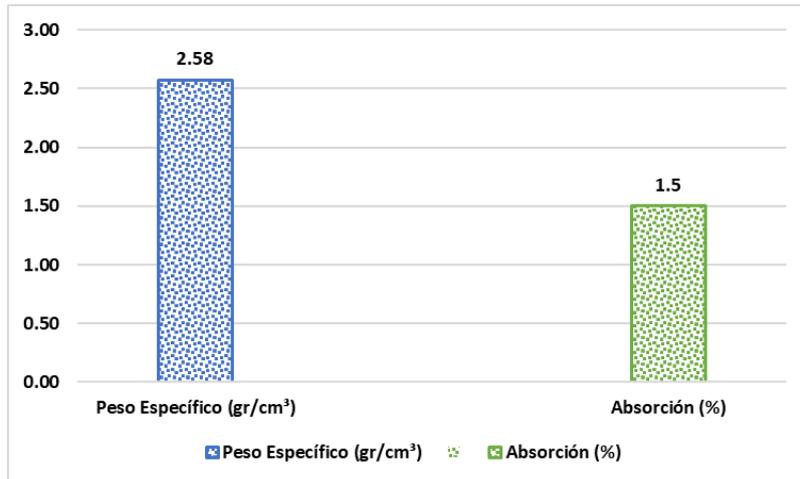
La figura 10 presenta la curva granulométrica de la puzolana de Yura mediante la cual se pudo determinar el módulo de finura que fue de 1.33.

### 4.2.2. Peso Específico y Absorción de la Puzolana Natural

El ensayo de peso específico (PS) y absorción se realizó bajo las normativas NTP 400.022 y ASTM C-127.

**Figura 11**

*Peso específico y absorción de la puzolana natural*



La figura 11 muestra los resultados obtenidos del ensayo de peso específico y absorción al que fue sometido la puzolana natural, teniendo como resultados 2.58 gr/cm<sup>3</sup> de peso específico y una absorción del 1.5 %.

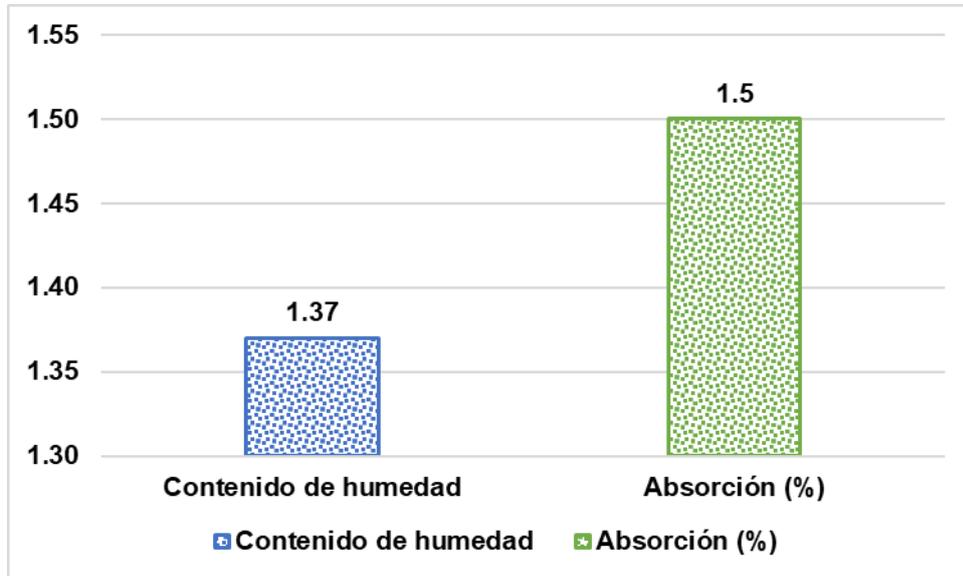
Al respecto, Huacasi (2022) obtiene un resultado de 2.33 gr/cm<sup>3</sup> correspondiente a la gravedad específica de la puzolana de toba volcánica. Dicho valor se separa ligeramente del obtenido en la presente investigación.

#### **4.2.3. Contenido de Humedad y Absorción de la Puzolana Natural**

El ensayo de contenido de humedad y absorción se realizó bajo las normativas NTP 400.022 y ASTM C-127.

## Figura 12

*Contenido de humedad y absorción de la puzolana natural*



La figura 12 muestra los resultados obtenidos de la prueba de contenido de humedad y absorción al que fue sometido la puzolana natural, teniendo como resultados 1.37 gr/cm<sup>3</sup> de peso específico y una absorción de 1.5 %.

En su trabajo de investigación, Huacasi (2022) determinó un contenido de humedad equivalente a 3 %, lo cual se distancia del presente trabajo al superarlo.

#### 4.2.4. Reactividad de la Puzolana

Figura 13

Reactividad potencial álcali-sílice de la puzolana

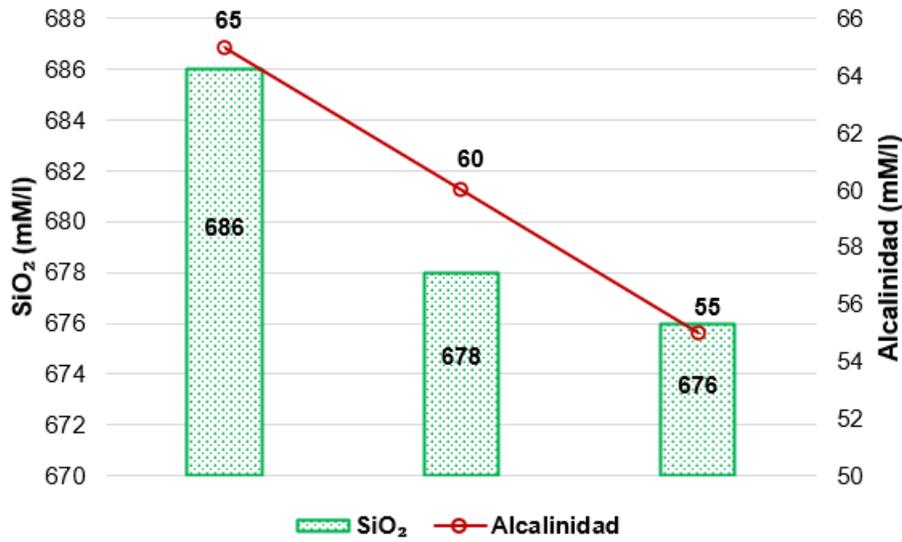
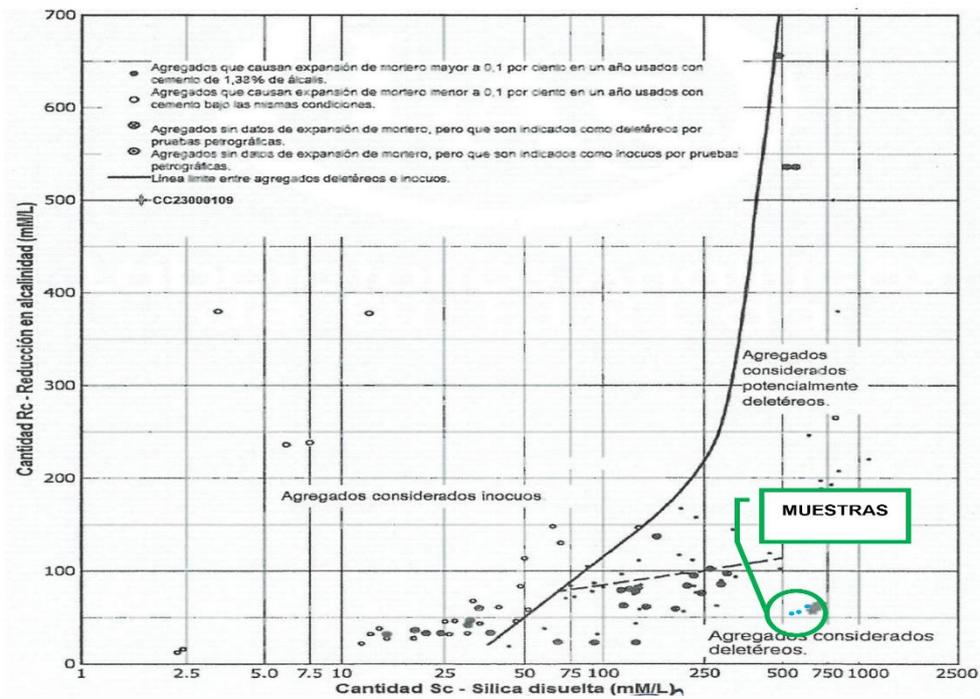


Figura 14

Gráfica de cantidad de reducción en alcalinidad VS cantidad de sílice



En la figura 13 se pueden apreciar los resultados derivados del ensayo para evaluar la reactividad en potencial álcali-sílice de los agregados (a través del método químico), que fue ejecutado de acuerdo a la norma ASTM C 289-07. Dichos resultados se han obtenido entre la disolución de 1 Normal del Compuesto de Hidróxido de sodio (NaOH) a temperaturas de 80°C durante 24 horas y la puzolana de Yura. Conforme aumenta la cantidad de sílice, se observa que también aumenta la alcalinidad de la puzolana de Yura. Después de obtener los resultados, se verificó la reactividad en la gráfica que se encuentra en la figura 14, la cual permite observar que la puzolana de Yura se considera deletérea.

### **4.3 Resultados y Discusión del Diseño de Mezcla, Determinación del Asentamiento del Concreto Fresco con la Sustitución de la Puzolana y Resultados del Concreto en Estado Fresco**

#### **4.3.1. Elaboración del Diseño de Mezclas (ACI 211.1)**

Según el diseño de mezclas realizado por el método ACI 211.1 que se encuentra en el anexo 11, se tiene la siguiente dosificación de materiales (ver tabla 10). En su investigación, Quiliche (2019) obtuvo una dosificación mayor, siendo 1: 2.46: 2.95: 35.86 L/bolsa, debido a que las características de sus agregados fueron distintas a las de la investigación.

**Tabla 10**

*Dosificación de materiales para un concreto con un  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1	1.973	2.43	22.762 L/bolsa

Asimismo, se pudo determinar la cantidad de materiales que se requieren por metro cúbico y por número de bolsas de cemento, como se puede observar en la tabla 11. Carrera y Lino (2021) pudieron calcular que por metro cúbico le corresponde 321.97 kg de cemento, 1623.07 kg de agregado grueso y 128.79 litros de agua, lo cual presenta una ligera variación respecto a la investigación, debido a que la dosificación es distinta.

**Tabla 11**

*Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> y por número de bolsas de cemento*

Materiales	Cantidad de material por m <sup>3</sup>	Cantidad de material por bolsa de cemento
Cemento	386.00 kg	42.50 kg
Agregado fino	762.00 kg	83.85 kg
Agregado grueso	938.00 kg	103.28 kg
Agua efectiva	207.00 kg	22.76 kg
Bolsa de cemento po m <sup>3</sup>		9.08 bolsas

Se establece el diseño de mezclas en dosificaciones, proporciones en peso del modelo patrón y las sustituciones con material puzolánico de Yura en 15 %, 20 %, 25 % y 30 % respecto del peso del agregado fino. La tabla 12 presenta la cantidad de agregado fino y la puzolana que se necesitará para el diseño de mezclas con diferentes porcentajes de sustitución por cada metro cúbico y por cantidad de bolsas de cemento.

**Tabla 12**

*Cantidad de agregado fino y puzolana*

Porcentaje de sustitución del agregado fino por la puzolana (%)	Materiales	Cantidad de material por m <sup>3</sup>	Cantidad de material por bolsa de cemento
15	Agregado fino	647.70 kg	71.27 kg
	Puzolana de Yura	114.30 kg	12.58 kg
20	Agregado fino	609.60 kg	67.08 kg
	Puzolana de Yura	152.40 kg	16.77 kg
25	Agregado fino	571.50 kg	62.89 kg
	Puzolana de Yura	190.50 kg	20.96 kg
30	Agregado fino	533.40 kg	58.70 kg
	Puzolana de Yura	228.60 kg	25.16 kg

Para el diseño de mezclas patrón, se tienen los datos clasificados con las óptimas características de los agregados. Se procede a obtener los criterios sustentados para elaborar cada configuración de la mezcla durante la elaboración del concreto con  $f'c$  de diseño = 210 kg/cm<sup>2</sup>, para un volumen de 0.021 m<sup>3</sup>. Así, la tabla 13 muestra a detalle la cantidad de material que se ha requerido para un volumen de 0.021 m<sup>3</sup> del concreto patrón y del concreto reemplazando el agregado fino por el material puzolánico.

