

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“COMPORTAMIENTO DE CONCRETO  
AUTOCOMPACTANTE DE 28 MEGA PASCALES  
APLICANDO MATERIAS SOSTENIBLES Y SU  
INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO  
MECÁNICO”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Civil**

Forma: Artículo científico

**Autores:**

Adamari Nayeli Colunche Idrogo

Leydi Mildred Mayta Tanta

**Asesor:**

Mg. Fabrizio del Carpio Delgado

<https://orcid.org/0000-0002-6334-7867>

Cajamarca - Perú

2024

### JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	David Eloy Ordoñez Bringas
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Kely Elizabeth Núñez Vásquez
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Fabrizio Del Carpio Delgado
	Nombre y Apellidos

## INFORME DE SIMILITUD

fabrcrio

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://ouci.dntb.gov.ua">ouci.dntb.gov.ua</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1%
9	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	

## **DEDICATORIA**

A los miembros de nuestra familia, quienes hicieron que este sueño se volviera realidad, este logro es tan suyo como nuestro, gracias por su apoyo incondicional.

Con todo el cariño, este trabajo de investigación es para ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro asesor el Ing. Fabricio del Carpio Delgado y a todos los profesionales que aportaron con sus conocimientos orientándonos para el buen desarrollo de este trabajo.

A la plana docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte sede Cajamarca, por todo el conocimiento brindado a lo largo de la carrera universitaria.

## **Tabla de Contenido**

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ceniza de cáscara de arroz .....	14
Figura 2	Fotografía de paja de ichu .....	15
Figura 3	Equipos para ensayos granulométricos .....	15
Figura 4	Fotografía de la balanza utilizada.....	16
Figura 5	Mufla utilizada para la incineración de ceniza a 800°C .....	16
Figura 6	Tamiz N° 200 para tamizar la ceniza obtenida en la mufla.....	16
Figura 7	Ensayo de extensibilidad de flujo mide la consistencia y la trabajabilidad del concreto fresco.....	17
Figura 8	Conocido como V-Funnel, es una prueba utilizada para medir la fluidez y capacidad de llenado del CAC.....	17
Figura 9	Conocida como L-Box, se utiliza para evaluar la capacidad de flujo y la segregación del CAC.....	17
Figura 10	Fotografía de los moldes cilíndricos de medidas de alto 20cm por diámetro de 10cm.....	18
Figura 11	Diagrama de flujo de adquisición de materiales .....	19
Figura 12	Diagrama de flujo de recolección de residuos agrícolas .....	20
Figura 13	Fotografía del cuarteo de material.....	24
Figura 14	Fotografía de ensayo de tamizaje de agregado grueso .....	24
Figura 15	Distribución del tamaño de partícula del agregado grueso. ....	26
Figura 16	Distribución del tamaño de partícula del agregado fino.....	27
Figura 17	Fotografía Flujo de Cono Ensayo del embudo en V .....	29
Figura 18	Fotografía del ensayo del embudo en V .....	30
Figura 19	Fotografía del ensayo de la Caja L.....	32
Figura 20	Fotografía de la falla evidenciada luego de la aplicación de cargas .....	34

Figura 21 Resumen de resultados de ensayos a compresión de las mezclas de concreto autocompactante con adición de ceniza de cáscara de arroz a los 3, 7, 14, 21 y 28 días..... 35

## **RESUMEN**

El incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> es una problemática mundial, por lo que se requiere mejorar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante reemplazando un porcentaje del cemento con la incorporación de cenizas de residuos agrícolas. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la sustitución del cemento por ceniza de cáscara de arroz y ceniza de paja de ichu, en porcentajes de 2 %, 4 % y 6 % y determinar su influencia en las propiedades en estado fresco y la resistencia a la compresión del concreto autocompactante considerando testigos de concreto a distintas edades de curado. Los resultados mostraron que aumentó la resistencia a la compresión en un 53 % y 40 % con la adición de ceniza de cáscara de arroz. Se concluye que al reemplazar en un 2 % de CCA en el CAC aumenta su resistencia a la compresión desde los días 3,7,14,21, y 28 días, siendo una gran alternativa de solución para un concreto de alta resistencia y eco amigable con el medio ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** Concreto Autocompactante; Resistencia a la Compresión; Residuos Agrícolas; Cáscara De Arroz; Ceniza De Ichu.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El concreto autocompactante es uno de los más innovadores del mercado en la industria de la construcción, en sus inicios se desarrolló por la necesidad de escasez de mano de obra calificada, como resultado ahora tenemos una construcción rápida, bajos niveles de ruido y reducción de mano de obra. <sup>(1)</sup>

La característica más importante del concreto autocompactante (CAC) se forma a partir de su capacidad de llenado por completo del elemento encofrado, esta mezcla evita la segregación debido a los componentes del CAC sin la necesidad de energía de vibrado, <sup>(2)</sup> la fluidez de la mezcla de concreto autocompactante se debe al aditivo en muchos casos superplastificante que le brinda capacidad de dispersión disminuyendo la viscosidad de la mezcla. <sup>(3)</sup>

El uso del concreto es indispensable para fines de construcción alrededor del mundo. Su utilidad ha aumentado en las últimas décadas hasta los 4.200 millones de toneladas a nivel mundial y alcanza los 14.000 millones de metros cúbicos. Así mismo, una tonelada de CO<sub>2</sub> se libera al producir una tonelada de cemento Portland ordinario (PC). <sup>(4)</sup>

El proceso de fabricación del cemento da como resultado una excesiva liberación de CO<sub>2</sub> que aporta al 4,7% de la emisión total, <sup>(5)</sup> la elaboración de cemento es una de las actividades más contaminantes, ya que por cada 1000g de cemento se producen alrededor de 900g de dióxido de carbono. <sup>(6)</sup>

El cemento Portland está formado por cuatro sustancias que componen el 90 % de su peso, estos son silicatos tricálcico y dicálcico ( $3\text{CaOSiO}_2$  Y  $2\text{CaOSiO}_2$ ), aluminato tricálcico y ferrito de aluminio tetracálcico ( $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ ). <sup>(7)</sup>

La noción de buscar un crecimiento sostenible cada vez se desarrolla en mayor magnitud en la sociedad moderna, <sup>(8)</sup> la variación en la industria de fabricación de cemento y el concreto es mayor conforme a las investigaciones halladas porque se requiere reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, <sup>(9)</sup> la bioenergía satisface el uso de recursos naturales reciclados como la sustitución del cemento con puzolana por desechos agrícolas y otros materiales biomasados. <sup>(10)</sup>

Investigadores incluyen una amplia variedad de materiales en los cuales se encuentran subproductos como la mazorca de maíz, <sup>(11)</sup> ceniza bagazo, <sup>(12)</sup> ceniza de cascarilla de arroz, <sup>(13)</sup> y ceniza de hierba de elefante. <sup>(14)</sup>

