

Analysis of the Compressive Strength of Concrete $f'c=210\text{kg/cm}^2$ with the Addition of Natural Polymer Ash (CBCA)

Yhon Farfan Salas, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00226869@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract- *The present research work is based on analyzing the results of the influence of sugarcane bagasse ash (CBCA), a natural polymer ash, on concrete with $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, made with aggregates. from the Pampa Azul quarry, in order to analyze and compare the results of compressive strength in different percentages of CBCA addition (2%, 4% and 7%). Likewise, the physical characteristics of the aggregates were determined according to the ASTM C 136 / NTP 400.012 standard, to then carry out the mix design according to the ACI Committee 211.1. The mixture design of the pattern concrete and concrete was carried out, adding the percentages of CBCA (2%, 4% and 7%), of which 36 specimens of 100 mm x 200 mm were prepared (ASTM C 192 / NTP 339.183). , prepared in the laboratory of the Universidad Privada del Norte, which were compression tests (ASTM C 39 - 18 / NTP 339.034) at 7, 14 and 28 days of curing, obtaining with 2% CBCA a resistance of 233.5 kg/cm², representing an increase of 1.83%; with 4% CBCA a resistance of 245.9 kg/cm², representing an increase of 4.03% and with 7% CBCA a resistance of 264.5 kg/cm², representing an increase of 12.02% compared to the standard concrete. From the results obtained, it is concluded that the addition of CBCA in the concrete is very favorable in the percentages of 4% and 7%, obtaining greater results compared to the standard concrete.*

Keywords: *Compressive strength, mortar, volcanic tuff.*

Análisis de la Resistencia a Compresión del Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con Adición de Ceniza de Polímero Natural (CBCA)

Yhon Farfan Salas, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00226869@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- El presente trabajo de investigación está basado en analizar los resultados de la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), ceniza de polímero natural, en el concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, elaborados con agregados de la cantera Pampa Azul, con el fin de analizar y comparar los resultados de resistencia a la compresión en diferentes porcentajes de adición de CBCA (2%, 4% y 7%). Asimismo, se determinó las características físicas de los agregados de acuerdo a la norma ASTM C 136 / NTP 400.012, para seguidamente realizar el diseño de mezcla de acuerdo al Comité ACI 211.1. Se procedió a realizar el diseño de mezcla del concreto patrón y concreto adicionando los porcentajes de CBCA (2%, 4% y 7%), de los cuales se elaboraron 36 probetas de 100 mm x 200 mm (ASTM C 192 / NTP 339.183), elaboradas en laboratorio de la Universidad Privada del Norte, los cuales fueron ensayos a compresión (ASTM C 39 - 18 / NTP 339.034) a los 7, 14 y 28 días de curado, obteniéndose con el 2% de CBCA una resistencia de 233.5 kg/cm^2 , representando un incremento de 1.83%; con el 4% de CBCA una resistencia de 245.9 kg/cm^2 , representando un incremento de 4.03% y con el 7% de CBCA una resistencia de 264.5 kg/cm^2 , representando un incremento de 12.02% respecto al concreto patrón. De los resultados obtenidos, se concluye que la adición de CBCA en el concreto es muy favorable en los porcentajes de 4% y 7%, obteniéndose mayores resultados respecto al concreto patrón.

Palabras Clave: Resistencia a compresión, mortero, toba volcánica.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, el concreto ha sido un material muy importante y el más usado en la construcción de infraestructura a nivel mundial, gracias a las características físicas y químicas el cual posee para dar durabilidad a través del tiempo, ya que con el concreto se llevan a cabo muchas obras de infraestructuras como instituciones públicas o privadas, estadios deportivos, presas, relaves, colegios, carreteras, reservorios y muchos otros, por lo que la construcción de viviendas en la actualidad, es el rubro donde se genera más inversión económica, según la referencia [1].

Con respecto a la industria azucarera, a nivel mundial se tiene registro de una gran cantidad de residuos los cuales se denominan ceniza de bagazo de caña de azúcar o conocido como CBCA, el cual resulta de la combustión de este residuo orgánico que se puede obtener de las industrias azucareras. Asimismo, se ha comprobado que la ceniza de bagazo de caña

de azúcar contiene sílice y alúmina, los cuales podrían dar una adición puzolánica en el cemento, es por ello que la presente investigación propone a la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como adición de origen natural para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, ya que actualmente se desecha cerca de 600 millones de toneladas a nivel mundial de residuos de la caña de azúcar, según referencia [2].

En la ciudad de Morelia – México, se realizó un estudio acerca de “Mezcla del concreto hidráulico con ceniza de bagazo de caña como sustituto del cemento: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y la durabilidad”, en el cual se sustituyó por el 5%, 10% y 20% de CBCA con respecto al peso del cemento, donde se realizaron las pruebas de rotura de probetas a los 7, 14, 28, 60, 90 y 120 días por resistencia mecánica, resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y se determinó como resultado óptimo con la sustitución del cemento en un 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar; puesto que, al adicionarle esta ceniza al concreto se mejoró en 18.89% en la resistencia a la compresión, además recomienda no llegar al 20 % de sustitución, ya que aumentaría la demanda del agua para el diseño, según la referencia [3].

Hay que hacer notar que, en la publicación del artículo de investigación realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería, Managua - Nicaragua, se realizó un estudio acerca de las pastas añadidas con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) de 80% a 95% en peso y cemento de aluminato de calcio (en base a piedra caliza y bauxita pulverizadas), los cuales fueron activados químicamente con soluciones de silicato de sodio en porcentajes de 8%, 10%, 12% y 14% respecto al peso de CBCA, sumergidos en las pozas de curado entre 20 °C hasta 40 °C, de los cuales se obtuvieron resultados de los ensayos a compresión de 203.9 kg/cm^2 en promedio a los 28 días de curado, del cual concluyeron que no se alcanzó los resultados deseados, por lo que enfatizan la viabilidad de utilizar mayores cantidades de desechos industriales como la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) para obtener materiales cementosos, de acuerdo al estudio realizado y así poder mejorar las propiedades mecánicas del concreto, según referencia [4].