**Tabla 13**

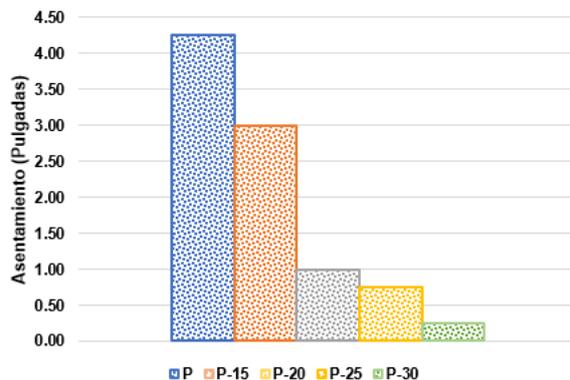
*Diseño de mezcla para un concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sustituyendo el agregado fino por porcentajes de material puzolánico de Yura*

Descripción	Porcentaje de puzolana				
	0%	15%	20%	25%	30%
Cemento (kg)	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11
Agua (L)	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
Agregado fino (kg)	16.00	13.60	12.80	12.00	11.20
Material puzolánico (kg)	0.00	2.40	3.20	4.00	4.80
Agregado grueso (kg)	19.70	19.70	19.70	19.70	19.70
Relación a/c	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

#### 4.3.2. Asentamiento del Concreto Fresco

**Figura 15**

*Asentamiento del concreto fresco*



La figura 15 muestra los asentamientos del concreto fresco, tanto el concreto patrón como el concreto permutando el agregado fino por la puzolana de Yura en porcentajes de 15 %, 20 %, 25 % y 30 %. Los resultados muestran que hay una disminución en el asentamiento de 3” a 0.25” a comparación del concreto patrón que tiene un asentamiento de 4.25”. Es decir, al agregarle mayor cantidad de puzolanas el asentamiento va disminuyendo, esto es, va disminuyendo su trabajabilidad. Ello se debe a que las puzolanas le proporcionan densidad a la mezcla, disminuyendo así su porosidad y, por lo tanto, su factibilidad, disminuyendo el asentamiento del concreto fresco.

### 4.3.3. *Peso Unitario, Contenido de Aire y Temperatura del Concreto en Estado Fresco*

**Tabla 14**

*Pesos unitarios, contenido de aire y temperaturas del concreto en estado fresco*

CONCRETOS	MASA DEL MOLDE	MASA DEL MOLDE +CONCRETO	MASA NETA	VOLUMEN DEL MOLDE	P.U (Kg/m3)	CONTENIDO DE AIRE	TEMPERATURA
P	4.771	27.24	22.469	0.00935	2403	2.00%	19.0 °C
P-15 %	4.771	27.32	22.549	0.00935	2412	1.80%	18.0°C
P-20 %	4.771	27.41	22.639	0.00935	2421	1.60%	17.4°C
P-25 %	3.398	20.08	16.682	0.00710	2351	1.50%	17.8°C
P-30 %	4.771	27.49	22.719	0.00935	2430	1.90%	18.6°C

La tabla 14 muestra los resultados de los pesos unitarios relacionados al concreto en estado fresco del concreto patrón y del concreto con adición parcial de puzolana en 4 porcentajes distintos. Se puede apreciar una disminución de porcentajes de contenido de aire a medida que se incrementa la adición de puzolanas hasta la inclusión de 25 %; sin embargo, al adicionarle 30 % dicho porcentaje de contenido de aire se incrementa notablemente hasta llegar a un valor cercano al concreto patrón. Por otra parte, la temperatura sigue el mismo criterio de variación: disminuye al aumentar la adición, pero en el 30 % este valor se incrementa hasta llegar casi al valor de la temperatura del concreto patrón. Ahora, el peso unitario tiene variaciones diversas, presentando mayores valores cuando se incluye el porcentaje de 20 % y el porcentaje de 30 %, representando los valores más elevados de pesos unitarios y superando al peso unitario del concreto patrón. Se puede notar que al adicionar 25 % de puzolanas, el peso unitario es el menor de todos, llegando a 2352 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 15**

*Tabla resumen del concreto en estado fresco*

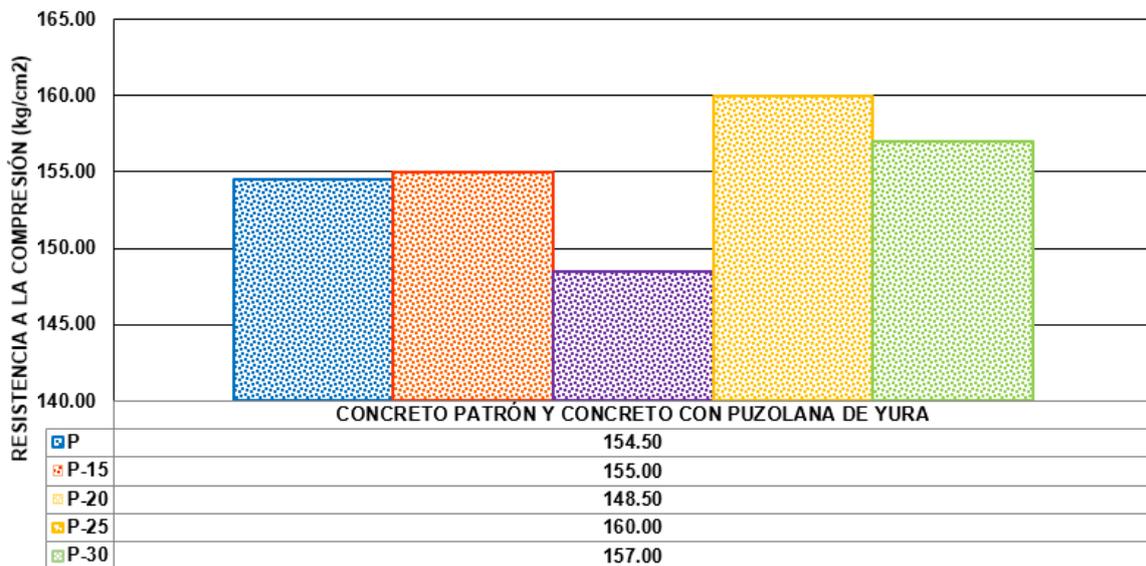
CONCRETOS	ASENTAMIENTO O (pulg.)	P.U (Kg/m3)	CONTENIDO DE AIRE	TEMPERATURA
P	4.25	2403	2.00%	19.0 °C
P-15 %	3	2412	1.80%	18.0°C
P-20 %	1	2421	1.60%	17.4°C
P-25 %	0.75	2351	1.50%	17.8°C
P-30 %	0.25	2430	1.90%	18.6°C

#### 4.4. Resultados y Discusión de la Resistencia a la Compresión del Concreto

##### 4.4.1. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 días

**Figura 16**

*Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días*



En la figura 16 se observa que el concreto sustituyendo 25 % del agregado fino por puzolana de Yura ha obtenido la resistencia más alta (160 kg/cm<sup>2</sup>), teniendo una mejora de 3.56 % sobre la base del concreto patrón, como se muestra en el gráfico, en un tiempo de 7

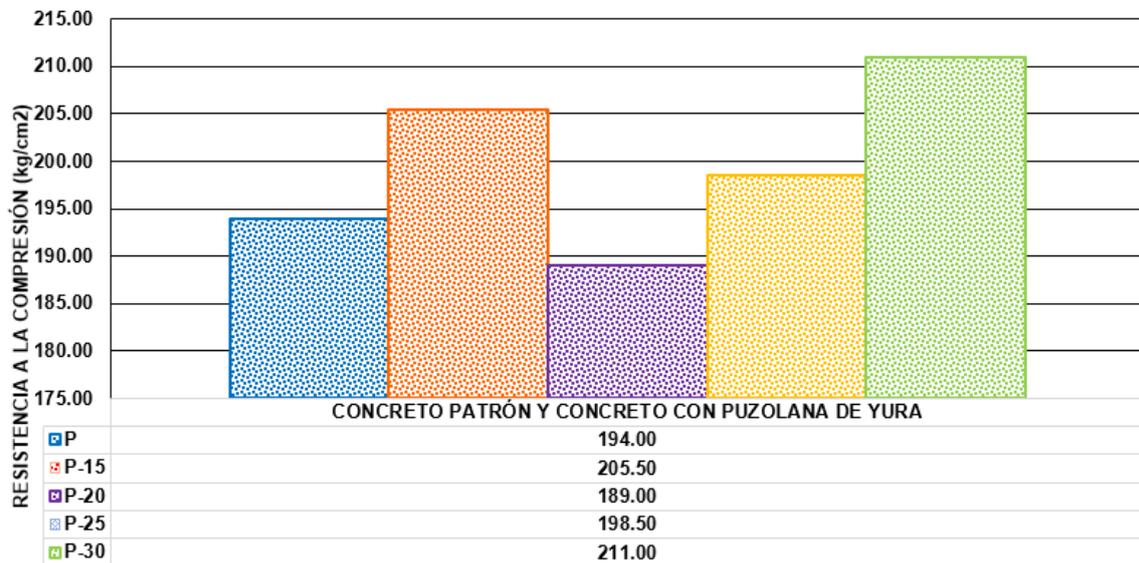
días. Esta dosificación tiene el mejor comportamiento (reemplazando 25 % de agregados finos por puzolanas) a los 7 días de curado, comparándose con el resto de las dosificaciones y respecto al concreto patrón, resultando en una dosificación ideal al ensayarlo a los 7 días, durante los primeros días de curado.

A través de su investigación, Carrera y Lino (2021) obtuvieron una resistencia a la compresión del concreto patrón de 150 kg/cm<sup>2</sup>, siendo un 6.75 % menor que la resistencia que se obtuvo en esta investigación al ensayar el concreto patrón. Cuando sustituyeron el 2.5 % de finos de ceniza volcánica, obtuvieron una resistencia a la compresión promedio de 152 kg/cm<sup>2</sup>. Dicho resultado representa una mejora en la resistencia de 1.33 % respecto a su concreto patrón. Ahora, al sustituir el 5 % de ceniza volcánica dentro del mismo espacio de tiempo de fraguado, los resultados arrojan un valor promedio de 153 kg/cm<sup>2</sup>, representando de esa manera un aumento de 2 % respecto a su concreto patrón. Asimismo, al reemplazar el 7.5 % de ceniza volcánica, los ensayos muestran una resistencia a la compresión promedio de 149 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual representa un decrecimiento de resistencia respecto a la resistencia promedio del concreto patrón en 0.67 %. Se determinó que la ceniza volcánica primero aumenta la resistencia, pero al seguir aumentando la dosificación, la resistencia del concreto disminuye. Por otra parte, Quiliche (2019) halló que, a los 7 días, el concreto patrón, con una resistencia a la compresión promedio de 140.23 kg/cm<sup>2</sup>, al diseñar concreto con 4 % de puzolana esta alcanza un rendimiento promedio de 146.74, lo cual representa un incremento de 4.64 % respecto al patrón. Al ensayarlo con 8 % de puzolana, el resultado alcanza los 154 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual representa un incremento de 9.82 % respecto al patrón. Y si se ensaya con 12 % y 15 % de puzolanas, se obtiene incrementos en todas sus resistencias al compararlos con el concreto patrón. La misma tendencia asume Huacasi (2022), quien ensaya el concreto patrón obteniendo una resistencia de 160.39 kg/cm<sup>2</sup>. Al adicionar 5 % de puzolana, se incrementa la resistencia en 11.76 %; sin embargo, al adicionarle 10 % la resistencia disminuye en 4.94 %. En ese sentido, se observa un aumento de la resistencia con 5 % de puzolanas y un decrecimiento de la resistencia al adicionarle 10 % de puzolanas.

