

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**“EMPLEO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
(CBCA) COMO SUSTITUTO PORCENTUAL DEL AGREGADO
FINO EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. **CÉSAR HAYRO CHÁVEZ BAZÁN**

ASESOR:

M. en I. **HECTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

CAJAMARCA – PERÚ

2017

Agradecimiento

A MI ASESOR

Mcs. Ing. Héctor Pérez Loayza, por haberme dedicado su valioso tiempo, por sus aportes, críticas, comentarios, sugerencias, apoyo y amistad o a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Facultad de Ingeniería, especialmente a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, a toda su plana docente por los conocimientos y orientación impartidos durante mi formación profesional.

A LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA PARAMONGA

En especial al Ing. Efraín Salas, por la donación de la CBCA, sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

Al laboratorio de ensayo de materiales (UNC), al Ing. Juan Villanueva, técnico del laboratorio de ensayo de materiales, por su apoyo en la realización de pruebas.

El Autor.

Dedicatoria

A mi amada hija Cielo Abigail, por ser el motivo de seguir adelante. A mi madre por darme la vida, por su inmenso amor y apoyo incondicional, por ser un ejemplo de mujer. A mi padre por su apoyo, su paciencia, su cariño, por nunca dejar de creer en mí y por mostrarme que siempre podemos ser mejor. A mis hermanos Christian y Fiorella por su respeto, cariño y por ser personas muy especiales en mi vida.

Y por último a Rocio Elizabeth, por estar siempre apoyándome, en las buenas y malas siempre estarás ahí para sacar lo mejor de mí, gracias.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	viii
Resumen	ix
Abstract	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Hipótesis:.....	3
1.4 Justificación de la investigación:	3
1.5 Alcances.....	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo General	4
1.6.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación:.....	6
2.2 Bases Teóricas:	7
2.2.1 Introducción	7
2.2.2 Concreto.....	8
2.2.2.1 Características	8
2.2.3 Materiales para el concreto	9
2.2.3.1 El cemento.....	9
2.2.3.2 Agregados para el concreto.....	14
2.2.3.3 El agua para el concreto.....	24
2.2.3.4 La caña de azúcar.....	27

2.2.3.5	La ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA).....	29
2.2.3.6	Composición de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar (CBCA).	29

CAPÍTULO III 31

MATERIALES Y MÉTODOS 31

3.1	Toma de muestras.....	32
3.2	Localización	32
3.3	Metodología	32
3.4	Materiales y Equipos	32
3.4.1	Materiales	32
3.4.2	Equipos	32
3.5	Procedimiento	33
3.6	Cantera	33
3.6.1	Elección de la cantera.....	33
3.6.2	Ubicación.....	33
3.7	CBCA.....	35
3.7.1	Elección del Ingenio azucarero.....	35
3.7.2	Ubicación.....	35

CAPITULO IV 36

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... 36

4.1	Resultados de los ensayos de laboratorio.....	37
4.1.1	Características físicas del agregado fino	37
4.1.2	Características físicas del agregado grueso.....	37
4.2	Diseño de mezcla.....	38
4.2.1	Diseño de mezcla Patrón.....	39
4.2.2	Diseño de mezcla con dosificación de 1%.....	39
4.2.3	Diseño de mezcla con dosificación de 3%.....	39
4.2.4	Diseño de mezcla con dosificación de 5%.....	39
4.3	Resultado de ensayos de consistencia o slump	39
4.3.1	Mezcla Patrón.....	40
4.3.2	Mezcla con dosificación de 1%.....	40
4.3.3	Mezcla con dosificación de 3%.....	40
4.3.4	Mezcla con dosificación de 5%.....	41
4.4	Resultado de ensayos a compresión.....	41

4.4.1	Mezcla Patrón.....	42
4.4.2	Mezcla con dosificación de 1%.....	46
4.4.3	Mezcla con dosificación de 3%.....	49
4.4.4	Mezcla con dosificación de 5%.....	52
4.5	Determinación del módulo de elasticidad del concreto	55
4.6	Discusión de resultados.....	56
4.6.1	Cuadro resumen de resultados	56
4.6.2	Comparación de resultados	59
4.6.3	Determinación del porcentaje óptimo.....	59
CAPÍTULO V		61
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		61
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones.	63
5.3	Referencias Bibliográficas:	64
ANEXOS.....		65
ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....		66
ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA CENIZA.....		80
ANEXO 3 ENSAYO QUIMICO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR.....		85
.....		86
ANEXO 4 DISEÑO DE MEZCLAS		87
ANEXO 5 GRAFICAS ESFUERZO - DEFORMACION		98
5.1.	Mezcla patrón	99
5.2.	Mezcla con dosificación de 1%.....	104
5.3.	Mezcla con dosificación de 3.....	109
5.4.	Mezcla con dosificación de 5%.....	114
ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO		119

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: porcentaje promedio de componentes en el cemento.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2: Husos granulométricos de la NTP 400.037</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3: Husos granulométricos del agregado grueso</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4: Requisitos del agua para el concreto.....</i>	<i>26</i>

<i>Tabla 5: Rendimiento de caña de azúcar en países de américa latina.</i>	28
<i>Tabla 6: Composición química de la ceniza del bagazo cubano</i>	29
<i>Tabla 7: Composición química de la ceniza de bagazo cubano y bagazo peruano</i>	29
<i>Tabla 8: Proceso de modificación en la quema de la ceniza.</i>	30
<i>Tabla 9: Cantidad de especímenes realizados en la investigación.</i>	33
<i>Tabla 10: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla Patrón.</i>	40
<i>Tabla 11: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 1%.</i>	40
<i>Tabla 12: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 3%.</i>	40
<i>Tabla 13: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 5%.</i>	41
<i>Tabla 14: estándar de control de hormigón.</i>	42
<i>Tabla 15: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 7 días.</i>	43
<i>Tabla 16: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 14 días.</i>	44
<i>Tabla 17: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 28 días.</i>	45
<i>Tabla 18: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 7 días.</i>	46
<i>Tabla 19: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 14 días</i>	47
<i>Tabla 20: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 28 días</i>	48
<i>Tabla 21: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 7 días.</i>	49
<i>Tabla 22: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 14 días</i>	50
<i>Tabla 23: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 28 días</i>	51
<i>Tabla 24: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 7 días.</i>	52
<i>Tabla 25: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 14 días</i>	53
<i>Tabla 26: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 28 días</i>	54
<i>Tabla 27: Cuadro resumen de resultados.</i>	58
<i>Tabla 28: Cuadro comparación de resultados</i>	59
<i>Tabla 29. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01</i>	67
<i>Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 02</i>	68
<i>Tabla 31. Análisis granulométrico del agregado fino Ensayo N° 03</i>	69
<i>Tabla 32. Módulo de finura del agregado fino</i>	70
<i>Tabla 33. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01</i>	70
<i>Tabla 34. Análisis granulométrico del agregado grueso .Ensayo N° 02</i>	71
<i>Tabla 35. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03</i>	72
<i>Tabla 36. Módulo de finura del agregado grueso</i>	73
<i>Tabla 37. Peso específico del agregado fino.</i>	73
<i>Tabla 38. Absorción del agregado Fino.</i>	74
<i>Tabla 39. Peso específico del agregado grueso.</i>	74
<i>Tabla 40. Absorción del agregado grueso.</i>	75
<i>Tabla 41. Peso específico del agua.</i>	75
<i>Tabla 42. Factor f.</i>	75
<i>Tabla 43. Peso unitario suelto seco del agregado fino.</i>	75
<i>Tabla 44. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.</i>	76
<i>Tabla 45. Peso específico del agua.</i>	76
<i>Tabla 46. Factor f.</i>	76
<i>Tabla 47. Peso unitario suelto seco del agregado grueso.</i>	77
<i>Tabla 48. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado grueso.</i>	77

<i>Tabla 49. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 50. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 51. Contenido de humedad del agregado fino.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 52. Contenido de humedad del agregado grueso.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 53. Desgaste a la abrasión del agregado grueso.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 54: Peso específico del agua.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 55: Factor f.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 56: Peso unitario suelto seco de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 57: Peso unitario seco compactado o varillado de la ceniza del bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 58: Peso específico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 59: Absorción de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 60: Contenido de humedad de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>84</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Composición del concreto.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 2: Ubicación de la cantera.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 3: Cantera Roca Fuerte.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 4: Ubicación del Ingenio azucarero.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 5: Porcentaje de la resistencia de diseño vs Porcentaje de dosificación.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 6: Huso granulométrico del Agregado Fino.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 7: Huso granulométrico del Agregado Fino.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 8: Huso granulométrico del Agregado Fino.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 9: Huso granulométrico del Agregado grueso.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 10: Huso granulométrico del Agregado grueso.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 11: Huso granulométrico del Agregado grueso.....</i>	<i>72</i>

Resumen

La inclusión de las adiciones al concreto ha permitido el mejoramiento del material logrando que cada estructura donde es utilizado sea más resistente, más durable y cumpla con cada una de las exigencias que la industria moderna de la construcción lo exige.

La ceniza de bagazo de caña de azúcar es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible para calentar las calderas de donde se obtiene el azúcar. La utilización de estas cenizas en diversos campos, como la agricultura, y ahora, en la construcción, será de gran aprovechamiento. Ya que contiene gran porcentaje de sílice que podría ser utilizado como material cementante; aunque en esta investigación se utilizó como agregado fino.

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia que presenta la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar a un concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ y encontrar su dosificación óptima. Para ello se realizaron tres diseños de mezcla con dosificación de 1%, 3% y 5% de ceniza de bagazo de caña de azúcar por volumen absoluto de agregado fino y una mezcla patrón.

Al finalizar la investigación concluimos que la influencia que presenta la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la propiedad de resistencia a compresión del concreto es de manera positiva, dado que aumenta en un 21.88%, y que la dosificación óptima encontrada es de 3.24% del volumen absoluto de agregado fino.

PALABRAS CLAVE: Ceniza de bagazo de caña de azúcar, dosificación, resistencia a compresión.

Abstract

The inclusion of additions to the concrete has allowed the improvement of the material, making each structure where it is used is more resistant, more durable and meets each of the requirements that the modern construction industry requires.

Sugarcane bagasse ash is a by-product of waste from the manufacture of sugar. It is used as fuel to heat the boilers from where the sugar is obtained. The use of these ashes in various fields, such as agriculture, and now, in construction, will be of great use. Since it contains large percentage of silica that could be used as cementing material; Although in this investigation it was used as a fine aggregate.

The main objective of the present investigation is to determine the influence of the addition of sugarcane bagasse ash to a concrete of $f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$ and to find its optimum dosage. For this purpose, three mixing designs were applied with 1%, 3% and 5% sugarcane bagasse ash by absolute volume of fine aggregate and a standard mixture.

At the end of the investigation we conclude that the influence of the addition of sugarcane bagasse ash on the compressive strength property of the concrete is positive, since it increases by 21.88%, and that the optimum dosage found is of 3.24% of the absolute volume of fine aggregate.

