



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO,  
ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE  
AZÚCAR, EN REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Johnatan Paul Araujo Bautista

Asesor:

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

A mi asesora la Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento por el gran apoyo y dedicación para el desarrollo de la presente tesis, así también, a todos los profesionales, director de carrera, docentes y compañeros de la escuela académico profesional de Ingeniería Civil – UPN Cajamarca, que de alguna manera u otra aportaron con su conocimiento y experiencia brindándome su apoyo en mi formación académica para ser un profesional de bien y así poder cumplir esta meta.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente a mis padres los cuales fueron un ejemplo de tenacidad, esfuerzo y superación, además de brindarme su apoyo , amor, cariño y comprensión, y a mi hermano por acompañarme siempre en los buenos y malos momentos, ayudándome siempre a lograr mis objetivos y metas planteadas

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema .....	21
1.3. Objetivos .....	21
1.4. Hipótesis.....	21
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
2.1. Tipo de investigación .....	22
2.2. Población y muestra .....	22
2.3. Materiales, instrumentos y métodos.....	23
2.3.1. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012 / ASTM C-136). .....	24
2.3.2. Contenido de humedad (NTP 339.185 / ASTM C-566) .....	27
2.3.3. Peso unitario y vacío de los agregados (NTP 400.017 / ASTM C-29).....	28
2.3.4. Peso específico y absorción de agregado grueso (NTP 400.021 / ASTM C-127)...	31
2.3.5. Peso específico del agregado fino (NTP 400.022 / ASTM C-128).....	33
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	34
2.5. Procedimiento para recolectar agregados.....	34
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Compuestos del cemento portland.....	15
Tabla N° 02: Composición química de cenizas de bagazo de caña de azúcar .....	21
Tabla N° 03: Propiedades químicas de las fracciones del bagazo .....	22
Tabla N° 04: Descripción de tipo y número de probetas .....	24
Tabla N° 05: Peso mínimo de la muestra de ensayo .....	27
Tabla N° 06: Peso mínimo de la muestra de ensayo .....	33
Tabla N° 07: Resumen de propiedades del agregado (TMN = 1'') .....	40
Tabla N° 08: Resumen de propiedades del agregado (TMN = 3/4'') .....	40
Tabla N° 09: Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (probetas patrón) .....	41
Tabla N° 10: Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (10% CBCA) .....	44
Tabla N° 11: Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (15% CBCA) .....	47
Tabla N° 12: Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (20% CBCA) .....	50
Tabla N° 13: Comparación de resistencia a la compresión a los 7 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA) .....	53
Tabla N° 14: Comparación de resistencia a la compresión a los 14 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA) .....	54
Tabla N° 15: Comparación de resistencia a la compresión a los 28 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA) .....	55
Tabla N° 16: Comparación de resistencia a la compresión según el tiempo de curado.....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 01: Clasificación de las puzolanas (Álvarez Blanco, 2005) .....	18
Gráfica N° 02: Resistencia a la compresión de probetas patrón .....	41
Gráfica N° 03: Curva esfuerzo – deformación de probetas patrón a los 7 días .....	42
Gráfica N° 04: Curva esfuerzo – deformación de probetas patrón a los 14 días .....	42
Gráfica N° 05: Curva esfuerzo – deformación de probetas patrón a los 28 días .....	43
Gráfica N° 06: Resistencia a la compresión de probetas con adición de 10% CBCA.....	44
Gráfica N° 07: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 10% CBCA a los 7 días .....	45
Gráfica N° 08: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 10% CBCA a los 14 días .....	45
Gráfica N° 09: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 10% CBCA a los 28 días .....	46
Gráfica N° 10: Resistencia a la compresión de probetas con adición de 15% CBCA.....	47
Gráfica N° 11: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 15% CBCA a los 7 días .....	48
Gráfica N° 12: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 15% CBCA a los 14 días .....	48
Gráfica N° 13: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 15% CBCA a los 28 días .....	49
Gráfica N° 14: Resistencia a la compresión de probetas con adición de 20% CBCA.....	50
Gráfica N° 15: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 20% CBCA a los 7 días .....	51
Gráfica N° 16: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 20% CBCA a los 14 días .....	51
Gráfica N° 17: Curva esfuerzo – deformación de probetas con adición de 20% CBCA a los 28 días .....	52
Gráfica N° 18: Comparación de resistencias a la compresión a los 7 días .....	53
Gráfica N° 19: Comparación de resistencias a la compresión a los 14 días .....	54
Gráfica N° 20: Comparación de resistencias a la compresión a los 28 días .....	55
Gráfica N° 21: Comparación de resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días .....	56

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 01: Contenido de humedad .....	30
Ecuación N° 02: Peso unitario suelto o compactado .....	32
Ecuación N° 03: Peso específico .....	36

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de detallar la comparación de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ; usando agregados de la cantera Chonta - Baños del Inca, el mismo que fue considerado como muestras patrón y concreto con adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (en adelante CBCA), en diferentes porcentajes (10%, 15% y 20%). Las propiedades que presentan las puzolanas y su alto contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), compuestos químicos que brindan mayor resistencia al concreto, fueron las razones para elaborar la presente tesis. Para lo cual se determinó la caracterización de los agregados de acuerdo a las especificaciones de la NTP 400.037/ASTM C33, realizando luego el diseño de mezclas empleando el método ACI 211, para finalmente elaborar las 72 probetas de acuerdo a la NTP 339.034/ASTM C39 siendo todas estas sometidas a la prueba de compresión hidráulica. Se realizaron los ensayos a los 7, 14 y 28 días, correspondiendo la máxima resistencia promedio, a la adición del 10% (a los 28 días) con  $294.74 \text{ kg/cm}^2$ , confirmando así la hipótesis, siendo viable valerse del CBCA como sustitución puzolánica, ya que aumenta la resistencia a la compresión.

**Palabras clave:** Resistencia, compresión, concreto, agregados, adición, caracterización, especificaciones, porcentajes, diseño de mezclas, probetas, puzolanas.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A nivel mundial la industria azucarera genera anualmente enormes cantidades de residuos. Entre estos se encuentra la denominada ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) que resulta de la combustión de este subproducto y cuya dispersión en el ambiente contamina el aire y afecta la salud humana. En varios estudios (3) se ha demostrado que la CBCA presenta un elevado contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), que le dan una buena actividad puzolánica como sustituto parcial del cemento portland y constituye una valiosa alternativa que representa un doble beneficio, por un lado, valoriza un desecho y por otro, contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero liberados durante la manufactura de cemento ( $0.85\text{-}1 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$  cemento). Esta es una propuesta interesante, si se considera la enorme proporción de contaminación generada por la industria cementera, que según datos del International Cement Review, su producción mundial para el 2010 alcanzó los 3.3 mil millones de toneladas (Intercement, 2010). (Vidal, 2014)

Gonzales (2011), en la ciudad de Veracruz - Colombia, realizó un estudio sobre el empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración de concreto hidráulico. Se elaboraron probetas de concreto reemplazando 5% y 10% de agregado fino sustituyéndolo con CBCA, obteniendo resultados a los 7, 14, 21, 28 y 60 días. Con respecto a los ensayos de resistencia mecánica, se encontró que la sustitución parcial de CBCA por agregado fino, no fue benéfica, ya que los concretos con el 5 y 10% de CBCA alcanzaron resistencias menores con respecto a un concreto convencional. Sin embargo, el concreto con un 5% de CBCA a los 60 días desarrolló una resistencia mayor a la de

diseño ( $335 \text{ kg/cm}^2$ ). Se concluye que es factible, de acuerdo a lo analizado, utilizar hasta 15% de CBCA en reemplazo del agregado fino, ya que ayuda en la resistencia a la compresión del concreto, además de que hace que la pasta de concreto sea más homogénea y ayuda a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de CBCA en el medio ambiente.

Rivas (2007), en la ciudad de Nicaragua, estudió la valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland, mediante estudios de caracterización avanzada y propiedades mecánicas, en pastas endurecidas de CP sustituidas en 15 y 45 % por CBCA. Se obtuvo que todas las muestras tanto las adicionadas con CBCA y la de control incrementan sus resistencias a la compresión con el tiempo de hidratación. Las resistencias más altas reportadas fueron de 29.56 y 29.64 MPa para las pastas control y con 15% CBCA respectivamente, a edad de 28 días. Por el contrario, el comportamiento de la ganancia de resistencia reportadas para la pasta con 45% CBCA fue muy pobre a todas las edades. En consecuencia a esto, en esta investigación se consideró 15% CBCA como una proporción óptima de reemplazo parcial al cemento Portland, siempre y cuando el curado se realice a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 28 días. Se concluye que es factible la utilización del CBCA, el cual actúa como una puzolana que puede sustituir al CP hasta en un 15% en peso como reemplazo óptimo, según las condiciones establecidas en esta investigación. Mayores porcentajes de sustitución producen detrimentos de las propiedades mecánicas.

Ruiz (2015), en la ciudad de Cajamarca - Perú, realizó un estudio sobre la resistencia a compresión del mortero cemento - arena incorporando ceniza de cáscara de arroz, afrecho de cebada y bagazo de caña de azúcar. Se elaboraron probetas de concreto,

comparando la resistencia a compresión incorporando ceniza de cáscara de arroz, afrecho de cebada y bagazo de caña de azúcar en valores de 0.5%, 1% y 1.5% con respecto al peso del cemento, realizando el ensayo a compresión correspondiente para edades de curado de 3, 7 y 14 días. Los resultados han variado notoriamente, cabe decir que se ha logrado incrementar la resistencia con respecto al mortero cemento – arena sin la incorporación de ningún tipo de aditivo en los siguientes porcentajes, con ceniza de cáscara de arroz, incremento la resistencia incorporando 0.5%, para el caso de ceniza de afrecho de cebada, con 0.5% de incorporación y para el caso de ceniza de bagazo de caña de azúcar con 1% de incorporación, pero entre los tres porcentajes máximos mencionados la resistencia máxima total se ha logrado con la incorporación de 1% de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Se concluye que es factible la utilización del CBCA, respecto a los otros materiales, que son la ceniza de cáscara de arroz y ceniza de afrecho de cebada.

Jiménez (2016), en la ciudad de Cajamarca - Perú, realizó estudios acerca de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Se elaboró y curó probetas patrón y con adición en los porcentajes de 8%, 10% y 12% (N.T.P. 339.183/ASTM C192M); analizando al concreto en estado endurecido (N.T.P. 339.034/ASTM C39), mediante ensayos a los 7, 14 y 28 días. Se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión al adicionar 8% de ceniza de bagazo de caña de azúcar de  $245.18 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, a este porcentaje de adición corresponde un incremento de la resistencia a compresión del 16.94% con respecto a la probeta patrón; al adicionar 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar alcanzó una resistencia de  $245.31 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, a este porcentaje de adición corresponde un incremento de la resistencia a compresión del 17.00% con respecto a la probeta patrón y con la adición de 12% de ceniza de bagazo de caña de

azúcar alcanzó una resistencia de  $242.43 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días, a este porcentaje de adición corresponde un incremento de la resistencia a compresión del 15.63% con respecto a la probeta patrón. Los resultados obtenidos nos indican que los concretos adicionados con ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana artificial registran resistencias mayores a las del concreto convencional, evidenciándose el rango más adecuado entre 8% y 10%.

Es por las razones citadas que se utilizó la CBCA como adición puzolánica en reemplazo del agregado fino, generándose una alternativa para el uso de este residuo agrícola, consiguiendo un aumento significativo en la resistencia del concreto, a continuación, se fundamentan los términos básicos:

**Cemento:** Según la Norma Técnica Peruana NTP 339.047 el cemento es, una mezcla de calizas y arcillas pulverizadas a grandes temperaturas, con adición de yeso que, al entrar en contacto con el agua, desarrolla la capacidad de unir fragmentos de grava y arena, para formar un sólido único o piedra artificial, conocida con el nombre de concreto hidráulico.

**Propiedades químicas del cemento:** Según la empresa productora de cemento CEMEX (2001) en su artículo elaboración del cemento comenta que, el Clinker portland es un mineral artificial formado por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio, por lo cual se suelen considerar cuatro componentes principales del cemento que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla N° 01

*Compuestos del cemento portland*

<b>Nombre del compuesto</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Abreviatura</b>
Silicato Tricálcico	$3CaOSiO_2$	$C_3S$
Silicato Dicálcico	$2CaOSiO_2$	$C_2S$
Aluminio Tricálcico	$3CaOAl_2O_3$	$C_3A$
Ferroaluminato Tetracálcico	$4CaOFe_2O_3Al_2O_3$	$C_4AF$

*Fuente: CEMEX (2001).*

Estos compuestos son llamados potenciales, y no se presentan aislados, sino que más bien puede hablarse de “fases”, donde las más importantes son:

Alita (a base de  $C_3S$ , Silicato tricálcico), lo que menciona el instituto CEMEX, 2001 es que; es la fase principal en la mayoría de los clinkers portland y de ella depende en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica; el  $C_3S$  endurece más rápidamente por tanto tiene mayor influencia en el tiempo del fraguado y resistencia inicial; mientras que Mingarro, 1985 expone que; el silicato tricálcico es un silicato cálcico hidratado existente en los clinkers de los cementos portland de un 40% a 60%. Se caracteriza por una elevada velocidad de hidratación (fraguado), así como una elevada capacidad exotérmica.

Belita (a base de  $C_2S$ , silicato dicálcico), que según el instituto CEMEX, 2001; es usualmente la segunda fase en importancia en el Clinker y su componente principal, el  $C_2S$  se hidrata más lentamente y su contribución al desarrollo de la resistencia empieza a sentirse después de una semana; por otro lado, Mingarro en 1985 manifiesta que; el silicato dicálcico es un silicato cálcico hidratado que resulta ser un ingrediente

típico en los clinkers de los cementos portland. Se caracteriza por una velocidad de hidratación (fraguado) más lenta a comparación con el silicato tricálcico.

En otras palabras, “Alita” es el compuesto químico que hace que cemento empiece su proceso de fraguado en contacto con el agua. Mientras que “Belita” es el compuesto químico que hace que el cemento siga fraguando con forme transcurran los días de haber sido elaborado.

**Agregados:** Llamados también áridos, los cuales constituyen entre el 70% al 75% del volumen total de cualquier mezcla típica de concreto: Se definen como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.012 o la norma ASTM C 33.

**A. Agregado Fino:** Se define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8”) y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200); además de cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33.

**B. Agregado Grueso:** Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) y cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33. El agregado grueso podrá consistir de grava o piedra partida de origen natural o artificial. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

**C. Arena:** La norma NTP 400.012 o la norma ASTM C 33, define a la arena como el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas. También se define la arena como el conjunto de partículas o granos de rocas, reducidas por

fenómenos mecánicos, naturales acumulados por los ríos y corrientes acuíferas en estratos aluviales y médanos o que se forman en in-situ por descomposición; o el conjunto de piedras producidas por acción mecánica artificial, las primeras son las arenas naturales; y las segundas, las arenas artificiales.

**Puzolanas:** Todos los materiales inorgánicos, tanto naturales como artificiales, idóneas de mezclarse directamente con cal o la procedente de la hidratación del cemento, en presencia de agua y temperatura ambiente, en la integración de compuestos parecidos a los originados en la hidratación de los elementos principales del cemento Portland (Soriano, 2007).