Como se indica en el estudio realizado en la ciudad de Cartagena – Colombia, se evaluó los efectos de la incorporación del bagazo de caña de azúcar sobre las propiedades físico – mecánicas del concreto hidráulico, en el cual se analizó su influencia en las dosificaciones del bagazo de caña de azúcar en 0.5%, 0.75%, 1% y 1.25% al concreto, de los cuales concluyeron que, con la adición del 0.5% en el concreto se tiene un aumento del 7.5% en comparación de la muestra patrón y a medida que se aumentaba el porcentaje del bagazo de caña de azúcar, ocurría una disminución en la resistencia a los esfuerzos mecánicos, por el cual los investigadores concluyeron que, en futuras investigaciones se debe analizar la influencia de los distintos tipos de cemento y la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por los resultados obtenidos, indicada en la referencia [5].

Estudios realizados en la ciudad de Piura a cerca de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto. “Exploración preliminar del potencial de uso de la ceniza del valle del Chira”, menciona que en el Perú se cultiva la caña de azúcar en la costa, selva y valles interandinos, debido a las condiciones climáticas las cuales permiten su siembra y cosecha, siendo el norte del país donde se encuentra la mayor cantidad de producción de la caña de azúcar. Asimismo, señala que en el año 2017 la empresa Caña Brava ubicada en Piura procesó diariamente aproximadamente 4300 toneladas de caña de azúcar, de las cuales se obtienen los residuos como el bagazo de caña de azúcar, los cuales están conformados por el 70% de celulosa y el resto por lignina y hemicelulosa. Asimismo, una vez calcinado el bagazo de caña de azúcar se obtiene entre 208 y 260 toneladas de ceniza de bagazo de caña de azúcar, según referencia [6].

En la ciudad de Cajamarca – Perú, se realizó el estudio “Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico”, en el cual se adicionó la ceniza de bagazo de caña de azúcar en dosificaciones de 1%, 3% y 5% en proporciones por el volumen de agregado fino para determinar la influencia que presenta la adición de esta ceniza. Asimismo, se realizaron los especímenes de concreto, los cuales se sumergieron en la poza de curado para después ser ensayados en la prueba de compresión a los 7, 14 y 28 días, de los cuales se obtuvieron resultados favorables en la resistencia a compresión del concreto en una dosificación de 3%, debido a que mejora en la resistencia de concreto en un 21.8% con respecto al concreto patrón de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, como indica la referencia [7].

En una investigación realizada en la ciudad de Cajamarca, “Resistencia a la compresión del concreto adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en remplazo del agregado fino”, en el cual se realizó un diseño de mezcla para un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia sustituyendo el agregado fino en porcentajes de 10%, 15% y 20% con ceniza de bagazo de caña de azúcar con ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, donde se obtuvieron resultados favorables para

el porcentaje de 10% en las tres edades de curado, ya que se alcanzó a mejorar el diseño patrón en un 7.10%, siendo la máxima resistencia a la compresión con la adición del 10% de ceniza a los 28 días de curado, alcanzando una resistencia de 294.74 kg/cm^2 , según referencia [8].

En la ciudad de Lima, se realizó el estudio “Durabilidad del concreto en base de la ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBCA) con cemento portland ante agentes agresivos”, en el cual se adicionó la ceniza como sustituto parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10% y 15% respecto al volumen absoluto de la tanda respectiva para la elaboración del concreto, se utilizó el cemento Portland Tipo I y se elaboraron probetas cilíndricas de $6'' \times 12''$. Una vez realizadas las muestras de concreto se sometieron al ataque acelerado de sulfato de magnesio durante 5 ciclos de inmersión y secado, para luego ser ensayadas a compresión a los 7, 14 y 28 días de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 339.034, donde se obtuvieron resultados favorables con respecto a la resistencia del concreto patrón, de los cuales se demostró que sustituir parcialmente el agregado fino por la ceniza de bagazo de caña de azúcar fue beneficioso y óptimo en los ensayos con el 15% de la CBCA, cuyo porcentaje incrementa la resistencia del concreto patrón de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ en un 25.09%, según lo indica la referencia [9].

La presente investigación, tiene como carácter fundamental la de conocer las características y propiedades que tiene el concreto adicionando la ceniza de bagazo de caña de azúcar al 2%, 4% y 7%; por lo tanto, es conveniente realizar este estudio porque es un beneficio el poder conocer las ventajas de su uso en la construcción de viviendas en la ciudad de Lima.

También, es importante mencionar la relevancia social de esta investigación, ya que el uso de esta ceniza nos permitirá facilitar su aplicación en el concreto convencional de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en las estructuras, con el fin de mejorar la resistencia y durabilidad a través del tiempo.

Se debe mencionar que existen dos tipos de cenizas obtenidas a través de la calcinación del bagazo de caña, el tipo volante que está constituido por partículas muy finas que son recolectados en el sistema de eliminación de partículas de los hornos de combustión, y el tipo sedimentada que se constituyen a las cenizas más gruesas que se acumulan en el fondo del horno de combustión, según referencia [10].