Los problemas a los que nos encontramos expuestos por la quema descontrolada de los residuos agrícolas son producidos por las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> que afectan al ambiente y nuestra salud, <sup>(15)</sup> una de las consecuencias de la sobreproducción de cemento va en medida de la demanda si esta aumenta el costo se vuelve más alto, la elaboración de cemento consume mucha energía para su fabricación y agota los recursos naturales, la piedra caliza al ser un elemento principal en la fabricación de cemento y su constante uso ha provocado el desabastecimiento debido a que es un recurso no renovable. <sup>(9)</sup>

El uso de los subproductos industriales y agrícolas se pueden incluir mediante el uso de hidróxidos alcalinos y silicatos que accionan una alternativa conveniente capaz de mitigar la contaminación del entorno, <sup>(16)</sup> la quema de los residuos agrícolas en campos da como resultado una ceniza con una alternativa y fuente de 50 % de sílice debido a la combustión del elemento, las cenizas más utilizadas han sido la ceniza de mazorca de maíz, ceniza de gabazo de caña de azúcar, ceniza de paja de trigo, ceniza de cáscara de arroz provenientes de residuos agrícolas, <sup>(17)</sup> el uso de los residuos agrícolas como sustitución del cemento

ayudará a la gestión de desechos, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema descontrolada de los residuos agrícolas, además las cenizas poseen un bajo valor económico dando grandes beneficios para la industria de la construcción y menores costos.<sup>(18)</sup>

La resistencia a la compresión del concreto aumenta con el tiempo de curado y reduce a medida que se incrementa la proporción de mezcla de mazorca de maíz y ceniza de aserrín.<sup>(19)</sup> Añadir ceniza de cáscara de arroz en el concreto autocompactante aumenta la resistencia a la compresión hasta un 15 % de valor de reposición <sup>(7)</sup> y la combinación porcentual de ceniza de maíz y ceniza de tallo de girasol aumenta hasta un 10 % para obtener una mayor ganancia de resistencia.<sup>(20)</sup>

El principal objetivo de esta investigación es evaluar la sustitución del cemento por ceniza de cáscara de arroz y ceniza de paja de ichu, en porcentajes de 2 %, 4 % y 6 % y determinar su influencia en las propiedades en estado fresco y la resistencia a la compresión del concreto autocompactante considerando testigos de concreto a distintas edades de curado.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

Los materiales usados en esta investigación cumplieron con el Manual de Ensayos de Materiales<sup>(21)</sup> y lo instaurado en la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM)

El agregado grueso y fino se recolecto de la Cantera Hermanos Alaya, ubicado en el distrito de Cajamarca, provincia Cajamarca, región Cajamarca.

Se iniciaron los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados, los cuales fueron sometidos a ensayos de granulometría según la ASTM. C136 del cual se obtuvo el tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y el tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ " (12,50 mm), la distribución de la granulometría se muestra en la fig. 25 y fig. 26.

En Perú los cementos según la Norma NTP 334,009 (23) y ASTM C150,(30) nos indican que hay 5 clases de cementos Portland de los cuales se utilizan los denominados estándar, el más común y utilizado es el Tipo I, este cemento tiene un uso general y se enfoca para la elaboración de concretos que no requieran de propiedades especiales que se otorgan con otra clase de cementos, como lo es en el concreto autocompactante.

El aditivo utilizado en la mezcla es un superplastificante de tercera generación, ideal para concretos de alto desempeño y concreto proyectado no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión de acero, según la ficha técnica descrita proporcionada por el proveedor, este aditivo está en base a policarboxilato, que cumple significativamente con ASTM 494 – Tipo F.(31)

Cinco composiciones de concreto autocompactante con cenizas de residuos agrícolas en base a silicato dicálcico: Con ceniza de cáscara de arroz (CCA) y ceniza de paja de ichu

(CPI). Como reposición del 2 %, 4 % y 6 % del peso del cemento a partir del diseño de mezcla establecido.

### Obtención de ceniza de cáscara de arroz

#### Figura 1

##### *Ceniza de cáscara de arroz*



(a)



(b)



(c)



(d)

*Nota:* Cáscara de arroz recolectada en los molinos en la ciudad de Pacasmayo – La Libertad en las siguientes coordenadas 660403.42 m E y 9179735.54 m S (b) Cáscara de arroz recolectada (c) Cáscara de arroz quemada a 800°C (d) Muestra de ceniza de cáscara de arroz.

## Obtención de ceniza de paja de ichu

### Figura 2

*Fotografía de paja de ichu*



(a)



(b)



(c)



(d)

*Nota:* (a) Lugar de recolección de la paja de ichu en las siguientes coordenadas 774346.36 m E y 9265999.69 m S recolectada de Nuevo San Juan – Bambamarca - Cajamarca (b) Paja de ichu antes de ser quemada (c) Paja de ichu quemada a 800°C (d) Muestra de ceniza de paja de ichu.

## 2.2. Equipos

### Figura 3

*Equipos para ensayos granulométricos*



(a)

(b)

*Nota:* (a) Fotografía de tamices utilizados para el ensayo de tamizado del agregado grueso

(b) Fotografía de tamices utilizados para el ensayo de tamizado del agregado fino.

#### **Figura 4**

*Fotografía de la balanza utilizada*



Equipos para obtención de cenizas

#### **Figura 5**

*Mufla utilizada para la incineración de ceniza a 800°C*



#### **Figura 6**

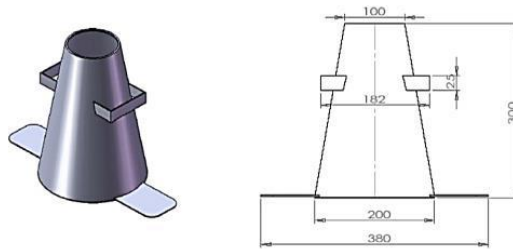
*Tamiz N° 200 para tamizar la ceniza obtenida en la mufla*



Equipos para pruebas del CAC en estado fresco

### Figura 7

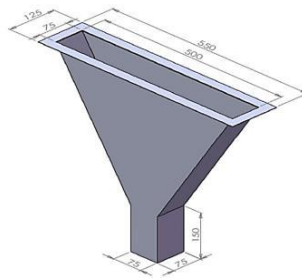
*Ensayo de extensibilidad de flujo mide la consistencia y la trabajabilidad del concreto fresco.*



Fuente: Sua-iam et al.,2016 [36]

### Figura 8

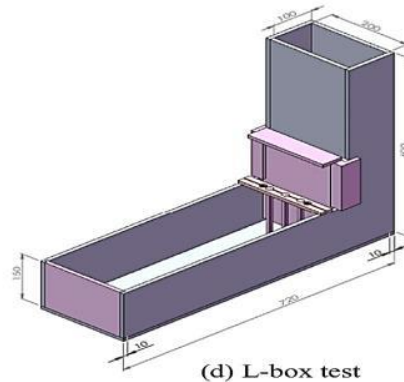
*Conocido como V-Funnel, es una prueba utilizada para medir la fluidez y capacidad de llenado del CAC.*



Fuente: Sua-iam et al., 2016. [36]

### Figura 9

*Conocida como L-Box, se utiliza para evaluar la capacidad de flujo y la segregación del CAC.*