#### 4.4.2. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 21 días

Figura 17

Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días

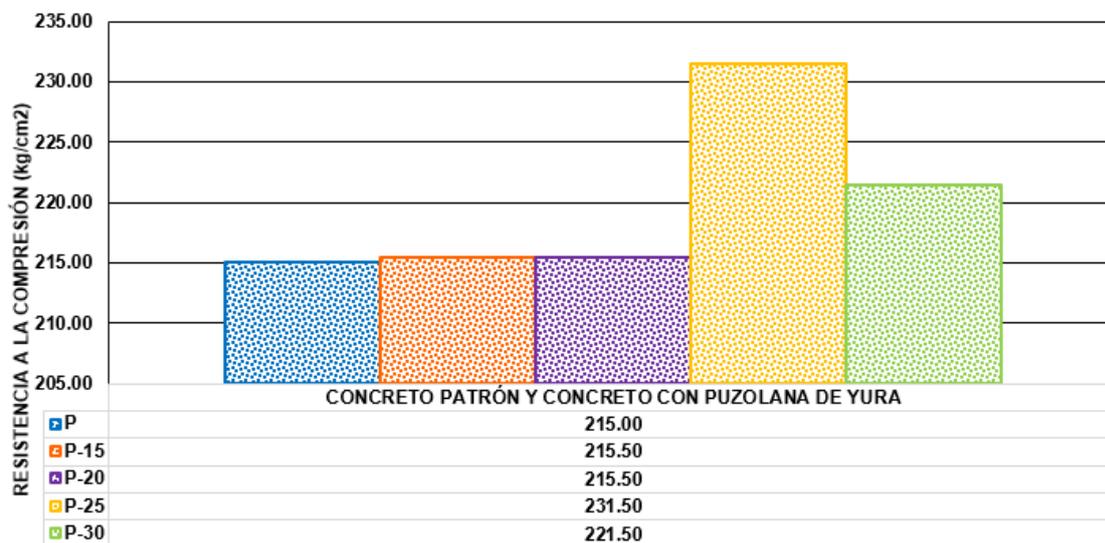


En la figura 17 se observa que el concreto, sustituyendo 30 % de agregado fino por la puzolana de Yura, ha obtenido la resistencia más alta (211 kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con las demás proporciones, habiendo superado la resistencia especificada (210 kg/cm<sup>2</sup>) y teniendo una mejora de 8.76 % respecto al concreto patrón en un tiempo de 21 días. A las tres semanas de curado también se observa que el concreto con 20 % de puzolana representa la muestra con menor resistencia, con relación a las demás. Incluso su resistencia es menor a la del concreto patrón. Se puede notar que, en dos semanas, al adicionar 30 % de puzolana, la resistencia ha incrementado su valor de forma notoria y este comportamiento es acelerado desde el día 7 hasta el 21.

#### 4.4.3. Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 días

Figura 18

Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días



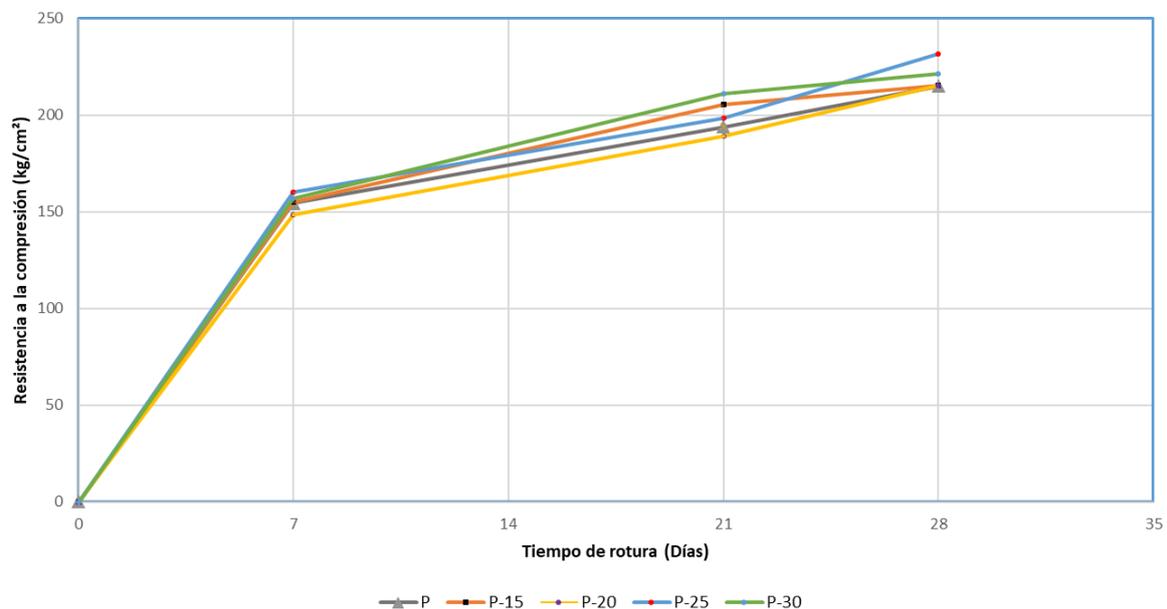
En la figura 18 se observa que el concreto con 25 % de puzolana de Yura ha obtenido la resistencia más alta ( $231.50 \text{ kg/cm}^2$ ), superando ampliamente a la resistencia especificada ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) y mejorando el 7.67 % respecto al concreto patrón en un tiempo de 28 días. Dentro de las cuatro semanas, el incremento en la resistencia para el concreto con 25 % de puzolana presenta un comportamiento uniforme y superior respecto al resto de dosificaciones. A los 28 días, el concreto patrón, el concreto 15 % puzolana y el concreto 20 % de puzolana presentan la misma resistencia. El concreto con 30 % de puzolana presenta un incremento de resistencia inferior al de 25 %.

Al respecto, Quiliche (2019) ensaya sus muestras pudiendo determinar una resistencia del concreto patrón de 214.17 % a los 28 días. Al adicionar 4 % de puzolana se nota un incremento de 0.41 % en la resistencia; con 8 % de puzolana el incremento es de 2.81 % y así continúa, llegando a agregar 15 % de puzolana y obteniendo un incremento de resistencia a la compresión de 17.98 %, lo cual constituye un resultado notablemente mejor al adicionar puzolanas. Por su parte, Carrera y Lino (2021) determinaron un concreto patrón con resistencia de  $213 \text{ kg/cm}^2$  y ensayaron el mismo, adicionando puzolanas, primero con

2.5 %, lo cual muestra un incremento de 1.88 %, y cuando agregaron 5 % de puzolanas, la resistencia comienza a disminuir, alcanzando, finalmente, al adicionar 12.5 % de puzolanas, un 11.74 % menos de resistencia a la compresión, siendo este valor 188 kg/cm<sup>2</sup> y no alcanzaría a la resistencia especificada. Por su parte, Huacasi (2022) determinó un concreto patrón con resistencia de 215.03 % y comenzó la experimentación sustituyendo 5 % de puzolanas y alcanzando su punto más alto de resistencia en comparación con sus otras sustituciones de 10 % y 15 %.

### Figura 19

*Resistencia a la compresión del concreto según el tiempo de rotura*



En la figura 19 se puede observar que el espécimen P-25 es el más representativo debido a que muestra una mayor resistencia de compresión de 231.5 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, siendo un 7.67 % más que la RC del concreto patrón.

Quiliche (2019) presentó un porcentaje de mejora similar al de la investigación respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón. En ella se presenta el aumento de la resistencia a la compresión con adición de puzolana 15 % y alcanza su punto más alto.

## Conclusiones

Se realizó la determinación de las características de los agregados, razón por la cual se cumple con lo estipulado en la NTP y ASTM. Para ello se establecieron las características propias de los agregados a fin de realizar el diseño de mezclas según la ACI 211.1. Del agregado fino se observó un PS de  $2.52 \text{ g/cm}^3$ . La absorción y CH fueron 1.32 % y 0.4 %, respectivamente, y el MF fue de 3.1. En cuanto el agregado grueso, se determinó un TMN de 1", el PS fue de  $2.63 \text{ g/cm}^3$ , el PUC de  $1.46 \text{ g/cm}^3$  y, finalmente, la absorción y el CH fueron 0.82 % y 0.1 %, respectivamente.

Mediante el ensayo de análisis granulométrico, se determinó que las puzolanas arrojaron un módulo de finura de 1.33. Asimismo, se realizó un ensayo de reactividad a partir del cual se concluye que la puzolana de Yura es reactiva.

Se elaboraron los diseños de mezcla de acuerdo con las características físicas del agregado que han sido extraídas de la cantera. Los resultados mostraron que dichas características concuerdan con el parámetro estipulado en la norma NTP y ASTM, por lo que son adecuadas para la elaboración de la mezcla del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Respecto al asentamiento, se pudo notar que, al agregar la puzolana en diversas proporciones, disminuye la temperatura a  $17.8^\circ\text{C}$  con la adición de 25 % de puzolanas. Con el mismo porcentaje de adición de puzolana el asentamiento es de 0.75" y el peso unitario de  $2351 \text{ kg/m}^3$ . Por lo tanto, se concluye que la sustitución del 25 % del agregado fino es la que mejores resultados presenta.

Posteriormente, se llega a la conclusión que el cambio parcial del agregado fino por la puzolana de Yura muestra mejoras en la resistencia a la compresión, ya que al incluir puzolana de Yura en un 25 %, se puede obtener una resistencia a la compresión de  $231.50 \text{ kg/m}^2$ , llegando a superar en un 7.67 % al concreto patrón. Además, se puede concluir que el concreto con 25 % de puzolana puede reemplazar de manera parcial al agregado fino, debido a que se convierte en la muestra más representativa y alcanza las mejores resistencias a los 7 y 28 días.

## Referencias bibliográficas

- Adami, A., & Rinaldi, A. (2012). Caracterización física-química de loess con cementación puzolánica en condiciones inalteradas y remodeladas. *CAMSIG XXI*. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/547232/Adami%2cA.conv..pdf>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2006). (s.f.). <https://pdfcoffee.com/astm-c125-pdfpdf-pdf-free.html>
- Amez, R. M., & Enrico, B. (2020). *Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce*. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad Ricardo Palma, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima). <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3851>
- Angelino, D. S. (2019). *Análisis comparativo entre la ductilidad de un concreto patrón  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionado con 0.6 kg/m<sup>3</sup> y 1.0 kg/m<sup>3</sup> de fibras sintéticas*. (Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco. Cusco, Perú). [https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3463/Danae\\_Tesis\\_bachiller\\_2019\\_Part.1.pdf](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3463/Danae_Tesis_bachiller_2019_Part.1.pdf)
- Araujo, J. (2019). *Resistencia a la compresión del concreto, adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en reemplazo del agregado fino*. (Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú). <https://hdl.handle.net/11537/21768>
- ASTM C618-22. (14 de marzo de 2023). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. doi:10.1520/C0618-22
- Avendaño, M. J. (2023). *Desarrollo experimental de hormigones sostenibles: efectos de las puzolanas*. (Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech, Barcelona).
- Carpio, E., & Peña, E. (2017). *Análisis comparativo de las diferentes canteras de puzolana de la ciudad de Arequipa para concretos de resistencias  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup> en el año 2017*. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú).
- Carrera, C., & Lino, J. (2021). *Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  $f'c 210$  kg/cm<sup>2</sup>, lima 2021*. (Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91339>
- Céspedes, M. (2003). *Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido*. Tesis de grado, Universidad de Piura. Piura, Perú) <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1338>