Se recolectó las cenizas del tipo sedimentada obtenida a través de la calcinación en horno a una temperatura de 250°C aproximadamente, el cual tiene una composición química del 60% de dióxido de silicio (SiO_2), 4% de óxido de aluminio (Al_2O_3), 5% de óxido férrico (Fe_2O_3), 6% de óxido de calcio (CaO) y otros óxidos en menor cantidad de acuerdo a los resultados obtenidos en el Laboratorio A&A TERRALAB S.A. (Laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto).

La presente investigación tiene un aporte social, el cual contribuirá a los conocimientos de los resultados de esta investigación que permitirá el uso de la ceniza (CBCA) en el

concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, ampliando los conocimientos con respecto a las variables de estudio, es por ello que se realiza el diseño de mezcla con los materiales de la ciudad de Lima.

En relación a lo indicado anteriormente, para la presente investigación nos hemos formulado la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 2%, 4% y 7% de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)?, teniendo como objetivo general: Determinar la resistencia a la compresión del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de polímero natural al 2%, 4% y 7% (CBCA), para ello los objetivos específicos planteados han sido: a) Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a la norma ASTM C39-18; b) Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 2% de ceniza de polímero natural (CBCA) de acuerdo a la norma ASTM C39-18; c) Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 4% de ceniza de polímero natural (CBCA) de acuerdo a la norma ASTM C39-18; y d) Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 7% de ceniza de polímero natural (CBCA) de acuerdo a la norma ASTM C39-18.

La hipótesis general, planteada es, la adición de la ceniza de polímero natural (CBCA) en 2%, 4% y 7% al concreto, influye positivamente en el aumento de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Acerca de la ceniza de polímero natural, es decir la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), de acuerdo al estudio realizado a cerca de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto en la ciudad de Piura (Perú), indica que la caña de azúcar es un producto de mayor importancia, puesto que el azúcar es un producto de consumo masivo en la sociedad. Por consiguiente, al procesar la caña de azúcar se obtiene residuos como el bagazo en gran cantidad, el cual al ser incinerado se puede obtener la ceniza entre el 2% y 4% del bagazo total con una densidad de 1.65 g/cm^3 para el material retenido en la malla N° 10, según la referencia [6].

Podemos indicar también que, para la presente investigación se recolectó el bagazo de caña de azúcar de los residuos orgánicos del mercado de frutas del distrito de La Victoria (Mercado de frutas) en la ciudad de Lima (Perú). Debido a la facilidad de poder obtener este residuo se procedió a recolectar e incinerar aproximadamente 35 kg, de los cuales se obtuvo 1.8 kg de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) con una densidad de 2.29 g/cm^3 , calculada en laboratorio mediante el método de fiola de vidrio.

Finalmente, en la investigación, se considera como variable independiente a la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y como variable dependiente a la resistencia a la compresión del concreto.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se obtienen datos por medición y recolección a partir de ensayos de laboratorio, que son analizados matemáticamente. Asimismo, con los resultados expresados numéricamente se evalúa y prueba la hipótesis planteada en esta investigación.

También, es del tipo aplicada, ya que este tipo de estudio está enfocado a obtener nuevos conocimientos; además, se aplican los datos y conocimientos adquiridos en el laboratorio a través de los ensayos realizados y se analiza la influencia de la adición de la ceniza de polímero natural (CBCA) con 2%, 4% y 7% en las características del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ en cuanto a las propiedades mecánicas, para comparar los datos obtenidos y puedan ser utilizados en beneficio de la sociedad, según lo indica la referencia [11].

Según el diseño de investigación es experimental, ya que se necesitan tener datos y resultados de las pruebas realizadas para poder analizar las variaciones de la población, el cual nos permitirá comparar los resultados y así poder obtener las conclusiones de esta investigación, según la referencia [11].

Adicionalmente, la investigación tiene un nivel descriptivo, debido a que se reúne una información cuantificable para poder comparar, identificar, reconocer y presentar las características de acuerdo a los objetivos del estudio. Asimismo, se puede usar para realizar inferencias estadísticas a través del análisis de datos.

En relación a la muestra de investigación, se puede manifestar que, es una parte o subconjunto de una población para un estudio determinado, debido a que se seleccionan previamente de una determinada población para realizar el estudio; es por ello que, la selección de la muestra debe cumplir con la representatividad cuantitativa de acuerdo a la cantidad poblacional, características generales y específicas de la población en estudio, según la referencia [12].

La designación de la muestra que emplea esta investigación es del tipo no probabilístico, cuya evaluación se realiza mediante el juicio del investigador y está constituida por especímenes cilíndricos de concreto con dimensiones de 100 mm de base y 200 mm de altura.

TABLA I
CANTIDAD TOTAL DE MUESTRA

Tipo de Probeta	7 días	14 días	28 días	Total (Und)
$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	3	3	3	9
$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2 + 2\% \text{ de CBCA}$	3	3	3	9
$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\% \text{ de CBCA}$	3	3	3	9
$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2 + 7\% \text{ de CBCA}$	3	3	3	9
Total				36

De acuerdo a la norma ASTM C-192 (Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de

concreto en laboratorio), se realizan muestras de probeta de concreto, las cuales deben ser 3 probetas de concreto por cada ensayo a realizar de acuerdo a la edad de curado en la poza, los cuales se realizarán a los 7, 14, y 28 días después de ser elaborados.

Para la presente investigación se realizó el diseño de mezcla para un concreto con resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con los agregados que provienen de la cantera Pampa Azul del distrito de Lurín, Provincia Lima, Departamento de Lima, a cuyos agregados se realizaron el análisis granulométrico correspondiente de acuerdo a las normas ASTM C-136, NTP 400.012 (método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos).