*Fuente:* Sua-iam et al., 2016. [36]

### **Moldes cilíndricos para elaboración de probetas de CAC patrón y CAC con adición de diferentes porcentajes de cenizas**

#### **Figura 10**

*Fotografía de los moldes cilíndricos de medidas de alto 20cm por diámetro de 10cm.*

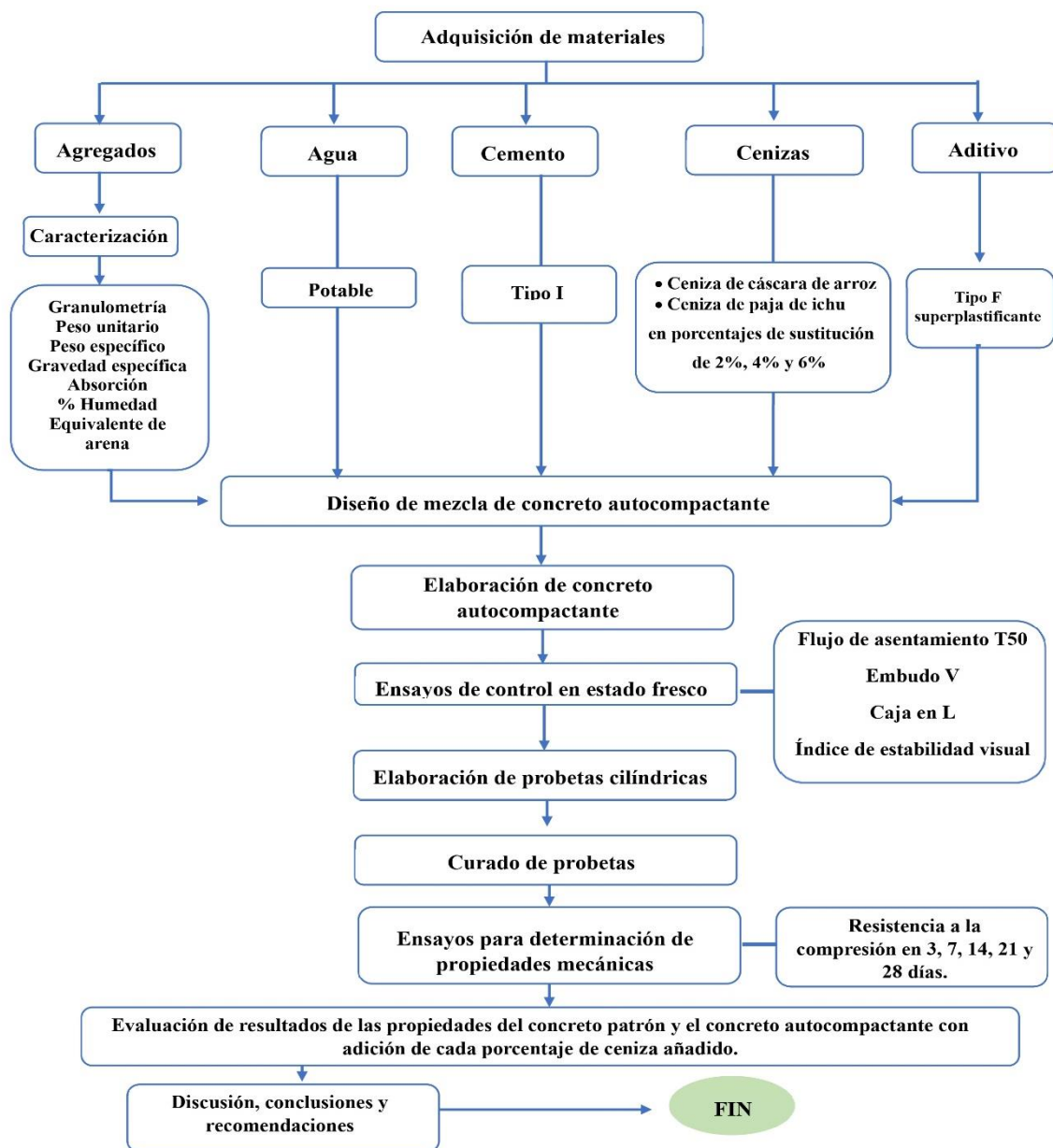


### **2.3 Métodos**

Se realizó los diagramas de flujo de adquisición de materiales y recolección de residuos agrícolas como se muestran en las figuras 11 y 12 respectivamente.

**Figura 11**

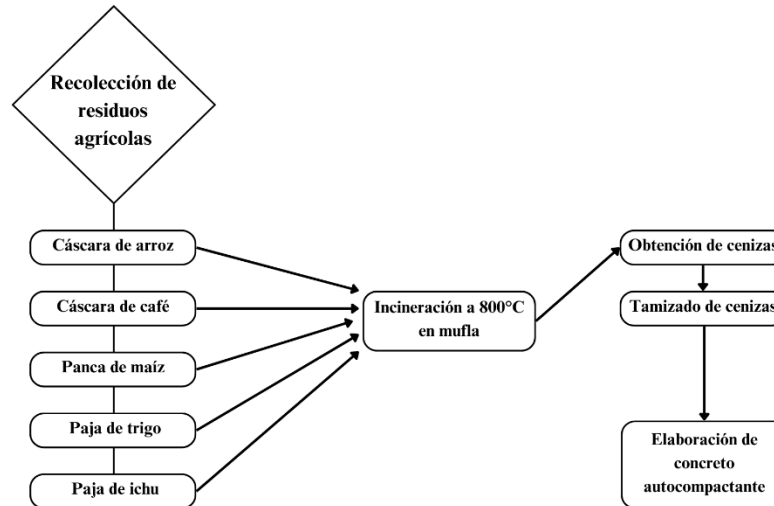
*Diagrama de flujo de adquisición de materiales*



Fuente: ACI 237R-07 <sup>(3)</sup>

**Figura 12**

*Diagrama de flujo de recolección de residuos agrícolas*



*Fuente: Abu Bakar, H., Kudus, S., Abbas, H., Hassan, R. Kamarudin (2023) <sup>(9)</sup>*

**Diseño de mezcla**

El diseño de mezcla del CAC se desarrolló utilizando el método ACI 237R-07 para la resistencia de 28 Mpa, con porcentaje de reemplazo de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de paja de ichu de 2 %, 4 % y 6 % respectivamente. Las proporciones para la adición de cenizas en el diseño de mezclas se muestran en la tabla 1 y tabla 2.