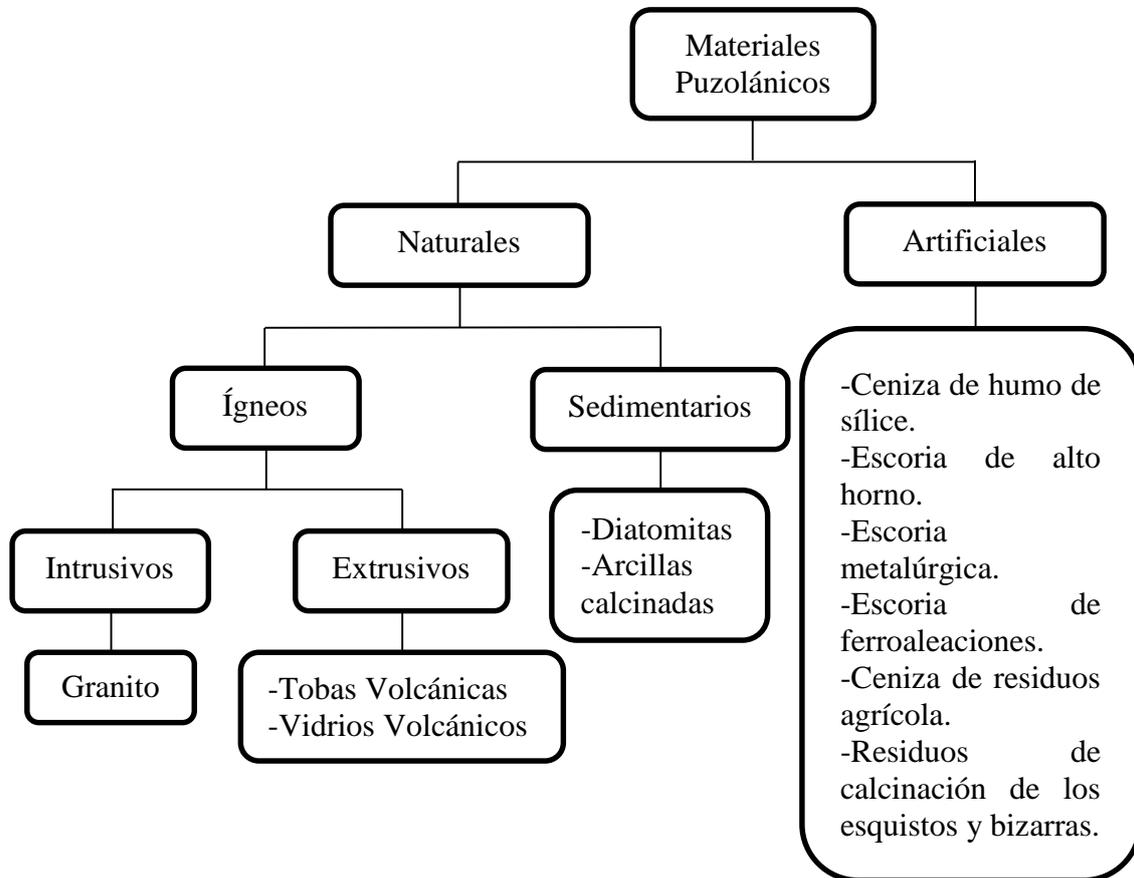
Son materiales silíceos o aluminio-silíceos con los cuales se elaboraba antiguamente el cemento, desde la época romana hasta la creación del cemento Portland en el siglo XIX, hoy en día el cemento puzolánico se considera un eco material (Chipana, 2014).

Los griegos, 400 A.C., fueron los primeros que emplearon puzolanas en morteros de cal, luego los romanos no únicamente utilizaron pedazos de cerámica, ladrillos y tejas trituradas para constituir las iniciales puzolanas artificiales, sino además descubrieron que algunas superficies volcánicas combinados con cal eran buenos para originar morteros hidráulicos (fragua y endurece dentro del agua, siendo altamente duradero que un mortero corriente de cal) (Juárez, 2012).

**a) Tipo de puzolanas.**

Gráfico N° 01

*Clasificación de las puzolanas.*



*Fuente: Álvarez Blanco, 2005.*

**b) Propiedades de las puzolanas**

La reactividad de las puzolanas consiste por definición en su capacidad de combinación con el hidróxido cálcico y eventualmente con los constituyentes hidratados del cemento; las causas de la actividad de las puzolanas parece que tienen que ver con su constitución (óxidos: alúmina ( $Al_2O_3$ ), dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) y óxido Férrico ( $Fe_2O_3$ ) sea superiores al 70%) y estructura interna (una estructura amorfa) y que la actividad será tanto mayor, cuanto más vítrea o amorfa y menos cristalina sea ésta; la estructura vítrea - amorfa suele ser típica de las

puzolanas a causa del enfriamiento súbito del magma de las lavas volcánicas; la meteorización posterior puede alterar la red cristalina que se pudo formar (Sánchez de Guzmán , 2001).

En el tema de las puzolanas derivadas de los desechos de la agricultura (ceniza de caña de azúcar y el arroz), el modo más factible de mejorar sus características es efectuar una quema controlada en hornos rústicos, en donde se controlan el tiempo de resistencia del material y la temperatura de combustión (Chipana, 2014).

Si la temperatura de quema está en el rango entre 400 - 760 °C, es seguro que la sílice se forma en fases amorfas, de mucha reactividad, para temperaturas elevadas a éstas comienzan a formarse fases cristalinas de sílice, insuficientemente reactivas a temperatura ambiente (Chipana, 2014).

### c) **Índice de actividad puzolánica**

Para determinar la actividad puzolánica de un material existen diferentes métodos tanto químicos como mecánicos, según se referencia en las normas ASTM.

- Método químico o de Frattini.
- La evaluación del Índice de Actividad Puzolánica con Cemento y con Cal, ASTM C-311.
- La norma ASTM C618 establece un índice mínimo, (Rmuestra/Rpatrón) del 75% para clasificar un material como de carácter puzolánico.
- Otros métodos mecánicos para evaluar la pusilanimidad son los de Feret y Pauli (módulo de la efectividad de la puzolana).

Para el desarrollo de la presente tesis se ha considerado un índice de actividad puzolánica mayor o igual a 75%.

**d) Ventajas de las puzolanas**

- Brinda mayor resistencia mecánica a la tracción y compresión.
- Reduce la segregación rebajando la relación a/c, evitando así la exudación y el sangrado.
- Reduce la porosidad evitando formación de eflorescencias, ayudando en la impermeabilidad.
- Mejora la adherencia de la pasta de concreto.
- Mayor durabilidad del concreto.
- A comparación de un concreto convencional, mejora el comportamiento térmico, al liberar menor calor de hidratación en la pasta del concreto y producir menor elevación de temperatura en el concreto endurecido.

En general las ventajas de las puzolanas hacen aptos a los cementos y aditivos puzolánicos, para su utilización en obras de construcción civil (Salazar, 2014).

**e) Empleos específicos de los cementos y aditivos puzolánicos**

- Trabajos de concreto en grandes masas.
- Cimentaciones y solados en todo terreno.
- Obras marítimas.
- Obras sanitarias.
- Albañilería (pega de muros y mampostería en general).
- Baldosas hidráulicas.
- Prefabricados de elementos estructurales de concreto armado o sin armar, especialmente curados por tratamientos térmicos.
- Concretos especiales premezclados.

Debido a las ventajas se ha determinado su uso para trabajos en concreto, expuestos anteriormente (Salazar, 2014).

**Ceniza del bagazo de caña de azúcar:** La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial del continente americano y europea. El azúcar se consume en todo el mundo, puesto que es una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países. Lo cual provoca que el desperdicio se genere de manera importante (bagazo de caña).

La composición de la ceniza varía según la edad de la caña y edad, tipo de suelo y cantidad de fertilizantes.

La cantidad de ceniza en el bagazo depende de la influencia de los suelos que como material extraño se haya recogido durante la cosecha y del clima, sobre el rendimiento de la caña ya que ambos factores tienen un efecto significativo sobre la producción. El contenido de ceniza de bagazo se considera moderado, en condiciones de poca lluvia son entre el 2% y el 4% del bagazo total. Un contenido superior al cinco por ciento en época de lluvia puede elevarse de manera considerable llegando a reportar valores extremos del 12 al 15% (Sandoval, 2014).

Tabla N° 02

*Composición química de cenizas de bagazo de caña de azúcar.*

<b>Composición Química de Cenizas de Bagazo de Caña de Azúcar</b>			
<b>Compuesto</b>	<b>Investigadores</b>		
	<b>Oliveira</b>	<b>Ganesan</b>	<b>Martirena</b>
SiO <sub>2</sub>	72.74	64.15	83.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.26	9.05	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.92	5.52	6.53
TiO <sub>2</sub>	0.32	-	1.16
CaO	7.99	8.14	1.18
MgO	2.78	2.28	-
SO <sub>3</sub>	0.13	0.68	0.68

K <sub>2</sub> O	3.47	1.35	6.146
Na <sub>2</sub> O	0.84	0.92	0.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.59	1.59	1.59
Perdida por ignición	0.77	4.9	4.9

Fuente: Comparación química de CBCA, 2014.

**Propiedades físicas y químicas del bagazo:** El bagazo completo está integrado por tres componentes principales:

- El recubrimiento, en el que se incluye la epidermis, la corteza y el periciclo.
- Los mazos de fibra vascular, entre los que figuran las células conductoras de pared delgada asociadas con fibras de pared relativamente delgada con estrecho lumen.
- El tejido básico (parénquima) o médula, con mazos de fibra distribuidos irregularmente.

La composición química de las diferentes fracciones del bagazo, incluyendo el bagazo entero, la fibra separada y la médula, se indican en la siguiente tabla:

Tabla N° 03

*Propiedades químicas de las fracciones del bagazo.*

	Entero	Fibra	Médula
Solubilidad en éter (%)	0.25	0.12	2.5
Solubilidad en alcohol-benceno (%)	4.1	1.8	2.8
Solubilidad en agua caliente (%)	2.5	0.9	1.9
Lignina (%)	20.2	20.8	20.2
Pentosas (%)	26.7	27.9	28.4
Hemicelulosa (%)	76.6	77.8	77.7
Alfa celulosa (%)	38.1	42.4	34.8
Ceniza (%)	1.67	0.7	2.29

Fuente: Sandoval 2014.

## 1.2. Formulación del problema

¿En cuánto varía la resistencia a la compresión del concreto adicionando 10%, 15% y 20% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, en reemplazo del agregado fino?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto, adicionando CBCA en reemplazo del agregado fino.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto, sin adición de CBCA o probetas patrón.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto, adicionando CBCA (10%) en reemplazo del agregado fino.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto, adicionando CBCA (15%) en reemplazo del agregado fino.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto, adicionando CBCA (20%) en reemplazo del agregado fino.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

La resistencia a la compresión del concreto adicionando 10%, 15% y 20% de CBCA, en reemplazo del agregado fino, varía en menos del 10%.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Es una investigación experimental, por cuanto se realizó el estudio de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con 10%, 15% y 20% de CBCA en reemplazo del agregado fino, siendo estos comparados con las probetas patrón. Esta investigación es de tipo aplicada, debido a que busca nuevos conocimientos que se adquieren en la presente investigación, para que sean utilizados para beneficio del medio ambiente y de la sociedad.

### 2.2. Población y muestra

La población es de 72 unidades de probetas de concreto. De acuerdo a la NTP 339.183 (2003) en el ítem 5.5. “El número mínimo de especímenes elaborados es de tres (03) especímenes para cada edad”, los cuales son descritos a continuación:

Tabla N° 04

*Descripción de tipo y número de probetas.*

Tipo de Probeta	7 días	14 días	28 días	Total
<b>Patrón o de diseño</b>	6	6	6	18
<b>Con adición del 10% de CBCA</b>	6	6	6	18
<b>Con adición del 15% de CBCA</b>	6	6	6	18
<b>Con adición del 20% de CBCA</b>	6	6	6	18

El motivo por el cual se usó este innovador material, es porque la CBCA contiene un alto contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), componentes principales del cemento portland que brindan mayor resistencia a la compresión del concreto, representando así un doble beneficio, por un lado, valoriza un desecho y por otro,

contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero liberados durante la manufactura del cemento (0.85-1 kg CO<sub>2</sub>/kg cemento).

### 2.3. Materiales, instrumentos y métodos

Los materiales que se utilizaron fueron:

- ✓ Agregados de la cantera Río Chonta – Baños del Inca.
- ✓ Cemento Portland tipo I.
- ✓ Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).
- ✓ Agua.

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Pala o cucharón metálico de mano.
- ✓ Tamices (ensayo de granulometría NTP 400.012).
- ✓ Horno o estufa de 110 °C ± 5 °C (ensayo de contenido de humedad NTP 339.185).
- ✓ Recipientes o taras.
- ✓ Varilla compactadora de acero cilíndrica y punta semiesférica.
- ✓ Moldes cilíndricos de metal (ensayo de resistencia a la compresión NTP 339.034).
- ✓ Cono de Abrams (ensayo de asentamiento NTP 339.184).
- ✓ Bandeja de metal (ensayo de contenido de humedad NTP 339.185).
- ✓ Wincha de 5 metros.
- ✓ Fiola de 500 ml (ensayo de peso específico agregado fino NTP 400.022).
- ✓ Bomba de vacíos.
- ✓ Cesta con malla de alambre (ensayo de peso específico agregado grueso NTP 400.021).
- ✓ Depósito para agua.

Los métodos o ensayos realizados fueron los siguientes:

### **2.3.1. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012 / ASTM C-136.).**

Este ensayo se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales. Los resultados serán utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos que exige la especificación técnica de la obra y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de agregados.

El ensayo consiste en separar a través de una serie de tamices, una muestra de agregado seco y de masa conocida. Los tamices van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de partículas.

#### **Material**

- Muestra seca a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
- La muestra se obtiene por medio de cuarteo. El agregado debe estar completamente mezclado y tener humedad suficiente para evitar segregación y pérdida de finos.
- Agregado Fino, las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener mínimo 300gr.
- Agregado Grueso, las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:

Tabla N° 05

*Peso mínimo de la muestra de ensayo.*

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas (pulgadas)	Peso mínimo de la muestra de ensayo (kg)
3/8	1
1/2	2
3/4	5
1	10
1 1/2	15
2	20
2 1/2	35
3	60
3 1/2	100
4	150
4 1/2	200
5	300
6	500

*Fuente: Protocolo de análisis granulométrico.*

- Para mezclas de agregados gruesos y finos, la muestra será separada en dos tamaños, por el tamiz N° 4 y preparada de acuerdo a lo descrito para agregados gruesos y finos respectivamente.

### **Equipo**

- Balanza con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra.
- Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material a ensayar.
- Estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Procedimiento**

- Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Luego se pesa una muestra de 2000 gr para agregado fino y para agregado grueso una muestra de 5000 gr.
- Seleccionar tamices adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar, colocar los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura.
- Efectuar la operación de tamizado manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un tiempo adecuado.
- Limitar la cantidad de material en un tamiz con el objetivo que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante el tamizado.
- Continuar el tamizado por un periodo suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual.
- Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza. La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.
- Se anotó los datos obtenidos, calculándose el porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa y así determinar el módulo de finura del agregado fino.

### **Cálculo.**

- Se calcula el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos sobre cada tamiz, aproximación al 0.1%
- Se calcula el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150  $\mu\text{m}$  (N° 100); 300  $\mu\text{m}$  (N° 50); 600  $\mu\text{m}$  (N° 30); 1.18 mm (N° 16); 2.36 mm (N° 8); 4.75 mm (N° 4); 9.5 mm (3/8"); 19.0 mm (3/4"); 37.5 mm (1 1/2 ") y mayores; incremento en la relación 2 a 1.