Una vez obtenido el diseño de mezcla patrón y las proporciones de los agregados para el diseño, se procedió a realizar las adiciones de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) para poder elaborar las probetas de concreto según la norma ASTM C-192 (Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio), de los cuales se obtuvieron 36 especímenes de concreto de medidas 100 mm x 200 mm para el ensayo de resistencia a la compresión.

En la Fig. 1, se presenta a continuación el procedimiento aplicado en la investigación:

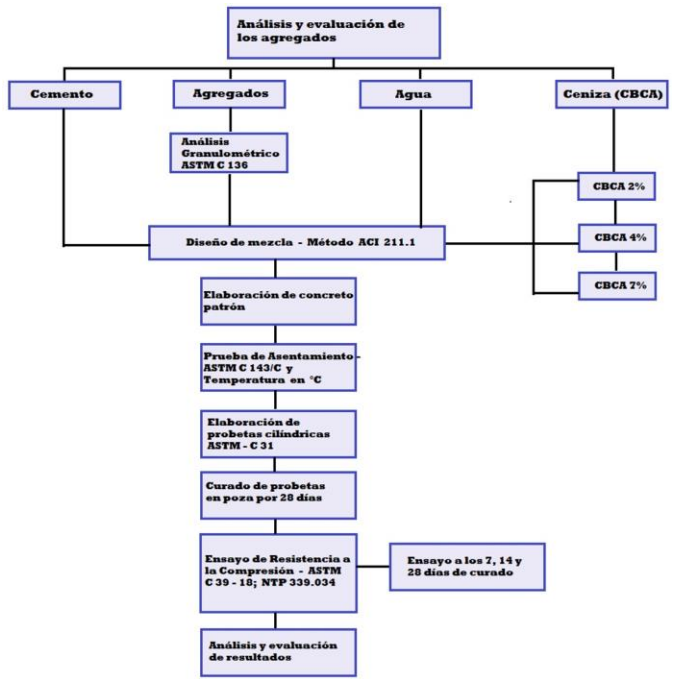


Fig. 1 Procedimiento aplicado en la investigación

También, se ha tenido en cuenta el tipo de fractura de cada uno de los especímenes sometidos al ensayo de resistencia a compresión, teniendo en cuenta el inciso 10.1.8 – Tipo de fractura -, de la NTP 339.034-2021, como se observa en la Fig. 2.

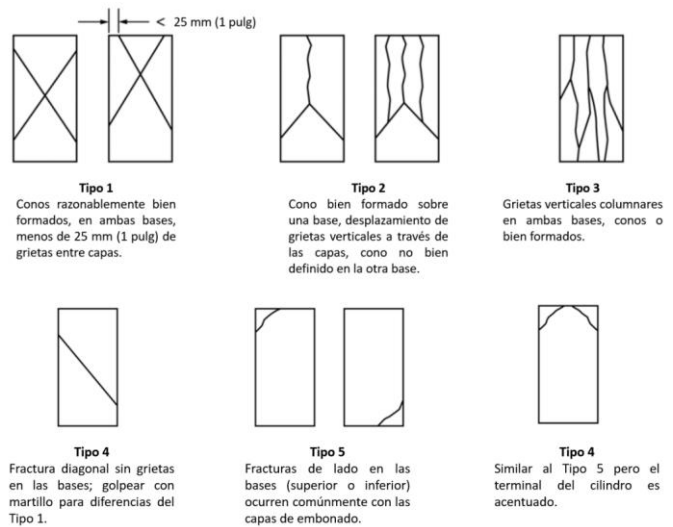


Fig. 2 Tipo de fractura

III. RESULTADOS

Los resultados de la investigación, según su objetivo general: “Determinar las propiedades mecánicas del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de polímero natural al 2%, 4% y 7% (CBCA)”.

Para ello, en la Tabla II, se muestran los resultados que corresponden a los ensayos de granulometría y diseño de mezcla, realizados en el laboratorio de suelos, concreto y pavimento de la Universidad Privada del Norte – Sede San Juan de Lurigancho.

TABLA II
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Malla (N°)	Peso retenido en gramos (b)	% Retenido (c)=(b)/(a)*100	% Retenido Acumulado (d)=Suma(C)	% Pasante Acumulado 100-(d)
1 1/2"		0.00%	0.00	100.00
1"	117.00	2.20%	2.20	97.80
3/4"	1926.00	35.40%	37.60	62.40
1/2"	3076.00	56.60%	94.10	5.90
3/8"	222.00	4.10%	98.20	1.80
# 4	83.00	1.50%	99.70	0.30
# 8		0.00%	99.70	0.30
FONDO	14.00			
TOTAL	5438.00			

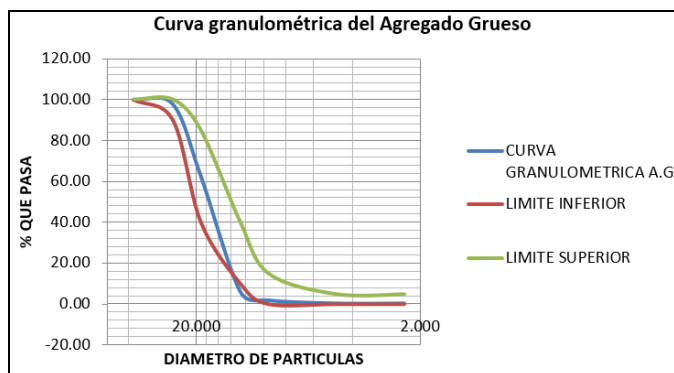


Fig. 3 Curva granulométrica del agregado grueso

TABLA III
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Malla (N°)	Peso retenido en gramos (b)	% Retenido (c)=(b)/(a)*100	% Retenido Acumulado (d)=Suma (c)	% Pasante Acumulado 100-(d)
3/8				100.00
4	17.10	3.10	3.10	96.93
8	61.40	11.00	15.10	85.90
16	81.90	14.70	28.80	71.19
30	90.20	16.20	45.00	54.99
50	103.70	18.60	63.60	36.37
100	89.60	16.10	79.70	20.28
200	41.60	7.50	87.20	12.81
FONDO	71.30	12.80	100.00	0
Total	556.80	Modulo Fineza	2.35	