**Tabla 1:**

*Diseño de Mezcla con incorporación de ceniza de cáscara de arroz para una tanda de 5 probetas.*

Mezcla	Cemento (kg)	Ceniza		Aditivo (kg)	Agua (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)
		cascara de arroz (kg)					
Patrón	12.92	0		0.19	6.33	19.13	39.23

Mezcla	Cemento (kg)	Ceniza		Aditivo (kg)	Agua (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)
		casaca de arroz (kg)					
CCA 2A-2%	12.67	0.26		0.19	6.33	19.13	39.23
CCA 2A-4%	12.41	0.52		0.19	6.33	19.13	39.23
CCA 3A-6%	12.15	0.78		0.19	6.33	19.13	39.23

**Tabla 2**

*Diseño de Mezcla con incorporación de ceniza de paja de ichu para una tanda de 5 probetas.*

Mezcla	Cemento (kg)	Ceniza paja de ichu (kg)	Aditivo (kg)	Agua (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)
Patrón	12.92	0	0.19	6.33	19.13	39.23
CCA 1A-2%	12.67	0.26	0.19	6.33	19.13	39.23
CCA 2A-4%	12.41	0.52	0.19	6.33	19.13	39.23
CCA 3A-6%	12.15	0.78	0.19	6.33	19.13	39.23

## Pruebas experimentales

### Propiedades físicas

La Federación Europea, ha mostrado las principales de las características técnicas espontáneas, que deben cumplirse con tres condiciones básicas, que es lo primero que debe completar la capacidad de relleno, donde se refiere a alcanzar la trabajabilidad media sin usar demasiado superplastificante y debe llegar a moverse sin ningún tipo de bloqueo. Como segundo requerimiento es la capacidad de paso, sin bloquear los elementos que constituyen

el armazón. Finalmente, el tercer requisito es la resistencia a la segregación por alta liquidez, el fenómeno anterior puede ajustarse o cambiar la viscosidad o la cantidad de multas necesarias para los aditivos. <sup>(1)</sup>

### Ensayos de Capacidad de relleno

Se examinaron las características de la mezcla fresca de CAC siguiendo las pautas de EFNARC (Federación Europea de Productos Químicos Especializados para la Construcción y Sistemas de Concreto) <sup>(1)</sup> y ACI 237R-07 (Serie de tecnología emergente Hormigón Autocompactante).<sup>(2)</sup> En este análisis, se llevaron a cabo los ensayos para la capacidad de relleno como el Método estándar para la prueba de revenimiento en el concreto de cemento Portland <sup>(32)</sup> y el ensayo del embudo en V según ASTM C360.<sup>(33)</sup> Los límites aceptables según EFNARC se detallan en la tabla 3. Ensayos de Capacidad de paso Se realizaron las características de la mezcla fresca de CAC siguiendo las pautas de ACI 237R-07 (Serie de tecnología emergente Hormigón Autocompactante).<sup>(2)</sup> En este análisis, se llevaron a cabo para la capacidad de paso las pruebas que son el Método de prueba estándar para determinar la capacidad de aprobación del concreto autocompactante mediante L-Box.<sup>(35)</sup> Los límites aceptables según EFNARC se detallan en la tabla 3.

## LÍMITES DE LAS PROPIEDADES FRESCAS DEL CAC

**Tabla 3**

*Límites aceptables según EFNARC*

Norma	Clases	Flujo de cono (Diámetro - mm)		Flujo de asentamiento T50 (Seg.)	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
EFNARC	Clase SF1:	550 -	650	2	5
	Clase SF2:	660 -	750		
	Clase SF3:	760 -	850		

Norma	Embudo V (Seg)		Caja L (h2/h1)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
EFNARC	6	12	0.8	1

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

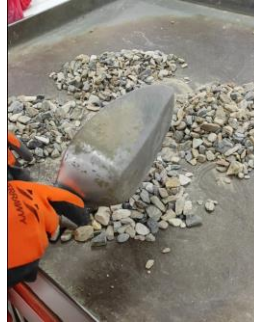
### Ensayos físico-mecánicos de los agregados:

Se iniciaron los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados, los cuales fueron sometidos a ensayos de granulometría según la ASTM. C136.

En las prácticas para la reducción de muestras de agregado para la prueba de tamaño, hemos empleado el método por cuarteo en el cual primero se ha mezclado tres veces el material con la ayuda de cuchara recta sobre una superficie dura y limpia para evitar pérdidas de material o adiciones de material extraño. Con el último giro formamos una pila cónica para después con la cuchara separar en cuatro sectores iguales. Finalmente se separa dos partes diagonales opuestas quedándonos así con el tamaño de la muestra deseada. <sup>(37)</sup>

**Figura 13**

*Fotografía del cuarteo de material*



El primer método de prueba estándar a realizar fue para materiales de tamiz superior a 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) en agregado minerales mediante lavado ASTM C117.<sup>(22)</sup> El resultado que se obtuvo del material que pasa para el agregado fino es de 1,47 % y para el agregado grueso un 58 %. En segundo lugar, se llevó a cabo el ensayo de contenido de humedad ASTM C566<sup>(23)</sup> del agregado fino y grueso, dando como resultado en el agregado fino un 1,79 % de contenido de humedad y el agregado grueso un 0,63 %. En tercer lugar, ambos tipos de agregados fueron sometidos a la prueba de granulometría siguiendo el protocolo descrito en ASTM – C136,<sup>(24)</sup> en el cual se verificó que esta cantera cumple con lo establecido. De acuerdo con la metodología descrita se obtuvo que el módulo de fineza del agregado fino es de 2,89 que corresponde a una arena gruesa. En el agregado grueso el tamaño de partícula hallado es de 12,5 mm lo cual se encuentra dentro del huso 67 según ASTM – C136.<sup>(25)</sup> Además, según lo descrito por la Norma ACI<sup>(3)</sup> el TMN para un concreto autocompactante de 1/2” lo cual coincide con el ensayo realizado. El agregado grueso presenta un módulo de finura de 5,58, así como se observa en la figura 15.

**Figura 14**

*Fotografía de ensayo de tamizaje de agregado grueso*



En cuarto lugar, se efectuó la densidad aparente (peso unitario) y vacíos en los agregados ASTM C29,<sup>(26)</sup> dando como resultados: en el agregado fino, el peso unitario compactado  $2,267.42 \text{ kg/m}^3$  y el peso unitario suelto es  $2\ 128,17 \text{ kg/m}^3$ . Para el agregado grueso el peso unitario compactado  $1,882,07 \text{ kg/m}^3$  y el peso unitario suelto es  $1\ 723,56 \text{ kg/m}^3$ .