- ComexPerú. (24 de Junio de 2022). El sector construcción registró un crecimiento interanual del 4.9% en Abril de 2022. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/el-sector-construccion-registro-un-crecimiento-interanual-del-49-en-abril-de-2022>
- Corimanya, R. (2023). *Influencia de la ceniza volcánica en el concreto f'c 210 kg/cm2 de la cantera la Poderosa, Arequipa, 2022*. (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. Lima, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.12692/115732>
- Dahish, H., Almutairi, S., Elragi, A., & Elkholy, S. (2020). Utilizing local natural pozzolan as partial replacement for cement and sand in cement mortar cubes with silica fume. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(15), 1602-1611. <https://ksascholar.dri.sa/en/publications/utilizing-local-natural-pozzolan-as-partial-replacement-for-cemen-4>
- Dahish, H., & Almutairi, S. (2022). Partial Replacement of Sand in Concrete with Available Natural Pozzolan in KSA. *International Review of Civil Ingeneering*, 13(2). doi:<https://doi.org/10.15866/irece.v13i2.20037>
- Dahish, H., Almutairi, S., Elragi, A. F., & Elkholy, S. M. (2022). Utilizing Local Natural Pozzolan as Partial Replacement of Cementitious materials and Sand in Cement Mortar Cubes. *Journal of engineering and computer sciences*, 12(2), 31-58. <https://jecs.qu.edu.sa/index.php/jec/article/view/2303>
- Estuardo, P. (2020). Estado del arte: proceso de formación de puzolanas a partir de cenizas y sus aplicaciones. *Rev. Ingeniería y construcción.*, 35(2), 119-125. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000200119>.
- Exactitude Consultancy. (2022). Mercado de materiales cementantes suplementarios por tipo (cenizas volantes, humo de sílice, cemento de escoria, otros), aplicación (cemento, hormigón), industrias de usuarios finales (residencial, comercial, industrial y otras) y por región, tendencias globales y pronóstico de 2019 a 2028. <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/1341/supplementary-cementitious-materials-market/>
- Fuentes, N., Fragozo, O. I., & Vizcaíno, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Revista Ciencia e Ingeniería neogranadina*, 25(2). <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n2/v25n2a06.pdf>
- Hernández, L., Gómez, J., Contreras, A., Padilla, S., Contreras, C., & Bravo, L. (2018). Resistencia a la compresión del cocnreto. <https://10.13140/RG.2.2.16390.63044>.
- Hidalgo, A. (2018). *Evaluación comparativa de propiedades de concretos sin adiciones minerales frente a concretos con adiciones de filler calizo en diferentes proporciones*. (Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villareal. Lima, Perú). <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/1904>

- Huacasi, R. (2022). *Influencia de puzolana toba volcánica en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Juliaca 2022*. (Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.12692/107078>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association. <https://dokumen.tips/documents/pca-libro-completo.html>
- Loya, L. (2018). *Evaluación de la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha, Pasco - 2017*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú). <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/867>
- Mehta, K., & Monteiro, P. (2014). *Concreto, estructura, propiedades y materiales. Instituto mexicano del cemento y concreto (IMCYC)*. [https://www.academia.edu/50834616/CONCRETO\\_ESTRUCTURA\\_PROPIEDADES\\_Y\\_MATERIALES\\_IMCYC](https://www.academia.edu/50834616/CONCRETO_ESTRUCTURA_PROPIEDADES_Y_MATERIALES_IMCYC)
- Molero, R., & Rios, I. (2020). *Concreto con cemento portland tipo HS para estructuras afectadas por sulfato y cloruro*. (Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú). <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3848>
- Montero, S. (2019). *Evaluación de las propiedades del concreto empleando ceniza de cáscara de arroz como sustituto del cemento en porcentajes para las edificaciones en la ciudad de Chiclayo*. (Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán. Pimentel, Perú).
- More, M., & Yarleque, V. (2022). *Diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo parcialmente el agregado fino por la ceniza de pajilla de arroz - Piura*. (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. Piura, Perú). <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88704>
- Muñoz, C. (2015). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis (2ª ed.)* Pearson Education. <http://www.indesgua.org.gt/wp-content/uploads/2016/08/Carlos-Mu%C3%B1oz-Razo-Como-elaborar-y-asesorar-una-investigacion-de-tesis-2Edicion.pdf>
- Muñoz, R. (2017). *Estudio Comparativo de concreto elaborado con puzolana natural y concreto con cementos puzolánicos atlas en la ciudad de Huancayo*. (Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4103>
- Omen, J. (2021). *Influencia de los materiales cementantes suplementarios (SCMSs) en concretos con agregados reciclados (RAC)*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81384/1024539178.2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Palmett, A. (2020). Métodos inductivo, deductivo y teoría de la pedagogía crítica. *Rev. Crítica Transdisciplinar*, 3(1), 36-42.
- París, J., Roessler, J., Ferraroa, C., DeFordb, H., & Townsend, T. (2016). Una revisión de los productos de desecho utilizados como complementos del cemento Portland en el hormigón. *Journal of Cleaner Producción*, 121, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.013>
- Pham, V., Meng, P., Bui, P., & Ogawa, Y. (2020). Effects of Shirasu natural pozzolan and limestone powder on the strength and aggressive chemical resistance of concrete. *Construction and Buildings Materials*, 239. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117679>
- Pillai, R., Gettu, R., & Santhanam, M. (2020). Uso de materiales cementicios suplementarios (SMC) en sistemas de concreto armado - beneficios y limitaciones. *Rev. ALCONPAT*, 10(2), 147-164. doi:<https://doi.org/10.21041/ra.v10i2.477>
- Pulido, M. (s.f.). Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica. *Rev. científica de América Latina*, 35(1). <https://www.redalyc.org/pdf/310/31043005061.pdf>
- Quilich, J. (2019). *Resistencia a la compresión axial del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando puzolanda volcánica, Cajamarca 2019*. (Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú). <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23568>
- Ramos, C. (octubre de 2020). Los alcances de una investigación. *CienIAmérica*, 9(3), 1-6. <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Reyes, M. (2019). *Resistencia a la compresión de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al sustituir al cemento en 4%, 6% y 8% por cáscara de huevo*. (Tesis de pregrado, Universidad San Pedro. Huaraz, Perú). [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11387/Tesis\\_61421.pdf](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11387/Tesis_61421.pdf)
- Rios, J., & Maslucan Del Castillo, P. (2022). *Diseño de concreto de alta resistencia con aplicación*. (Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú. Tarapoto, Perú). <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2401>
- Rodriguez, D., Reyes, J., & Uclés, K. (2020). Predicción de la resistencia a compresión del concreto 1:2:3 a partir del tiempo del inicio fraguado. *INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología*, 9(3). <https://www.camjol.info/index.php/INNOVARE/article/view/10646/12393>
- Romero, A. (2020). *Determinación del índice de actividad puzolánica de materiales cementantes suplementarios disponibles en el mercado colombiano*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>
- Sánchez, R., & Chon, E. (2019). *Diseño de concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín). <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3890>
- Soria, F. (2012). Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción. *Materiales de Contrucción*, 33(190-191). doi:10.3989/mc.1983.v33vi190-191.974
- Sumalave, P. (2019). *Efectos de la adición de sillar reciclado en las propiedades mecánicas del concreto de cemento portland tipo I*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú). [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033\\_46910453\\_T.pdf](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033_46910453_T.pdf)
- Tchamdjou, W., Cherradi, T., Abidi, M., & Pereira de Oliveira, L. (2020). The use of volcanic scoria from 'Djoungo' (Cameroon) as cement replacement and fine aggregate by sand substitution in mortar for masonry. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 24(1). doi:<https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1364298>
- Transdinamic. Soluciones en Ingeniería. (2022). <https://transdinamic.com/ventajas-y-usos-del-concreto-en-construccion/>
- Vasquez, W., & Talaverano, J. (2021). *Comportamiento mecánico del concreto f'c=210kg/cm<sup>2</sup> con la adición de tufo de piedra volcánica Cusco, 2021*. (Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66179>
- Vila, P., Pereyra, M., & Gutiérrez, Á. (2017). Resistencia a la compresión de adoquines de hormigón. Resultados tendientes a validar el ensayo en medio adoquín. *Revista ALCONPAT*, 7(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352017000300247&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352017000300247&script=sci_arttext)
- Walhoff, G. (2017). *Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca - 2016*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú). [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033\\_46910453\\_T.pdf](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033_46910453_T.pdf)
- Ydrogo, C. (2023). *Elaboración de concreto incorporando puzolana de mazorca de maíz y aserrín calcinado como sustituto parcial del cemento*. (Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán. Pimentel, Perú).

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos de la investigación	Hipótesis	Variables	Población y muestra	Tipo/nivel y diseño de investigación	Técnica/instrumento
Problema general: ¿Cómo la incorporación de puzolanas naturales influye en las propiedades del concreto?	Objetivo general: Evaluar la resistencia a compresión del concreto adicionando material, puzolánico de Yura, Arequipa 2022.	Hipótesis general: Al evaluar la resistencia a la compresión, se evidencia un incremento al adicionar el material puzolánico de Yura, Arequipa 2022.	Variable independiente : Resistencia a la compresión	Población: Diseños de mezcla	Tipo: Aplicada	Técnicas: Observación
Problemas específicos: ¿Cuál es la influencia de las características de los agregados en las propiedades del concreto?	Objetivos específicos: Determinar las propiedades de los agregados para la elaboración de un concreto con $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .	Hipótesis específicas: Las características de los agregados influyen sustancialmente en las propiedades del concreto.		Muestra: 5 diseños de mezcla	Diseño: Descriptivo	Análisis documental
¿Cuál es la influencia de las características de la puzolana de Yura en las propiedades del concreto?	Determinar las propiedades de la puzolana para la elaboración de un concreto con $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .	Las características de la puzolana de Yura influyen de manera directa en las propiedades del concreto.	Variable dependiente: Agregados	Muestreo: No probabilístico por conveniencia	Enfoque: Cuantitativo	Instrumentos: Guía de observación
¿Cómo influye la incorporación de la puzolana de Yura en el diseño de mezcla y asentamiento del concreto?	Determinar el diseño de mezclas y el asentamiento del concreto adicionando puzolana de Yura.	La adición de la puzolana modifica la proporción de materiales para el diseño de mezclas lo cual influye sustancialmente en el asentamiento del concreto.		Unidad de Análisis: Concreto	Nivel: Experimental transversal	Guía de análisis documental
¿Cómo influye la incorporación de la puzolana de Yura en la resistencia a la compresión del concreto?	Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón y del concreto con adición de puzolana de Yura.	La adición de la puzolana de Yura influye sustancialmente en la resistencia a la compresión del concreto				

## Anexo 2. Informe de ensayo de análisis de granulométrico del agregado fino y grueso



### GRANULOMETRÍA

ENSAYO	GRANULOMETRÍA		
NORMA	MTC E204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
CANTERA	Los Arenales	FECHA DE MUESTREO	30/08/2023
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	30/11/2022

AGREGADO FINO		PESO MUESTRA SECA, Ws (gr)			1,222.10 gr		
TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	65.50	5.36	5.36	94.64	95	100
N° 8	2.36	156.60	12.81	18.17	81.83	80	100
N° 16	1.18	295.60	24.19	42.36	57.64	50	85
N° 30	0.60	286.80	23.47	65.83	34.17	25	60
N° 50	0.30	187.80	15.37	81.20	18.80	5	30
N° 100	0.15	140.80	11.52	92.72	7.28	0	10
N° 200	0.075	21.40	1.75	94.47	5.53		
FONDO		67.60	5.53	100.00	0.00		
		1222.10	100.00				