KEY WORDS: Sugarcane bagasse ash, dosage, compressive strength.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las obras de ingeniería que se realizan en la mayoría de los países, utilizan como material de construcción el concreto en sus diversas formas. Como consecuencia debido al volumen de materiales que se extraen, procesan, elaboran y consumen. El impacto ambiental que se genera es importante y si se considera la cantidad de material de desecho, producto de la demolición de obras fuera de servicio, el resultado es aún mayor.

Por su condición de estar constituido por materiales abundantes a lo largo del planeta, de fácil obtención, económico y de uso muy difundido y aceptado, es difícil pensar en alternativas viables, al menos en un futuro próximo, que modifiquen sensiblemente el consumo de cemento y agregados.

Es por eso que se debe enfrentar el desafío de reformular en lo posible todo el ciclo constructivo de manera que nos permita contribuir al objetivo generalizado de encaminar nuestra actividad con productos, diseños y procesos que aseguren la vía de la sustentabilidad.

Es dentro de este contexto que aparece la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA), la cual es un subproducto no metálico obtenido de la fabricación de azúcar. Su composición química tiene propiedades similares a la del cemento Portland, lo cual la hace un material de desecho altamente interesante para su uso en la fabricación del concreto, el cual en esta investigación va a ser utilizada como agregado fino (arena).

1.1 Planteamiento del problema

La problemática actual por la que está pasando el medio ambiente es preocupante, debido al crecimiento desmedido de la demanda de los recursos no renovables utilizados en el campo de la construcción, y a la falta de conocimiento y desaprovechamiento de nuevos materiales que pueden ser adicionados a las mezclas de concreto, los cuales garantizan y hasta pueden mejorar ciertas características de exigencia de las diferentes obras civiles, en las cuales se pueden utilizar estos nuevos agregados no convencionales.

La industria de la construcción demanda grandes cantidades de estos recursos para la elaboración de todo tipo de obra civil. El más utilizado es el concreto, el cual es una mezcla de tres componentes (cemento, agua y agregados), los cuales son adquiridos a partir de la explotación de canteras o ríos, pero trayendo asociado numerosos impactos negativos al medio ambiente; por su condición de estar constituido por materiales abundantes a lo largo del planeta, de fácil obtención, económico y de uso muy difundido y aceptado, es difícil pensar en alternativas viables, al menos en un futuro próximo, que modifiquen sensiblemente el consumo de cemento y agregados.

Teniendo como referencia los argumentos anteriores planteados, es de vital importancia implementar nuevos productos al mercado, involucrando en lo posible materiales que hayan sido reciclados de procesos industrializados, claro está, que los materiales cumplan con ciertos requisitos mínimos para su futura incorporación, con el fin de reducir la explotación desmedida de recursos naturales no renovables para el campo de la construcción. Dicha reducción se podría lograr incorporando en el mercado mezclas de concreto con ciertos porcentajes de Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (el cual en esta investigación va a ser utilizada como agregado fino), con lo cual se obtiene un concreto hidráulico ecológico y de mayor resistencia con relación al concreto convencional, y el aprovechamiento de la ceniza, como elemento en la elaboración de dichas mezclas. La composición química de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA), la cual es un subproducto no metálico obtenido de la fabricación de azúcar, tiene propiedades similares a la del cemento Portland, lo cual la hace un material de desecho altamente interesante para su uso de la fabricación del concreto.

1.2 Formulación del problema

El problema de la presente investigación se puede sintetizar en la siguiente interrogante:

¿En qué medida mejora la resistencia a compresión del concreto con el uso porcentual de la ceniza de bagazo de caña de azúcar?

1.3 Hipótesis:

La sustitución de la ceniza de bagazo de caña de azúcar por un porcentaje de agregado fino, incrementa la resistencia a compresión del concreto en un 20%.

1.4 Justificación de la investigación:

Se sabe que la durabilidad del concreto está ligada a la durabilidad individual de sus componentes y de estos, los áridos son los señalados como principales modificadores de esta.

La importancia de obtener concreto de resistencia estable, de durabilidad óptima, con las proporciones adecuadas dependiendo de la proveniencia del agregado, debido a que muchos de las canteras de materiales no cuentan con la calidad suficiente para fabricar un concreto con las características requeridas y además la crisis ambiental que se nos presenta actualmente ha incentivado a que los diferentes campos del conocimiento elaboren nuevas propuestas que contribuyan a aminorar los efectos no deseados del desarrollo. Por lo cual la razón principal del enfoque de esta investigación, es la implementación de la ceniza de

bagazo de caña de azúcar (CBCA), como sustituto porcentual del árido fino en la elaboración de concreto.

Con lo cual se busca lograr mejorar las características de dicho concreto, a base de utilizar un material el cual es considerado como desecho agroindustrial y que por lo regular solo se le da uso para fertilizar el suelo de cultivo.

Con esta alternativa que se propone en este estudio para la elaboración de concreto, se verán beneficiados: el sector económico, social y ambiental.

1.5 Alcances

La presente investigación tiene por finalidad analizar las propiedades físico-mecánicas del concreto influenciado por la sustitución porcentual del agregado fino por un desecho agroindustrial (CBCA), y comparar los resultados obtenidos con las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional, esta investigación está dirigida a los miembros de la comunidad científica, representantes del rubro de la construcción civil, como son las empresas constructoras, ingenieros, maestros de obra, albañiles y demás personas afines de la región de Cajamarca. Asimismo, está dirigida a estudiantes que deseen continuar con la investigación a la que se avoca esta tesis.

El presente estudio permitirá obtener información acerca de la utilización de un desecho agroindustrial como es la ceniza de bagazo de caña de azúcar para reducir el impacto ambiental generado en la elaboración de concreto y aumentar la resistencia a compresión en relación al concreto convencional.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la propiedad resistente a la compresión del concreto.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados y de la ceniza del bagazo.
- Calcular los valores de resistencia a compresión del concreto sustituyendo el 1%,3% y 5% del volumen absoluto del agregado fino por CBCA.
- Comparar los resultados obtenidos en los ensayos de la nueva mezcla de concreto influenciado por la CBCA con los obtenidos en el concreto convencional.
- Encontrar la dosificación óptima usando la gráfica: Resistencia a compresión vs. dosificación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación:

Antecedentes internacionales:

Ríos (2011), en México, evaluó el comportamiento mecánico y físico del concreto influenciado por la sustitución porcentual del agregado fino por CBCA. Este estudio 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 casi a la de diseño (335 kg/cm²), en tanto al ensayo de densidad aparente normada por la ASTM C642, se encontró que esta es inversamente proporcional a la cantidad sustituida por CBCA.

Torres, Gaitán, Espinoza y Escalante (2014), en Managua – Nicaragua, en este estudio, se presenta la valoración del uso de las cenizas de bagazo de caña (CBCA) proveniente del Ingenio Monte Rosa (Nicaragua) como material alternativo al cemento Portland (CP) mediante estudios de caracterización avanzada y propiedades mecánicas, en pastas endurecidas de CP sustituidas en 15 y 45 % por CBCA; además se utilizó pastas de referencia con 100 % CP sobre las cuales se evaluó las resistencias mecánicas (RM), el consumo de hidróxido de calcio y el desarrollo de los productos de reacción. Los resultados revelaron que los valores más altos de RM reportados fueron por el sistema de referencia, indicando que la RM disminuyó con el incremento en el porcentaje de sustitución.

Antecedentes nacionales:

Assureira (2013), en Lima – Perú, este proyecto propuso el uso de las hojas de caña de azúcar (HCA) para la producción de calor por combustión y la transformación de las cenizas calcinadas en un insumo para la fabricación de cemento. La propuesta se inició con el diagnóstico de los residuos generados para lo cual, se realizaron visitas a los ingenios azucareros, se aplicaron entrevistas a los actores involucrados con la finalidad de conocer detalles del proceso productivo, volúmenes y usos que le dan a los residuos generados y los efectos que genera su existencia. Luego, se caracterizaron las HCA actividad que comprende: la recolección y muestreo en campo; su acondicionamiento (corte y secado); la aplicación de los análisis inmediatos, elemental, poder calorífico y fluorescencia de rayos X. Los resultados obtenidos sirvieron para diseñar el proceso de combustión que permita obtener cenizas, las cuales luego de su calcinación presenten características reactivas adecuadas para su uso como puzolana. La evaluación del poder cementante de las cenizas comprende el desarrollo de pruebas químicas y mecánicas. Las primeras permitieron cuantificar los principales óxidos que intervienen en la reacción puzolánica. Las pruebas de resistencia a la compresión comprenden la elaboración de probetas preparadas con cenizas

de hojas de caña, cemento Portland y arena de Ottawa en diversas combinaciones, cuyos resultados se compararán con valores estándares.

Antecedentes locales:

Luis Sánchez Terrones (2016), Cajamarca Perú. Tesis: "Evaluación Del Concreto Obtenido Usando La Ceniza De Bagazo De La Caña De Azúcar, Como Adición Mineral"; La investigación tuvo como objetivo determinar si la CBCA de la Empresa Agroindustrial Casa Grande, como adición a la mezcla de concreto, genera un incremento en la resistencia a compresión del concreto. Para lo cual se llevó a cabo un diseño de investigación de tipo aplicada, experimental y proyectiva. Se realizó la adición de CBCA como adición a la mezcla del concreto en un porcentaje del peso del factor cemento de 10%, 15%, 20% y 25%. Teniendo como resistencia de diseño $f'c$ de 210 kg/cm² para el concreto patrón y utilizando cemento Pacasmayo tipo I. los ensayos realizados a compresión del concreto se hicieron a los 7, 14 y 28 días y tracción indirecta a los 28 días, tanto para concreto patrón como para el concreto que se elaboró con adición de CBCA. Después de realizar los ensayos se pudo observar que el concreto patrón o sin adición resiste más que el concreto elaborado con adición de CBCA, debido al bajo contenido de sílice presente en dicha ceniza. Por lo cual se concluye que la adición de ceniza CBCA no fue beneficiosa para mejorar la resistencia del concreto.

2.2 Bases Teóricas:

2.2.1 Introducción

La construcción es una actividad que demanda la inversión de recursos que impactan de manera significativa el medio ambiente, ya sea para obtener o producir materiales o bien la ejecución de proyectos, por esta razón la búsqueda de nuevas alternativas y tecnologías son fundamentales para satisfacer la demanda de vivienda de los sectores con menos ingresos, sin descuidar los aspectos de seguridad y comodidad. La generación de desechos generados por el ser humano va en aumento (pueden ser definidos como subproductos de la agricultura, forestales, procesos industriales e incluso domésticos), que esencialmente no tienen nada que ver con la construcción, pero que, con tratamiento y procesamiento especial, o unidos con otros materiales, puede sustituir económicamente, o incluso mejorar la calidad de los materiales de construcción convencionales.

Dentro de estos, los residuos agrícolas (desechos orgánicos) como la cáscara de arroz, desechos de coco y madera, cañas y pajas, bagazo de caña de azúcar, hojas y tallos de plátano, líquido de cáscara de nuez, así como algunos desechos de vegetales varios; han sido evaluados en otros países como por ejemplo Canadá, Estados

Unidos, China, Colombia, etc. Para aprovecharlos dentro de las diferentes actividades de la construcción y disminuir los impactos ambientales ocasionados.