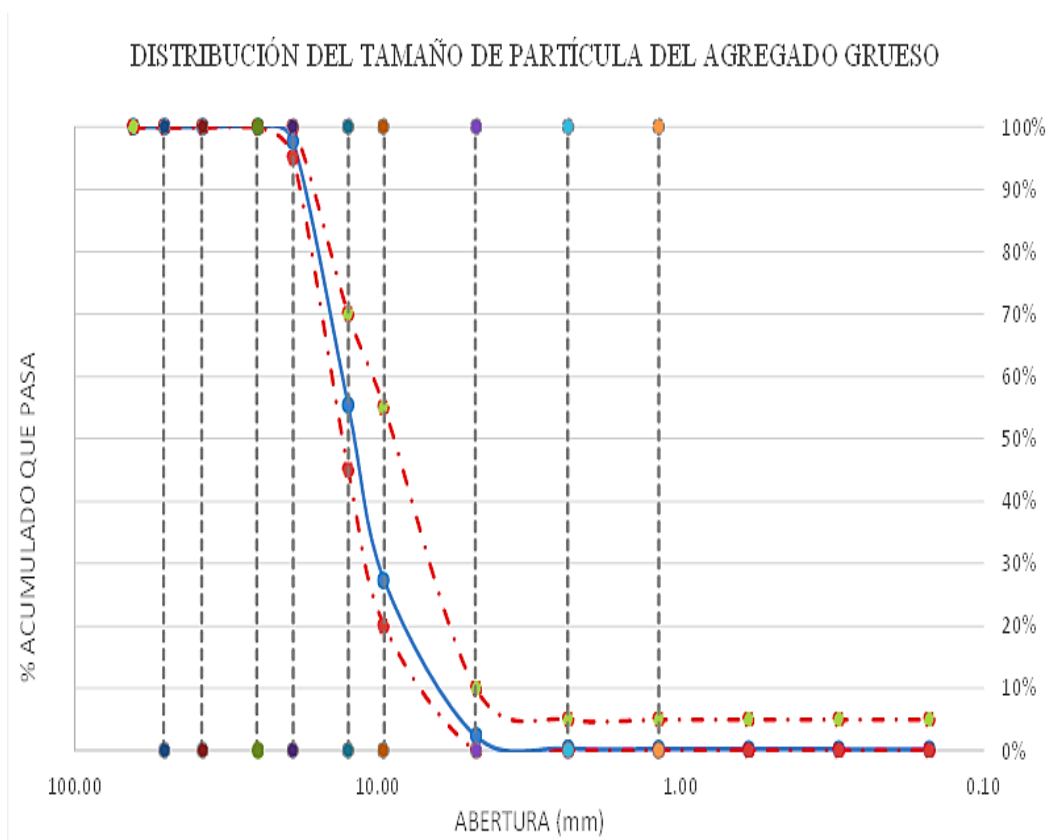
En quinto lugar, se determinó el valor del equivalente de arena ASTM D2419<sup>(27)</sup> del agregado fino para indicar bajo condiciones estándar las proporciones relativas de finos de arcilla o plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz 4,75 mm (N°4). Las lecturas de suspensión (arcillas) son de 13,50”, 13,60” y 13,14”. Las lecturas de sedimentación (arena) son de 4,50”, 4,30” y 4,40”, obteniendo un valor de equivalente de arena de 33,33 %.

En sexto lugar, se realizó el ensayo de densidad relativa (gravedad específica y absorción del agregado fino) ASTM C128,<sup>(28)</sup> dando como resultado un peso Específico Nominal Seco de  $2,47 \text{ gr./cm}^3$  y un porcentaje de absorción del 2,88 %.

En sétimo lugar, se realizó el ensayo de densidad relativa (gravedad específica y absorción del agregado grueso ASTM C127,<sup>(29)</sup> dando como resultado un peso Específico Nominal Seco de 2,39 gr./cm<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción del 1,50 %.

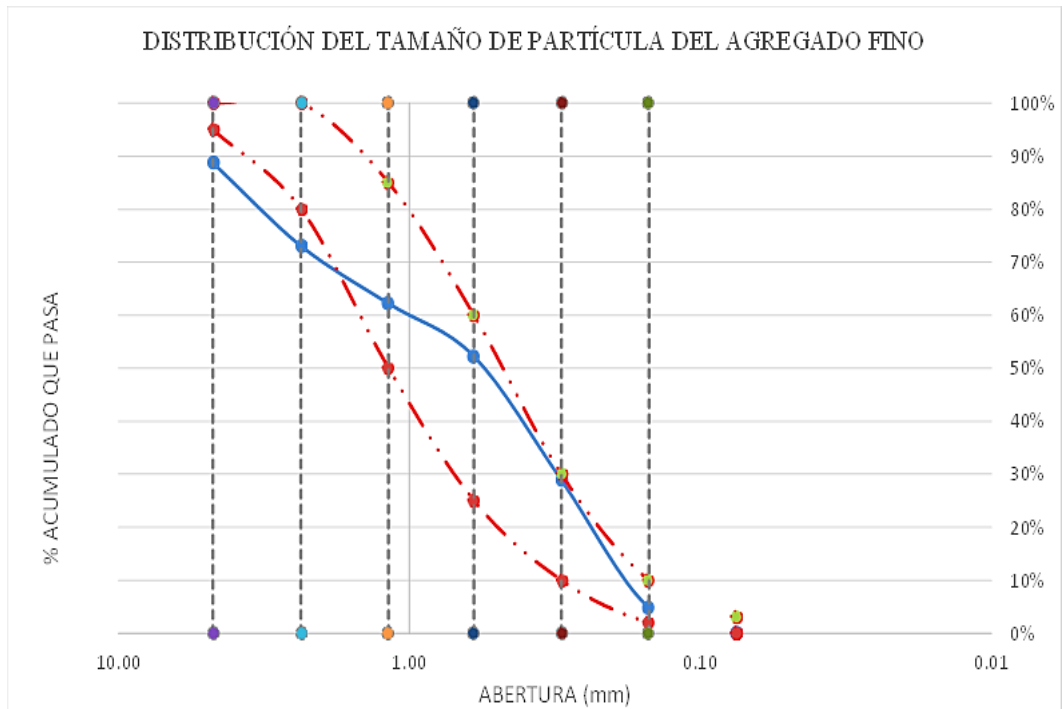
**Figura 15**

*Distribución del tamaño de partícula del agregado grueso.*



**Figura 16**

*Distribución del tamaño de partícula del agregado fino*



### Propiedades físicas del CAC

#### *Ensayos de Capacidad de relleno*

Para analizar la capacidad de relleno del CAC se deberán realizar los ensayos de revenimiento con el Cono de Abrams invertido y el ensayo del embudo en V.

#### Ensayo de Flujo de Cono

### Tabla 4

*Resultados de ensayo para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactante CAC – Patrón.*

ENSAYO N°	1	2	3
Fluidez Del Asentamiento (mm)	655	660	658
T50 (Seg)	3.54	4.10 seg.	3.63 seg.
Valor vsi	Alta estabilidad	Alta estabilidad	Alta estabilidad

*Nota:* Los resultados cumplen con lo establecido en la Norma ACI PRC-237-19 y EFNARC<sup>(1)</sup>

### Tabla 5

*Resultados de ensayo para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactante con adición de cáscara de arroz.*

ENSAYO N°	1	2	3
% Ceniza de Cáscara de Arroz	2%	4%	6%
Fluidez del Asentamiento (mm)	622	706	723
T50 (Seg)	3.55 Seg.	3.51 Seg.	3.00 Seg.
Ensayo N°	1	2	3
Valor Vsi	Alta estabilidad	Alta estabilidad	Alta estabilidad

*Nota:* Los resultados cumplen con lo establecido en la Norma ACI PRC-237-19 y EFNARC<sup>(1)</sup>

**Figura 17**

*Fotografía Flujo de Cono Ensayo del embudo en V*



Ensayo del embudo en V

**Tabla 6**

*Resultados de ensayo mediante el embudo en V del concreto autocompactante CAC*

– Patrón.