Error:  Ensayo Aceptado

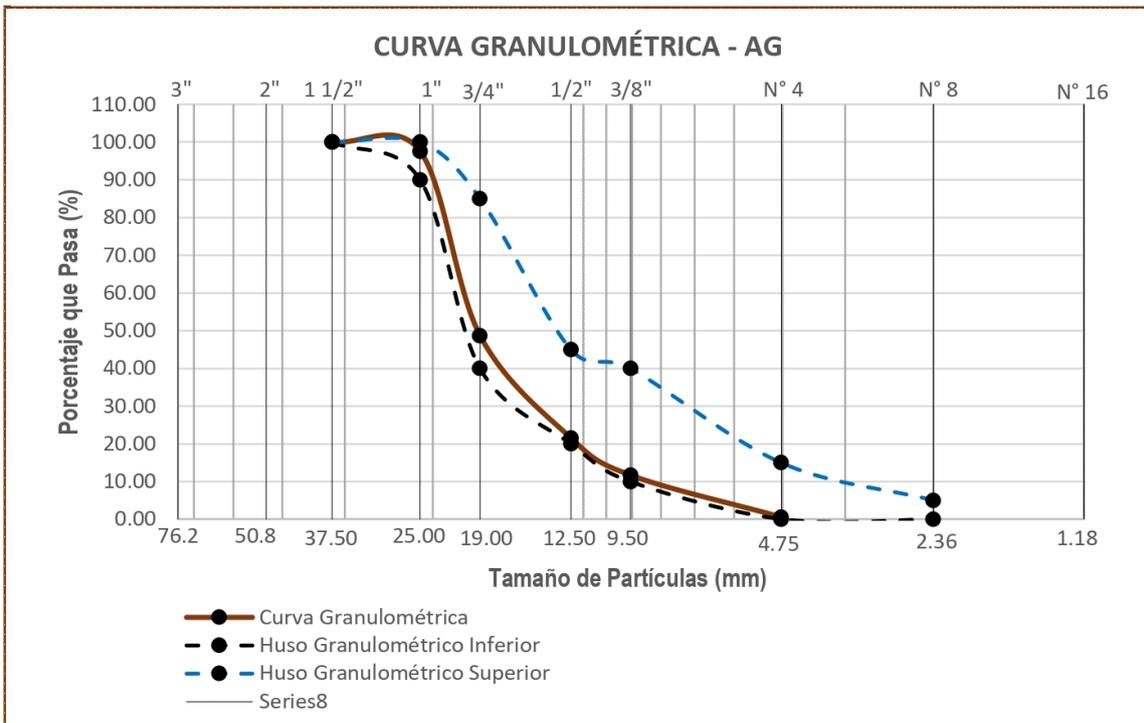
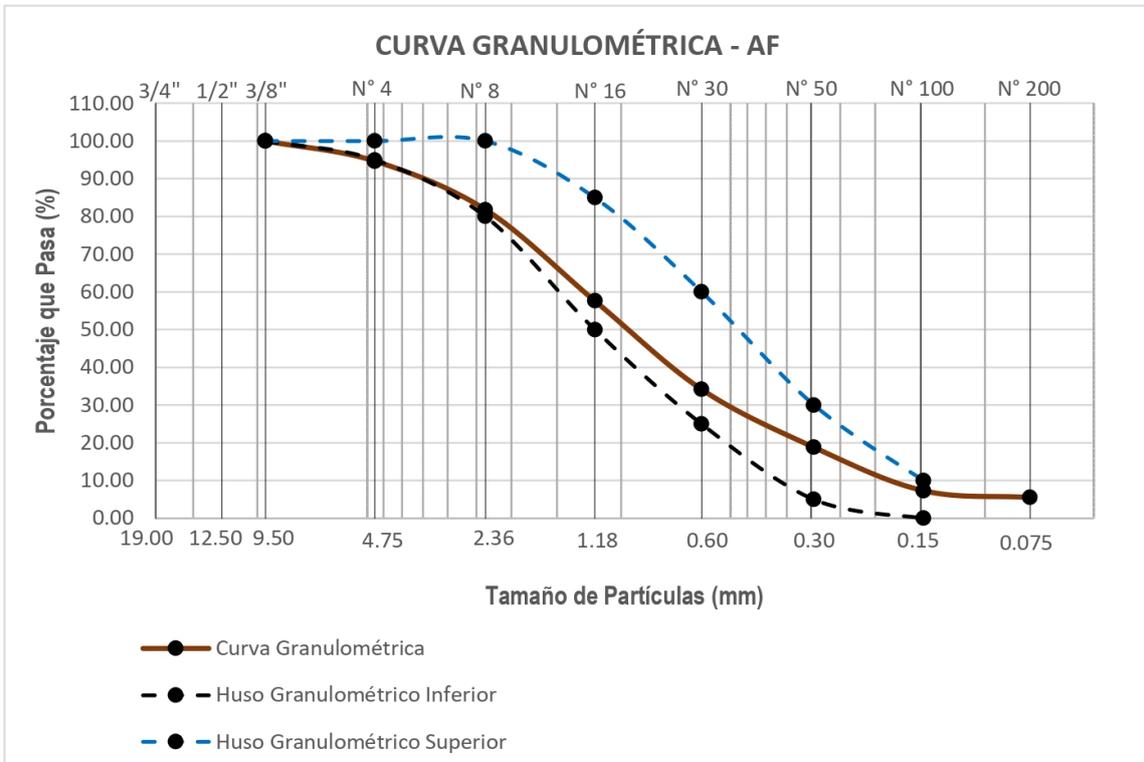
Módulo de Finura Agregado Fino	3.06
$M.F. = \frac{\%ret. Acum\ malla(N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$	

AGREGADO GRUESO		PESO MUESTRA SECA, Ws (gr)			3,875.00 gr		
TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)				GRAVA	ESPECIFICACIÓN	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.00	96.00	2.48	2.48	97.52	90	100
3/4"	19.00	1,893.00	48.85	51.33	48.67	40	85
1/2"	12.50	1,051.00	27.12	78.45	21.55	20	45
3/8"	9.50	381.00	9.83	88.28	11.72	10	40
N° 4	4.75	433.00	11.17	99.46	0.54	0	15
N° 8	2.36	21.00	0.54	100.00	0.00	0	5
N° 16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00		
N° 30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00		
FONDO		0.00	0.00	100.00	0.00		
		3875.00	100.00				

Error:  Ensayo Aceptado

Módulo de Finura Agregado Grueso	5.39
$M.F. = \frac{\%ret. Acum\ malla(N^{\circ}1\ 1/2" + N^{\circ}3/4" + N^{\circ}3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$	

Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso	1"
<i>"Está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% acumulado, o más del agregado grueso tamizado"</i>	



### Anexo 3. Informe de ensayo de contenido de humedad del agregado fino y grueso

## CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>ENSAYO</b>	CONTENIDO DE HUMEDAD		
<b>NORMA</b>	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.185		
<b>CANTERA</b>	Las Culebrillas	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	30/08/2023
<b>UBICACIÓN</b>	Arequipa	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	30/08/2023

AGREGADO FINO				
ID	Descripción	Ensayo N°		
		1	2	3
A	Peso Tara (g)	27.00	27.50	27.50
B	Peso Tara más muestra Húmeda (g)	1281.00	1275.00	1271.50
C	Peso Tara más muestra Seca (g)	1276.00	1270.40	1266.00
D	Peso muestra Húmeda - <b>Ph</b> (g), $D = B - A$	1254.00	1247.50	1244.00
E	Peso muestra Seca - <b>Ps</b> (g), $E = C - A$	1249.00	1242.90	1238.50
F	Peso del Agua (g), $F = B - C$	5.00	4.60	5.50
G	Contenido de Humedad (W%) = $\frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100$	0.40%	0.37%	0.44%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W%)</b>		<b>0.40%</b>		

AGREGADO GRUESO				
ID	Descripción	Ensayo N°		
		1	2	3
A	Peso Tara (g)	26.50	28.70	27.00
B	Peso Tara más muestra Húmeda (g)	3878.00	3865.00	3889.00
C	Peso Tara más muestra Seca (g)	3875.00	3859.90	3885.00
D	Peso muestra Húmeda - <b>Ph</b> (g), $D = B - A$	3851.50	3836.30	3862.00
E	Peso muestra Seca - <b>Ps</b> (g), $E = C - A$	3848.50	3831.20	3858.00
F	Peso del Agua (g), $F = B - C$	3.00	5.10	4.00
G	Contenido de Humedad (W%) = $\frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100$	0.08%	0.13%	0.10%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W%)</b>		<b>0.10%</b>		

## Anexo 4. Informe de ensayo de peso específico del agregado grueso



### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - AGREGADOS

ENSAYO	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - AGREGADOS		
NORMA	MTC E205 / ASTM C128 / NTP 400.022		
CANTERA	Las Culebrillas	FECHA DE MUESTREO	30/08/2023
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	30/08/2023

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo (Psss)	gr	500.00	500.00	500.00	
B	Peso del frasco + Agua hasta marca de 500ml	gr	683.00	683.00	683.00	
C	Peso del frasco + Agua + Psss, C = A + B	gr	1,183.00	1,183.00	1,183.00	
D	Peso del frasco + Psss + Agua hasta la marca de 500ml	gr	986.90	986.90	986.90	
E	Volumen de masa + Volumen de vacío, E = C - D	cm <sup>3</sup>	196.10	196.10	196.10	
F	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	493.50	493.50	493.50	
G	Volumen de masa, G = E - (A - F)	cm <sup>3</sup>	189.60	189.60	189.60	
H	<b>PESO ESPECÍFICO BULK (base seca)</b> H = F / E	gr/cm <sup>3</sup>	2.52	2.52	2.52	2.52
I	<b>PESO ESPECÍFICO (base saturada)</b> I = A / E	gr/cm <sup>3</sup>	2.55	2.55	2.55	2.55
J	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (base seca)</b> J = F / G	gr/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.60	2.60
K	<b>ABSORCIÓN</b> K = [(A - F) / F] * 100	%	1.32%	1.32%	1.32%	1.32%

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo en aire	gr	4,156.00	4,500.00	4,501.50	
B	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo en agua	gr	2,589.00	1,524.40	1,420.50	
C	Volumen de masa + Volumen de vacío, C = A - B	gr	1,567.00	2,975.60	3,081.00	
D	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	4,122.00	4,270.00	4,380.00	
E	Volumen de masa, E = C - (A - D)	cm <sup>3</sup>	1,533.00	2,745.60	2,959.50	
F	<b>PESO ESPECÍFICO BULK (base seca)</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.63	1.44	1.42	1.83
G	<b>PESO ESPECÍFICO (base saturada)</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.65	1.51	1.46	1.88
H	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (base seca)</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.69	1.56	1.48	1.91
I	<b>ABSORCIÓN</b>	%	0.82%	5.39%	2.77%	3.00%

## Anexo 5. Informe de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso



### PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS		
NORMA	MTC E203 / ASTM C29 / NTP 400.017		
CANTERA	Las Culebrillas	FECHA DE MUESTREO	30/06/2023
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	30/06/2023

Diámetro del Cilindro Metálico	13.10 cm
Altura del Cilindro Metálico	21.00 cm

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO						
AGREGADO FINO		Tamaño Máximo Nominal (TMN)		< 1/2"	Volumen Molde	0.00283 m <sup>3</sup>
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1.000	2.000	3.000	RESULTADOS
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	7.326	7.334	7.340	
B	Peso del Molde	kg	2.410	2.410	2.410	
C	Peso del AF Compactado, C = A - B	kg	4.916	4.924	4.930	
D	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> D = C / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1736.841	1739.668	1741.787	1739.432
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	6.750	6.740	6.710	
F	Peso del AF Suelto, F = E - B	kg	4.340	4.330	4.300	
G	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b> G = F / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1533.338	1529.805	1519.206	1527.450

Diámetro del Cilindro Metálico	13.10
Altura del Cilindro Metálico	21.00

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
AGREGADO GRUESO		Tamaño Máximo Nominal (TMN)		1 1/2"	Volumen Molde	0.00283 m <sup>3</sup>
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1.00	2.00	3.00	RESULTADO
A	Peso del Molde + AG Compactado	kg	6.53	6.47	6.45	
B	Peso del Molde	kg	2.34	2.34	2.34	
C	Peso del AG Compactado, C = A - B	kg	4.19	4.13	4.11	
D	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> D = C / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1481.76	1458.79	1452.43	1464.33
E	Peso del Molde + AG Suelto	kg	6.00	5.89	5.95	
F	Peso del AG Suelto, F = E - B	kg	3.66	3.55	3.61	
G	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b> G = F / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1294.15	1253.17	1275.43	1274.25