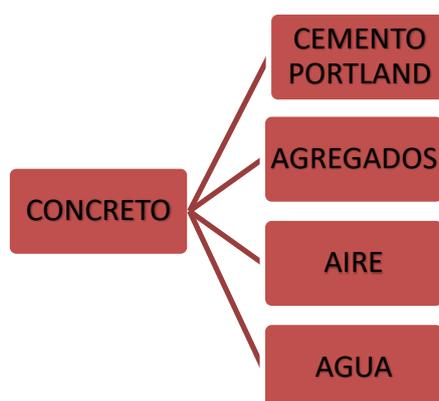
Teniendo como referencia los argumentos anteriormente planteados, es de vital importancia implementar nuevos productos al mercado, por lo cual el presente estudio está enfocado a determinar cuan favorable es el uso de la CBCA como sustituto porcentual del agregado fino.

2.2.2 Concreto.

(Enrique Rivva López, Naturaleza y materiales del concreto, Primera edición – diciembre 2000)

El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

Ilustración 1: Composición del concreto



Fuente: Elaboración propia

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

2.2.2.1 Características

Rivva manifiesta entre los factores que hacen del concreto un material de construcción universal tenemos:

- La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- Su elevada resistencia al fuego y penetración del agua.

Pero el concreto también tiene desventajas como, por ejemplo:

- Con frecuencia el concreto se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción, es decir el control de calidad no es tan bueno.
- El concreto es un material de escasa resistencia a la tracción. Esto hace difícil su uso en elementos estructurales que están sometidos a tracción.

2.2.3 Materiales para el concreto

2.2.3.1 El cemento

(Neville y Brooks - Tecnología del Concreto 1998)

Definición: El cemento es el componente más activo del concreto generalmente tiene el mayor costo unitario. Por ello y considerando que las propiedades del concreto dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la selección y uso adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada. En el mercado peruano existe variedad de cementos para ser empleados por el usuario y la mayoría de ellos proporcionan adecuados niveles de resistencia y durabilidad en las obras usuales.

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos Portland que cumplen con los requisitos que especifica la Norma ASTM C 150; o cementos combinados, que cumplen con lo indicado en la Norma ASTM C 595.

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como el aire, y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

En un sentido estricto, se considera cemento a toda sustancia o mezcla de sustancias que tienen propiedades adhesivas, entrando en esta definición, por tanto, productos muy diversas incluso resinas. En un sentido más preciso se denomina cemento a todo agente aglutinante hidráulico.

La hidraulicidad es la capacidad de fraguado tanto al aire como en agua. En esencia del cemento consisten en un polvo

fino que se obtiene moliendo escoria de una mezcla de arcilla y piedra caliza.

Cemento portland normal: El cemento portland normal es el producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan el 1% en el peso total y que la norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

El cemento portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C 150 para el tipo I, el cual se fabrican en el Perú. Alternativamente podrán emplearse los requisitos de las Normas NTP para cementos.

El cemento Portland normal Tipo I: se empleará en todos aquellos casos en que no se requieran en el concreto las propiedades especiales para los otros tipos. Debe cumplir con los requisitos de las Normas ASTM C 150 o NTP 334.039.

Composición del cemento portland: Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de la resistencia mecánica en el producto.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto.

El porcentaje en que se encuentran en el Clinker los cuatro componentes principales, dependen de las proporciones relativas entre los compuestos ácidos y la cal, los componentes ácidos llamados también factores hidráulicos incluyen la sílice, la alúmina y el óxido férrico siendo los dos últimos denominados fundentes.

Tabla 1: porcentaje promedio de componentes en el cemento.

Componente	Fórmula	Porcentaje
Cal combinada	CaO	62.50%
Sílice	SiO ₂	21.00%
Alúmina	Al ₂ O ₃	6.50%
Hierro	Fe ₂ O ₃	2.50%
Azufre	SO ₃	2.00%
Cal libre	CaO	0.00%
Magnesia	MgO	2.00%
Pérdida de fuego		2.00%
Residuo insoluble		1.00%
Álcalis	Na ₂ O+K ₂ O	0.50%

Fuente: Neville y Brooks - Tecnología del Concreto 1998

De acuerdo a Bogue, los porcentajes límites de los componentes principales del Clinker deben estar alrededor de los siguientes valores:

- Silicato tricálcico (3 CaO.SiO₂----->C3S----->Alita)

Composición de 30% al 60% y define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.

- Silicato di cálcico (2 CaO.SiO₂----->C2S----->Belita)

Composición de 15% al 60% y define la resistencia a largo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.

- Aluminato tricálcico (3 CaO.Al₂O₃----->C3A)

Composición de 7% al 15%, aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso para controlarlo. Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas por lo que hay que limitar su contenido.

- Aluminio–Férrico tetracálcico
($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ----->C4AF----->Celita)
Composición de 8% a 10% tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Oxido de magnesio (MgO)

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores al 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada endurecida.
- Óxidos de potasio y sodio ($\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Na}_2\text{O}$ -----> Álcalis)

Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados y solubles en agua contribuyen a producir eflorescencia con agregados calcáreos.
- Óxidos de manganeso y titanio ($\text{Mn}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$)

El primero no tiene significado especial en las propiedades del cemento salvo en su colocación, que tiene a ser marrón si se tiene contenidos mayores del 3% observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo.

El segundo fluye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5% para contenidos menores no tiene trascendencia.

Características esenciales del cemento: La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento de la pasta cementante y sus propiedades de la pasta cementante del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del Clinker y de su finura de la molienda.

Características físicas y mecánicas: Las características físicas y mecánicas más importantes son: Finura o fineza, peso específico, fraguado, estabilidad de volumen, resistencia a la compresión, contenido de aire y calor de hidratación.

- **Finura o fineza.** Referida al grado de molienda del polvo, se expresa por la superficie específica en m^2/kg . En el laboratorio existen 2 ensayos para determinarlo.
 - Permeabilímetro de Blaine
 - Turbidímetro de Wagner

A mayor finura, crece la resistencia, pero aumenta el calor de hidratación cambios de volumen. A mayor finura del cemento mayor rapidez de hidratación del cemento y mayor desarrollo de resistencia.

- **Peso específico.** Referido al peso del cemento por unidad de volumen, se expresa en gr/cm. En el laboratorio se determina por medio de:

- Ensayo del frasco de le chatelier (NTP 334.005)

Se usa para los cálculos de diseño de mezclas.

Los pesos específicos de los cementos portland son aproximadamente 3.15 gr/cm³.

- **Tiempo de fraguado.** Es el tiempo entre mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta. Se expresa en minutos. Se expresa como el tiempo del fraguado inicial y el tiempo de fraguado final.

- **Estabilidad de volumen.** Representa la verificación de los cambios volumétricos por la presencia de agentes expansivos, se expresa en %. En el laboratorio se determina mediante:

- Ensayo de Autoclave: NTP 334.00 (99)

- **Resistencia a la compresión.** Mide la capacidad mecánica del cemento a soportar una fuerza externa a compresión. Es una de las más importantes propiedades, se expresa en kg/cm². En el laboratorio se determina mediante:

- Ensayo de compresión en probetas cubicas de 5 cm de lado (con mortero cemento – arena normalizada): NTP 334.051 (98) se prueba a diferentes edades 1, 3, 7, 28. Propiedad que decide la calidad de los cementos

- **Contenido de aire.** Mide la cantidad de aire atrapado o retenido en la mezcla (mortero), se expresa en % del volumen total. En el laboratorio se determina mediante:

- Pesos y volúmenes absolutos de mortero CA en molde cilíndrico estándar: NTP 334.048. Concretos con aire atrapado disminuye la resistencia (5% por cada 1%)

- **Calor de hidratación.** es el calor que se genera por la reacción (agua + cemento) exotérmica de la hidratación del cemento, se expresa en cal/gr y depende

principalmente de C3A y C3S. en el laboratorio se determina mediante:

- Ensayo del calorímetro de langavant o el de la botella aislante; Se emplea morteros estándar NTP 334.064.

Tipo de cemento utilizado en la investigación – aplicaciones. El cemento usado para esta investigación es el cemento Pacasmayo Portland Tipo I, es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

Propiedades:

- Mayores resistencias iniciales
- Menores tiempos de fraguado

Aplicaciones:

- Obras de concreto y concreto armado en general
- Estructuras que requieran un rápido desencofrado
- Concreto en clima frío
- Productos prefabricados
- Pavimentos y cimentaciones

2.2.3.2 Agregados para el concreto

(Abraham Polanco Rodríguez – Manual de Practicas de Laboratorio de Concreto)

Generalidades

Antiguamente se decía que los agregados eran elementos inertes dentro del concreto ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, la tecnología establece que siendo este material el que mayor porcentaje de participación tendrá dentro de la unidad cubica de concreto sus propiedades y características influyen en todas las propiedades del concreto.

La influencia de este material en las propiedades del concreto tiene efecto importante no solo en el acabado y calidad final del concreto sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad,

resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

Sabemos que el concreto está formado por una pasta de cemento y agua en el que se encuentran embebidas partículas de un material conocido como agregado, el cual ocupa aproximadamente del 65 % al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto.

La norma del concreto E – 60, recomienda que a pesar que en ciertas circunstancias agregados no cumplen con los requisitos estipulados han demostrado buen comportamiento satisfactorio en experiencias de obras ejecutadas, sin embargo, debe tenerse en cuenta que un comportamiento satisfactorio en el pasado no garantiza buenos resultados bajo otras condiciones y en diferentes localizaciones, en la medida de lo posible deberán usarse agregados que cumplan con las especificaciones del proyecto.

Se clasifican en:

Agregado Fino: se define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca, que pasa por el tamiz 3/8" (9.51 mm) quedando retenido en el tamiz N° 200 (74um), cumpliendo con los límites establecidos en la NTP 400.037

Agregado Grueso: se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm), podrá consistir de grava natural triturada, piedra partida o agregados metálicos naturales o artificiales.

- El agregado grueso puede consistir de piedra partida o grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas preferentemente angulares o semi angulares, limpias, duras, compactas, resistentes de textura preferentemente rugosa y libre de material escamoso o partículas blandas.
- Las partículas deberán ser químicamente estables y estarán libres de escamas, tierra, polvo, limo, sales, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica u otras sustancias dañinas.
- Debido a la mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular, la piedra chancada produce resistencias mayores que la grava redondeada. La angularidad

acentuada deberá ser evitada por requerir de altos contenidos de agua y presentar reducciones de trabajabilidad.

Propiedades físicas de los agregados.

- **Granulometría (NTP 400.012 – ASTM C 136):** Se denomina así a la distribución por tamaños de las partículas que constituyen un agregado y se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total. Ello se logra separando al material por procedimiento mecánico empleando tamices de aberturas cuadradas determinadas.

La norma ASTM – C33 o la NTP 400.037 establece los límites granulométricos, donde deben estar comprendidos el agregado fino y el agregado grueso a fin de ser aptos para la elaboración de concretos.