ENSAYO N°	1	2	3
T (seg)	7.20	6.8 seg.	6.9
T5 min (seg)	10.42	10.62 seg.	9.68 seg.
Observaciones	Si cumple	Si cumple	Si cumple

*Nota:* Los resultados cumplen con lo establecido en la Norma ACI PRC-237-19 y EFNARC<sup>(1)</sup>

**Tabla 7**

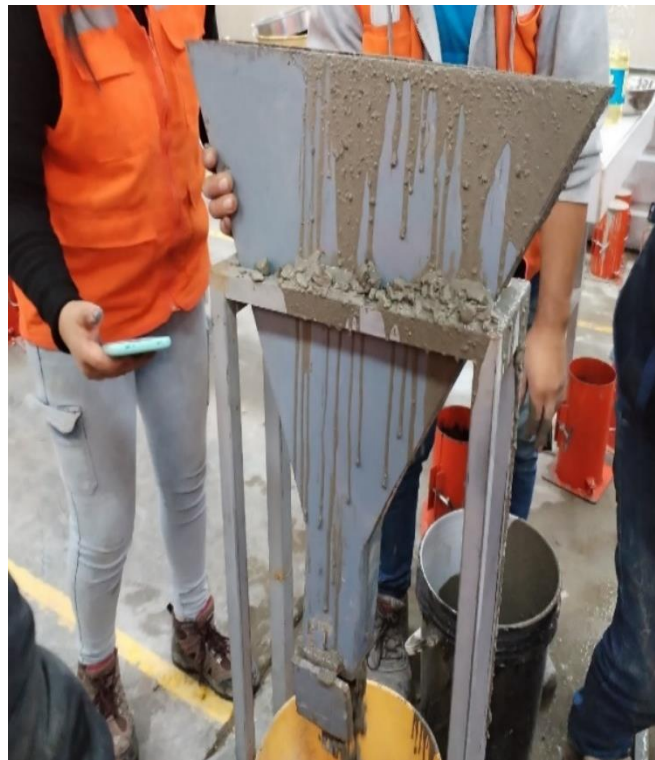
*Resultados de ensayo mediante el embudo en V con adición de cáscara de arroz*

PARÁMETROS	DOSIFICACIÓN		
	2%	4%	6%
% CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ	2%	4%	6%
T (seg)	5.38	6.10 seg.	5.20
T50 min (seg)	9.45	10.52 seg.	9.58 seg.
Observaciones	Si cumple	Si cumple	Si cumple

*Nota:* Los resultados cumplen con lo establecido en la Norma ACI PRC-237-19 y EFNARC<sup>(1)</sup>

**Figura 18**

*Fotografía del ensayo del embudo en V*



*Ensayos de Capacidad de paso*

Para analizar la capacidad de paso del CAC de deberá realizar el ensayo de caja en

L.

Ensayo de Caja L

**Tabla 8**

*Resultados De Ensayo De Caja L Del Concreto Autocompactante CAC – Patrón*

ENSAYO N°	1	2	3
T (seg)	5.30	5.10 seg	5.20 seg
H1 (cm)	8.3	8.21	9.2
H2 (cm)	8.29	8.20	9.2
H2/H1	0.99	1.001	1.00
Bloqueo	Óptimo	Regular	Óptimo
T20 (seg)	0.60	0.70 seg.	0.55 seg.
T40 (seg)	9.50 seg.	8.70 seg.	9.65 seg
Observaciones	-	-	-

*Nota: Los Resultados Cumplen Con Lo Establecido En La Norma ACI PRC-237-19*

Y EFNARC<sup>(1)</sup>

**Tabla 9**

*Resultados de ensayo de Caja L con adición de cáscara de arroz.*

Parámetros	Dosificación		
	2%	4%	6%
T (seg)	5.36	6.10 seg	5.20 seg
H1 (cm)	7.25	7.21	9.2
H2 (cm)	5.50	4.83	9.2

Parámetros	Dosificación		
	2%	4%	6%
% Ceniza de Cáscara de Arroz	2%	4%	6%
H2/H1	0.75	0.68	1.01
BLOQUEO	ÓPTIMO	REGULAR	ÓPTIMO
T20 (seg)	0.52	1.01 seg.	0.51 seg.
T40 (seg)	1.02	1.02 seg.	1.01 seg
Observaciones	-	-	-

*Nota:* Los resultados cumplen con lo establecido en la Norma ACI PRC-237-19 y EFNARC<sup>(1)</sup>

### Figura 19

*Fotografía del ensayo de la Caja L*



Los resultados de las pruebas en estado fresco del concreto autocompactante patrón y la sustitución de 2 %, 4 % y 6 % con ceniza de cáscara de arroz cumplen con los valores de escurrimiento en el Flujo de Cono que varía entre 550 y 750 mm. Los resultados del embudo en V están dentro del rango establecido entre 6 – 12 segundos, finalmente los resultados de la caja en L demuestran una alta estabilidad, la relación de H2/H1 están en el

rango de 0,8 a 1. Con los resultados que se precisan indican que la variación respecto a los resultados de la muestra patrón y la ceniza de cáscara de arroz en dichos porcentajes no varía el comportamiento en estado fresco del Concreto Autocompactante. Los diseños de mezclas presentados en dichos ensayos están comprendidos en las Tablas 1 y 2.

## **Propiedades mecánicas del CAC**

### *Ensayos de Resistencia a la compresión del CAC*

Para analizar las propiedades mecánicas del concreto se elaboraron probetas cilíndricas según lo establecido en la Norma ASTM C-192, en la cual las edades de curado son a los 3,7,14,21 y 28 días, recalcando que todas tuvieron el mismo proceso de elaboración según la dosificación de diseño para un concreto autocompactante de 28 MPa especificado en la tabla 1 y 2.

Dentro del ensayo de resistencia a la compresión del concreto se logró cumplir los parámetros dispuestos en la Norma ASTM C-39, en la cual se utilizó la prensa hidráulica para rotura de probetas de muestras cilíndricas de concreto y así hallar la carga última, es decir la resistencia mayor que soporta cada muestra a diferentes edades de curado.

Dentro del proceso seguido para la elaboración de probetas cilíndricas de concreto autocompactante, se tuvo presente la norma ACI PRC-237-19 y EFNARC,(1) como primer paso se tomó el diseño y selección de mezcla para determinar la proporción de materiales del cemento, arena, grava, agua, aditivo y porcentaje de sustitución del peso del cemento por la ceniza de cáscara de arroz, los cuales se pesaron para una tanda de 5 probetas según el diseño visto. Como segundo paso se prepararon los moldes los cuales deben estar limpios para seguidamente ser lubricados. Como tercer paso se procedió a mezclar el aditivo en el

agua. En cuarto paso se mezcló durante algunos minutos en el trompo. Como quinto paso se llenó las probetas con su debida codificación. En sexto paso se desencofró las probetas al paso de las 24 horas para ser llevadas a la piscina de curado.