### **2.3.2. Contenido de humedad (NTP 339.185 / ASTM C-566)**

El contenido de humedad de un material se usa para expresar las relaciones de fase del aire, agua y sólidos en un volumen de material dado. Como es posible obtener la humedad en casi todos los tipos de muestra, se utiliza con frecuencia para completar los diagramas de fase.

En un suelo fino (cohesivo), la consistencia depende de su humedad. La humedad de un suelo, junto con sus límites líquido y plástico se usa para expresar su consistencia relativa o índices de liquidez.

### **Material**

- Muestra alterada extraída del estrato en estudio.

### **Equipo**

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperaturas.
- Recipiente o Tara.

### **Procedimiento**

- Se pesaron y codificaron cada recipiente.
- Se pesó una masa de muestra para agregado fino y grueso con precisión del 0.1%.
- Luego se colocó cada muestra en el horno por un tiempo de 24 horas.
- Se pesó las muestras secas con precisión del 0.1% después que se haya secado y enfriado para no dañar la balanza.
- Se anotó dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad de los agregados.

### **Cálculo.**

Para el cálculo de contenido de humedad se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación N° 01

*Contenido de humedad.*

$$\%H = \frac{W_w - W_s}{W_s}$$

Donde:

%H = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje.

W<sub>w</sub> = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

W<sub>s</sub> = Masa de la muestra seca en gramos.

### **2.3.3. Peso unitario y vacío de los agregados (NTP 400.017 / ASTM C-29)**

Este ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, basados en la misma determinación. Este método se utiliza para determinar el

valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.

### **Equipo**

- Balanza con aproximación a 0.05 kg y con exactitud de 0.1% del peso de la muestra.
- Varilla compactadora de acero cilíndrica y punta semiesférica.
- Moldes de medida, cilíndricos y metálicos.
- Pala o cucharón metálico de mano.

### **Procedimiento**

- **Método del Apisonado (T.M.N menor a 1 ½") – Peso Unitario Compactado**
  - ✓ El agregado debe colocarse en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo; cada una de las capas se nivela con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Al apisonar la primera, debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente, al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atravesase la respectiva capa.
  - ✓ Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determina el peso del recipiente lleno en kilogramos.
- **Método de llenado con cucharón de mano (Peso Unitario del agregado suelto)**

- ✓ Se llena el recipiente por medio de una herramienta (pala o cucharón de mano), de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm, por encima del borde hasta colmarlo, el agregado sobrante se elimina con una regla.
- ✓ Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos con una aproximación de 0.05 kg.

### **Cálculo.**

Para el cálculo del peso unitario suelto o compactado se utilizaron las siguientes fórmulas:

Ecuación N° 02

*Peso unitario suelto o compactado.*

$$V_r = \frac{\pi(\phi^2)h}{4}$$

$$PUSS = \frac{Prm - Prv}{V_r}$$

Dónde:

*Prv=Peso del recipiente vacío.*

*Prm=Peso del recipiente mas la muestra.*

*Vr=Volumen del recipiente.*

*h=Profundidad del recipiente.*

*Ø=Diámetro del recipiente.*

### 2.3.4. Peso específico y absorción de agregado grueso (NTP 400.021 / ASTM C-127)

Este ensayo se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores en el cálculo y corrección de diseños de mezclas.

#### Material

- Material retenido en la malla N° 4 y lavado para remover el polvo e impurezas superficiales.
- El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado será:

Tabla N° 06

*Peso mínimo de la muestra de ensayo.*

Tamaño máximo nominal (pulgadas)	Peso mínimo de la muestra de ensayo (kg)
1/2	2
3/4	3
1	4
1 1/2	5
2	8
2 1/2	12
3	18
3 1/2	25
4	40
4 1/2	50
5	75
6	125

*Fuente: Protocolo de análisis granulométrico.*

#### Equipo

- Balanza sensible a 0.5gr y con capacidad de 5000 gr o más.
- Cesta con malla de alambre, abertura correspondiente al tamiz N° 6
- Depósito de agua, para sumergir la cesta de alambre y un dispositivo para suspenderla del centro en la escala de la balanza.
- Tamiz N° 4, para separar agregados gruesos de finos.
- Estufa capaz de mantener una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Procedimiento**

- Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto. Sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por 24 horas.
- Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de concreto en los cuales los agregados van a ser usados en condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminado y si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes del ensayo, el remojo de 24 horas puede ser eliminado.
- Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturado superficialmente seca.

- Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Se sacudió mientras se sumergía para remover el aire atrapado.
- Secar la muestra hasta peso constante a una temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar hasta temperatura ambiente, durante 1 h a 3 h o a una temperatura adecuada para el tacto y se pesa.
- Se anotó todos los pesos con aproximación de 0.1 gr.

### **2.3.5. Peso específico del agregado fino (NTP 400.022 / ASTM C-128).**

#### **Material**

- Muestra seca menor que la malla N° 4.
- Agua.

#### **Equipo**

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Fiola de 500 ml.
- Bomba de vacíos.

#### **Procedimiento**

- Identificación de la muestra (A).
- Pesar la muestra seca (aproximadamente 80 a 100 gr) (B).
- Llenar la fiola con agua hasta la marca de 500 ml y pesar (C).
- Colocar la muestra seca ya pesada en la fiola vacía y, verter agua hasta cubrir la muestra, agitar, luego conectar a la bomba de vacíos durante 15 minutos de tal manera que las burbujas de aire sean extraídas (D).

- Retirar la fiola de la bomba de vacíos, inmediatamente agregar agua hasta la marca de 500 ml y pesar (E).
- Determinar el peso específico (F)

Ecuación N° 03

*Peso específico.*

$$Y_S = \frac{W_S(B)}{W_S(D) + W_f W(C) - W_f W_S(E)}$$

- Determinar el peso específico promedio (G).

#### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

El procesamiento de la información se efectuó de forma manual. La técnica que se utilizó para el desarrollo adecuado de la tesis con fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados fue la observación visual.

Los instrumentos de recolección de datos fueron los protocolos para el correcto procesamiento de datos.

Los análisis de los datos obtenidos en laboratorio fueron procesados en una hoja de Excel, para obtener las propiedades de los agregados, llevando a cabo el correcto diseño de mezclas, para luego realizar las gráficas de esfuerzo - deformación de las probetas de concreto ensayadas en la máquina de compresión hidráulica, realizando posteriormente un análisis comparativo de los resultados, expresados en cuadros comparativos y gráficas.

#### 2.5. Procedimiento para recolectar agregados

- ✓ La ubicación de la cantera, ubicada en Baños del Inca - Cajamarca, es obtenida mediante el programa Google Earth, la cual tiene las siguientes coordenadas:

Coordenadas geográficas:

- Latitud : 7° 9'47.31"S
- Longitud : 78°28'0.27"O

Coordenadas UTM:

- Norte : 9207548
  - Este : 779635
  - UTM : 17M
- ✓ La ubicación de la planta de azucarera, ubicada en Magdalena– Cajamarca, a una altitud de 1290 m.s.n.m, es obtenida mediante el programa Google Earth, la cual tiene las siguientes coordenadas:

Coordenadas geográficas:

- Latitud : 7°14'48.94"S
- Longitud : 78°39'32.82"O

Coordenadas UTM:

- Norte : 9198288
- Este : 758485
- UTM : 17M

Luego se describen los pasos de las actividades realizadas para desarrollar la investigación, dichos pasos son descritos a continuación:

- 1. Primer paso:** Se recolectan muestras de la cantera del río Chonta, ubicada en Baños del Inca, para determinar sus propiedades físico – mecánicas de los agregados en el laboratorio de tecnología del concreto de la Universidad Privada del Norte.

- 2. Segundo paso:** Se recolectan las muestras de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) del Distrito de Magdalena.
  
- 3. Tercer paso:** Se realizan los ensayos descritos a continuación:
  - ✓ Se determina la granulometría (análisis granulométrico) del agregado fino y grueso según la NTP 400.012 / ASTM C-136.
  - ✓ Se determina el contenido de humedad del agregado fino y grueso según la NTP 339.185 / ASTM C-566.
  - ✓ Se determinó el peso unitario del agregado fino y grueso según la NTP 400.017 / ASTM C-29.
  - ✓ Se determina el peso específico del agregado grueso según la NTP 400.021 / ASTM C-127.
  - ✓ Se determina el peso específico del agregado fino según la NTP 400.022 / ASTM C-128.
  - ✓ Se verifica que los agregados cumplan con las especificaciones normalizadas para agregados en hormigón según la NTP 400.037 / ASTM C-33.
  
- 4. Cuarto paso:** Determinadas las propiedades físico – mecánicas de los agregados, se procede a realizar el diseño de mezclas patrón de resistencia  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , usando el método del comité ACI 211.
  
- 5. Quinto paso:** La ceniza de bagazo de caña de azúcar se tamiza por la malla #200.
  
- 6. Sexto paso:** Se procede a elaborar los especímenes de concreto (18 testigos patrón, y 18 testigos por cada porcentaje de 10%, 15% y 20%). Luego se desencofraron los

testigos a las 24 horas de haber sido realizados, los cuales fueron curados en una poza a temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**7. Séptimo paso:** Los especímenes se retiran de la poza de curado, para luego ser ensayadas en la máquina de compresión axial (según norma NTP 339.034 / ASTM C39); a la edad de 7 días, 14 días y 28 días según lo establece la norma.

Se utilizaron los protocolos brindados por la UPN - Cajamarca, llevando los datos a un computador, para posteriormente realizar el trabajo en gabinete, para lo cual, los datos obtenidos en laboratorio se ordenaron y analizaron mediante hojas de cálculo y gráficos comparativos. Estos resultados fueron analizados teniendo en consideración las normas técnicas peruanas (N.T.P) de concreto y de agregados vigentes.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se presentan cuadros resumen de las propiedades de los agregados y de las resistencias a la compresión de testigos cilíndricos, obtenidos en el laboratorio de suelos y tecnología del concreto, siendo estos:

#### RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS:

Tabla N° 07

*Resumen de propiedades del agregado (TMN = 1’’).*

<b>Agregados : Características</b>	<b><u>A. FINO</u></b>	<b><u>A. GRUESO</u></b>
Peso unitario seco y suelto	1724.13 kg/m <sup>3</sup>	1357.99 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco y compactado	1823.72 kg/m <sup>3</sup>	1555.61 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico SSS	2695.42 kg/cm <sup>3</sup>	2564.32 kg/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	2.89	---
Contenido de Humedad	5.66 %	1.56 %
Absorción %	1.83%	1.93%
T.M.N	---	1’’

Tabla N° 08

*Resumen de propiedades del agregado (TMN = 3/4’’).*

<b>Agregados : Características</b>	<b><u>A. FINO</u></b>	<b><u>A. GRUESO</u></b>
Peso unitario seco y suelto	1724.13 kg/m <sup>3</sup>	1047.43 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco y compactado	1823.72 kg/m <sup>3</sup>	1450.59 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico SSS	2695.42 kg/m <sup>3</sup>	2569.99 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura	2.89	---
Contenido de Humedad	5.66 %	1.67 %
Absorción %	1.83%	1.91%
T.M.N	---	3/4’’

## RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, PROBETAS PATRÓN:

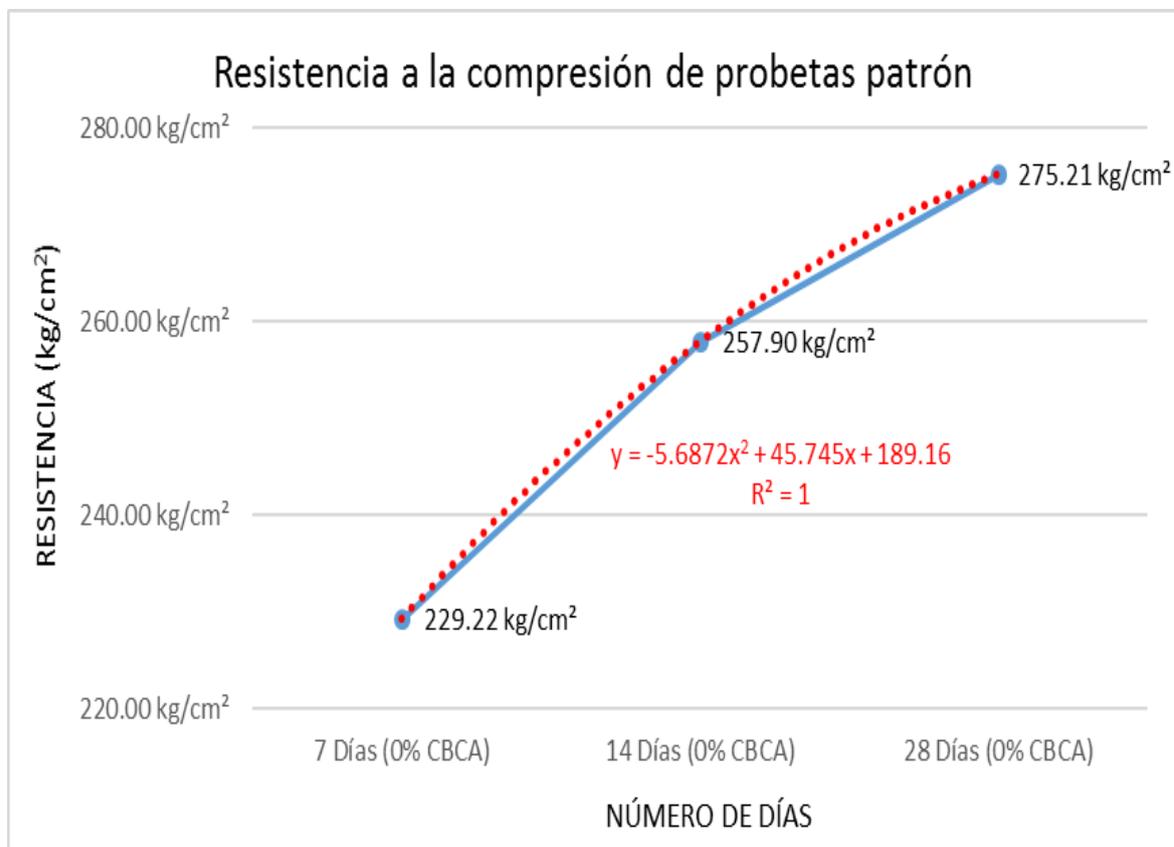
Tabla N° 09

Resumen de resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días (probetas patrón).