Agregado Fino: El porcentaje retenido en dos mallas sucesivas no excederá del 45% si el agregado empleado es en concretos con aire incorporado y con un contenido de cemento mayor a 225 kg; o si el concreto sin aire incorporado y un contenido de cemento mayor de 300 kg/m³; o si una adición mineral aprobada es empleada para suplir las deficiencias que pasa dichas mallas, el porcentaje indicado para las mallas N° 50 y N° 100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente.

Preferentemente el módulo deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 debiendo ser mantenido dentro de los límites +- 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla.

Si se sobrepasa el valor asumido, por exceso o por defecto, la supervisión podrá autorizar reajustes en las proporciones de la mezcla o rechazar el agregado para compensar las variaciones en la granulometría. Estos ajustes no deberán significar reducción en el contenido de cemento.

Tabla 2: Husos granulométricos de la NTP 400.037

Tamiz		Porcentajes de peso acumulado que pasa	
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.15	0	10

Fuente: Norma NTP 400.037

Para la investigación tomaremos como referencia el huso granulométrico de la NTP 400.037.

Agregado Grueso: El agregado grueso esta graduado dentro de los límites especificados en las NTP 400.037 o ASTM C33. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad de concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla 1 ½ y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".

Tabla 3: Husos granulométricos del agregado grueso

N° AST M	TANAÑO NOMINA L	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100m m 4"	90m m 3.5"	75m m 3"	63m m 2.5"	50m m 2"	37.5m m 1.5"	25m m 1"	19m m 3/4"	12.5m m 1/2"	9.5m m 3/8 "	5.75m m N°4	2.36m m N°8	1.18m m N°16
1	3½" a 1 ½"	100	90		25		0		0					
			100		60		15		5					
2	2½" a 1 ½"			100	90	35	0		0					
					100	70	15		5					
3	2" a 1"				100	90	35	0		0				
						100	70	15		5				
357	2" a N°4				100	95		35		10		0		
						100		70		30		5		
4	1½" a ¾"				100		90	20	0		0			
							100	55	15		5			
467	1½" a N°4				100		95		35		10	0		
							100		70		30	5		

5	1" a 1/2"	100	90	20	0	0			
			100	55	10	5			
56	1" a 3/8"	100	90	40	10	0	0		
			100	85	40	15	5		
57	1" a N°4	100	95		25		0	0	
			100		60		10	5	
6	3/4" a 3/8"	100		90	20	0	0		
				100	55	15	5		
67	3/4" a N°4		100	90		20	0	0	
				100		55	10	5	
7	1/2" a N°4			100	90	40	0	0	
					100	70	15	5	
9	3/8" a N°8			100		85	10	0	0
						100	30	10	5

Fuente: Norma ASTM C-33

- **Módulo de finura (NTP 400.012):** El módulo de finura es un número adimensional que representa el tamaño promedio ponderado de las partículas del agregado, se utiliza para controlar uniformidad de los agregados, además de servir como medida del valor lubricante de un agregado, ya que cuando mayor es su valor menor será su valor lubricante y la demanda del agua por área superficial.

El módulo de finura se obtiene a través de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 1 ½", ¾", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 dividida entre 100.

$$M.f. = \frac{\sum \% \text{ Acum. Ret. } 1\frac{1}{2}, 3/4, 3/8, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

- **Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C29):** Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos.

Existen dos tipos de pesos unitarios:

Peso unitario suelto P.U.S.: En este ensayo se busca determinar el peso del agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario.

Se usa el término "Peso volumétrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y los huecos. Este peso se utiliza para convertir cantidad en peso a cantidad en volumen.

Al realizar este ensayo se deja caer suavemente el agregado grueso dentro del recipiente hasta llenarlo.

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Peso del recipiente}}$$

Peso unitario compactado P.U.C.: Es la relación entre el peso del material compactado y el volumen del recipiente que lo contiene. Este ensayo nos determina el grado de compactación que puede presentar los materiales en su estado natural.

Todos los agregados presentan distinta proporción entre el peso unitario compactado con el peso unitario suelto.

$$P. U. C. = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Peso del recipiente}}$$

- **Peso específico y absorción (ASTM C 128 / NTP 400.022):**

AGREGAD FINO: Generalmente el peso específico es usado para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como los son el concreto de cemento portland, el concreto bituminoso, u otras mezclas que están proporcionales o analizadas sobre un volumen básico, el peso específico es también usado en el cálculo de vacíos en el agregado, y viene dado por la relación entre el peso y el volumen del material sólido. Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$Pe = \frac{W_o}{V - Va}$$

Donde:

V: Volumen del frasco utilizado en ensayo

Wo: Peso en el aire de la muestra secada en estufa

Va: Peso en gr o volumen en cm³ del agua añadida en frasco

La absorción se define como el incremento de peso de un árido poroso seco, hasta lograr su condición de saturación con la superficie seca, debido a la penetración de agua a sus poros permeables. La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. Si la humedad del agregado es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al hormigón para compensar la que absorberán los agregados, está dada por la siguiente fórmula:

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

Donde:

V: Volumen del frasco utilizado en ensayo

Wo: Peso en el aire de la muestra secada en estufa

Va: Peso en gr o volumen en cm³ del agua añadida en frasco

AGREGADO GRUESO: Para determinar la densidad del agregado grueso, se realiza mediante el empleo del Principio de Arquímedes para obtener el volumen de gravas y también determinar el porcentaje de absorción que tienen las gravas; ambos resultados tienen aplicación en lo que es el diseño de mezcla de concreto. El peso específico y la absorción del agregado grueso esta dado mediante las siguientes fórmulas:

$$Pe = \frac{A}{B - C}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A}$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca al horno (g)

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

C: Peso en el agua de la muestra saturada (g)

- **Contenido de humedad (NTP 400.016 – ASTM C566):**

Se entiende por contenido de humedad a la cantidad de agua que posee el material en estado natural, es importante debido a que puede hacer variar la relación A/C del diseño de mezcla por lo tanto influye en la resistencia y en otras propiedades del concreto, debido a esto es necesario controlar la cantidad de agua.

Las condiciones de humedad a tener en cuenta se definirán de la siguiente manera:

- Secados al horno: completamente absorbentes.
- Secados al aire: la superficie de las partículas esta seca pero esta húmeda interiormente, por lo tanto, son absorbentes.
- Saturados superficialmente secos: no absorben agua ni aumentan el agua de la mezcla.
- Húmedo o mojados: si contienen un exceso de humedad en la superficie.

Cálculo del contenido de humedad:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) \times 100}{\text{Peso Seco}}$$

- **Contaminación de los agregados (NTP 400.018 – ASTM C117):** Son elementos perjudiciales que cuando se hallan presentes en los agregados disminuyen las propiedades fundamentales del concreto, tanto en la elaboración como en su comportamiento posterior.

Clasificación:

A las sustancias deletéreas se puede clasificar en tres grupos:

- Materiales muy finos
- Materiales orgánicos
- Partículas suaves, desmenuzables y ligeras.

- **Resistencia a la abrasión (NTP 400.019 – ASTM C131):** Oposición que presentan los agregados sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento ya sea de carácter mecánico o hidráulico. Se mide en función inversa al incremento de material fino y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste. Existen diversos métodos para medir los efectos de abrasión, pero actualmente el más usado es la prueba de los ángeles, por la rapidez con la que se efectúa y porque se puede aplicar a cualquier tipo de agregado.

- **Tamaño máximo.**

El estudio del tamaño máximo de los agregados y su influencia en las propiedades del concreto han sido ampliamente investigados, para obtener una óptima resistencia a la compresión de los concretos con baja relación agua/cemento, diversos investigadores han concluido que el tamaño máximo a utilizarse debe variar entre $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", no es recomendable usar tamaños mayores a 1", se ha encontrado que la adherencia de partículas de agregados de 3" es solamente la décima parte de la de los agregados de $\frac{1}{2}$ ". Los agregados con tamaño menor contribuyen a producir concretos más resistentes debido a una menor concentración de esfuerzos alrededor de las partículas causados por la diferencia de módulos de elasticidad entre pasta y el agregado.

De acuerdo a la norma NTP 400.037 el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra del agregado grueso.

Granulometrías muy disimiles pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso, ello se debe tener en cuenta para la selección del agregado, de su granulometría y de las proporciones de la mezcla.

- **Tamaño máximo nominal.**

De acuerdo a la norma NTP 400.037 se entiende por tamaño máximo nominal al que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. El tamaño nominal del agregado no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados o
- Un tercio del peralte de las losas o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales del refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos pre esfuerzo.

En elementos de espesor reducido, o ante la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá disminuir el tamaño del agregado grueso, siempre que se mantenga una adecuada trabajabilidad, se cumpla con el asentamiento requerido y se obtenga la resistencia especificada.

Las limitaciones anteriores también pueden ser obviadas si a criterio de la supervisión, la trabajabilidad, consistencia del concreto y los procedimientos de compactación son tales que el concreto puede ser colocado sin que formen vacíos o cangrejeras.

2.2.3.3 El agua para el concreto

(Enrique Rivva López, Naturaleza y materiales del concreto, Primera edición – diciembre 2000)

Conceptos generales

Rivva menciona que el agua es uno de los componentes del concreto que da la trabajabilidad y a su vez actúa con el cemento para producir el endurecimiento del concreto.

El agua presente en la mezcla del concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- La formación del gel.
- Permitir que el conjunto de la masa adquiera las propiedades que:

- En estado no endurecido facilitan una adecuada manipulación y colocación de la misma; y
- En estado endurecido la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad. Se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación de concreto.

Debe recordarse que no todas las aguas que son adecuadas para beber son convenientes para el mezclado y que, igualmente no todas las aguas inadecuadas para beber son inconvenientes para preparar el concreto.

En general dentro de las limitaciones que en las diferentes secciones se han de dar, el agua de mezclado deberá estar libre de sustancias colorantes, aceites y azúcares.

Adicionalmente, el agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en este.

Previamente a su empleo, será necesario investigar y asegurarse que la fuente de provisión no está sometida a influencias que puedan modificar su composición y características con respecto a las conocidas que permitieron su empleo con resultados satisfactorios.

Requisitos de calidad.

El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma NTP 339.088 y que puede ser de preferencia, potable.

No existen criterios uniformes cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse.

A continuación, se presenta, en partes por millón, los valores aceptados como máximos para el agua utilizada en el concreto.

Tabla 4: Requisitos del agua para el concreto

Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
Ph	Mayor de 7
Sólidos de suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Libro Tópicos de Tecnología del Concreto – Enrique Pascal

El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados, igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.

Si se utiliza aguas no potables, la calidad de agua, determinada por análisis de laboratorio, deberá ser aprobada por la supervisión.

Requisitos del comité del ACI.

- El agua empleada para el mezclado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras sustancias peligrosas para el concreto o refuerzo.
- No deberá emplearse en los concretos, aguas no potables, salvo que las condiciones sean satisfechas.
- Las sales u otras sustancias peligrosas, con las que contribuyen los agregados o aditivos, deben ser añadidas al volumen que pueden ser contenido en el agua de mezclado, estos volúmenes adicionales deben ser considerados en la evaluación de la aceptación de las impurezas totales que pueden ser peligros para el concreto o acero.
- El agua a emplearse en la preparación del concreto se almacenará, de preferencia en tanques metálicos o silos. Se tomarán las precauciones que eviten su contaminación. No es recomendable almacenar el agua de mar en tanques metálicos.