## Anexo 6. Ensayo de reactividad de la puzolana



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

### INFORME DE ENSAYO LAS01-CC-23-00096

Señores: JULIO CESAR MAYTA MAMANI  
Dirección: AREQUIPA  
Atención: JULIO CESAR MAYTA MAMANI  
Recepción: 16/08/2023  
Realización: 16/08/2023  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Pág. 1/1

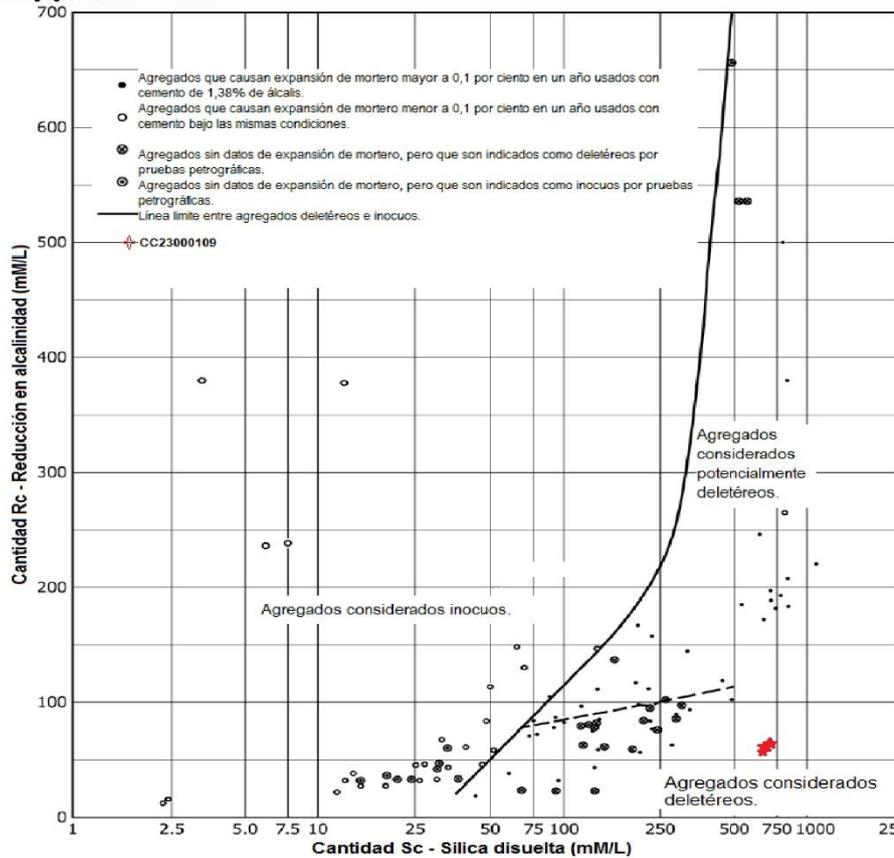
Fecha de emisión: 24/08/2023

#### Método de ensayo aplicado

4535 ASTM C289-07 Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)

Muestra #	(c) Nombre de Muestra	(c) Proyecto	(c) Descripción de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	Tiempo (H)	*4535 SiO <sub>2</sub> Solub. Sc mM/l	Alcalinidad Rc mM/l
CC23000109	JULIO MAYTA	TESIS EVALUACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESION CON DIFERENTES ADICIONES DE MATERIAL PUZOLANICO DE YURA - AREQUIPA, 2022	Material Pozolánico Natural	CANTERA YURA C2	24	686	65
					24	678	60
					24	676	55

Nota: Agregado considerado deletéreo.



E-ICEBLUE



(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

## Anexo 7. Informe de ensayo de contenido de humedad de la puzolana



### CONTENIDO DE HUMEDAD PUZOLANA

<b>ENSAYO</b>	CONTENIDO DE HUMEDAD PUZOLANA		
<b>NORMA</b>	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127		
<b>CANTERA</b>	YURA -C2	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	11/12/2023
<b>UBICACIÓN</b>	Arequipa	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	11/12/2023

PUZOLANA NATURAL				
ID	Descripción	Ensayo N°		
		1	2	3
A	Peso Tara (g)	26.50	28.70	27.00
B	Peso Tara más muestra Húmeda (g)	242.70	191.70	268.20
C	Peso Tara más muestra Seca (g)	240.90	190.00	263.00
D	Peso muestra Húmeda - <b>Ph</b> (g), $D = B - A$	216.20	163.00	241.20
E	Peso muestra Seca - <b>Ps</b> (g), $E = C - A$	214.40	161.30	236.00
F	Peso del Agua (g), $F = B - C$	1.80	1.70	5.20
G	Contenido de Humedad (W%) = $\frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100$	0.84%	1.05%	2.20%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W%)		1.37%		

## Anexo 8. Informe de ensayo de granulometría de la puzolana



### GRANULOMETRÍA

ENSAYO	GRANULOMETRÍA		
NORMA	MTC E204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
CANTERA	Los Arenales	FECHA DE MUESTREO	30/11/2022
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	30/11/2022

PUZOLANA		PESO MUESTRA SECA, Ws (gr)			828.10 gr	
TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	
(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	4.750	23.70	2.86	2.86	97.14	
N° 8	2.36	31.70	3.83	6.69	93.31	
N° 10	2.00	9.70	1.17	7.86	92.14	
N° 16	1.19	36.60	4.42	12.28	87.72	
N° 30	0.6	75.10	9.07	21.35	78.65	
N° 40	0.425	55.10	6.65	28.00	72.00	
N° 50	0.3	52.30	6.32	34.32	65.68	
N° 80	0.18	141.10	17.04	51.36	48.64	
N° 100	0.15	34.30	4.14	55.50	44.50	
N° 200	0.075	147.30	17.79	73.29	26.71	
FONDO		221.20	26.71	54.72	45.28	
		828.10	100.00			

Error: 0.0000%

Ensayo Aceptado

Módulo de Finura Agregado Fino	1.33
$M.F. = \frac{\%ret. Acum\ malla(N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$	

## Anexo 9. Informe de ensayo de peso unitario de la puzolana



### PESO UNITARIO Y VACÍO DE LA PUZOLANA

ENSAYO	PESO UNITARIO Y VACÍO DE LA PUZOLANA		
NORMA	MTC E203 / ASTM C29 / NTP 400.017		
CANTERA	YURA C-2	FECHA DE MUESTREO	11/12/2023
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	11/12/2023

Diámetro del Cilindro Metálico	18.25 cm
Altura del Cilindro Metálico	29.10 cm

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO						
AGREGADO FINO		Tamaño Máximo Nominal (TMN)		< 1/2"	Volumen Molde	0.00761 m <sup>3</sup>
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1.000	2.000	3.000	RESULTADOS
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	17.740	17.970	17.990	
B	Peso del Molde	kg	4.790	4.790	4.790	
C	Peso del AF Compactado, C = A - B	kg	12.950	13.180	13.200	
D	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b> D = C / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1701.223	1731.437	1734.065	1722.242
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	16.320	16.420	16.360	
F	Peso del AF Suelto, F = E - B	kg	11.530	11.630	11.570	
G	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b> G = F / Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>	1514.679	1527.816	1519.934	1520.810

## Anexo 10. Informe de ensayo de gravedad específica y absorción de la puzolana



### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - PUZOLANA

ENSAYO	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - PUZOLANA		
NORMA	MTC E205 / ASTM C128 / NTP 400.022		
CANTERA	YURA C2	FECHA DE MUESTREO	11/12/2023
UBICACIÓN	Arequipa	FECHA DE ENSAYO	11/12/2023

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo (Psss)	gr	500.00	500.00	500.00	
B	Peso del frasco + Agua hasta marca de 500ml	gr	1,294.90	1,296.80	1,295.10	
C	Peso del frasco + Agua + Psss, C = A + B	gr	1,794.90	1,796.80	1,795.10	
D	Peso del frasco + Psss + Agua hasta la marca de 500ml	gr	1,603.90	1,604.60	1,604.60	
E	Volumen de masa + Volumen de vacío, E = C - D	cm <sup>3</sup>	191.00	192.20	190.50	
F	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	493.10	491.50	493.20	
G	Volumen de masa, G = E - (A - F)	cm <sup>3</sup>	184.10	183.70	183.70	
H	<b>PESO ESPECÍFICO BULK (base seca)</b> H = F / E	gr/cm <sup>3</sup>	2.58	2.56	2.59	2.58
I	<b>PESO ESPECÍFICO (base saturada)</b> I = A / E	gr/cm <sup>3</sup>	2.62	2.60	2.62	2.61
J	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (base seca)</b> J = F / G	gr/cm <sup>3</sup>	2.68	2.68	2.68	2.68
K	<b>ABSORCIÓN</b> K = [(A - F) / F]*100	%	1.40%	1.73%	1.38%	1.50%

## Anexo 11. Informe de diseño de mezcla - Método ACI

# DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

## I. ESPECIFICACIONES

Se calculó las proporciones de los materiales de una mezcla de concreto a ser empleada en la elaboración de Probetas para ser evaluadas a las edades de 7, 21 y 28 días. Las especificaciones de la mezcla indicaron:

- a. La resistencia de compresión especificada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.
- b. Las condiciones de colocación exigen el empleo de mezclas de consistencia plástica.

## II. MATERIALES

### 1. CEMENTO

El tipo de cemento a utilizarse es para usos generales donde no se requiere propiedades especiales. Por lo tanto se utilizará el Cemento Tipo I de la clasificación ASTM C 150.

- Portland **Tipo I**
- Peso específico **2.85 g/cm<sup>3</sup>**

### 2. AGUA

- Potable

### 3. AGREGADO FINO

- Peso específico de la masa **2.52 gr/cm<sup>3</sup>**
- Absorción **1.32%**
- Contenido de humedad **0.40%**
- Módulo de finura **3.1**

### 4. AGREGADO GRUESO

- Tamaño Máximo Nominal **1"**
- Peso específico de la masa **1464.326 kg/m<sup>3</sup>**
- Peso seco compactado **2.63 gr/cm<sup>3</sup>**
- Absorción **0.82%**
- Contenido de humedad **0.10%**

### PASO 1: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

<b>TABLA N° 1</b>	
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO</b>	
<b>f<sub>c</sub></b>	<b>f<sub>cr</sub></b>
f <sub>c</sub> < 210	f <sub>c</sub> + 70
210 ≤ f <sub>c</sub> < 350	f <sub>c</sub> + 84
f <sub>c</sub> ≥ 350	f <sub>c</sub> + 98

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = 210 + 84$$

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

### PASO 2: SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

A la granulometría del agregado grueso le corresponde un TMN = 1"

### PASO 3: SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, correspondiente a un asentamiento de 3" a 4".

<b>TABLA N° 2</b>			
<b>TABLA DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO POR SU CONSISTENCIA</b>			
<b>Consistencia del Concreto</b>	<b>Asentamiento (Slump)</b>	<b>Trabajabilidad</b>	<b>Método de Compactación</b>
Seca	0" - 2"	Poco Trabajable	Vibración Normal
Plástica	3" - 4"	Trabajable	Vibración ligera. Chuseado
Fluida	≥ 5"	Muy Trabajable	Chuseado

**PASO 4: VOLUMEN UNITARIO DE AGUA**

<b>TABLA N° 3</b>								
<b>VOLUMEN UNITARIO DE AGUA</b>								
<b>Asentamiento</b>	<b>Agua, en l/m<sup>3</sup>, para los tamaños máx nominales de agregado grueso y consistencia indicados</b>							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	<b>Concretos Sin Aire Incorporado (No hay congelamiento)</b>							
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	...
	<b>Concretos Con Aire Incorporado (Congelamiento)</b>							
1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	...