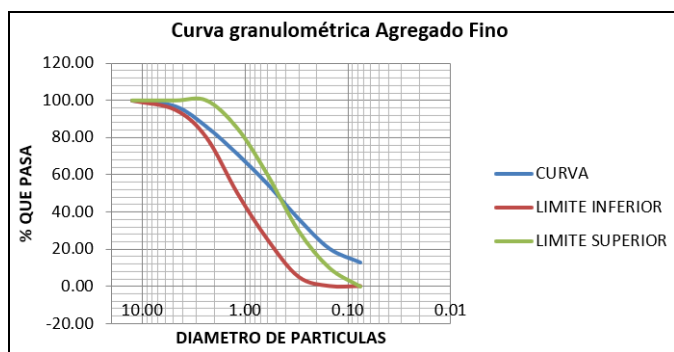


Fig. 4 Curva granulométrica del agregado fino

Según lo indicado en el primer objetivo específico: “Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a la norma ASTM C39-18”; se presentan los resultados de los ensayos a compresión a los 7 días, 14 días y 28 días:

TABLA IV
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO PATRÓN DE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

N°	Descripción	Edad (Días)	Resistencia (Kg/cm ²)
PP-01		07	185.2
PP-02	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	07	190.3
PP-03		07	189.6
Promedio 07 días			188.3 kg/cm ²
PP-04		14	219.8
PP-05	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	14	223.2
PP-06		14	228.6
Promedio 14 días			223.9 kg/cm ²
PP-07		28	238.4
PP-08	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	28	235.6
PP-09		28	236.2
Promedio 28 días			236.7 kg/cm ²

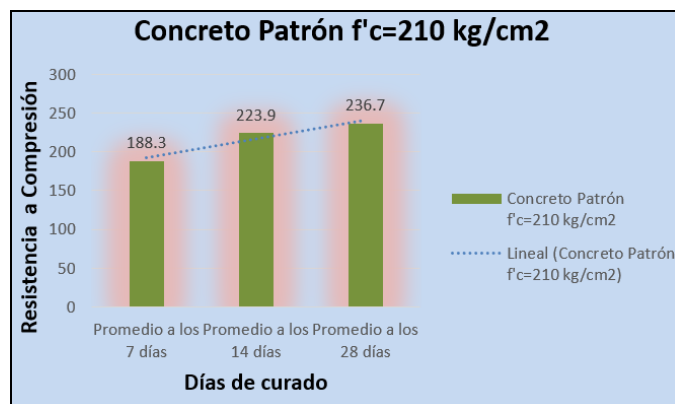


Fig. 5 Resistencia a la compresión del concreto patrón

De los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón, se pudo observar que a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 188.3 kg/cm^2 , a los 14 días de curado desarrolló una resistencia de 223.9 kg/cm^2 y a los 28 días de curado desarrolló la resistencia requerida de 236.7 kg/cm^2 , predominando el tipo de fractura o falla 2 y 3 de acuerdo a la norma NTP 339.034/ASTM C 39 (Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas)

Según lo indicado en el segundo objetivo específico: “Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 2% de ceniza de polímero natural (CBCA)”, de acuerdo a la norma ASTM C39-18.

TABLA V
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
 CONCRETO PATRÓN CON 2% DE CBCA

Nº	Descripción	Edad (Días)	Resistencia (Kg/cm ²)
PA-01		07	193.7
PA-02	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 2\%$	07	174.8
PA-03		07	198.8
Promedio 07 días			189.1
PA-04		14	233.4
PA-05	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 2\%$	14	226.9
PA-06		14	240.1
Promedio 14 días			233.5
PA-07		28	226.8
PA-08	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 2\%$	28	248.7
PA-09		28	242.5
Promedio 28 días			239.3

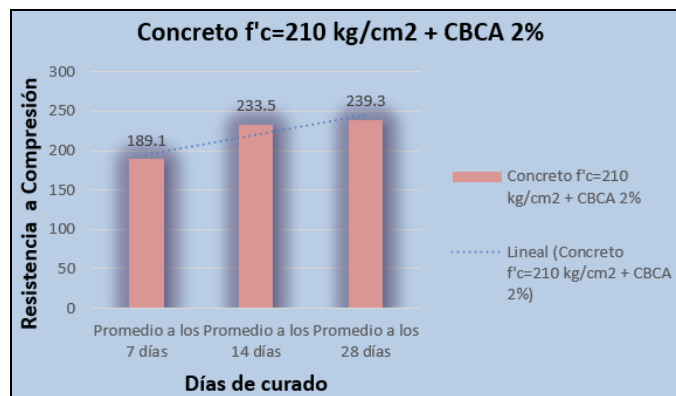


Fig. 6 Resistencia a la compresión del concreto patrón más 2% de CBCA

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto con adición del 2% de CBCA, se pudo observar que a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 189.1 kg/cm², a los 14 días de curado desarrolló una resistencia de 233.5 kg/cm² y a los 28 días de curado desarrolló la resistencia requerida de 239.3 kg/cm². Asimismo, se pudo observar que a los 14 días de curado desarrolló la resistencia requerida de diseño.

De acuerdo al tercer objetivo específico: “Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 4% de ceniza de polímero natural (CBCA)”, de acuerdo a la norma ASTM C39-18.