2.2.3.4 La caña de azúcar.

(Miguel Ángel Ramírez, Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos, Primera edición – Julio 2008)

Características generales:

Nombre científico: Saccharum officinarum

La caña de azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis.

El proceso de producción inicia con la preparación del terreno(arando la tierra), etapa previa de la siembra de la caña, una vez que la planta madura entre los 12 y 15 meses, las personas encargadas de la tarea de la cosecha se dispone a cortarla y recogerla a través de alce mecánico, para llevarla a los ingenios azucareros, una vez en estos sitios se hacen muestreos para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas, luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde temporalmente se almacena, de ahí pasa a las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda transportadora que las conduce para su picado, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos. Una vez que la caña ha sido preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, generalmente caliente para extraer al máximo la sacarosa que contiene el material fibroso. Este proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se va a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos.

Tipos de suelo: Se adapta a casi cualquier tipo de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos francos, profundos y bien drenados. Se prefieren suelos con un pH de 7, pero se puede cultivar en un rango de 5.5 a 7.8.

El cultivo demanda altos requerimientos nutricionales en consideración a la alta cantidad de materia verde y seca que produce, situación que agota los suelos y hace necesario un adecuado programa de fertilización. Sin embargo, es muy eficiente en el aprovechamiento de la luz solar.

Requerimientos de agua: La caña de azúcar requiere grandes cantidades de agua, aunque también es relativamente eficiente en su uso. La precipitación mínima es de 1500 mm por temporada. Si la precipitación no es suficiente para cubrir esa cantidad, se puede utilizar irrigación.

Clima: La caña de azúcar se cultiva en los climas tropicales y subtropicales, desarrollándose mejor en climas calientes y con mucha exposición solar. Generalmente se cultiva a una altura entre los 0 y 1000 msnm. Requiere de un clima húmedo, alternando con periodos secos y temperaturas entre los 16 y 30 grados centígrados.

Cosecha: la propagación de la caña de azúcar se realiza por estaca. La cosecha conocida también como zafra se puede hacer de forma mecanizada como manual. Por cada plantación generalmente se extraen 4 o 5 cortes (cosechas) y luego se realiza la renovación del cultivo.

Producción agrícola.

La mayoría de países en Latinoamérica cultiva la caña de azúcar para la producción de azúcar. Los principales productores son Brasil, México y Colombia.

Los rendimientos promedio de producción para los principales productores de la región se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 5: Rendimiento de caña de azúcar en países de América Latina.

País	Ton/ha
Perú	126.05
Guatemala	103.68
Colombia	94.33
México	74.39
Ecuador	72.89
Brasil	70.63
Argentina	63.63
Venezuela	62.65
R. Dominicana	47.47
Cuba	43.92

Fuente: FAO Statistics. Promedios 2014

2.2.3.5 La ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA).

(Uriel Hernández Jaén, *Comportamiento Mecánico y Físico del Mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros, Tesis – Octubre 2011*)

Las CBCA es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible para calentar las calderas de donde se obtiene el azúcar.

La utilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en diversos campos, como la agricultura, y ahora, en la construcción, será de gran aprovechamiento. Ya que contiene gran porcentaje de sílice, se podría utilizar como material cementante para utilizarlo como cemento puzolánico. Además, hay que conocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40 – 50 % de su volumen de toda la planta.

2.2.3.6 Composición de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar (CBCA).

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

En las tablas 6 y 7 se indica cómo se encuentra distribuida la composición química de las diferentes CBCA de los países como Perú y Cuba.

Tabla 6: Composición química de la ceniza del bagazo cubano

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZA DE BAGAZO CUBANO		
Compuesto constitutivo		Porcentaje
Nombre	Forma abreviada	
Sílice	SiO ₂	56.40%
Óxido férrico + Alúmina	F ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	5.15%
Óxido de calcio + Óxido de Magnesio	CaO + MgO	9.08%
Álcalis	Na ₂ O y K ₂ O	12.60%

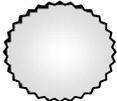
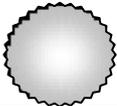
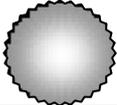
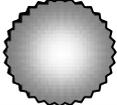
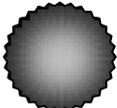
Tabla 7: Composición química de la ceniza de bagazo cubano y bagazo peruano

Composición Química de Ceniza de bagazo cubano y bagazo Peruano									
Ceniza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₆	SO ₃
Cubano	64.71	4.21	13.77	6.22	1.37	6.87	1.00	0.27	0.01
Peruano	67.52	3.50	7.60	3.50	8.95	3.75	2.17	1.70	0.03

Los componentes químicos de la CBCA son óptimos como un material cementante puzolánicos por su alto contenido en oxido de silicio

En un estudio reciente acerca de cómo influye en gran medida las condiciones de quema del bagazo en las propiedades de la ceniza se encontró que en este proceso, el bagazo atraviesa por varias modificaciones en su estructura.

Tabla 8: Proceso de modificación en la quema de la ceniza

	<p>A 100°C se presenta una pérdida inicial de masa, resultante de la evaporación de agua absorbida.</p>
	<p>A 350°C Inicia una ignición del material más volátil, aquí es donde inicia la quema del bagazo.</p>
	<p>Entre 400° a 500°C el carbón residual y los óxidos se forman, se observa una pérdida más importante de masa, después de esta etapa la ceniza se convierte en amorfa, rica en sílice.</p>
	<p>El uso de temperaturas por arriba de los 700°C puede llevar a la formación de cuarzos, y niveles aún más elevados de temperatura, pueden crear otras formas cristalinas.</p>
	<p>Encima de los 800°C, la sílice presente en la ceniza del bagazo de caña de azúcar es esencialmente cristalino.</p>

Las modificaciones por la que atraviesa el bagazo en su proceso de quema se indican en la tabla 8.

La cantidad y la forma de sílice en la ceniza dependen no solamente de la temperatura, sino también del periodo de quema.

Se señala al respecto en un trabajo realizado en Londres, que mantener la ceniza a periodos más largos de quema a temperatura de 500°C a 680°C por menos de un minuto, dan como resultado una sílice totalmente amorfa. En el mismo trabajo, se menciona que las condiciones de quema además de influir en el grado de cristalinidad de la ceniza, también afecta el área de superficie específica de las partículas, propiedad estrechamente relacionada con la reactividad de la ceniza.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.010 (AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras), teniendo consideraciones como el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la arena a utilizar y el transporte de las muestras al laboratorio, lugar donde se realizaron los ensayos físico-mecánicos de los agregados, los diseños de mezclas y la preparación de los especímenes de concreto.

3.2 Localización

La investigación es en el campus universitario, ubicada en la Av. Atahualpa N° 1050, Facultad de Ingeniería, en el laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz".

3.3 Metodología

La investigación fue aplicada en su primera parte con un nivel descriptivo, luego explicativo y finalmente comparativo.

Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental.

3.4 Materiales y Equipos

3.4.1 *Materiales*

- **Cemento:** Cemento Pacasmayo Tipo I, con peso específico 3.11 g/cm³
- **Agregados:** Fino (Arena) y grueso (Piedra Chancada) Procedentes de la cantera "Roca Fuerte".
- **Agua potable:** proveniente de la red pública de servicio de agua en Cajamarca. NTP339.088
- **Ceniza de bagazo de caña de azúcar:** proveniente del Ingenio azucarero "Paramonga".

3.4.2 *Equipos*

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 ° C.
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro con aproximación de 0.5 ° C.
- Esferas de acero
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.

- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.
- La Máquina de los Ángeles.
- Máquina Universal – Resistencia a Compresión.

3.5 Procedimiento

Para la elaboración de la presente tesis, se seleccionó la cantera “Roca Fuerte” del cual se extrajeron los agregados, se desarrollaron estudios de las propiedades de estos, Luego se realizó diseños de pruebas para seleccionar un diseño patrón, a este diseño patrón se reemplazó la ceniza de bagazo de la caña de azúcar en porcentajes de 1%, 3% y 5%, en peso por el agregado fino y finalmente compararlos con el diseño patrón o convencional.

Se realizaron especímenes para ensayos de resistencia a la compresión: distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 9: Cantidad de especímenes realizados en la investigación.

Cantidad de especímenes para ensayos de resistencia a la compresión

Tiempo de rotura	7 días	14 días	28 días	total
Diseño convencional	15	15	15	
Diseño con 1% de CBCA	15	15	15	
Diseño con 3% de CBCA	15	15	15	180
Diseño con 5% de CBCA	15	15	15	

Fuente: elaboración propia

3.6 Cantera

3.6.1 Elección de la cantera

El material que se ha utilizado en los diferentes ensayos de laboratorio, fue obtenido de la cantera “Roca Fuerte”. Eligiéndose esta cantera debido a que hay un sector considerable de la población de Cajamarca que utiliza los agregados para la construcción de distintas obras civiles.

3.6.2 Ubicación

Geográficamente ésta cantera está ubicada al oeste del distrito Baños del Inca, en el flanco derecho del Río Chonta.

El área de extracción está delimitada dentro de las Coordenadas UTM siguientes:

NORTE : 9207403.16N
 ESTE : 779716.82E
 Altitud : 2686 m.s.n.m.

Partimos de la ciudad de Cajamarca al distrito de baños del inca a 7 kilómetros de esta. Llegamos a la cuadra número 2 del Jr. Manco Cápac, entrando a la mano izquierda a menos de un kilómetro se encuentra la cantera de extracción de materiales de río, cumpliendo con los requisitos de extracción de la muestra según la norma NTP 400.010.

Ilustración 2: Ubicación de la cantera



Fuente: imágenes Google Earth

La Chancadora está formada por una faja alimentadora, una faja transportadora la abertura de alimentación, la boca de descarga de la chancadora más las quijadas que funcionan con una faja alimentadora que transporta las piedras hacia un tapiz que las separa según el tamaño $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$.

Ilustración 3: Cantera Roca Fuerte



Fuente: fotografía propia.

3.7 CBCA

3.7.1 Elección del Ingenio azucarero

En la presente tesis de investigación, la ceniza que se ha utilizado en los diferentes ensayos de laboratorio, fue obtenido del ingenio azucarero “Paramonga”.

3.7.2 Ubicación

- Dirección Legal: Av. Ferrocarril Nro. 212
- Distrito / Ciudad: Paramonga
- Provincia: Barranca
- Departamento: Lima, Perú

Ilustración 4: Ubicación del Ingenio azucarero.



Fuente: imágenes Google Earth

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de los ensayos de laboratorio

Una vez seleccionada la cantera y luego de haber extraído los agregados, se procedió a realizar los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas con la finalidad de proceder a realizar los diseños de mezcla correspondientes a fin de elaborar los especímenes de concreto para su posterior evaluación.