Luego del paso de la edad de curado de cada probeta se procedió a pesarla, medir el diámetro y altura tres veces para sacar un promedio, para seguidamente ser sometidas a la prensa hidráulica para rotura de probetas de concreto.

### Figura 20

*Fotografía de la falla evidenciada luego de la aplicación de cargas*



La resistencia a compresión del concreto autocompactante (CAC) y la sustitución del cemento por ceniza de cáscara de arroz en función de su peso en un diseño de 28 MPa, los resultados a partir de la rotura de 15 probetas cilíndricas muestran que el CAC patrón supero la resistencia de diseño a partir de los 3 días de curado y llego a una resistencia de 404,39 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado.

De la misma manera podemos observar que los porcentajes de adición de la ceniza de cáscara de arroz del 2 % aumenta la resistencia del concreto autocompactante, teniendo

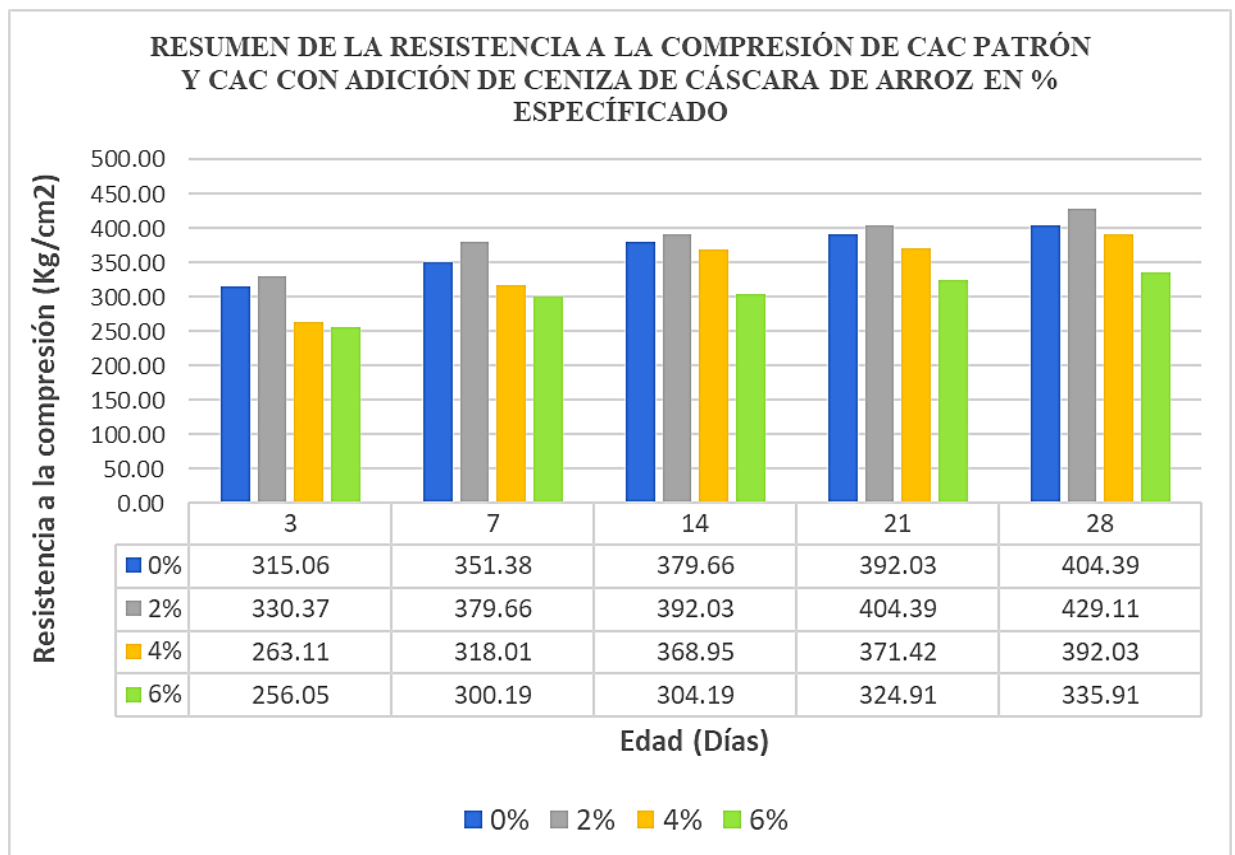
su resistencia a los 28 días de curado de 429,11 kg/ cm<sup>2</sup>, lo que nos indica que aumento en un 53 % la resistencia a compresión a partir del diseño.

Respecto a la resistencia alcanzada con la adición de 4 % el concreto autocompactante mantuvo las propiedades similares a las del concreto estándar, sin embargo, incrementó la resistencia en un 40 %.

De la misma manera al observar los resultados obtenidos con la sustitución del cemento en un 6 % de su peso por ceniza de cáscara de arroz, que los resultados son menores respecto al CAC Patrón, lo que evidencia que a mayor porcentaje de ceniza la resistencia disminuye gradualmente.

**Figura 21**

*Resumen de resultados de ensayos a compresión de las mezclas de concreto autocompactante con adición de ceniza de cáscara de arroz a los 3, 7, 14, 21 y 28 días.*



En muchos países y en especialmente en el sur del Perú se han desarrollado desastres naturales destructivos,<sup>(38)</sup> especialmente movimientos sísmicos que afectan a las obras de arte, viviendas y que en ocasiones son daños irreversibles a las estructuras.<sup>(39)</sup> Hay diferentes tipos de vulnerabilidad sísmica, existen formatos para obtener información de las viviendas, el formato empleado fue FEMA-54 y para el registro de información de la vibración natural de emplean microtemores.<sup>(40)</sup> Es importante cambios e innovación para involucrar al capital humano, utilizando herramientas de gestión en competencias para monitorear la construcción y determinar el nivel de riesgo de las edificaciones existentes.<sup>(41)</sup>

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Conforme la evaluación de las propiedades físicas del concreto autocompactante estándar y el concreto autocompactante con diferentes porcentajes de sustitución del cemento, evidenciando que la sustitución en un 2 %, 4 % y 6 % no modifica la fluidez del concreto estando dentro de los rangos establecidos los resultados según los ensayos.

Dentro de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante estándar llegó a su máxima resistencia en un 404,29 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado.

La resistencia a compresión obtenida mediante la prensa hidráulica indica que a los 3,7,14,21 y 28 días la mejor resistencia es la que se adicionó con 2 % de ceniza de cáscara de arroz llegando a un valor de 429,11 Kg/cm<sup>2</sup> y la menor resistencia obtenida es de CAC con 6 % de adición de ceniza con 335,91 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado.

Se concluye que, a mayor sustitución de cemento por porcentaje de su peso en base a ceniza, la resistencia del concreto autocompactante disminuye respectivamente, el rango de adición se recomienda según la presente investigación en un margen del 2 % al 4 % según el peso del cemento.