Días de curado	7 Días (0% CBCA)	14 Días (0% CBCA)	28 Días (0% CBCA)
<b>Esfuerzo</b>	230.88 kg/cm <sup>2</sup>	261.32 kg/cm <sup>2</sup>	273.17 kg/cm <sup>2</sup>
	227.41 kg/cm <sup>2</sup>	262.36 kg/cm <sup>2</sup>	268.69 kg/cm <sup>2</sup>
	238.45 kg/cm <sup>2</sup>	273.92 kg/cm <sup>2</sup>	272.92 kg/cm <sup>2</sup>
	228.58 kg/cm <sup>2</sup>	246.27 kg/cm <sup>2</sup>	278.74 kg/cm <sup>2</sup>
	225.19 kg/cm <sup>2</sup>	251.70 kg/cm <sup>2</sup>	272.66 kg/cm <sup>2</sup>
	224.80 kg/cm <sup>2</sup>	251.84 kg/cm <sup>2</sup>	285.09 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>229.22 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>257.90 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>275.21 kg/cm<sup>2</sup></b>

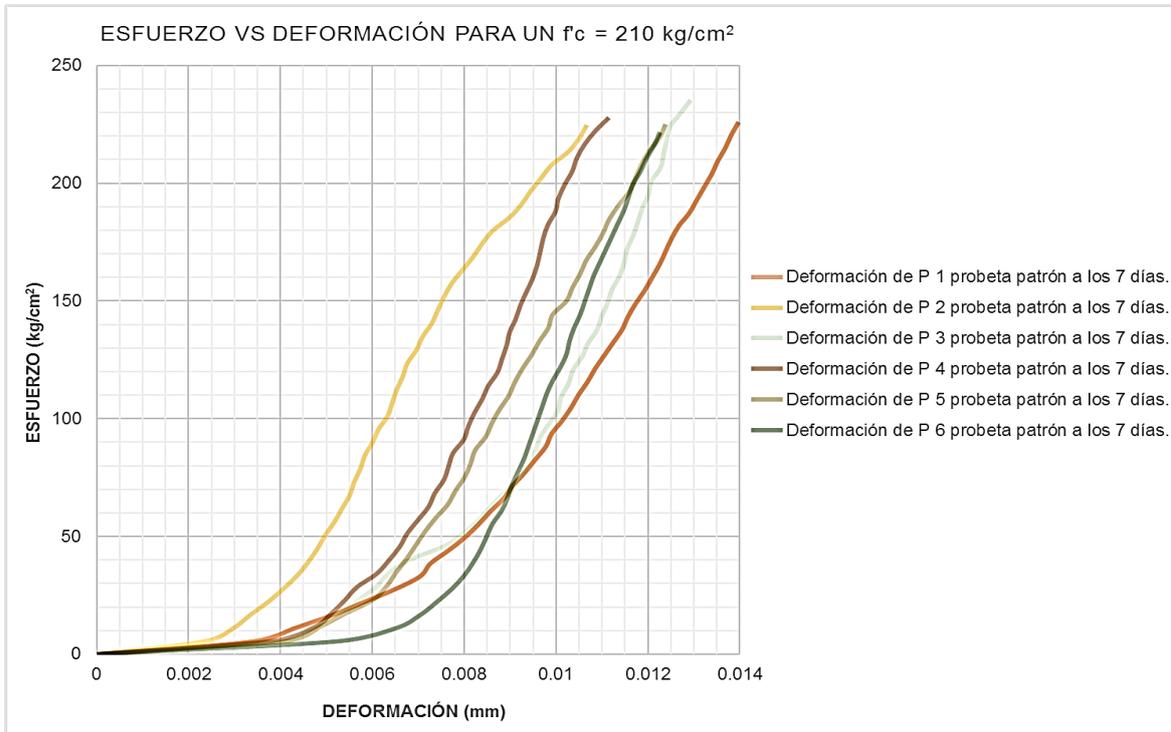
Gráfica N° 2

Resistencia a la compresión de probetas patrón.



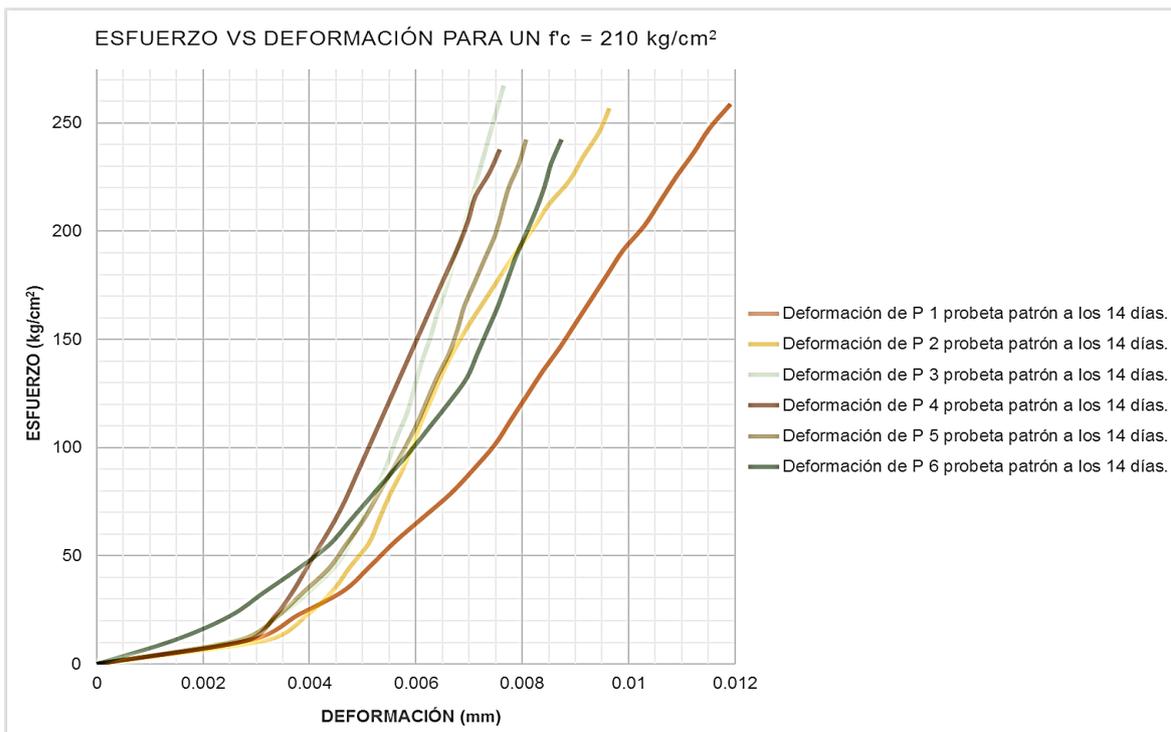
Gráfica N° 3

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas patrón a los 7 días.*



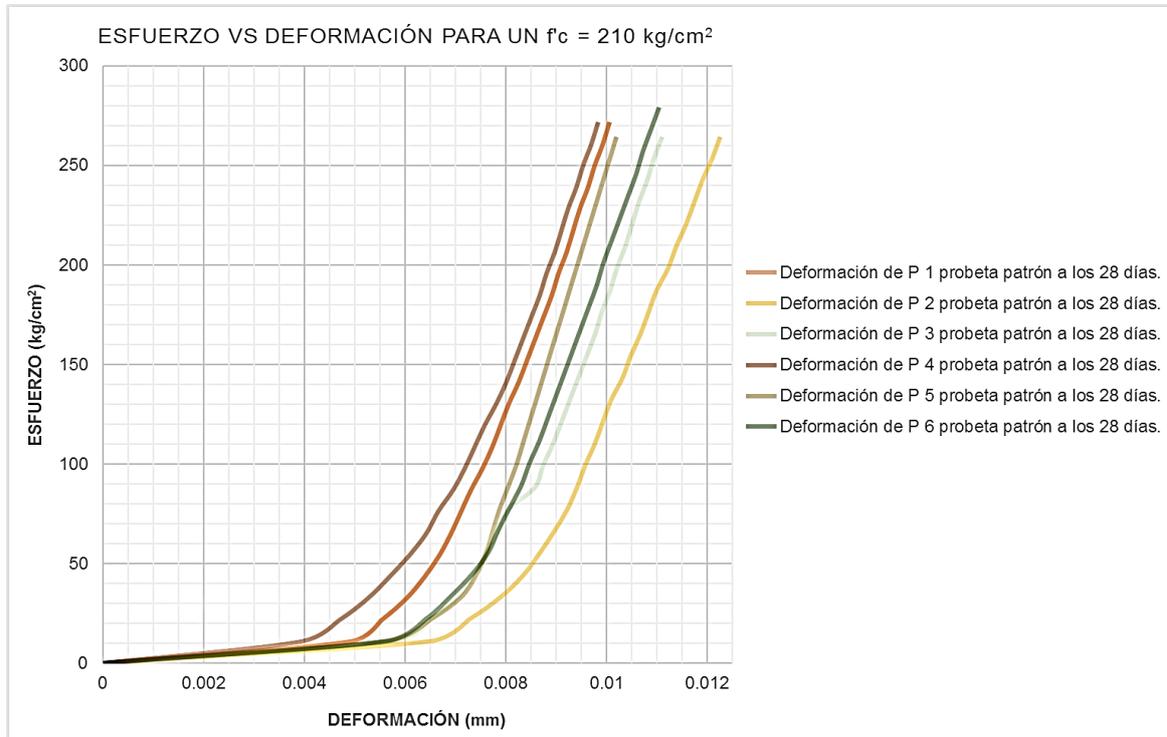
Gráfica N° 4

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas patrón a los 14 días.*



Gráfica N° 5

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas patrón a los 28 días.*



## RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 10% CBCA:

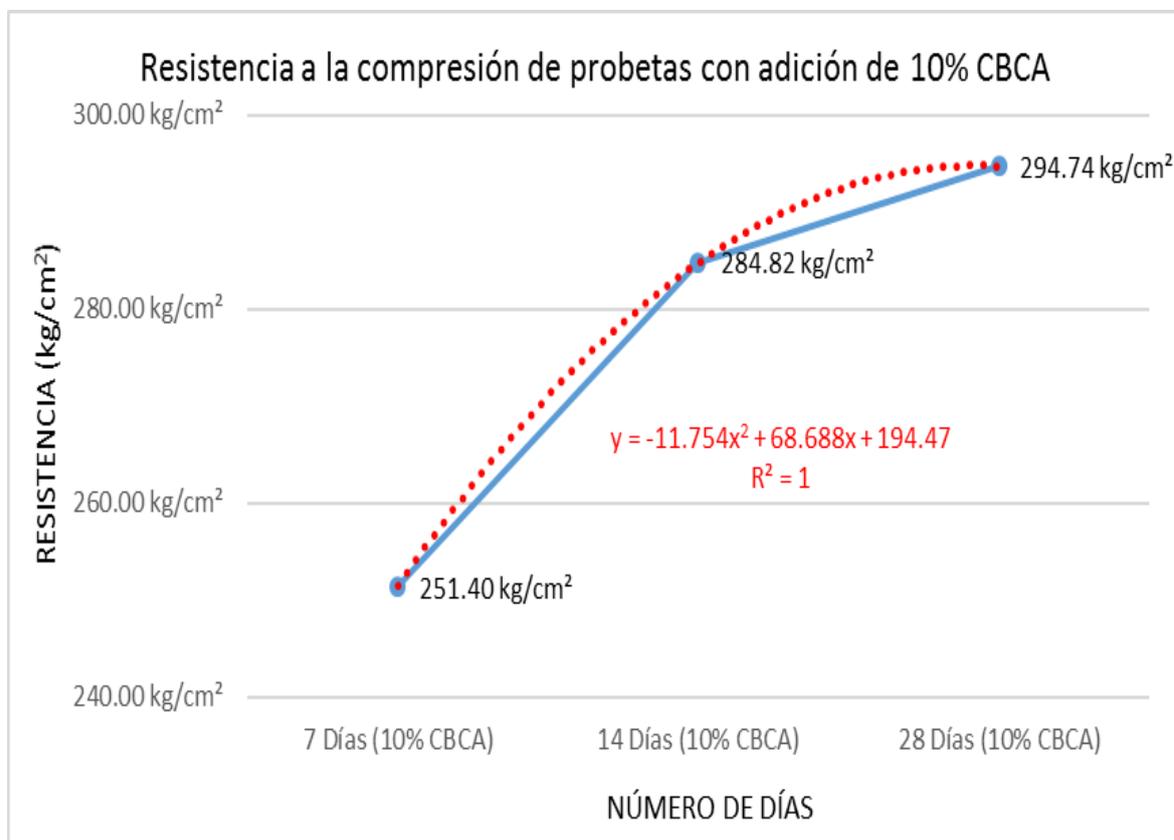
Tabla N° 10

Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (10% CBCA).

Días de curado	7 Días (10% CBCA)	14 Días (10% CBCA)	28 Días (10% CBCA)
Esfuerzo	247.71 kg/cm <sup>2</sup>	287.51 kg/cm <sup>2</sup>	293.50 kg/cm <sup>2</sup>
	256.14 kg/cm <sup>2</sup>	266.83 kg/cm <sup>2</sup>	284.27 kg/cm <sup>2</sup>
	261.26 kg/cm <sup>2</sup>	288.65 kg/cm <sup>2</sup>	291.79 kg/cm <sup>2</sup>
	254.64 kg/cm <sup>2</sup>	278.49 kg/cm <sup>2</sup>	304.63 kg/cm <sup>2</sup>
	249.83 kg/cm <sup>2</sup>	290.02 kg/cm <sup>2</sup>	305.02 kg/cm <sup>2</sup>
	238.81 kg/cm <sup>2</sup>	297.44 kg/cm <sup>2</sup>	289.23 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>251.40 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>284.82 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>294.74 kg/cm<sup>2</sup></b>

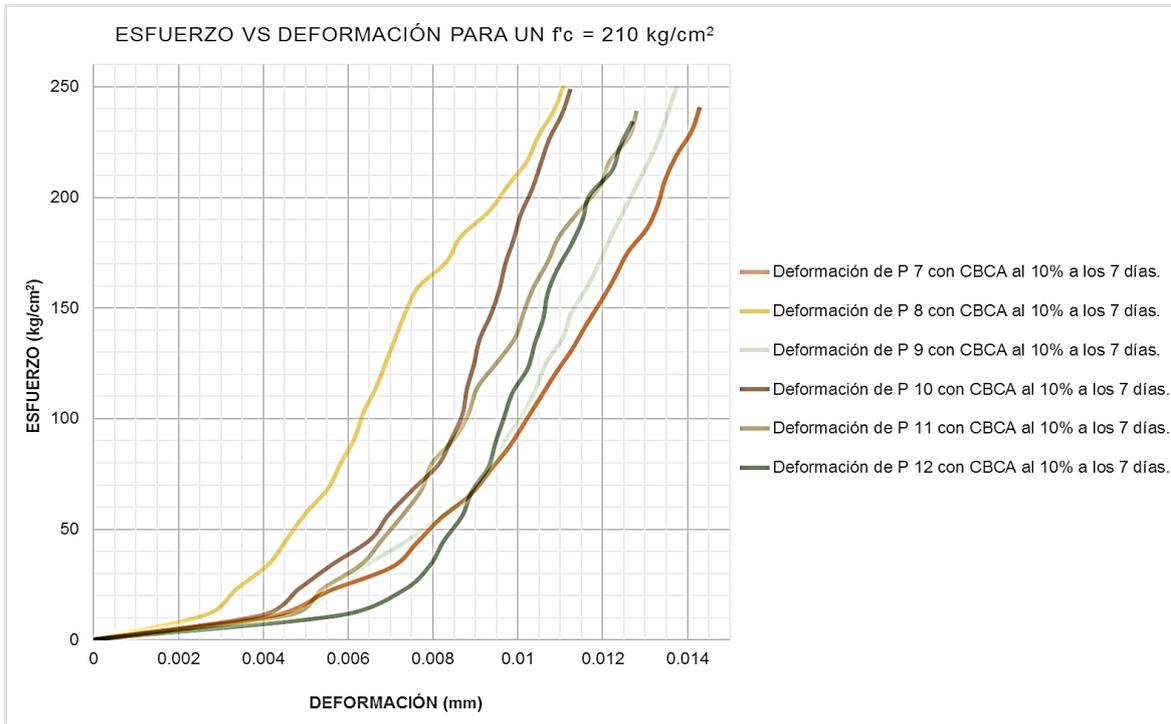
Gráfica N° 6

Resistencia a la compresión de probetas con adición de 10% CBCA.