4.1.1 Características físicas del agregado fino

- Peso específico de masa (ASTM C 128 / NTP 400.022) = **2.602 gr/cm³**
- Absorción (ASTM C 128 / NTP 400.022) = **1.495%**
- Peso unitario suelto del agregado fino (ASTM C 29 / NTP 400.017) = **1584 Kg/m³**
- Peso unitario compactado del agregado fino (NTP 400.017 / ASTM C 29) = **1721 Kg/m³**
- Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico (A.S.T.M. C 136/ NTP 400.012) = **3.018**
- Material más fino que el tamiz N° 200 (A.S.T.M. C 117 / NTP 400.018) = **4.20%**

Según los resultados obtenidos, se puede indicar que la cantera "Roca Fuerte" (Río Chonta) Baños del Inca – Cajamarca, cumple con lo estipulado en la Norma Técnica 400.037 (AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) en lo que respecta al material más fino que el tamiz n° 200 (menor que 5%) y que la curva granulométrica del agregado fino cumple con el uso granulométrico M de la norma mencionada. (*Ver anexo características de los materiales*)

4.1.2 Características físicas del agregado grueso

- Tamaño máximo nominal: **3/4"**
- Peso específico de masa (ASTM C 127 / NTP 400.021) = **2.611 gr/cm³**
- Absorción (ASTM C 127 / NTP 400.021) = **1.112%**
- Peso unitario suelto del agregado grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017) = **1389 Kg/m³**
- Peso unitario compactado del agregado grueso (NTP 400.017 / ASTM C 29) = **1500 Kg/m³**
- Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico (A.S.T.M. C 136/ NTP 400.012) = **6.717**
- Material más fino que el tamiz N° 200 (A.S.T.M. C 117 / NTP 400.018) = **0.44%**

- Ensayo de abrasión (A.S.T.M. C 131 / NTP 400.019) = **27.02 %**
Según los resultados obtenidos, se puede indicar que la cantera “Roca Fuerte” (Río Chonta) Baños del Inca – Cajamarca, cumple con lo estipulado en la Norma Técnica 400.037 (AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) en lo que respecta al material más fino que el tamiz n° 200 (menor que 1%) y que la curva granulométrica del agregado grueso cumple con el uso granulométrico N° 67 de la Norma ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates). (*Ver anexo características de los materiales*)

4.2 Diseño de mezcla

El **Reglamento ACI 318S (2014)**, establece que el concreto debe dosificarse para que proporcione una determinada resistencia promedio a la compresión a f'_{cr} . El concreto debe producirse de manera que se minimice la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a f'_{c} .

Los requisitos para la dosificación del concreto se basan en la filosofía de que el concreto debe tener una adecuada durabilidad y resistencia. Los criterios para la aceptación del concreto se basan en la filosofía de que el Reglamento pretende primordialmente proteger la seguridad pública.

La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr;

- La trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.
- Resistencia a exposiciones especiales que puedan privarlo de su capacidad de servicio.
- Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia.

Para seleccionar una mezcla adecuada de concreto, hay que seguir tres pasos básicos. El primero es determinar la desviación estándar de la muestra. El segundo determinar la resistencia promedio a la compresión requerida. El tercer paso es la dosificación de la mezcla requerida para producir esa resistencia promedio, ya sea mediante mezclas de prueba o un adecuado registro de experiencias.

Los diseños de mezcla fueron realizados siguiendo el método del módulo de finura de la combinación de agregados y consistió en realizar 4 diseños de mezcla (Mezcla Patrón, Mezcla con dosificación de 1%, 3% y 5% de CBCA por volumen absoluto de agregado fino), realizando con cada una de ellas

45 especímenes, los que serán ensayados a compresión uniaxial según la Norma ASTM C 39 a edades de 7, 14 y 28 días.

Cabe mencionar que el concreto a evaluar es un concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$, con cemento portland Pacasmayo Tipo I según norma ASTM C-150, cuyo peso específico es 3.12 gr/cm^3 y con CBCA, cuyo peso específico de masa es de 1948 Kg/m^3 .

4.2.1 Diseño de mezcla Patrón

Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 4.70% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.66%, el diseño se muestra en el anexo 4.

4.2.2 Diseño de mezcla con dosificación de 1%

Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 4.70% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.66%, el diseño se muestra en el anexo 4.

4.2.3 Diseño de mezcla con dosificación de 3%

Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 4.70% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.66%, el diseño se muestra en el anexo 4.

4.2.4 Diseño de mezcla con dosificación de 5%

Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 4.70% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.66%, el diseño se muestra en el anexo 4.

4.3 Resultado de ensayos de consistencia o slump

Los ensayos de consistencia del concreto fueron realizados siguiendo lo estipulado en la Norma ASTM C 143 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete), para cada uno de los tipos de mezcla realizados, obteniéndose los siguientes resultados:

4.3.1 Mezcla Patrón

Tabla 10: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla Patrón.

ENSAYO	SLUMP MEDIDO (PULG)
Ensayo 1	3.5
Ensayo 2	3.0
Ensayo 3	3.5
Ensayo 4	4.0
Ensayo 5	4.0

Fuente: elaboración propia

4.3.2 Mezcla con dosificación de 1%

Tabla 11: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 1%.

ENSAYO	SLUMP MEDIDO (PULG)
Ensayo 1	3.0
Ensayo 2	3.0
Ensayo 3	4.0
Ensayo 4	3.5
Ensayo 5	3.5

Fuente: elaboración propia

4.3.3 Mezcla con dosificación de 3%

Tabla 12: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 3%.

ENSAYO	SLUMP MEDIDO (PULG)
Ensayo 1	3.0
Ensayo 2	3.5
Ensayo 3	3.0
Ensayo 4	3.0
Ensayo 5	4.0

Fuente: elaboración propia

4.3.4 Mezcla con dosificación de 5%

Tabla 13: Resultados del ensayo de Slump para la Mezcla con dosificación de 5%.

ENSAYO	SLUMP MEDIDO (PULG)
Ensayo 1	3.0
Ensayo 2	3.5
Ensayo 3	3.5
Ensayo 4	4.0
Ensayo 5	4.0

Fuente: elaboración propia

4.4 Resultado de ensayos a compresión

Los especímenes de concreto, fueron curados acorde con la norma técnica ASTM C – 31 (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field) y ensayados a compresión uniaxial de acuerdo a lo especificado en la norma técnica ASTM C – 39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) a edades de 7, 14 y 28 días, para cada uno de los diseños de mezcla realizados, los resultados obtenidos serán evaluados para su posterior comparación de las muestras con dosificaciones de 1%, 3% y 5% con la muestra patrón.

Los valores estadísticos a obtener son la resistencia media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El coeficiente de variación hace posible expresar el grado de dispersión en valor porcentual mejor que en un valor absoluto. Este también puede ser utilizado como un índice del grado de control y el estándar general de calidad del hormigón. La tabla 14, según el ACI Committee 214, muestra el coeficiente de variación que puede esperarse en proyectos vigilados. Las clasificaciones de control se basan en la experiencia adquirida con un gran número de proyectos y se presentan como una guía general para evaluar el control del hormigón.

Tabla 14: estándar de control de hormigón.

Clase de operaciones	Coeficiente de variación para los diferentes estándares de control			
	excelente	bueno	medio	pobre
Variación total:				
(I) construcción en general	inferior a 10,0	10,0 a 15,0	15,0 a 20,0	sobre 20,0
(II) control de laboratorio	inferior a 5,0	5,0 a 7,0	7,0 a 10,0	sobre 10,0
Variaciones dentro de una misma mezcla:				
(I) construcción en general	inferior a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	sobre 6,0
(II) control de laboratorio	inferior a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	sobre 5,0

Fuente: ACI Committee 214

Nota: Estos estándares representan los promedios para cilindros de 28 días calculados a partir de un gran número de ensayos; cabe esperar diferentes valores para otros que sean distintos de los promedios.

4.4.1 Mezcla Patrón.

Para esta mezcla se ha considerado un total de 45 especímenes, ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días, considerándose 15 especímenes de concreto para cada ensayo.

Tabla 15: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f _c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	C-P-1	38.00	250	15.10	212.20	84.88%
2	7	C-P-2	39.00	250	15.20	214.93	85.97%
3	7	C-P-3	38.75	250	15.10	216.39	86.55%
4	7	C-P-4	38.20	250	15.10	213.31	85.33%
5	7	C-P-5	38.00	250	15.20	209.41	83.77%
6	7	C-P-6	37.75	250	15.10	210.80	84.32%
7	7	C-P-7	38.50	250	15.20	212.17	84.87%
8	7	C-P-8	39.25	250	15.20	216.30	86.52%
9	7	C-P-9	36.75	250	15.00	207.96	83.18%
10	7	C-P-10	38.00	250	15.10	212.20	84.88%
11	7	C-P-11	37.75	250	15.20	208.04	83.21%
12	7	C-P-12	39.50	250	15.00	223.52	89.41%
13	7	C-P-13	37.50	250	15.20	206.66	82.66%
14	7	C-P-14	38.25	250	15.10	213.59	85.44%
15	7	C-P-15	38.75	250	15.20	213.55	85.42%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 212.74 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 85.09 %
 Desviación estándar : 4.20
 Coeficiente de variación : 1.97%

Tabla 16: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	C-P-16	43.25	250	15.10	241.51	96.61%
2	14	C-P-17	44.00	250	15.30	239.32	95.73%
3	14	C-P-18	44.25	250	15.20	243.86	97.54%
4	14	C-P-19	43.50	250	15.10	242.91	97.16%
5	14	C-P-20	45.00	250	15.20	247.99	99.20%
6	14	C-P-21	43.50	250	15.20	239.72	95.89%
7	14	C-P-22	45.75	250	15.35	247.22	98.89%
8	14	C-P-23	45.50	250	15.30	247.48	98.99%
9	14	C-P-24	44.00	250	15.10	245.70	98.28%
10	14	C-P-25	44.25	250	15.30	240.68	96.27%
11	14	C-P-26	44.00	250	15.10	245.70	98.28%
12	14	C-P-27	44.25	250	15.30	240.68	96.27%
13	14	C-P-28	45.50	250	15.35	245.87	98.35%
14	14	C-P-29	45.50	250	15.30	247.48	98.99%
15	14	C-P-30	43.75	250	15.10	244.31	97.72%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 244.03 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 97.61 %
 Desviación estándar : 3.04
 Coeficiente de variación : 1.25%

Tabla 17: Resultados del ensayo a compresión para la muestra patrón a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	C-P-31	55.50	250	15.30	301.87	120.75%
2	28	C-P-32	54.25	250	15.20	298.69	119.48%
3	28	C-P-33	53.75	250	15.20	296.21	118.48%
4	28	C-P-34	55.50	250	15.20	305.86	122.34%
5	28	C-P-35	55.75	250	15.25	305.22	122.09%
6	28	C-P-36	55.25	250	15.30	300.51	120.20%
7	28	C-P-37	54.50	250	15.20	300.34	120.14%
8	28	C-P-38	54.75	250	15.20	301.72	120.69%
9	28	C-P-39	56.25	250	15.30	305.95	122.38%
10	28	C-P-40	55.00	250	15.20	303.10	121.24%
11	28	C-P-41	55.50	250	15.20	305.86	122.34%
12	28	C-P-42	54.50	250	15.30	296.43	118.57%
13	28	C-P-43	55.50	250	15.30	301.87	120.75%
14	28	C-P-44	55.75	250	15.40	299.30	119.72%
15	28	C-P-45	55.75	250	15.25	305.22	122.09%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 301.88 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 120.75 %
 Desviación estándar : 3.33
 Coeficiente de variación : 1.10%

Se concluye que para la muestra patrón los resultados obtenidos son excelentes.