De acuerdo a la Tabla podemos determinar que el volumen Unitario de agua, o agua de diseño necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4" en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado tiene un TMN de 1", es de 193 lt/m<sup>3</sup>

**PASO 5: CONTENIDO DE AIRE**

<b>TABLA N° 4</b>	
<b>CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO</b>	
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	<b>Aire Atrapado</b>
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
6"	0.2 %

De la Tabla se determina que el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de TMN = 1" es de 1.5%

## PASO 6: RELACIÓN AGUA CEMENTO

La relación agua/cemento se considerará solo por resistencia, debido a que no hay problemas de intemperismo, ni ataques por sulfatos u otro tipo de acciones que pudieran dañar el concreto

TABLA N° 6		
RELACIÓN AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA		
f'cr 28 días	Relación: agua - cemento de diseño en peso	
	Concretos Sin Aire Incorporado	Concretos Con Aire Incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

Para una resistencia promedio correspondiente a 294 kg/cm<sup>2</sup> se obtiene una relación agua/cemento por resistencia de **0.56** por interpolación

Se tomará la relación a/c por durabilidad que fue de: **0.50**

250	—	0.62
294	—	x
300	—	0.55

$$\frac{300 - 250}{0.55 - 0.62} = \frac{300 - 294}{0.55 - x}$$

$$\frac{50}{-0.07} = \frac{6}{0.55 - x}$$

$$(-714.286)(0.55 - x) = 6$$

$$-392.857 + 714.286x = 6$$

$$x = 0.558$$

## RELACIÓN AGUA CEMENTO POR DURABILIDAD

Tabla 13.3.2

### CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua presente en el suelo como SO <sub>4</sub> % en peso	Sulfato en agua, como SO <sub>4</sub> ppm	Cemento Tipo	Relación w/c máxima, en peso en concretos en agregados de peso normal*
Despreciable	0.00 – 0.10	0 – 150	-	-
Moderada**	0.10 – 0.20	150 – 1500	II – IP – IPM	0.50
Severa	0.20 – 2.00	1500 – 10000	V	0.45
Muy severa	Sobre 2.00	Sobre 10000	V + puzolana	0.45

Se tomará la relación a/c por durabilidad que fue de: **0.50**

**PASO 7: FACTOR CEMENTO**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{relación agua cemento}} = \frac{193}{0.50} = \boxed{386 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{cantidad cemento} = \frac{386}{42.50} = \boxed{9.082 \text{ bolsas/m}^3}$$

**PASO 8: CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO**

TABLA N° 9				
PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO				
TMN del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
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
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

$$\left[ \begin{array}{cc} 2.8 & - & 0.67 \\ 3 & - & 0.65 \\ 3.1 & - & x \end{array} \right]$$

$$\frac{3.1 - 2.8}{x - 0.67} = \frac{3.1 - 3}{x - 0.65}$$

$$\frac{0.3}{x - 0.67} = \frac{0.1}{x - 0.65}$$

$$x = \boxed{0.64}$$

Volumen agregado grueso seco compactado = **0.64**

Peso del agregado grueso seco = 0.64 x 1464.326 = **937.169 kg/m³**

### PASO 9: CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

- $Cemento = \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{peso específico del cemento}}$

$$Cemento = \frac{386}{2.85 \times 1000} = \mathbf{0.135 \text{ m}^3}$$

- $Agua = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{\text{peso específico del agua}}$

$$Agua = \frac{193}{1 \times 1000} = \mathbf{0.193 \text{ m}^3}$$

- $Aire = 1.5\%$

$$Aire = \mathbf{0.015 \text{ m}^3}$$

- $Agregado grueso = \frac{\text{Peso del agregado grueso seco}}{\text{peso específico del agregado grueso}}$

$$Agregado grueso = \frac{937.169}{2.63 \times 100} = \mathbf{0.356 \text{ m}^3}$$

$$\sum \text{Volúmenes Absolutos conocidos} = 0.135 + 0.193 + 0.015 + 0.356 = \mathbf{0.699 \text{ m}^3}$$

### PASO 10: CONTENIDO DE AGREGADO FINO

$$\text{Volumen absoluto agregado fino} : 1 - 0.699 = \mathbf{0.301 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso del agregado fino en estado seco} = \mathbf{758.520 \text{ kg/m}^3}$$

## PASO 11: VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Las cantidades de materiales a ser empleados como valores de diseño serán:

- Cemento : 386 kg/cm<sup>3</sup> (factor cemento)
- Agua de diseño : 193 lt/cm<sup>3</sup> (Volumen Unitario de agua)
- Agregado Fino seco : 758.52 kg/cm<sup>3</sup> (peso del agregado fino seco)
- Agregado Grueso seco : 937.169 kg/cm<sup>3</sup> (peso del agregado grueso seco)

## PASO 12: CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

### *Agregado fino:*

*Contenido de Humedad:* 0.40%

**Calculamos 0.40% del valor de diseño del agregado fino = 0.40 % (758.20 kg/m<sup>3</sup>)**  
**= (+) 3.034 kg/m<sup>3</sup>**

Peso húmedo del agregado fino = 758.520 + 3.034 = **761.554 kg/m<sup>3</sup>**

### *Agregado grueso:*

*Contenido de Humedad:* 0.10%

**Calculamos 0.10% del valor de diseño del agregado grueso = 0.10 % (937.169 kg/m<sup>3</sup>)**  
**= (+) 0.937 kg/cm<sup>3</sup>**

Peso húmedo del agregado grueso = 937.169 + 0.937 = **938.106 kg/m<sup>3</sup>**

### **Luego Determinamos**

#### **Humedad Superficial de los Agregados**

H.S. Agregado Fino : 0.400 % - 1.320 % = **-0.92%**  
H.S. Agregado Grueso : 0.100 % - 0.820 % = **-0.72%**

#### **Aporte de Humedad de los Agregados**

A.H. Agregado Fino : 758.52(-0.92%) = -6.978 lt/m<sup>3</sup>  
A.H. Agregado Grueso : 937.169(-0.72%) = -6.748 lt/m<sup>3</sup>  
**-13.726 lt/m<sup>3</sup>**

**Agua efectiva:** 193 lt/m<sup>3</sup> - (-13.726 lt/m<sup>3</sup>) = **206.726 lt/m<sup>3</sup>**

**Y los pesos de los materiales ya corregidos por humedad del agregado a ser empleados en la mezcla serán:**

- Cemento : 386 kg/m<sup>3</sup> ≈ **386 kg/m<sup>3</sup>**
- Agua efectiva : 206.724 lt/m<sup>3</sup> ≈ **207 lt/m<sup>3</sup>**
- Agregado fino húmedo : 761.554 kg/m<sup>3</sup> ≈ **762 kg/m<sup>3</sup>**
- Agregado grueso húmedo : 937.106 kg/m<sup>3</sup> ≈ **938 kg/m<sup>3</sup>**

### **PASO 13: PROPORCIÓN EN PESO**

- $\frac{386}{386} : \frac{762}{386} : \frac{938}{386} : \frac{207}{9.1}$

- **1 : 1.97 : 2.43 : 22.76 lt/bolsa**

Relación Agua/Cemento de Diseño : 0.5

Relación Agua/Cemento Efectiva : 0.536 (corregida)

#### PASO 14: PESO POR BOLSA DE CEMENTO

- Cemento :  $1 \times 42.5 = 42.5$  kg/bolsa
- Agua efectiva : **22.76** lt/bolsa
- Agregado fino húmedo :  $1.97 \times 42.5 = 83.853$  kg/bolsa
- Agregado grueso húmedo :  $2.43 \times 42.5 = 103.275$  kg/bolsa

**Anexo 12. Informe de peso unitario y contenido de aire del concreto en estado fresco**

**ENSAYO DE PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

ASTM C138 Y NTP 339.046	MASA DEL MOLDE	MASA DEL MOLDE +CONCRETO	MASA NETA	VOLUMEN DEL MOLDE	P.U (Kg/m <sup>3</sup> )	LIMITES	CONTENIDO DE AIRE	TEMPERATURA
DISEÑO PATRON	4.771	27.24	22.469	0.00935	2403	2240-2460 Kg/m <sup>3</sup>	2.00%	19.0 °C
P-15 %	4.771	27.32	22.549	0.00935	2412		1.80%	18.0°C
P-20 %	4.771	27.41	22.639	0.00935	2421		1.60%	17.4°C
P-25 %	3.398	20.08	16.682	0.00710	2351		1.50%	17.8°C
P-30 %	4.771	27.49	22.719	0.00935	2430		1.90%	18.6°C

## Anexo 13. Informe de prueba de Slump.

### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

#### CONCRETO PATRON F'C 210 TESIS PUZOLANA

FECHA DE VACIADO:	11/10/2022
SLUMP:	4 1/4"
TEMPERATURA:	19.8°C



#### CONCRETO PATRON - 15% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

FECHA DE VACIADO:	13/10/2022
SLUMP:	3"
TEMPERATURA:	18.0°C



#### CONCRETO PATRON - 20% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

FECHA DE VACIADO:	14/10/2022
SLUMP:	1"
TEMPERATURA:	17.4°C



#### CONCRETO PATRON - 25% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

FECHA DE VACIADO:	17/10/2022
SLUMP:	3/4"
TEMPERATURA:	17.8°C



#### CONCRETO PATRON - 30% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

FECHA DE VACIADO:	18/10/2022
SLUMP:	1/4"
TEMPERATURA:	18.6°C



## Anexo 14. Informe de tandas para pruebas en laboratorio

### TANDAS PARA PRUEBAS EN LABORATORIO

#### CONCRETO PATRON F'C 210 TESIS PUZOLANA

Tanda para 0.021 m<sup>3</sup>

CEMENTO IP YURA	8.11	kg
AGUA	4.34	kg
ARENA	16.005	kg
GRAVA	19.70	kg

#### CONCRETO PATRON - 15% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

Tanda para 0.021 m<sup>3</sup>

CEMENTO IP YURA	8.11	kg
AGUA	4.34	kg
ARENA	13.59	kg
PUZOLANA	2.40	kg
GRAVA	19.70	kg

#### CONCRETO PATRON - 20% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

Tanda para 0.021 m<sup>3</sup>

CEMENTO IP YURA	8.11	kg
AGUA	4.34	kg
ARENA	12.79	kg
PUZOLANA	3.20	kg
GRAVA	19.70	kg

#### CONCRETO PATRON - 25% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

Tanda para 0.021 m<sup>3</sup>

CEMENTO IP YURA	8.11	kg
AGUA	4.34	kg
ARENA	11.99	kg
PUZOLANA	4.00	kg
GRAVA	19.70	kg

#### CONCRETO PATRON - 30% PUZOLANA F'C 210 TESIS PUZOLANA

Tanda para 0.021 m<sup>3</sup>

CEMENTO IP YURA	8.11	kg
AGUA	4.34	kg
ARENA	11.19	kg
PUZOLANA	4.80	kg
GRAVA	19.70	kg

## Anexo 15. Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón



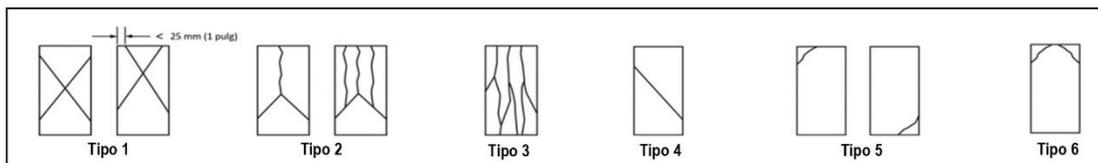
### INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS NORMA ASTM C-39

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P1 M-1	P-01	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-10-18	7	80.35	120	14.9	152	3
P1 M-2	P-02	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-10-18	7	82.11	126	15.4	157	4



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

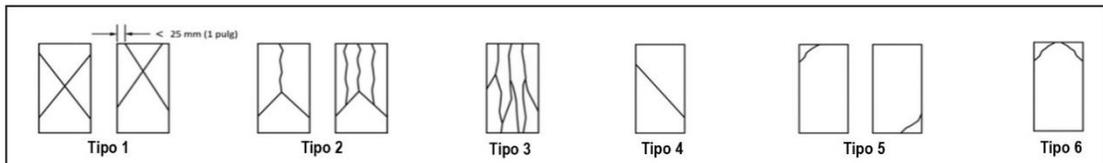
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P2 M-3	P-01	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-11-01	21	80.91	159	19.7	201	5
P2 M-4	P-02	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-11-01	21	81.79	150	18.3	187	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