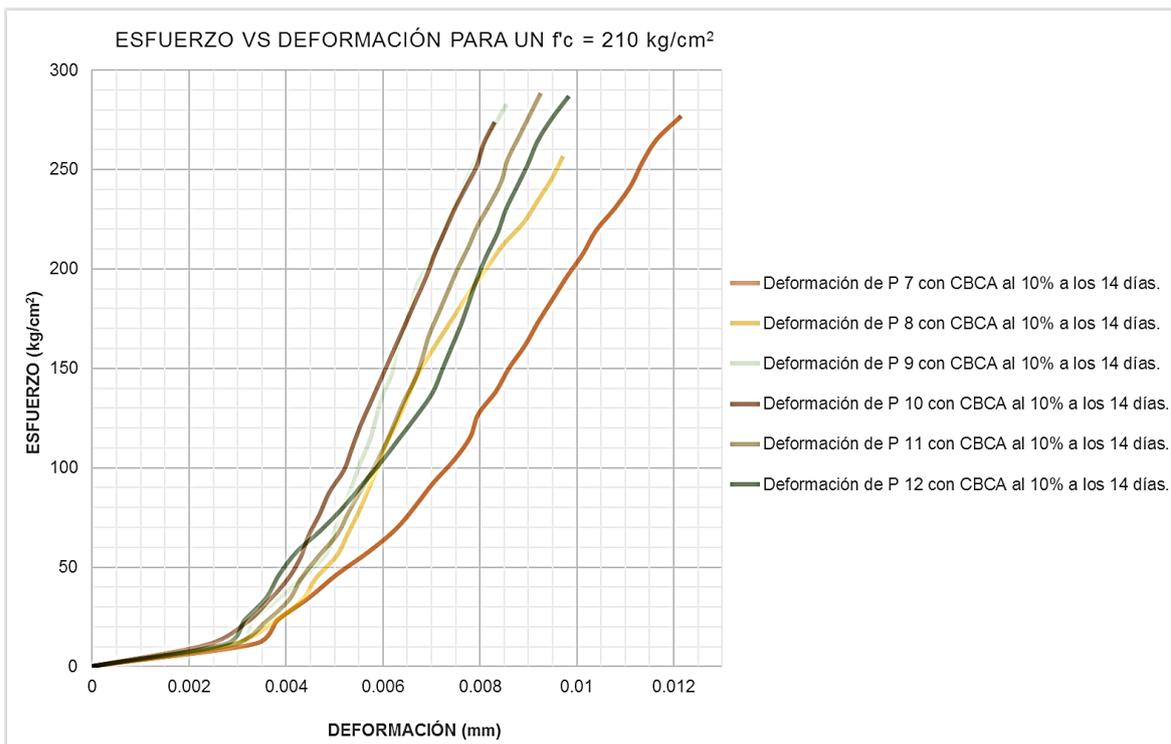
Gráfica N° 7

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 10% de CBCA a los 7 días.*



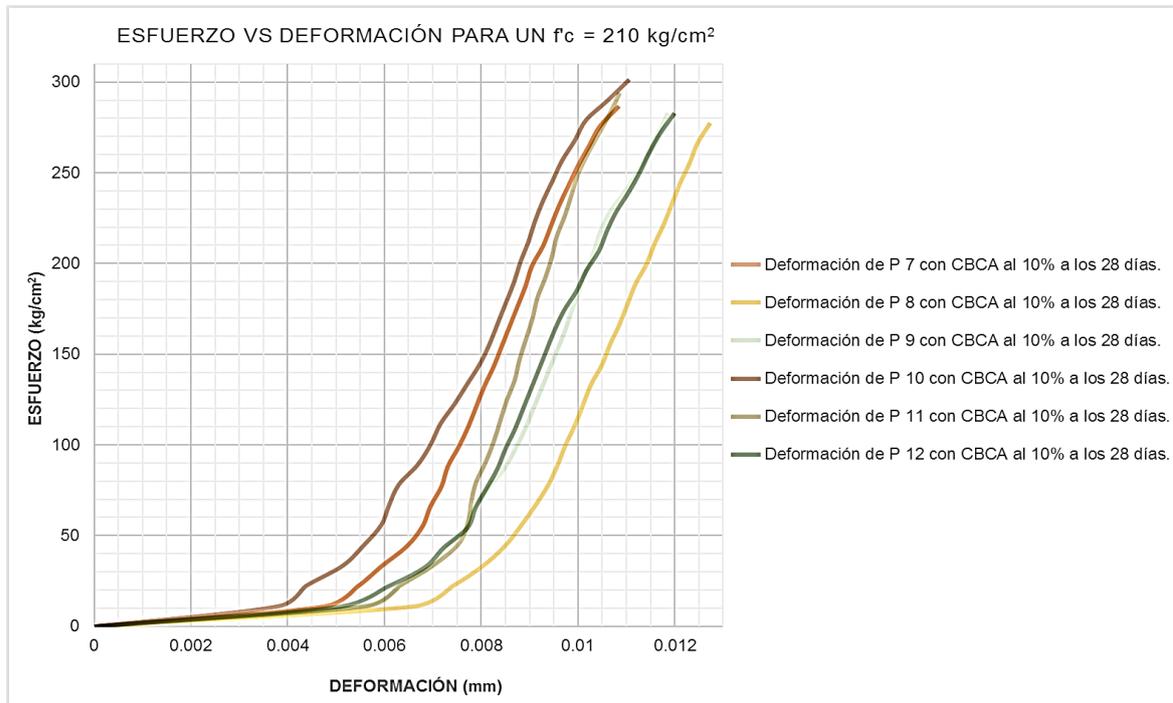
Gráfica N° 8

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 10% de CBCA a los 14 días.*



Gráfica N° 9

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 10% de CBCA a los 28 días.*



## RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 15% CBCA:

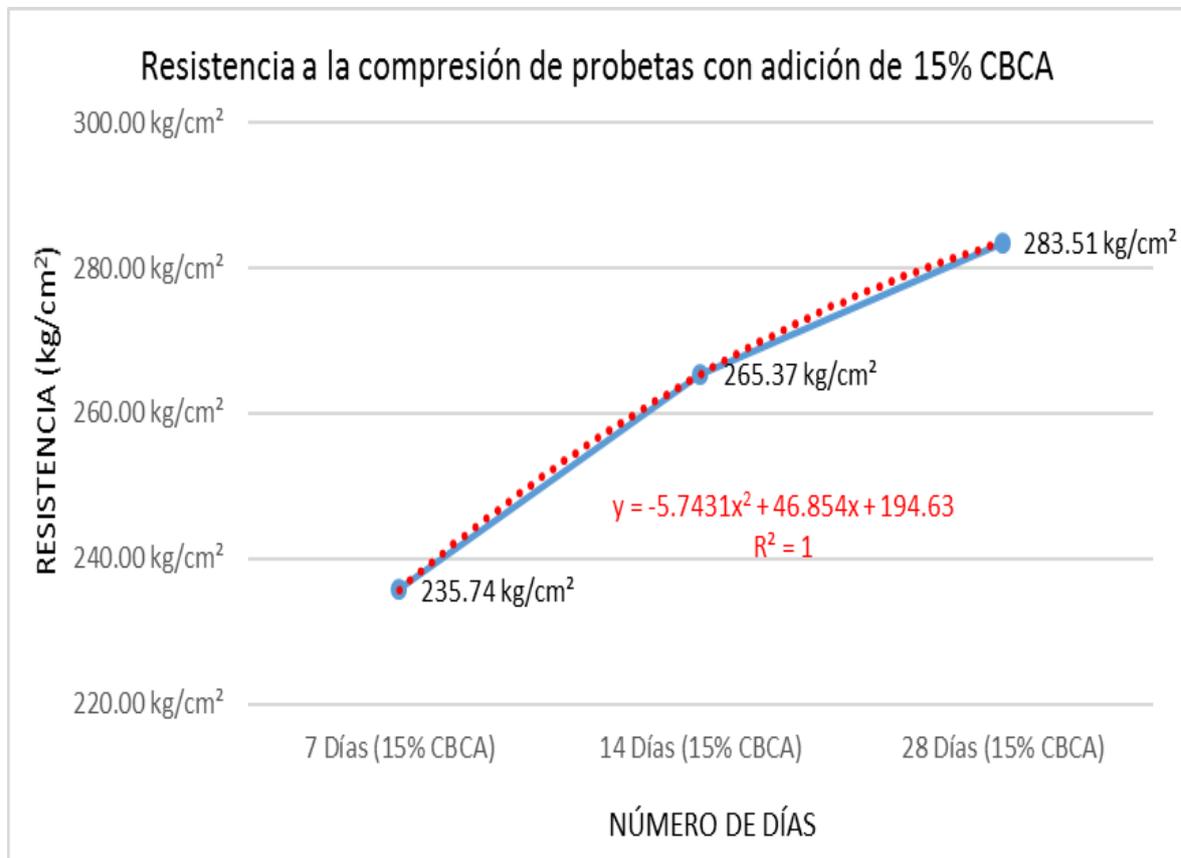
Tabla N° 11

Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (15% CBCA).

Días de curado	7 Días (15% CBCA)	14 Días (15% CBCA)	28 Días (15% CBCA)
<b>Esfuerzo</b>	249.07 kg/cm <sup>2</sup>	269.17 kg/cm <sup>2</sup>	287.92 kg/cm <sup>2</sup>
	223.26 kg/cm <sup>2</sup>	258.23 kg/cm <sup>2</sup>	290.41 kg/cm <sup>2</sup>
	238.20 kg/cm <sup>2</sup>	273.00 kg/cm <sup>2</sup>	290.85 kg/cm <sup>2</sup>
	232.15 kg/cm <sup>2</sup>	257.61 kg/cm <sup>2</sup>	270.63 kg/cm <sup>2</sup>
	248.01 kg/cm <sup>2</sup>	280.39 kg/cm <sup>2</sup>	274.94 kg/cm <sup>2</sup>
	223.76 kg/cm <sup>2</sup>	253.81 kg/cm <sup>2</sup>	286.29 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>235.74 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>265.37 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>283.51 kg/cm<sup>2</sup></b>

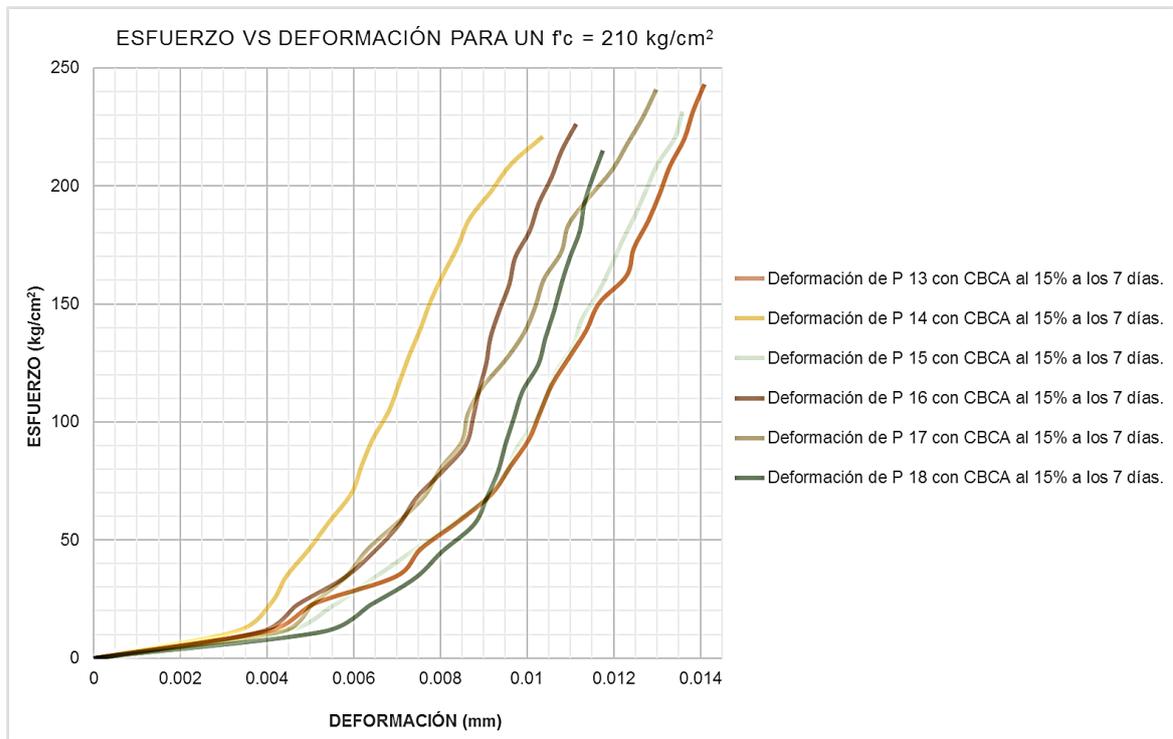
Gráfica N° 10

Resistencia a la compresión de probetas con adición de 15% CBCA.