## REFERENCIAS

- [1] EFNARC. Specification and guidelines for self-compacting concrete. Reino Unido, 2023.
- [2] Noriega, S. & Valenzuela, A. Diseño y Control del Concreto Autocompactante en el Valle del Mantaro. Revista Científica Ingetecno, 2(1), 2015.  
<https://doi.org/10.21503/rci.v2i1.205>
- [3] ACI 237R-07 Serie de tecnología emergente Hormigón Autoconsolidable Informado por el Comité ACI 237, 2007.
- [4] Amin, M. N., Khan, K., Abu Arab, A. M., Farooq, F., Eldin, S. M., & Javed, M. F. Prediction of sustainable concrete utilizing rice husk ash (RHA) as supplementary cementitious material (SCM): Optimization and hyper-tuning. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 1495–1536, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.006>
- [5] Kumar, S., Rithuparna, R., Senthilkumar, R., & Bahurudeen, A. Cleaner production of waste-derived alkali activators from industrial and agricultural by-products for sustainable alkali activated binders. *Construction and Building Materials*, 391(131824), 131824, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131824>
- [6] Camargo, N., Abellán, J., & Fuentes, L. Use of rice husk ash as a supplementary cementitious material in concrete mix for road pavements. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 6167–6182, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.07.033>

- [7] Rolón, B. G., & Castañeda, P. F. Mechanical resistance and corrosion of concrete added with ashes of corn, sorghum, and wheat. *Cleaner Materials*, 2(100028), 100028, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100028>
- [8] Ahmad, J., Arbili, MM, Alabduljabbar, H. y Deifalla, AF. Concreto elaborado con ceniza de mazorca de maíz parcialmente sustituida: una revisión. *Estudios de casos en materiales de construcción*, 18 (e02100), 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02100>
- [9] Abu Bakar, H., Kudus, S., Abbas, H., Hassan, R. Kamarudin, N. Efecto de la cáscara de arroz como reemplazo del cemento en propiedades mecánicas del concreto. *Revista de Ingeniería Mecánica*, Vol. 20(2), 91-104, 2023.
- [10] Wang, P., Liu, H., Guo, H., Yu, Y., Guo, Y., Yue, G., Li, Q., & Wang, L. Study on preparation and performance of alkali-activated low carbon recycled concrete: Corn cob biomass aggregate. *Journal of Materials Research and Technology*, 23, 90–105, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.164>
- [11] Sharma, N., Sharma, P., & Parashar, A. K. Incorporation of silica fume and waste corn cob ash in cement and concrete for sustainable environment. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4151–4155, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.677>
- [12] Gencil, O., Nodehi, M., Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Benli, A., Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. Basalt fiber-reinforced foam concrete containing silica fume: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 326(126861), 126861, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126861>

- [13] Santhosh, K. G., Subhani, S. M., & Bahurudeen, A. Recycling of palm oil fuel ash and rice husk ash in the cleaner production of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 354(131736), 131736, 2022.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131736>
- [14] Wasim, M., Abadel, A., Abu Bakar, B. H., & Alshaikh, I. M. H. Future directions for the application of zero carbon concrete in civil engineering – A review. *Case Studies in Construction Materials*, 17(e01318), e01318, 2022.  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01318>
- [15] Muhammad. A., Kaffayatullah, K., Abdullah, A., Furqan, M., Eldin, J., Prediction of sustainable concrete utilizing rice husk ash (RHA) as supplementary cementitious material (SCM): Optimization and hyper-tuning, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 25, 2023, Pages 1495-1536, ISSN 2238-7854,  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.006>.
- [16] El Nadoury, W. Hormigón ecológico utilizando subproductos como sustitución parcial del cemento. *Fronteras en materiales*, Vol. 9, 2022.  
<https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1043037>
- [17] Kočí, V., Petříková, M., Fořt, J., Fiala, L. y Černý, R. Preparación de materiales autocalentables activados con álcalis utilizando productos de desecho industriales. *Revista de Producción Más Limpia*, 260 (121116), 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121116>
- [18] Zandi, P., Rahmani, M., Khanian, M., & Mosavi, A. Agricultural risk management using fuzzy TOPSIS analytical hierarchy process (AHP) and failure mode and effects

“Comportamiento de concreto autocompactante de 28 mega pascales aplicando materias primas sostenibles y su influencia en el comportamiento mecánico” analysis (FMEA). *Agriculture*, 10(11), 504, 2020.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10110504>

- [19] Ahmad, J., Arbili, M., Alabduljabbar, H., & Deifalla, A. Concrete made with partially substitution corn cob ash: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 18(e02100), e02100, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02100>
- [20] Şerbănoiu, A., Grădinaru, C., Muntean, R., Cimpoescu, N., & Şerbănoiu, B. Corn cob ash versus sunflower stalk ash, two sustainable raw materials in an analysis of their effects on the concrete properties. *Materials*, 15(3), 868, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15030868>
- [21] ASTM C33/C33M-18, Especificación para Agregados Pétreos para Mezclas de Concreto, 2023.
- [22] ASTM C117, Standard Test Method for Sieve Materials Greater than 75 µm (No. 200) in Mineral Aggregates by Washing, 2017.
- [23] ASTM C566, Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, 2019.
- [24] ASTM C 136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, 2015.
- [25] NTP 334.009, Norma Técnica Peruana de Requisitos de Cementos Portland, 2005.
- [26] ASTM C29 / C29M, Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, 2017.

- [27] ASTM D2419, Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate, 2019.
- [28] ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, 2015.
- [29] ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, 2015.
- [30] ASTM C150, Standard Specification for Portland Cement, 2012.
- [31] ASTM C494/C494M-17, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, 2020.
- [32] ASTM C143/C143M-12, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2015.
- [33] ASTM C360-92, Método de prueba estándar para la penetración de bolas en concreto de cemento hidráulico recién mezclado, 2016
- [34] ASTM C1621/C1621M-17, Standard test method for passing ability of self-consolidating concrete by J-ring, 2023.
- [35] ASTM C1437-20 Standard test method for flow of hydraulic cement mortar. (2020).
- [36] Sua-iam, G., Sokrai, P., & Makul, N. (2016). Novel ternary blends of Type 1 Portland cement, residual rice husk ash, and limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 1028–1034. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.002>

- [37] ASTM C702-18 Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. (2018).
- [38] Peralta. P., Crónica del desastre: el terremoto de 1868 en Moquegua. Sincretismo – revista de Divulgación Científica. Vol. 02. N 001. Pag. 01. <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/12/12>.
- [39] Del Carpio. F., Solo. A., Analysis of the magnitude of the seismic waves energy transferred to the foundation of a building. Revista Ingeniería de Construcción. RIC. Vol 37 N. 2 2022, pag. 1.
- [40] Vargas. A., Del Carpio. F., Villa. C., Medina. R., Vargas. N. Aplicación de la vibración ambiental y la vulnerabilidad física de la ciudad de Moquegua. Sincretismo – Revista de Divulgación Científica. Vol 01, N 002. Pag 42. <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/24/22>.
- [41] Del Carpio. F., Silvana. B. Management model with processes to identify seismic vulnerability in housing. Revista Ingeniería de Construcción. RIC. Vol 36 N. 3 2021, pag. 1. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85173757314&origin=inward&txGid=bb1213bdf093af5058702b721d8fdf4a>