4.4.2 Mezcla con dosificación de 1%

Para esta mezcla se ha considerado un total de 45 especímenes, ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días, considerándose 15 especímenes de concreto para cada ensayo.

Tabla 18: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	C-1-1	40.25	250	15.10	224.48	89.79%
2	7	C-1-2	39.50	250	15.20	220.57	88.23%
3	7	C-1-3	39.50	250	15.30	217.68	87.07%
4	7	C-1-4	41.50	250	15.20	225.72	90.29%
5	7	C-1-5	41.00	250	15.20	225.95	90.38%
6	7	C-1-6	40.50	250	15.10	223.19	89.28%
7	7	C-1-7	40.00	250	15.20	223.37	89.35%
8	7	C-1-8	40.25	250	15.10	221.81	88.73%
9	7	C-1-9	41.00	250	15.20	228.95	91.58%
10	7	C-1-10	40.50	250	15.10	223.19	89.28%
11	7	C-1-11	40.75	250	15.20	227.55	91.02%
12	7	C-1-12	41.50	250	15.10	228.70	91.48%
13	7	C-1-13	39.50	250	15.20	220.57	88.23%
14	7	C-1-14	40.00	250	15.20	220.44	88.17%
15	7	C-1-15	41.25	250	15.10	227.32	90.93%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio	: 223.97 Kg/cm ² .
Porcentaje promedio	: 89.59 %
Desviación estándar	: 3.38
Coefficiente de variación	: 1.51%

Tabla 19: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm2)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO
1	14	C-1-16	47.00	250	15.20	259.01	103.61%
2	14	C-1-17	46.50	250	15.10	259.66	103.86%
3	14	C-1-18	48.00	250	15.30	261.08	104.43%
4	14	C-1-19	48.00	250	15.30	261.08	104.43%
5	14	C-1-20	47.50	250	15.20	261.77	104.71%
6	14	C-1-21	48.50	250	15.10	270.83	108.33%
7	14	C-1-22	47.00	250	15.15	260.73	104.29%
8	14	C-1-23	48.25	250	15.10	269.43	107.77%
9	14	C-1-24	48.50	250	15.30	263.80	105.52%
10	14	C-1-25	47.00	250	15.20	259.01	103.61%
11	14	C-1-26	48.50	250	15.30	263.80	105.52%
12	14	C-1-27	49.50	250	15.20	272.79	109.12%
13	14	C-1-28	48.00	250	15.10	268.04	107.22%
14	14	C-1-29	47.75	250	15.30	259.72	103.89%
15	14	C-1-30	48.75	250	15.20	268.66	107.46%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 263.62 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 105.58 %
 Desviación estándar : 4.71
 Coeficiente de variación : 1.79%

Tabla 20: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 1% a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	C-1-31	57.00	250	15.10	318.30	127.32%
2	28	C-1-32	56.00	250	15.10	312.71	125.08%
3	28	C-1-33	58.00	250	15.20	319.63	127.85%
4	28	C-1-34	55.75	250	15.20	307.23	122.89%
5	28	C-1-35	58.00	250	15.20	319.63	127.85%
6	28	C-1-36	56.50	250	15.30	307.31	122.92%
7	28	C-1-37	57.50	250	15.10	321.09	128.44%
8	28	C-1-38	57.50	250	15.30	312.75	125.10%
9	28	C-1-39	57.00	250	15.20	314.12	125.65%
10	28	C-1-40	57.25	250	15.30	311.39	124.56%
11	28	C-1-41	57.25	250	15.20	315.50	126.20%
12	28	C-1-42	57.75	250	15.10	322.48	128.99%
13	28	C-1-43	58.00	250	15.30	315.47	126.19%
14	28	C-1-44	58.25	250	15.30	316.83	126.73%
15	28	C-1-45	58.00	250	15.20	319.63	127.85%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 315.60 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 126.24 %
 Desviación estándar : 4.71
 Coeficiente de variación : 1.49%

Se concluye que para la muestra patrón los resultados obtenidos son excelentes.

4.4.3 Mezcla con dosificación de 3%

Para esta mezcla se ha considerado un total de 45 especímenes, ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días, considerándose 15 especímenes de concreto para cada ensayo.

Tabla 21: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	C-3-1	46.00	250	15.20	253.50	101.40%
2	7	C-3-2	45.75	250	15.25	250.47	100.19%
3	7	C-3-3	47.00	250	15.25	257.32	102.93%
4	7	C-3-4	45.00	250	15.20	247.99	99.20%
5	7	C-3-5	45.25	250	15.20	249.37	99.75%
6	7	C-3-6	44.75	250	15.15	248.24	99.30%
7	7	C-3-7	44.50	250	15.10	248.49	99.40%
8	7	C-3-8	45.00	250	15.05	252.96	101.18%
9	7	C-3-9	45.75	250	15.10	255.47	102.19%
10	7	C-3-10	45.00	250	15.20	247.99	99.20%
11	7	C-3-11	45.00	250	15.10	251.29	100.51%
12	7	C-3-12	46.00	250	15.10	256.87	102.75%
13	7	C-3-13	47.00	250	15.30	255.64	102.26%
14	7	C-3-14	46.00	250	15.20	253.50	101.40%
15	7	C-3-15	45.50	250	15.20	250.75	100.30%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio	: 251.99 Kg/cm ² .
Porcentaje promedio	: 100.80 %
Desviación estándar	: 3.30
Coefficiente de variación	: 1.31%

Tabla 22: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	C-3-16	54.00	250	15.10	301.54	120.62%
2	14	C-3-17	55.00	250	15.10	307.13	122.85%
3	14	C-3-18	56.00	250	15.30	304.59	121.84%
4	14	C-3-19	55.25	250	15.20	304.48	121.79%
5	14	C-3-20	55.75	250	15.20	307.23	122.89%
6	14	C-3-21	54.75	250	15.10	305.73	122.29%
7	14	C-3-22	54.00	250	15.20	297.59	119.04%
8	14	C-3-23	53.75	250	15.30	292.35	116.94%
9	14	C-3-24	54.50	250	15.10	304.34	121.73%
10	14	C-3-25	55.50	250	15.30	301.87	120.75%
11	14	C-3-26	54.50	250	15.20	300.34	120.14%
12	14	C-3-27	55.75	250	15.20	307.23	122.89%
13	14	C-3-28	55.00	250	15.30	299.15	119.66%
14	14	C-3-29	54.50	250	15.20	300.34	120.14%
15	14	C-3-30	53.75	250	15.10	300.15	120.06%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 302.27 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 120.91 %
 Desviación estándar : 4.16
 Coeficiente de variación : 1.38%

Tabla 23: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 3% a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	C-3-31	66.50	250	15.20	366.48	146.59%
2	28	C-3-32	67.50	250	15.10	376.93	150.77%
3	28	C-3-33	67.50	250	15.30	367.14	146.86%
4	28	C-3-34	67.00	250	15.20	369.23	147.69%
5	28	C-3-35	68.00	250	15.10	379.72	151.89%
6	28	C-3-36	66.00	250	15.30	358.98	143.59%
7	28	C-3-37	66.75	250	15.20	367.85	147.14%
8	28	C-3-38	65.50	250	15.20	360.96	144.39%
9	28	C-3-39	68.00	250	15.10	379.72	151.89%
10	28	C-3-40	66.00	250	15.20	363.72	145.49%
11	28	C-3-41	65.50	250	15.30	356.26	142.50%
12	28	C-3-42	67.00	250	15.20	369.23	147.69%
13	28	C-3-43	67.25	250	15.20	370.61	148.24%
14	28	C-3-44	65.50	250	15.10	365.76	146.30%
15	28	C-3-45	67.00	250	15.25	366.81	146.73%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 367.96 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 147.18 %
 Desviación estándar : 6.87
 Coeficiente de variación : 1.87%

Se concluye que para la muestra patrón los resultados obtenidos son excelentes.

4.4.4 Mezcla con dosificación de 5%

Para esta mezcla se ha considerado un total de 45 especímenes, ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días, considerándose 15 especímenes de concreto para cada ensayo.

Tabla 24: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 7 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	7	C-5-1	42.75	250	15.30	232.52	93.01%
2	7	C-5-2	44.25	250	15.10	247.10	98.84%
3	7	C-5-3	43.00	250	15.30	233.88	93.55%
4	7	C-5-4	44.00	250	15.20	242.48	96.99%
5	7	C-5-5	43.00	250	15.10	240.12	96.05%
6	7	C-5-6	44.00	250	15.30	239.32	95.73%
7	7	C-5-7	45.00	250	15.30	244.76	97.90%
8	7	C-5-8	43.00	250	15.10	240.12	96.05%
9	7	C-5-9	44.25	250	15.30	240.68	96.27%
10	7	C-5-10	44.75	250	15.32	242.76	97.11%
11	7	C-5-11	44.50	250	15.35	240.47	96.19%
12	7	C-5-12	44.50	250	15.30	242.04	96.82%
13	7	C-5-13	42.00	250	15.20	231.46	92.58%
14	7	C-5-14	43.75	250	15.20	241.10	96.44%
15	7	C-5-15	43.00	250	15.20	236.97	94.79%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio	: 239.72 Kg/cm ² .
Porcentaje promedio	: 95.89 %
Desviación estándar	: 4.37
Coefficiente de variación	: 1.82 %

Tabla 25: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 14 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	14	C-5-16	52.00	250	15.10	290.38	116.15%
2	14	C-5-17	52.50	250	15.10	293.17	117.27%
3	14	C-5-18	53.00	250	15.20	292.08	116.83%
4	14	C-5-19	52.00	250	15.15	288.46	115.38%
5	14	C-5-20	53.00	250	15.20	292.08	116.83%
6	14	C-5-21	52.00	250	15.10	290.38	116.15%
7	14	C-5-22	52.50	250	15.10	293.17	117.27%
8	14	C-5-23	52.75	250	15.20	290.70	116.28%
9	14	C-5-24	52.00	250	15.10	290.38	116.15%
10	14	C-5-25	50.50	250	15.00	285.77	114.31%
11	14	C-5-26	51.25	250	15.10	286.19	114.47%
12	14	C-5-27	51.75	250	15.20	285.19	114.08%
13	14	C-5-28	51.50	250	15.10	287.58	115.03%
14	14	C-5-29	51.25	250	15.10	286.19	114.47%
15	14	C-5-30	50.75	250	15.00	287.19	114.87%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 289.26 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 115.70 %
 Desviación estándar : 2.77
 Coeficiente de variación : 0.96 %

Tabla 26: Resultados del ensayo a compresión para la muestra con dosificación de 5% a edad de 28 días

ENSAYO N°	EDAD (días)	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm ²)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	% OBTENIDO
1	28	C-5-31	60.00	250	15.10	335.05	134.02%
2	28	C-5-32	61.00	250	15.10	340.63	136.25%
3	28	C-5-33	60.50	250	15.05	340.09	136.04%
4	28	C-5-34	59.00	250	15.00	333.87	133.55%
5	28	C-5-35	61.00	250	15.15	338.39	135.36%
6	28	C-5-36	59.75	250	15.05	335.87	134.35%
7	28	C-5-37	59.25	250	15.00	335.29	134.11%
8	28	C-5-38	60.25	250	15.00	340.95	136.38%
9	28	C-5-39	61.00	250	15.10	340.63	136.25%
10	28	C-5-40	60.00	250	15.00	339.53	135.81%
11	28	C-5-41	60.50	250	15.10	337.84	135.14%
12	28	C-5-42	60.00	250	15.05	337.28	134.91%
13	28	C-5-43	61.25	250	15.20	337.54	135.02%
14	28	C-5-44	61.00	250	15.20	336.17	134.47%
15	28	C-5-45	60.00	250	15.00	339.53	135.81%

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se obtiene que los siguientes datos estadísticos:

Resistencia promedio : 337.91 Kg/cm².
 Porcentaje promedio : 135.16 %
 Desviación estándar : 2.28
 Coeficiente de variación : 0.68

Se concluye que para la muestra patrón los resultados obtenidos son excelentes.