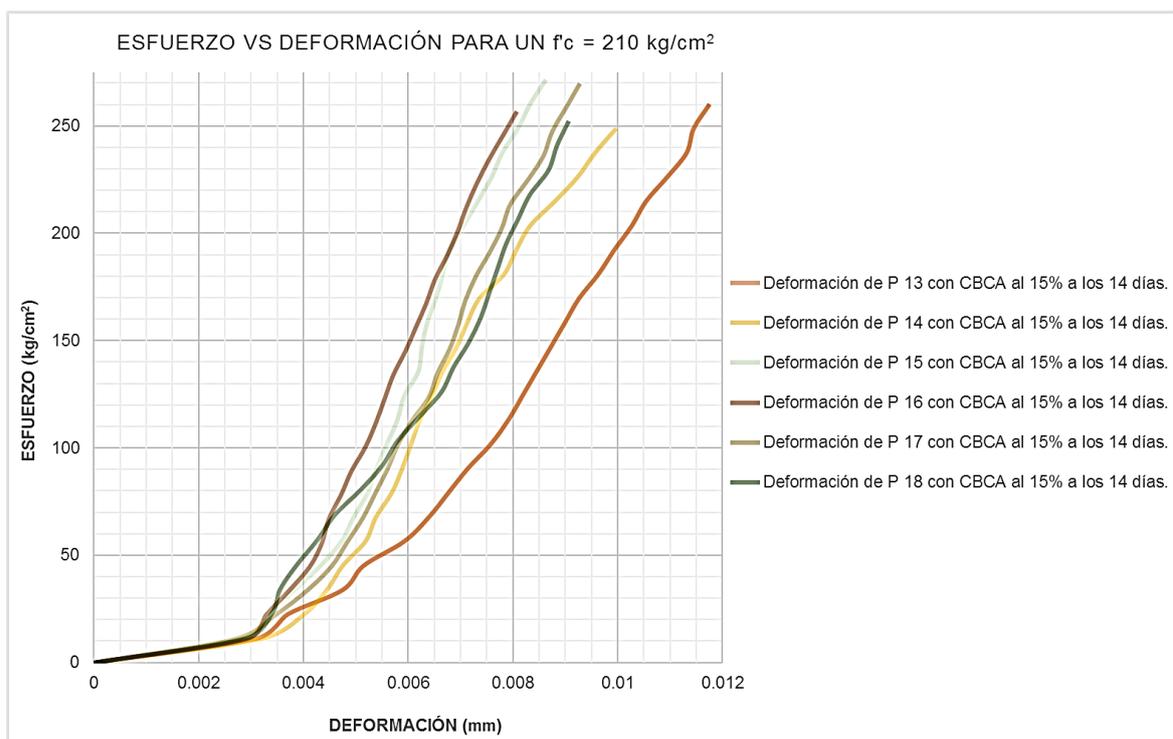
Gráfica N° 11

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 15% de CBCA a los 7 días.*



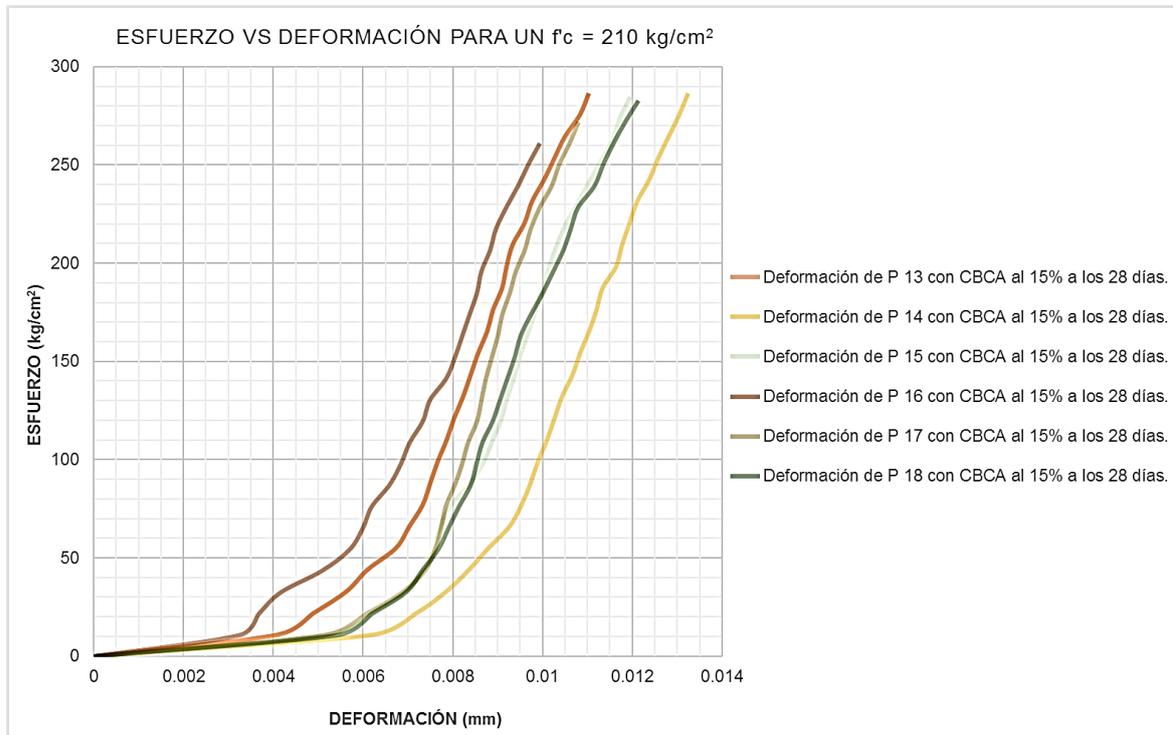
Gráfica N° 12

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 15% de CBCA a los 14 días.*



Gráfica N° 13

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 15% de CBCA a los 28 días.*



## RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, 20% CBCA:

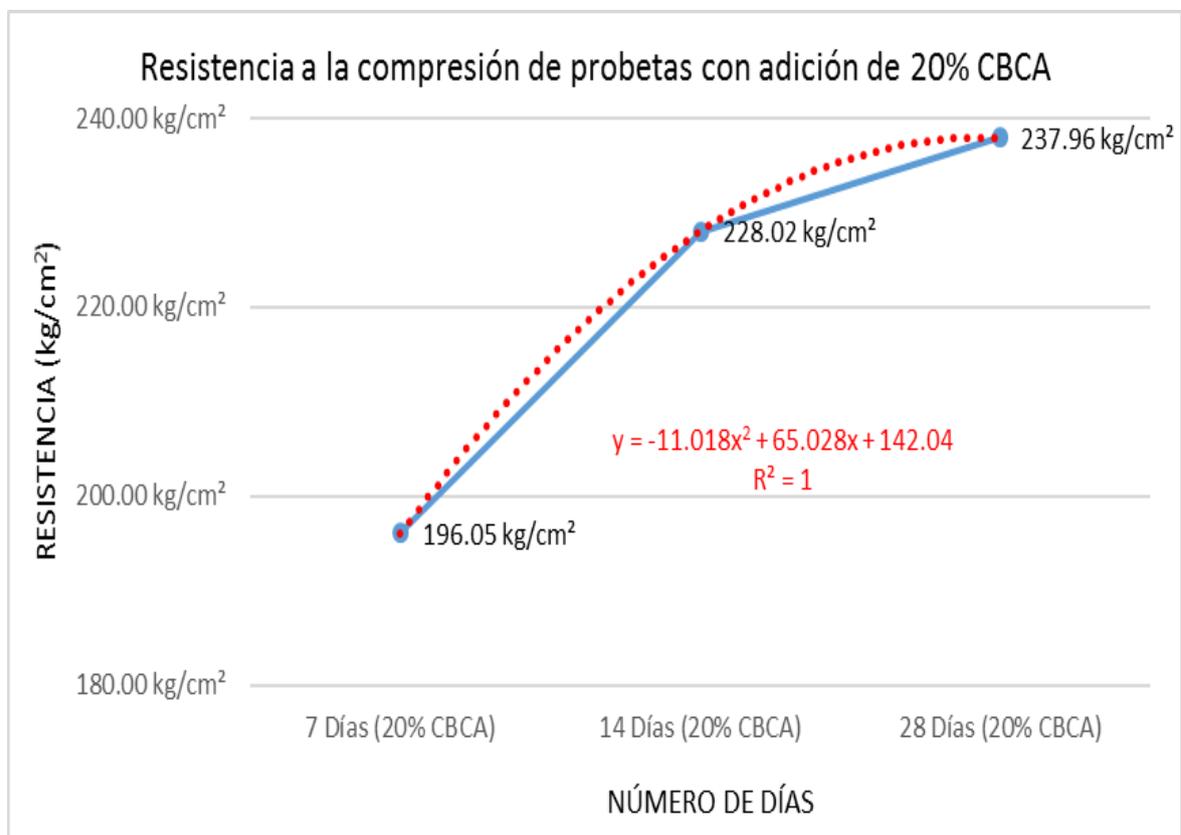
Tabla N° 12

*Resumen de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (20% CBCA).*

Días de curado	7 Días (20% CBCA)	14 Días (20% CBCA)	28 Días (20% CBCA)
<b>Esfuerzo</b>	201.84 kg/cm <sup>2</sup>	230.74 kg/cm <sup>2</sup>	230.26 kg/cm <sup>2</sup>
	209.75 kg/cm <sup>2</sup>	232.00 kg/cm <sup>2</sup>	237.82 kg/cm <sup>2</sup>
	193.33 kg/cm <sup>2</sup>	232.13 kg/cm <sup>2</sup>	236.74 kg/cm <sup>2</sup>
	198.05 kg/cm <sup>2</sup>	221.92 kg/cm <sup>2</sup>	243.34 kg/cm <sup>2</sup>
	188.64 kg/cm <sup>2</sup>	223.28 kg/cm <sup>2</sup>	239.20 kg/cm <sup>2</sup>
	184.66 kg/cm <sup>2</sup>	228.04 kg/cm <sup>2</sup>	240.38 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>196.05 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>228.02 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>237.96 kg/cm<sup>2</sup></b>

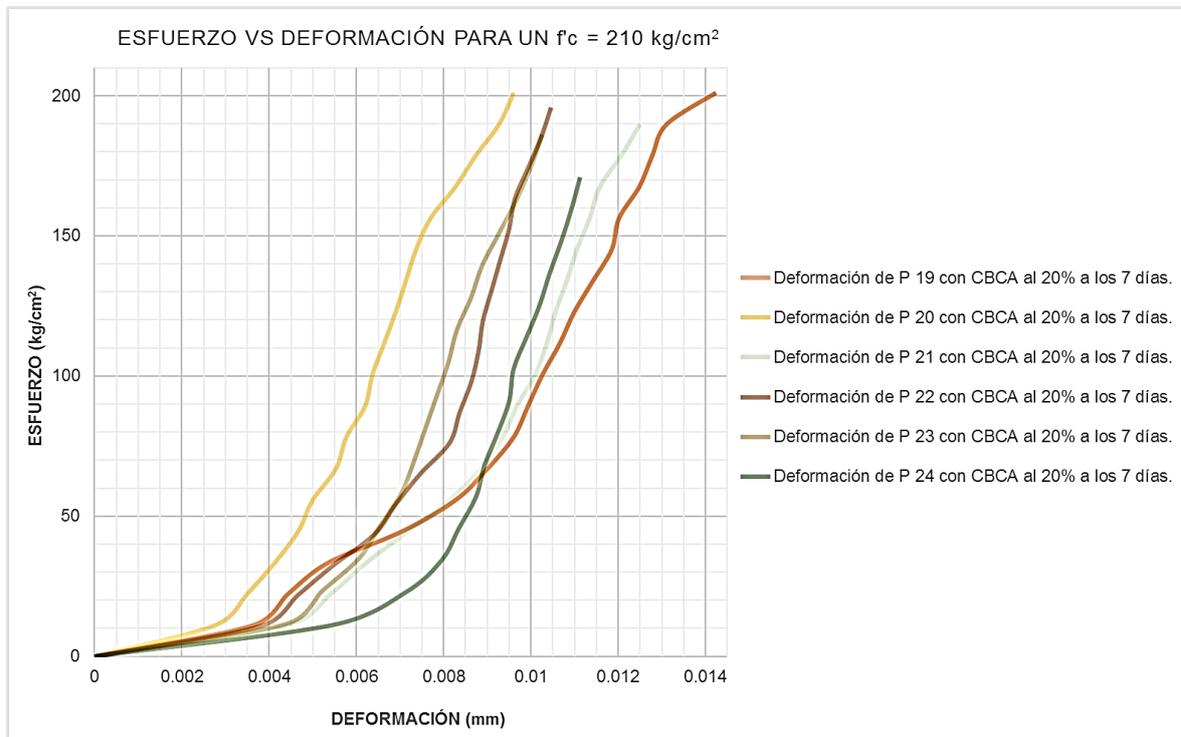
Gráfica N° 14

*Resistencia a la compresión de probetas con adición de 20% CBCA.*



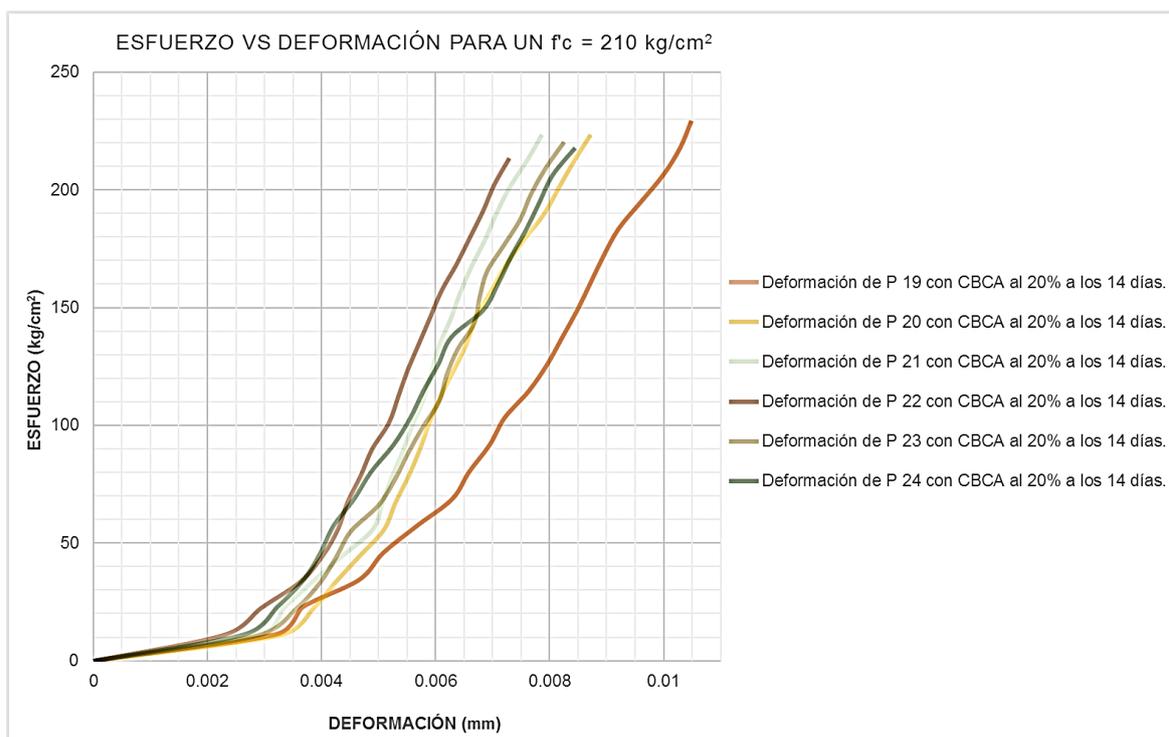
Gráfica N° 15

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 20% de CBCA a los 7 días.*



Gráfica N° 16

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 20% de CBCA a los 14 días.*



Gráfica N° 17

*Curvas esfuerzo - deformación de probetas con adición de 20% de CBCA a los 28 días.*

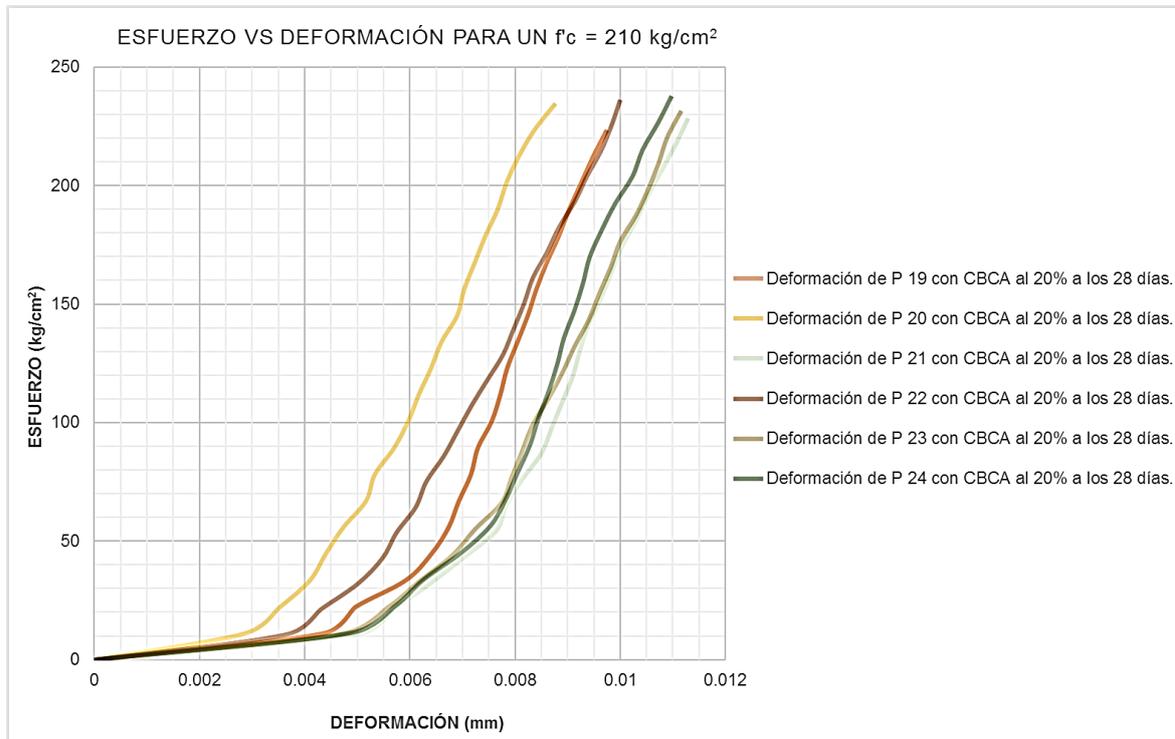


Tabla N° 13

Comparación de resistencia a la compresión a los 7 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA).