TABLA VI
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
 CONCRETO PATRÓN CON 4% DE CBCA

Nº	Descripción	Edad (Días)	Resistencia (Kg/cm ²)
PB-01		07	187.8
PB-02	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 4\%$	07	191.7
PB-03		07	192.2
Promedio 07 días			190.6
PB-04		14	237.8
PB-05	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 4\%$	14	239.2
PB-06		14	241.5
Promedio 14 días			239.5
PB-07		28	249.2
PB-08	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + \text{CBCA } 4\%$	28	246.9
PB-09		28	241.7
Promedio 28 días			245.9

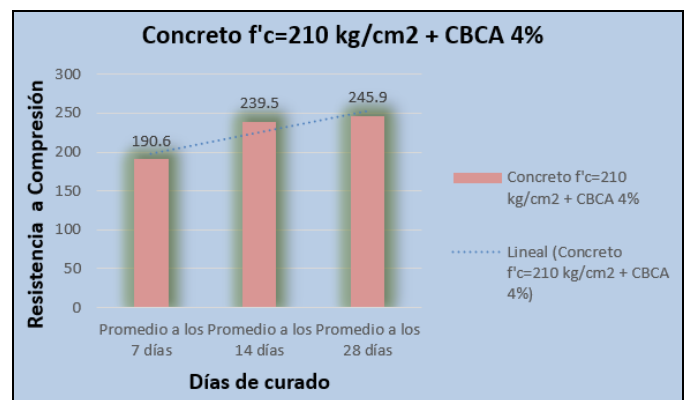


Fig. 7 Resistencia a la compresión del concreto patrón más 4% de CBCA

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto con adición del 4% de CBCA, se pudo observar que a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 190.6 kg/cm², a los 14 días de curado desarrolló una resistencia de 239.5 kg/cm² y a los 28 días de curado desarrolló la resistencia requerida de 245.9 kg/cm². Asimismo, se pudo observar que a los 14 días de curado desarrolló la resistencia requerida de diseño.

Por último, se tienen los resultados del cuarto objetivo específico: “Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 7% de ceniza de polímero natural (CBCA)”, de acuerdo a la norma ASTM C39-18.

TABLA VII
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO PATRÓN CON 7% DE CBCA

Nº	Descripción	Edad (Días)	Resistencia (Kg/cm ²)
PC-01		07	204.5
PC-02	f'c=210 kg/cm ² + CBCA 7%	07	208.2
PC-03		07	203.1
Promedio 07 días			205.3
PC-04		14	243.2
PC-05	f'c=210 kg/cm ² + CBCA 7%	14	264.2
PC-06		14	267.1
Promedio 14 días			258.1
PC-07		28	262.3
PC-08	f'c=210 kg/cm ² + CBCA 7%	28	266.6
PC-09		28	264.7
Promedio 28 días			264.5

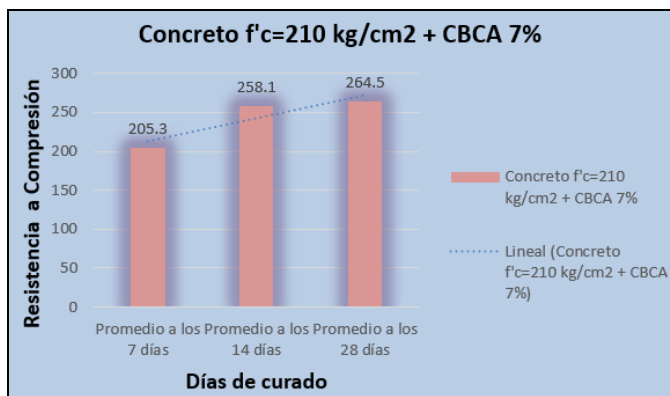


Fig. 8 Resistencia a la compresión del concreto patrón más 7% de CBCA

De los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto con adición del 7% de CBCA, se pudo observar que a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 205.3 kg/cm², a los 14 días de curado desarrolló una resistencia de 258.1 kg/cm² y a los 28 días de curado desarrolló la resistencia requerida de 264.5 kg/cm², predominando el tipo de falla 3 y 4. Asimismo, se pudo observar que a los 14 días de curado desarrolló la resistencia requerida de diseño.

A continuación, se presenta el resumen de los resultados de los especímenes ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, de lo cual se define el porcentaje de aporte total por la adición de CBCA.

TABLA VIII
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Adición CBCA	Edad (Días)	Resistencia Obtenida (kg/cm ²)	Diseño Patrón (kg/cm ²)	Aumento de Resistencia	Aporte Total
2%	7	189.1	188.3	0.11%	1.83 %
	14	233.5	223.9	4.29%	
	28	239.3	236.7	1.10%	
4%	7	190.6	188.3	1.22%	4.03%
	14	239.5	223.9	6.97%	
	28	245.9	236.7	3.89%	
7%	7	205.3	188.3	9.03%	12.02%
	14	258.1	223.9	15.27%	
	28	264.5	236.7	11.74%	