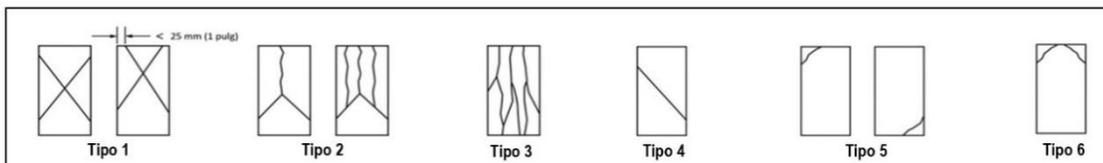
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P3 M-5	P-01	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-11-08	28	81.63	169	20.8	212	5
P3 M-6	P-02	210 kg/cm2	2022-10-11	2022-11-08	28	80.27	171	21.4	218	4



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO Nº TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**Anexo 16. Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 15% de puzolana.**

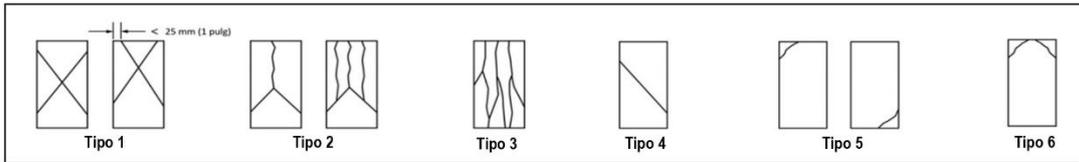


**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-A1 M-1	P-01	210 kg/cm2	2022-10-13	2022-10-20	7	81.63	126	15.5	158	2
P-A1 M-2	P-02	210 kg/cm2	2022-10-13	2022-10-20	7	81.55	122	14.9	152	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

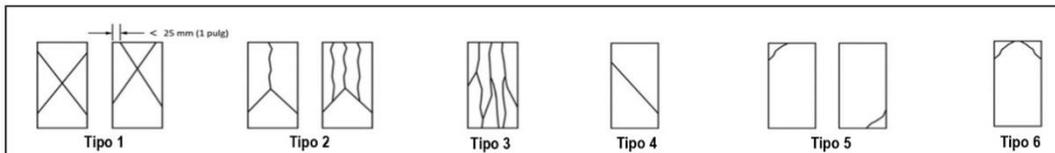
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f <sub>c</sub>	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm <sup>2</sup>	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm <sup>2</sup>	TIPO DE ROTURA
P-A2 M-3	P-01	210 kg/cm <sup>2</sup>	2022-10-13	2022-11-03	21	81.15	165	20.3	207	5
P-A2 M-4	P-02	210 kg/cm <sup>2</sup>	2022-10-13	2022-11-03	21	80.27	161	20.0	204	3



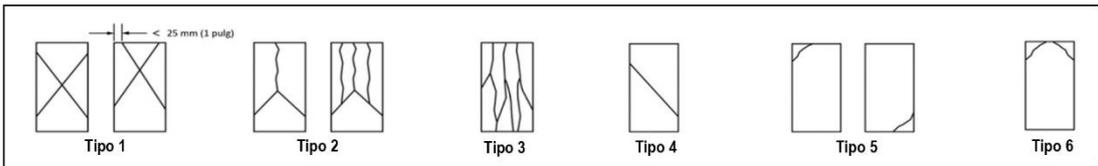
PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-A3 M-5	P-01	210 kg/cm2	2022-10-13	2022-11-10	28	82.11	172	20.9	213	6
P-A3 M-6	P-02	210 kg/cm2	2022-10-13	2022-11-10	28	80.20	172	21.4	218	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**Anexo 17. Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 20% de puzolana**



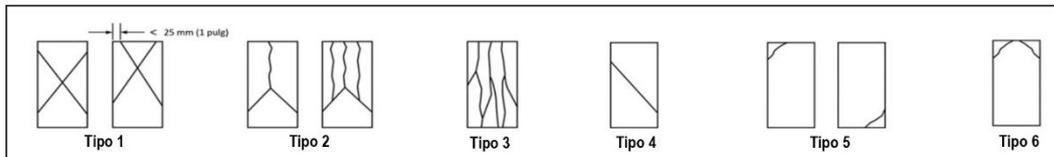
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-B1 M-1	P-01	210 kg/cm2	2022-10-14	2022-10-21	7	82.76	121	14.6	149	2
P-B1 M-2	P-02	210 kg/cm2	2022-10-14	2022-10-21	7	81.87	119	14.5	148	2



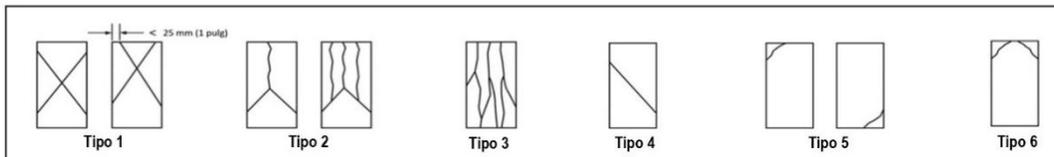
PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm <sup>2</sup>	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm <sup>2</sup>	TIPO DE ROTURA
P-B2 M-3	P-01	210 kg/cm <sup>2</sup>	2022-10-14	2022-11-04	21	82.19	148	18.0	183	2
P-B2 M-4	P-02	210 kg/cm <sup>2</sup>	2022-10-14	2022-11-04	21	81.31	155	19.1	195	5



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

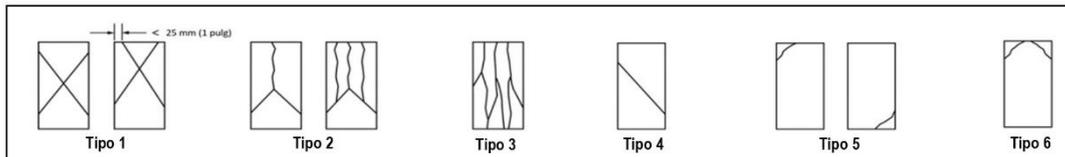
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-B3 M-3	P-01	210 kg/cm2	2022-10-14	2022-11-11	28	80.51	170	21.1	215	5
P-B3 M-4	P-02	210 kg/cm2	2022-10-14	2022-11-11	28	80.20	170	21.2	216	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**Anexo 18. Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 25% de puzolana**

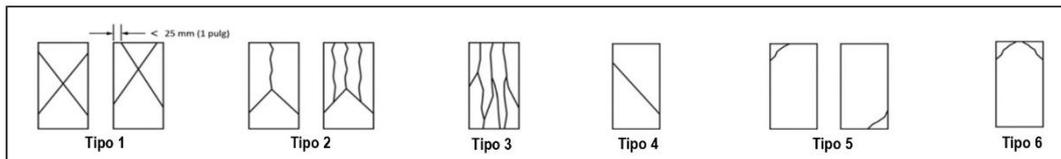


**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILINDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-C1 M-1	P-01	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-10-24	7	82.27	132	16.1	164	5
P-C1 M-2	P-02	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-10-24	7	80.35	123	15.3	156	2



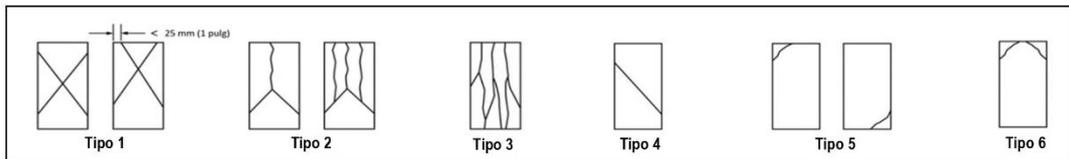
PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-C2 M-3	P-01	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-11-07	21	81.23	156	19.2	196	3
P-C2 M-4	P-02	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-11-07	21	81.23	160	19.7	201	4



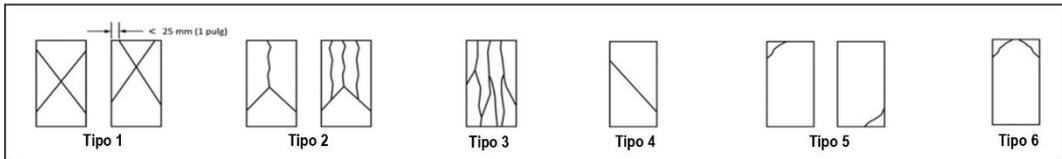
PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-C3 M-5	P-01	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-11-14	28	81.95	179	21.9	223	2
P-C3 M-6	P-02	210 kg/cm2	2022-10-17	2022-11-14	28	80.35	190	23.6	240	5



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

**Anexo 19. Informe de ensayo de resistencia a la compresión del concreto con 30% de puzolana**

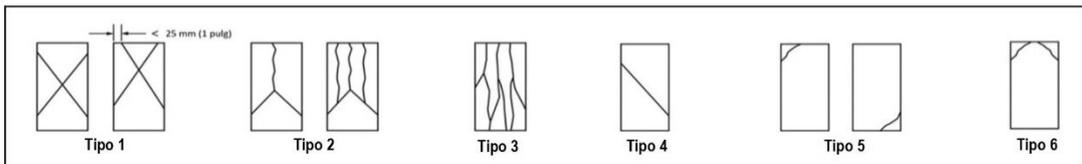


**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA:	TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-D1 M-1	P-01	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-10-25	7	80.20	123	15.3	156	2
P-D1 M-2	P-02	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-10-25	7	81.79	127	15.5	158	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

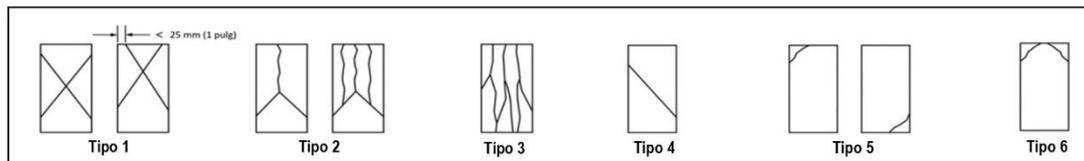
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-D2 M-3	P-01	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-11-08	21	80.43	169	21.0	214	4
P-D2 M-4	P-02	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-11-08	21	79.64	163	20.4	208	2



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

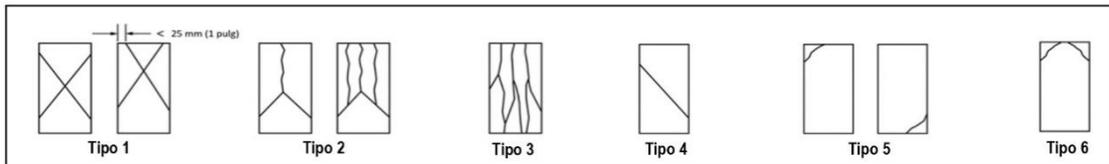
**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DE TESTIGOS CILÍNDRICOS  
NORMA ASTM C-39**

CÓDIGO DE INFORME  
LCI-493-2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA: TESTIGO CILÍNDRICO DE CONCRETO ESTÁNDAR (4" x 8")

IDENTIFICACIÓN DEL TESTIGO	CÓDIGO	RESIST. INDICADA f'c	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD Días	SECCIÓN TRANSV. cm2	CARGA MÁXIMA kN	ESFUERZO DE ROTURA MPa	ESFUERZO DE ROTURA kg/cm2	TIPO DE ROTURA
P-D3 M-5	P-01	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-11-15	28	82.51	174	21.1	216	2
P-D3 M-6	P-02	210 kg/cm2	2022-10-18	2022-11-15	28	81.87	183	22.3	227	6



PRENSA UTILIZADA	ZHEJIANG TUGONG INSTRUMENTS CO.LTD STY-2000 SERIE 110832		
RANGO DE MEDICIÓN	2000 kN - 200000 kg	FECHA DE CALIBRACIÓN	21/12/2021
CALIBRACIÓN	CERTIFICADO N° TC - 20679 - 2021	TEST & CONTROL	

Anexo 20. Fotografías: Caracterización de agregados para el diseño de mezclas



Anexo 21. Fotografías: Caracterización mecánica del concreto