Días de curado	7 Días			
Porcentaje sustituido	0% CBCA	10% CBCA	15% CBCA	20% CBCA
<b>Esfuerzo</b>	230.88 kg/cm <sup>2</sup>	247.71 kg/cm <sup>2</sup>	249.07 kg/cm <sup>2</sup>	201.84 kg/cm <sup>2</sup>
	227.41 kg/cm <sup>2</sup>	256.14 kg/cm <sup>2</sup>	223.26 kg/cm <sup>2</sup>	209.75 kg/cm <sup>2</sup>
	238.45 kg/cm <sup>2</sup>	261.26 kg/cm <sup>2</sup>	238.20 kg/cm <sup>2</sup>	193.33 kg/cm <sup>2</sup>
	228.58 kg/cm <sup>2</sup>	254.64 kg/cm <sup>2</sup>	232.15 kg/cm <sup>2</sup>	198.05 kg/cm <sup>2</sup>
	225.19 kg/cm <sup>2</sup>	249.83 kg/cm <sup>2</sup>	248.01 kg/cm <sup>2</sup>	188.64 kg/cm <sup>2</sup>
	224.80 kg/cm <sup>2</sup>	238.81 kg/cm <sup>2</sup>	223.76 kg/cm <sup>2</sup>	184.66 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>229.22 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>251.40 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>235.74 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>196.05 kg/cm<sup>2</sup></b>

Gráfica N° 18

Comparación de resistencias a la compresión a los 7 días.

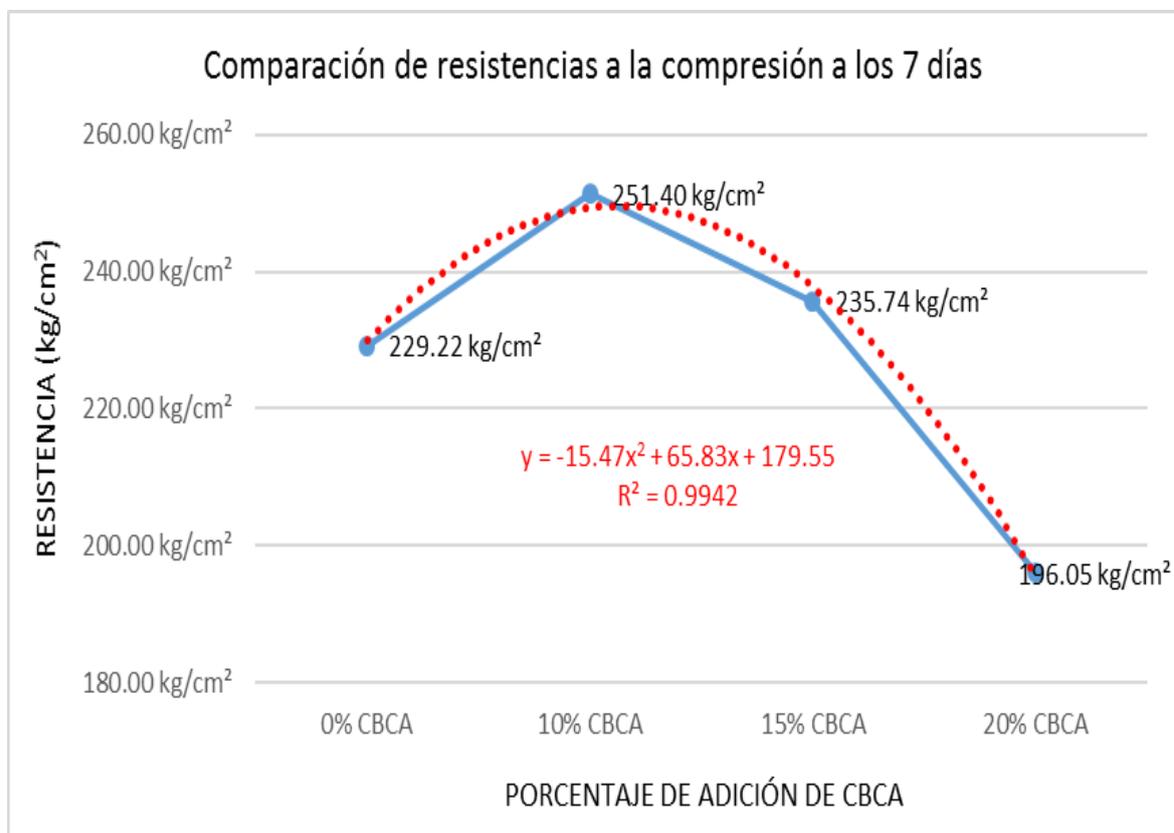


Tabla N° 14

Comparación de resistencia a la compresión a los 14 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA).

Días de curado	14 Días			
Porcentaje sustituido	0% CBCA	10% CBCA	15% CBCA	20% CBCA
<b>Esfuerzo</b>	261.32 kg/cm <sup>2</sup>	287.51 kg/cm <sup>2</sup>	269.17 kg/cm <sup>2</sup>	230.74 kg/cm <sup>2</sup>
	262.36 kg/cm <sup>2</sup>	266.83 kg/cm <sup>2</sup>	258.23 kg/cm <sup>2</sup>	232.00 kg/cm <sup>2</sup>
	273.92 kg/cm <sup>2</sup>	288.65 kg/cm <sup>2</sup>	273.00 kg/cm <sup>2</sup>	232.13 kg/cm <sup>2</sup>
	246.27 kg/cm <sup>2</sup>	278.49 kg/cm <sup>2</sup>	257.61 kg/cm <sup>2</sup>	221.92 kg/cm <sup>2</sup>
	251.70 kg/cm <sup>2</sup>	290.02 kg/cm <sup>2</sup>	280.39 kg/cm <sup>2</sup>	223.28 kg/cm <sup>2</sup>
	251.84 kg/cm <sup>2</sup>	297.44 kg/cm <sup>2</sup>	253.81 kg/cm <sup>2</sup>	228.04 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Promedio</b>	<b>257.90 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>284.82 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>265.37 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>228.02 kg/cm<sup>2</sup></b>

Gráfica N° 19

Comparación de resistencias a la compresión a los 14 días.

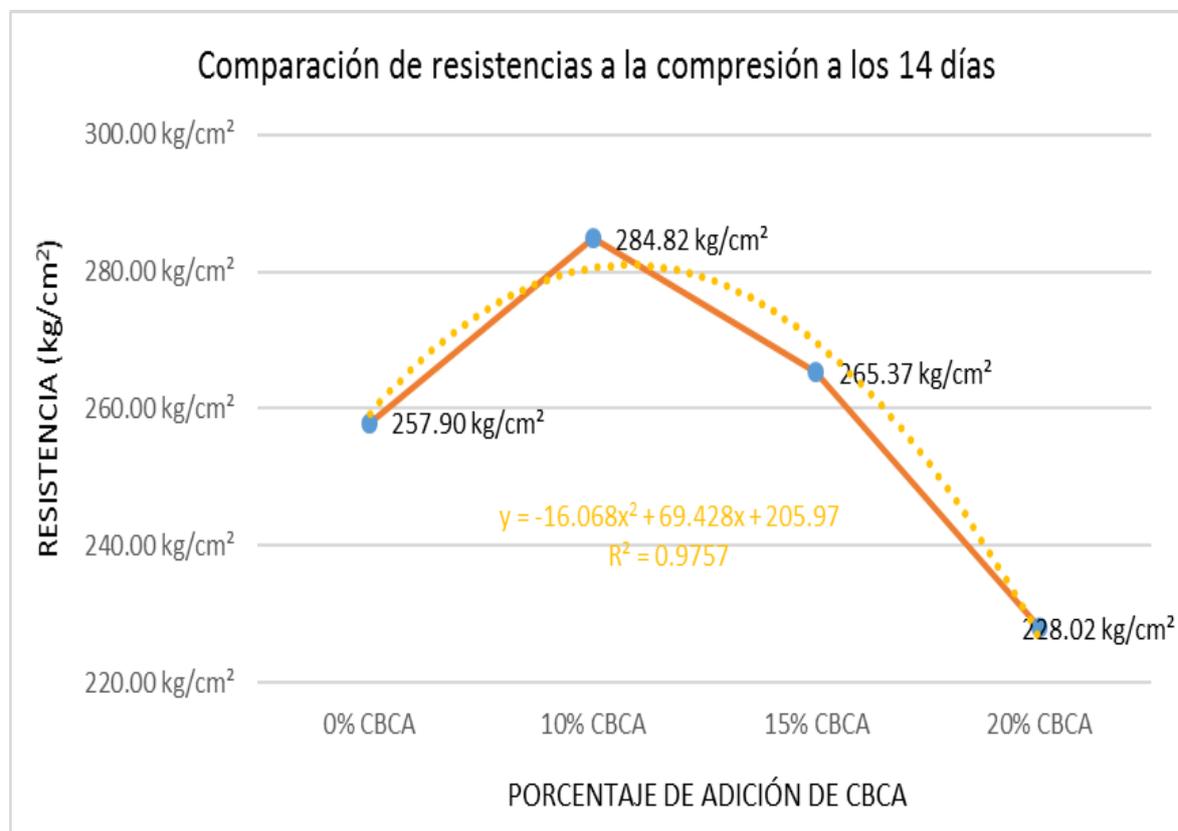


Tabla N° 15

Comparación de resistencia a la compresión a los 28 días (0%, 10%, 15% y 20% CBCA).

Días de curado		28 Días			
Porcentaje sustituido	0% CBCA	10% CBCA	15% CBCA	20% CBCA	
<b>Esfuerzo</b>	273.17 kg/cm <sup>2</sup>	293.50 kg/cm <sup>2</sup>	287.92 kg/cm <sup>2</sup>	230.26 kg/cm <sup>2</sup>	
	268.69 kg/cm <sup>2</sup>	284.27 kg/cm <sup>2</sup>	290.41 kg/cm <sup>2</sup>	237.82 kg/cm <sup>2</sup>	
	272.92 kg/cm <sup>2</sup>	291.79 kg/cm <sup>2</sup>	290.85 kg/cm <sup>2</sup>	236.74 kg/cm <sup>2</sup>	
	278.74 kg/cm <sup>2</sup>	304.63 kg/cm <sup>2</sup>	270.63 kg/cm <sup>2</sup>	243.34 kg/cm <sup>2</sup>	
	272.66 kg/cm <sup>2</sup>	305.02 kg/cm <sup>2</sup>	274.94 kg/cm <sup>2</sup>	239.20 kg/cm <sup>2</sup>	
	285.09 kg/cm <sup>2</sup>	289.23 kg/cm <sup>2</sup>	286.29 kg/cm <sup>2</sup>	240.38 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Promedio</b>	<b>275.21 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>294.74 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>283.51 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>237.96 kg/cm<sup>2</sup></b>	

Gráfica N° 20

Comparación de resistencias a la compresión a los 28 días.

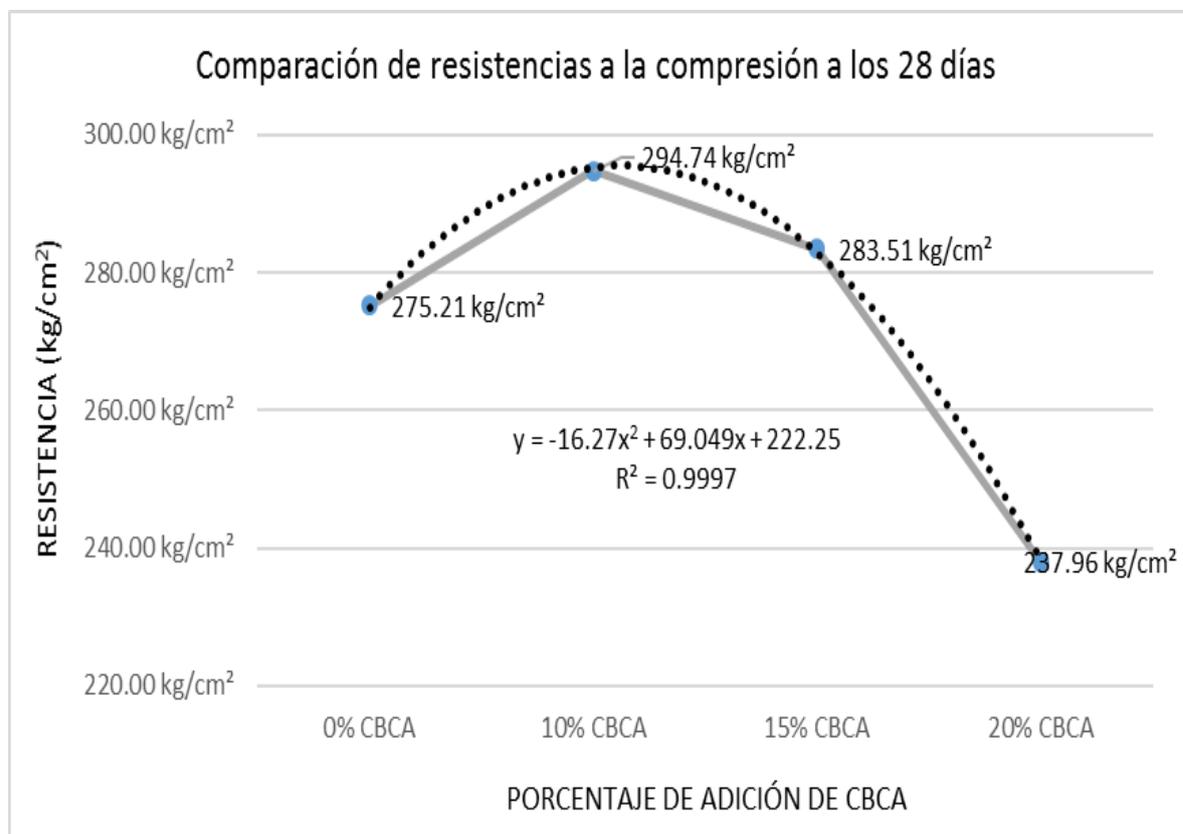


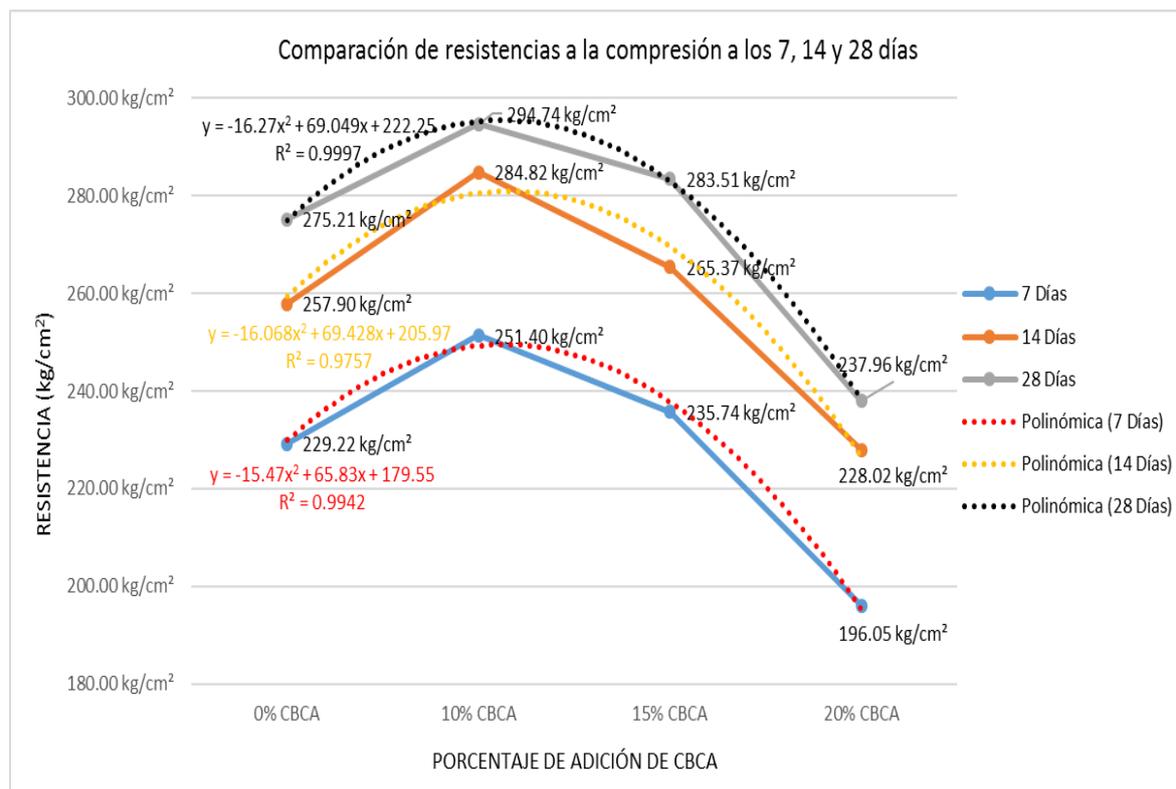
Tabla N° 16

*Comparación de resistencia a la compresión según el tiempo de curado.*

Comparación (%)			
Días de curado	0% vs 10% CBCA	0% vs 15% CBCA	0% vs 20% CBCA
7 días	9.68%	2.85%	-14.47%
14 días	10.44%	2.89%	-11.59%
28 días	7.10%	3.01%	-13.54%

Gráfica N° 21

*Comparación de resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días.*



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Se analizaron los resultados de las características físico - mecánicas de los agregados, se obtuvo que estos están dentro de lo aceptable según la N.T.P. 400.037 / ASTM C33 (ver tabla N° 07 y N° 08), asimismo, los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión de los especímenes elaborados (ver tablas N° 09 - N° 12).