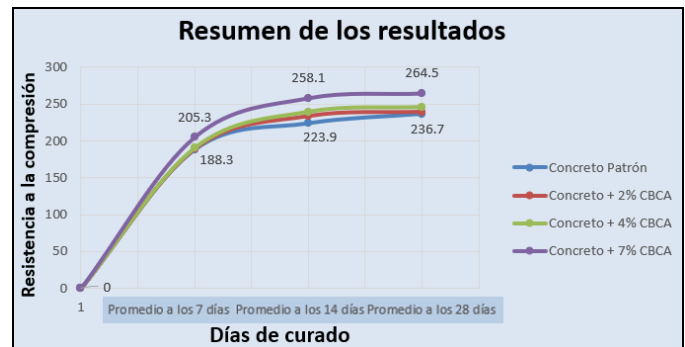


Fig. 9 Resumen de los resultados del ensayo a la Resistencia a la compresión

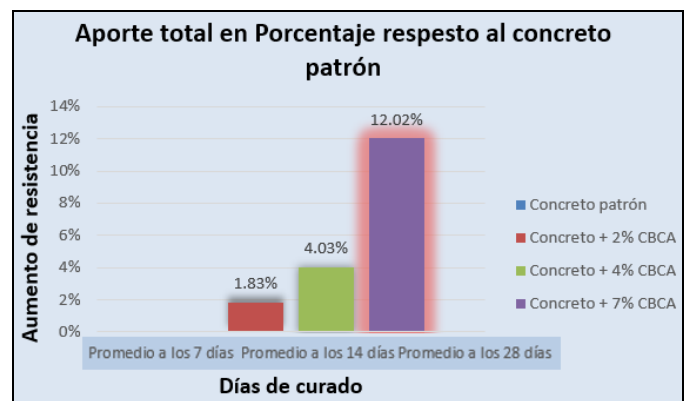


Fig. 10 Aporte total en % respecto al concreto patrón

IV. DISCUSIÓN

Podemos indicar que la presente investigación ha tenido las siguientes limitaciones:

La obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en la ciudad de Lima, debido a que no se tiene cerca

una planta procesadora de caña de azúcar, la ceniza se ha obtenido de la incineración de los residuos de caña obtenidos en el distrito de La Victoria (Mercado de frutas), para ello se acondicionó con ladrillos de arcilla que se elaboraron manualmente.

Los agregados grueso y fino, fueron obtenidos de la cantera Pampa Azul, distante a la capital Lima, ubicado en el km 40.2 de la Antigua Panamericana Sur (Paradero Explosivo ET – Lurín), distrito de Lurín, y han sido utilizados en el diseño de mezcla cuyas características físicas y mecánicas son datos determinantes.

El tiempo de curado, para someter las probetas a ensayos de compresión en el laboratorio, está de acuerdo a la norma ASTM C39-18, por ello que no se realizaron ensayos superiores a los 28 días de curado.

No se realizaron otros ensayos con respecto a las propiedades mecánicas del concreto, debido a que la presente investigación está centrada en determinar y analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 2%, 4% y 7% de CBCA. Asimismo, se debe considerar las limitaciones descritas para futuras investigaciones en cuanto al uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Además, según la investigación indicada en la referencia [5], citado en esta investigación en los antecedentes, evaluaron la adición del bagazo de caña de caña de azúcar como material fibro – esfuerzo del concreto; concluyeron que, a medida que se aumenta el porcentaje del bagazo de caña de azúcar, la resistencia tiende a disminuir en el tiempo, obteniendo el resultado más óptimo con una adición del 0.5%, ya que en este porcentaje se muestra una mejora del 7.5% en la resistencia a compresión, finalmente recomiendan que en futuras investigaciones se realicen con ceniza de bagazo de caña de azúcar y cemento portland tipo I.

Adicionalmente, en la investigación de la referencia [8] realizado en la ciudad de Cajamarca, citado y referenciado en la presente investigación, concluye que se obtuvieron resultados favorables con una sustitución del agregado fino con el 10% de CBCA, en el que se mejoró la resistencia en un 7.10% con respecto al concreto patrón. Asimismo, en la presente investigación se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el estudio mencionado.

También, en la referencia [9] realizada en la ciudad de Lima, citado y referenciado en la presente investigación, concluyó que con una sustitución del agregado fino del 15% de CBCA, se obtiene una mejora del 25.09% a los 28 días de curado respecto al concreto patrón.

Como implicancias prácticas, podemos manifestar que, durante el desarrollo de la investigación, es aportar conocimiento a cerca del uso de la CBCA en el concreto, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del

concreto, en base al uso de un residuo que se desecha al medio ambiente.

En relación a la implicancia teórica, la presente investigación proporciona información que será útil para estudios posteriores y así mejorar el conocimiento sobre la adición de CBCA en el concreto y sus propiedades.

V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de las propiedades físicas de los agregados en base a la norma ASTM C 33 / NTP 400.037 de la cantera Pampa Azul utilizados en esta investigación, se obtuvieron resultados dentro de los rangos establecidos, obteniendo para el agregado fino un módulo de fineza de 2.4, peso específico de masa de 2661 kg/m^3 , contenido de humedad de 2.41%, absorción 0.89%. Asimismo, para el agregado grueso se obtuvo un TMN de $1/2''$, peso específico de masa de 2682 kg/m^3 , contenido de humedad de 0.29%, contenido de absorción de 0.49% y peso específico seco compactado de 1628 kg/m^3 .

Seguidamente, se presentan las siguientes conclusiones:

En concordancia con el primer objetivo específico, de los resultados obtenidos del ensayo a compresión del concreto patrón, se determinó que a los 7 días desarrolló una resistencia promedio de 188.3 kg/cm^2 , a los 14 días desarrolló una resistencia de 223.9 kg/cm^2 y a los 28 días de curado desarrolló una resistencia requerida de 236.7 kg/cm^2 .

Respecto al segundo objetivo específico, resultados obtenidos del ensayo de compresión del concreto con adición de CBCA al 2%, se pudo observar que la resistencia aumenta de acuerdo a los días de curado con respecto al concreto patrón, a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 189.1 kg/cm^2 , a los 14 días desarrolló una resistencia de 233.5 kg/cm^2 y a los 28 días desarrolló una resistencia de 239.3 kg/cm^2 .