Discusión de resultados de la resistencia del concreto en estado endurecido:

- ✓ La máxima resistencia a la compresión promedio es de 294.74 kg/cm<sup>2</sup> (ver gráfica N° 21) que corresponde a la adición de CBCA, en reemplazo del agregado fino del 10% (a los 28 días).
- ✓ Al realizar la comparación de resistencia a la compresión según el tiempo de curado, se obtuvo un aumento máximo de 10.44% al comparar las probetas patrón y las probetas con adición de 10% de CBCA a los 14 días de curado y una disminución máxima de 14.47% al comparar las probetas patrón y las probetas con adición de 20% de CBCA a los 7 días de curado (ver tabla N° 13 – N° 16) esquematizando los resultados en un gráfico de barras (ver gráfico N° 18 – N° 20).
- ✓ Según la tesis de Gonzales (2011), mencionado y referenciado en la realidad problemática, concluye que es factible utilizar hasta 15% de CBCA en reemplazo del agregado fino, razón por la cual se tomaron los valores intermedios de 10%, 15% y 20%, obteniendo mayores resistencias que las probetas patrón al adicionar el 10% y 15% de CBCA, evidenciándose el rango más adecuado entre 9% y 11% de CBCA en reemplazo del agregado fino.
- ✓ Según la tesis de Jiménez (2016), mencionado y referenciado en la realidad problemática, se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión al

adicionar 10% de CBCA, alcanzó una resistencia máxima de  $245.31 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, correspondiendo un incremento de la resistencia a compresión del 17.00% con respecto a la probeta patrón, contrastando este resultados con los obtenidos en la presente tesis, se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión al adicionar 10% de CBCA, alcanzo una resistencia máxima promedio de  $284.82 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días, correspondiendo un incremento de la resistencia a la compresión del 10.44% con respecto a la probeta patrón (ver tabla N° 10 y N° 16).

- ✓ Se recomienda el estudio de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto con adición de CBCA entre los 9% al 11% en reemplazo del agregado fino, para así poder elaborar un análisis comparativo y contrastarlo con la presente tesis.
- ✓ Se sugiere investigar la posibilidad de aprovechar morteros y hormigones con adición de CBCA para la elaboración de materiales de construcción prefabricados de bajo costo, como son bloques y ladrillos.
- ✓ De manera general se puede concluir que, en el escenario estudiado, es viable valerse de la CBCA como sustitución puzolánica en concretos, generándose de esta manera una alternativa para el uso de estos residuos agrícolas que consiga un beneficio en la resistencia del concreto.

## 4.2 Conclusiones

1. La resistencia a la compresión del concreto adicionando 10%, 15% y 20% de CBCA, en reemplazo del agregado fino, varía en menos del 10%, cumpliendo así la hipótesis formulada (ver tabla N° 16).
2. Se obtuvieron los datos de las resistencias a la compresión de las probetas patrón (ver tabla N° 09), esquematizando las resistencias promedio (ver gráfico N° 02)

- y presentando las curvas esfuerzo – deformación para cada tiempo de curado (ver gráfico N° 03 - N° 05) para lo cual se alcanzó una resistencia máxima promedio de 275.21 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
3. Se obtuvieron los datos de las resistencias a la compresión de las probetas con adición del 10% de CBCA en reemplazo del agregado fino (ver tabla N° 10), esquematizando las resistencias promedio (ver gráfico N° 06) y presentando las curvas esfuerzo – deformación para cada tiempo de curado (ver gráfico N° 07 - N° 09) para lo cual se alcanzó una resistencia máxima promedio de 294.74 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, correspondiendo un incremento de la resistencia a la compresión del 7.10% con respecto a la probeta patrón.
  4. Se obtuvieron los datos de las resistencias a la compresión de las probetas con adición del 15% de CBCA en reemplazo del agregado fino (ver tabla N° 11), esquematizando las resistencias promedio (ver gráfico N° 10) y presentando las curvas esfuerzo – deformación para cada tiempo de curado (ver gráfico N° 11 - N° 13) para lo cual se alcanzó una resistencia máxima promedio de 283.51 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, correspondiendo un incremento de la resistencia a la compresión del 3.01% con respecto a la probeta patrón.
  5. Se obtuvieron los datos de las resistencias a la compresión de las probetas con adición del 20% de CBCA en reemplazo del agregado fino (ver tabla N° 12), esquematizando las resistencias promedio (ver gráfico N° 14) y presentando las curvas esfuerzo – deformación para cada tiempo de curado (ver gráfico N° 15 - N° 17) para lo cual se alcanzó una resistencia máxima promedio de 237.96 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, correspondiendo una disminución de la resistencia a la compresión del 13.54% con respecto a la probeta patrón .

## REFERENCIAS

- Álvarez Blanco, F. (2005). *LECCIÓN 10.- Cementos / Materiales de adición. Universidad de Oviedo*: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.CEMENTOS.MaterialesAdicion.pdf>
- CEMEX. (2001). *Elaboración del cemento. Nicaragua: HOLCIM.*
- Chipana Castro, J. (09 de septiembre de 2014). *Proceso de obtención del yeso, cal, cemento y puzolanas*. [http://www.slideshare.net/jacsonchipanacastro/procesos-de-obtencion-del-yeso-calcemento-y-puzolanas-con-residuo-de-Catalizador-de-Craqueo-Catalítico-Usado-\(FCC\).Tesis-Doctoral-Universidad-Politécnica-de-Valencia-\(UPV\).Valencia](http://www.slideshare.net/jacsonchipanacastro/procesos-de-obtencion-del-yeso-calcemento-y-puzolanas-con-residuo-de-Catalizador-de-Craqueo-Catalítico-Usado-(FCC).Tesis-Doctoral-Universidad-Politécnica-de-Valencia-(UPV).Valencia)
- Gonzales Rios, E. (2011) *Empleo de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) como Sustituto Porcentual del Agregado Fino en la Elaboración de concreto Hidráulico.*
- Jiménez Chávez, G. A. (2016). *Resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar, UPNC 2016.*
- Juárez Quevedo, B. M. (Agosto de 2012). *La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados. Guatemala*: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3424\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3424_C.pdf)
- Norma ACI 211 (2002) *Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.034 (17 de junio de 2001) *Compresión de testigos cilindricos de concreto. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.047 (06 de marzo de 2006) *Hormigon (concreto). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.183 (01 de febrero de 2013) *Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.184 (30 de mayo de 2002) *Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto). INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.185 (17 de junio de 2001) *Contenido de humedad. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*

- Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (17 de junio de 2001) *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 400.017 (12 de marzo de 2011) *Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la mada por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 400.021 (30 de mayo de 2005) *Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregado grueso. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 400.022 (16 de enero de 2014) *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.*
- Norma Técnica Peruana NTP 400.037 (14 de enero de 2015) *Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.*
- Rivas, T. (2007). *Valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera Nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland. México.*
- Ruiz Rodriguez, A. J. (2015). *Resistencia a compresión del mortero cemento-arena incorporando ceniza de cáscara de arroz, afrecho de cebada y bagazo de caña de azúcar.*
- Salazar, A. (2014). *¿Qué es una puzolana?. Ecoingeniería – materiales puzolánicos 2014. <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>*
- Sánchez de Guzmán , D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero (Quinta ed.). Santa fé de Bogota: Bhandar Editores Ltda.*
- Sandoval Pinedo, T. F. (2014). *Empleo de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) como Sustituto Porcentual del Agregado Fino en la Elaboración de concreto Hidráulico.*
- Soriano, L. (2007). *Nuevas aportaciones en el desarrollo de materiales cementantes.*
- Vidal, D. (2014). *Ceniza De Bagazo De Caña Para Elaboración De Materiales De Construcción: Estudio Preliminar.*

## ANEXOS

ANEXO n.º 1. Plano de ubicación de la cantera.



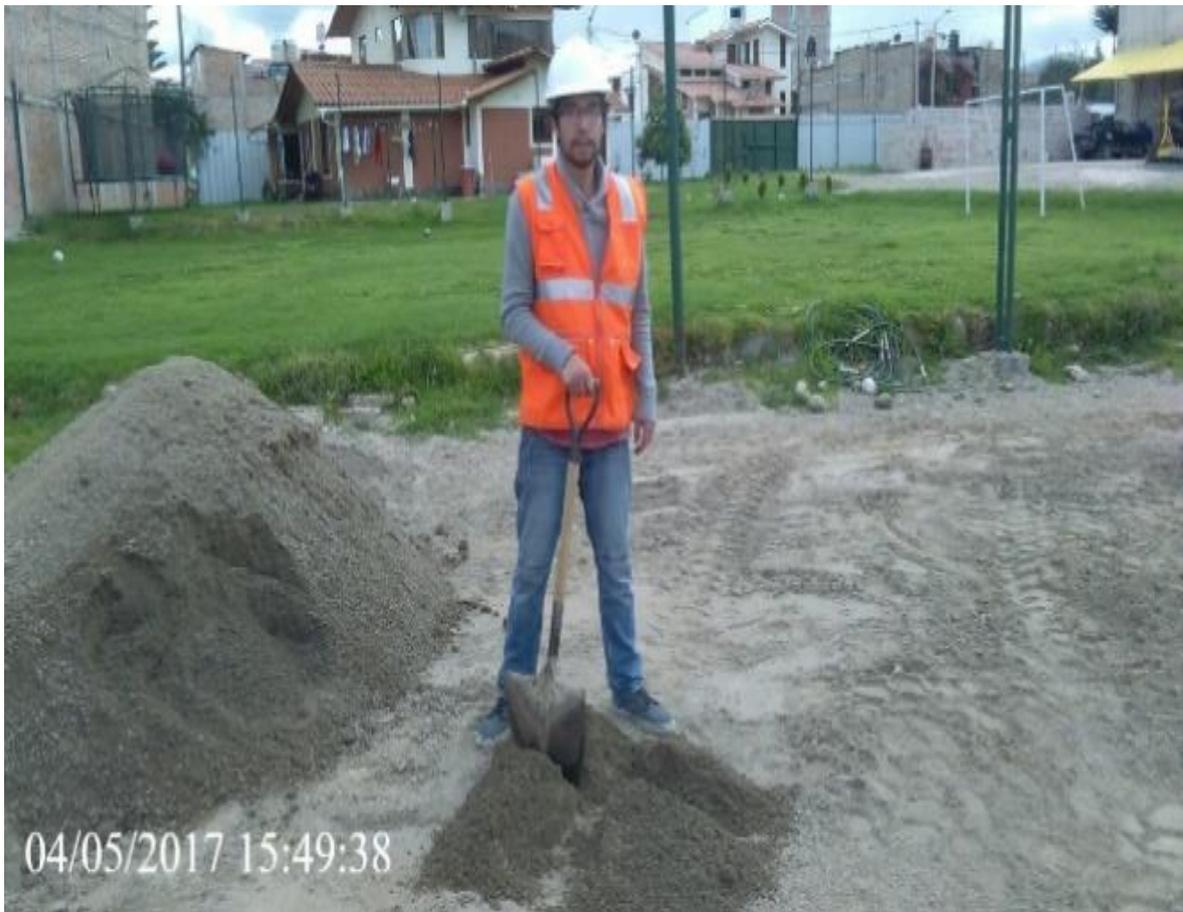
ANEXO n.º 2. Cuarteo de la muestra



ANEXO n.º 3. Recolección de agregados grueso.



ANEXO n.º 4. Cuarteo de muestra agregados finos.



ANEXO n.º 5. Toma de datos de humedad.



ANEXO n.º 6. Toma de datos de humedad.



ANEXO n.º 7. Toma de datos de humedad.



ANEXO n.º 8. Toma de datos de humedad.



ANEXO n.º 9. Recolección de muestras.



ANEXO n.º 10. Cuarteo de agregado grueso.



ANEXO n.º 11. Cuarteo de agregado fino.



ANEXO n.º 12. Ensayo de peso específico, agregado fino.



ANEXO n.º 13. Ensayo de peso específico.



ANEXO n.º 14. Granulometría agregado fino.



ANEXO n.º 15. Peso unitario agregado fino.



ANEXO n.º 16. Moldes para peso unitario.



ANEXO n.º 17. Peso unitario agregado grueso.



ANEXO n.º 18. Peso específico agregado grueso.



ANEXO n.º 19. Peso específico agregado grueso.



ANEXO n.º 20. Extracción de CBCA del distrito de Magdalena.



ANEXO n.º 21. Extracción de CBCA del distrito de Magdalena.



ANEXO n.º 22. Extracción de agregados.



ANEXO n.º 23. Elaboración de probetas.



ANEXO n.º 24. Peso de materiales.



ANEXO n.º 25. Elaboración de probetas.



ANEXO n.º 26. Elaboración de probetas.



ANEXO n.º 27. Desmolde de probetas.



ANEXO n.º 28. Foto de CBCA.



ANEXO n.º 29. Realización de SLUMP.



ANEXO n.º 30. Carga última.



ANEXO n.º 31. Ensayo de las probetas.



ANEXO n.º 32. Ensayo de las probetas.



ANEXO n.º 33. Probetas luego de ensayo.



ANEXO n.º 34. Probetas luego de ensayo.



ANEXO n.º 35. Probetas luego de ensayo.



ANEXO n.º 36. Ensayo de resistencia a la compresión.



ANEXO n.º 37. Ensayo de resistencia, junto con asesora de la tesis, Ing. Anita Alva.