También, en relación al tercer objetivo específico, con los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto con adición de CBCA al 4%, la resistencia aumenta considerablemente, a los 7 días desarrolló una resistencia promedio de 190.6 kg/cm^2 , a los 14 días desarrolló una resistencia de 239.5 kg/cm^2 y a los 28 días desarrolló una resistencia de 245.9 kg/cm^2 .

Asimismo, acuerdo al cuarto objetivo específico, de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de concreto con adición de CBCA al 7%, se obtuvo resultados muy favorables, a los 7 días desarrolló una resistencia promedio de 205.3 kg/cm^2 , a los 14 días desarrolló una resistencia de 258.1 kg/cm^2 y a los 28 días desarrolló una resistencia de 264.5 kg/cm^2 .

De la comparación de los resultados obtenidos con la adición de 2%, 4% y 7% de CBCA, se concluye que, con una adición del 2% se tiene un aporte del 1.83%, con una adición del 4% se tiene un aporte del 4.03%, con una adición del 7% se tiene un aporte del 12.02%, obteniendo la máxima resistencia a la

compresión con una adición de 7% a los 28 días de curado, todos los resultados referidos a la probeta patrón.

Del presente trabajo de investigación se puede concluir que, los especímenes ensayados con adición 2%, 4% y 7% de CBCA, se obtuvo mejores resultados con el 7% de CBCA a los 28 días de curado, afirmando así la hipótesis planteada.

Por otra parte, la presente investigación contribuirá los datos y resultados obtenidos en los ensayos de las probetas cilíndricas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia con adición de CBCA, ya que se quiere dar un valor agregado a un residuo que generalmente no tiene otros usos en la industria.

Se recomienda que, durante el proceso de elaboración de los especímenes de concreto, se debe dar un buen acabado en la superficie (enrasado liso), ya que podrían generarse errores al momento de realizar el ensayo a compresión, debido a que el equipo (prensa hidráulica) no pueda tomar uniformemente toda la sección de área del espécimen, generando un dato erróneo o desfasado.

Además, para futuras investigaciones del uso de CBCA en el concreto, se recomienda realizar ensayos de compresión mayores a los 28 días de curado.

VI. REFERENCIAS

- [1] 1) Abanto, L., & Olivera, Y. N. (2021). Análisis comparativo del uso de aditivos químicos, orgánicos e inorgánicos para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cajamarca 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/31295>
- [2] 2) Souza, E. (2023). De los residuos agrícolas a las estructuras sostenibles: "Alternativas al hormigón fabricadas con caña de azúcar" [From Agro-Waste to Sustainable Structures: Concrete Alternatives Made from Sugarcane]. Residuos agrícolas. Obtenido de <https://www.archdaily.pe/pe/1001508/ISSN 0719-8914>
- [3] 3) Gonzáles, E. (2016). Mezcla del concreto hidráulico con ceniza de bagazo de caña como sustituto del cemento: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y la durabilidad [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Institucional de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7564
- [4] 4) Espinoza, L., & Zuniga, Z. (2022). Influencia de las condiciones de activación sobre la resistencia a la compresión, microestructura y productos de reacción de cementos de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Nicaragua: Nexo, Revista Científica. Obtenido de <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i02.14624>
- [5] 5) Hernández, A. F., & Rodríguez, Á. M. (2021). Evaluación de los efectos de la incorporación del bagazo de caña de azúcar sobre las propiedades físico - mecánicas del concreto hidráulico [Tesis de Pregrado]. Colombia: Universidad de Cartagena. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.57799/11227/7616>
- [6] 6) Guerrero, S. (2020). Ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto. Exploración preliminar del potencial de uso de la ceniza del valle del Chira [Tesis de Grado]. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/4609>
- [7] 7) Chávez, C. (2017). Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico [Tesis de Grado]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1048>
- [8] 8) Araujo, J. P. (2019). Resistencia a la compresión del concreto, adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en reemplazo del agregado fino [Tesis de grado]. Cajamarca: repositorio institucional UPN. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/21768>
- [9] 9) Apaza, D. (2018). Durabilidad del concreto elaborado en base a la ceniza del Bagazo de Caña de Azúcar (Cbca) con cemento Portland, ante agentes agresivos [Tesis de Grado]. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2157>
- [10] 10) Trezza, M., & Crozes, A. (2012). Cenizas de carbón sedimentadas: su efecto puzolánico en clinker portland. Facultad de Ingeniería, UNCPBA. av. del Valle 5737 (7400) Olavarría. Buenos Aires, Argentina: Revista Materia.
- [11] 11) Galarza, C. R. (2020). Los alcances de una investigación. Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>
- [12] 12) Pilco, J. (2022). Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra en investigación. Lima, Perú: Repocitorio.consitec.gob.pe.
- [13] ACI 211.1. (2002). Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- [14] ASTM C 136. (2014). Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso. Estados Unidos.
- [15] ASTM C 150. (2013). Especificación Normalizada para Cemento Portland. Estados Unidos.
- [16] ASTM C 192. (2003). Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio. Estados Unidos.
- [17] ASTM C 33. (2003). Especificación Normalizada de Agregados para Concreto. Estados Unidos.
- [18] Jaimes, D., García, J., & Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. Universidad Francisco De Paula Santande (Revista de Formación Estratégica). Obtenido de <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18/14>
- [19] NTP 339.034. (2008). Método de Ensayo Normalizado para La Determinación de La Resistencia A La Compresión Del Concreto en Muestras Cilíndricas. Perú.
- [20] NTP 339.034. (2008). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Perú.
- [21] NTP 400.012. (2001). Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Perú.
- [22] UNACEM. (2023). Ficha técnica del Cemento Sol Tipo I, Cemento Portland de uso general. Perú: www.unacem.pe.