4.5 Determinación del módulo de elasticidad del concreto

Para la determinación del módulo de elasticidad se realizará el diagrama de esfuerzo vs deformación unitaria que se obtiene a partir de los ensayos a compresión uniaxial de los especímenes realizados para cada uno de los diseños de mezcla (mezcla patrón, mezcla con dosificación de 1%, 3% y 5%). Este análisis se realizará para los ensayos a edad de 28 días, con lo que además se conocerá la línea de tendencia que presenta.

De los ensayos realizados, se elaboró las respectivas graficas partir de los cuales se puede observar que presentan una curva de tendencia cuadrática con la que se determinó el esfuerzo corregido y calculándose el módulo de elasticidad del concreto.

La elección de los especímenes de concreto fue de 5 por cada tipo de muestra, y el valor del módulo de elasticidad, se encuentra con respecto a la resistencia máxima alcanzada por cada espécimen, mediante la siguiente formula:

$$E = 15000\sqrt{\delta_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad.

$\delta_{m\acute{a}x}$ = esfuerzo máximo.

En los Anexos 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 se presentan los diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria para la mezcla patrón, mezcla con dosificación de 1%, 3% y 5% de CBCA por volumen absoluto de agredo fino.

4.6 Discusión de resultados

4.6.1 Cuadro resumen de resultados

Los resultados que se muestra en la tabla 27 son el promedio de los resultados que se obtuvieron del ensayo a compresión uniaxial realizados a las especímenes de concreto según la Norma Técnica ASTM C – 39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) a edades de 7, 14 y 28 días; estos resultados corresponden para cada uno de los tipos de mezcla elaborados, con los cuales se analizará la influencia que presenta el agregar CBCA en proporciones de 1%, 3% y 5% por volumen absoluto del agregado fino, sobre la resistencia a la compresión de un concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$, comparado con la mezcla patrón.

En esta tabla se puede observar que al agregar CBCA a una mezcla de concreto, influye de manera directa sobre la resistencia a la compresión, permitiendo que ésta aumente hasta una medida que será calculada en el acápite 4.6.3, y que a partir de ella la resistencia a la compresión disminuye. Esto significa que habrá un valor óptimo de reemplazo de CBCA por volumen de agregado fino en una mezcla de concreto. La tabla con el resumen de estos valores se muestra a continuación:

Tabla 27: Cuadro resumen de resultados.

EDAD	DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN		DISEÑO DE MEZCLA CON DOSIFICACIÓN DE 1 %		DISEÑO DE MEZCLA CON DOSIFICACIÓN DE 3 %		DISEÑO DE MEZCLA CON DOSIFICACIÓN DE 5 %	
	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	PORCENTAJE OBTENIDO (%)
7 DÍAS	212.75	85.10	223.99	89.59	251.99	100.80	239.72	95.89
14 DÍAS	244.03	97.61	263.96	105.58	302.27	120.91	289.26	115.70
28 DÍAS	301.90	120.76	315.60	126.24	367.96	147.18	337.91	135.16

Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Comparación de resultados

Para la comparación de resultados se tomará en cuenta las muestras con dosificaciones de 1%, 3% y 5% de CBCA por volumen absoluto de agregado fino con respecto de la muestra patrón para las edades de 7, 14 y 28 días.

Para esta operación se calculará el porcentaje de variación con respecto a los resultados de la muestra patrón; en la tabla 28 se muestra estas comparaciones:

Tabla 28: Cuadro comparación de resultados

Tipo de mezcla		Mezcla con dosificación de 1%	Mezcla con dosificación de 3%	Mezcla con dosificación de 5%
Aumento de la resistencia a la compresión comparada con la mezcla patrón.	7 días	5.28%	18.44%	12.68%
	14 días	8.17%	23.87%	18.53%
	28 días	4.54%	21.88%	11.93%

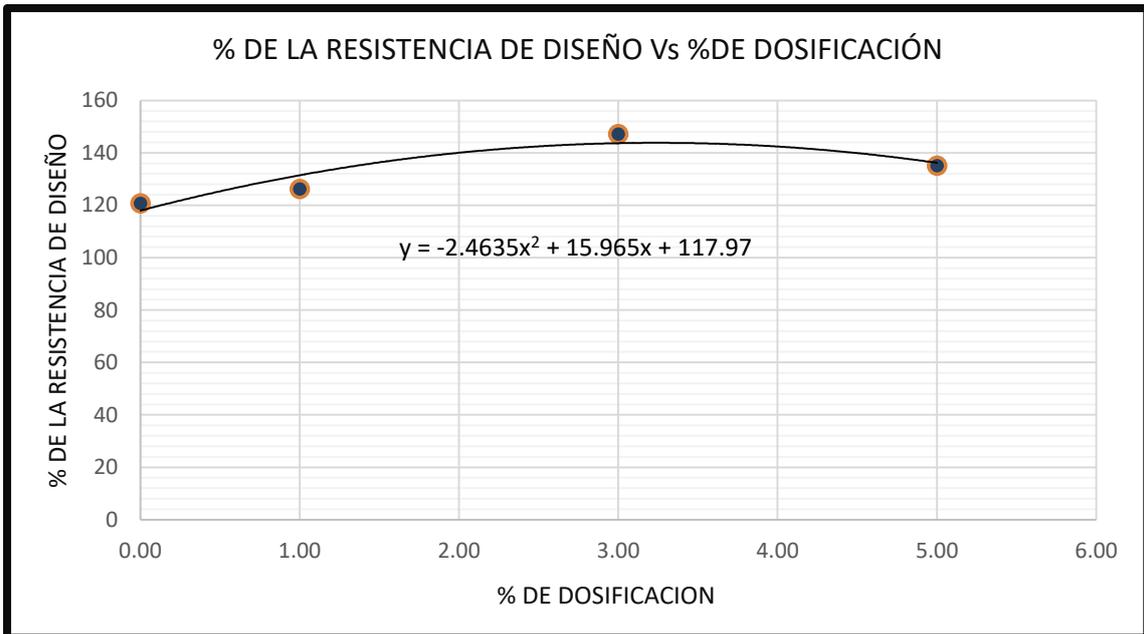
Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Determinación del porcentaje óptimo

Para la determinación del porcentaje óptimo se elaboró la gráfica de % de la resistencia de diseño vs % de dosificación, con la que se encontró la línea de tendencia y su respectiva ecuación, a partir de la cual encontramos sus valores máximos, lo que determina el porcentaje de dosificación óptima.

% DE DOSIFICACION DE MEZCLA	PATRON	1.00%	3.00%	5.00%
% DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO	120.76	126.24	147.18	135.16

Ilustración 5: Porcentaje de la resistencia de diseño vs Porcentaje de dosificación



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica, se obtiene la ecuación cuadrática:

$$y = -2.4635x^2 + 15.965x + 117.97$$

a partir de la cual matemáticamente se tiene el valor de la ordenada máxima, que corresponderá al porcentaje de la dosificación óptima:

$$\% \text{ de la dosificación óptima} = \frac{-15.965}{2 * -2.4635} = 3.24$$

Concluyendo que la dosificación óptima para una mezcla de concreto con la que se obtenga mejores resultados de resistencia a la compresión, usando CBCA en dosificación por volumen absoluto de agregado fino es de 3.24%

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 Conclusiones.

Al término del presente trabajo de investigación se arribaron a las siguientes conclusiones:

- La adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, en la elaboración del concreto de $f'c=250$ kg/cm² genera un incremento en la resistencia a la compresión en un 21.88%, utilizando un 3% del volumen absoluto del agregado fino.
- La resistencia mecánica del concreto elaborado con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en un 5% disminuye en 8.17% un respecto a la adición con 3% , y cuando es del 1% también disminuye en 16.59% de la adición del 3%
- El porcentaje óptimo de ceniza de bagazo que genera mayor incremento de la resistencia del concreto es del 3.24% del volumen de agregado fino.
- La influencia del uso de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar es positiva, ya que aumenta su resistencia a la compresión en 21.88%, contrastando de este modo con la hipótesis formulada al inicio del estudio.
- Se determinaron las propiedades físico – mecánicas de los agregados y de la ceniza, a continuación se muestra el cuadro:

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS	A. Fino	A. Grueso	CBCA
Módulo de finura	3.018	6.717	-
Tamaño Máximo Nominal	-	3/4"	-
Peso específico de Masa (gr/cm ³)	2.602	2.611	1.948
Peso específico de masa superficialmente seco (gr/cm ³)	2.641	2.64	2.155
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.708	2.689	2.455
Absorción (%)	1.495	1.112	10.61
Contenido de Humedad (%)	4.698	0.66	0.364
Peso unitario seco suelto (kg/m ³)	1584	1389	552
Peso unitario seco compactado (kg/m ³)	1721	1500	653
Partículas menores que pasan el tamiz N° 200 (%)	4.2	0.44	-
Resistencia al desgaste (Abrasión) (%)	-	27.02	-

5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda la utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para la elaboración del concreto, dado que permite el aumento de la resistencia a la compresión, con una dosificación de 3.24% por volumen absoluto de agregado fino.
- Se recomienda la publicación de esta y demás investigaciones ya que constituyen un primer aporte a la ingeniería regional.
- Se recomienda seguir la investigación en esta línea, con la utilización de este y otros desechos agroindustriales, a fin que sea de beneficio de toda la comunidad de Cajamarca.
- Se recomienda realizar un ensayo químico completo de la CBCA, con el fin de encontrar la reacción álcali sílice para determinar la durabilidad del concreto.

5.3 Referencias Bibliográficas:

1. Rivva López, E. 1998. Tecnología del Concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L.
2. Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L.
3. Pasquel Carbajal, Enrique. Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional. 1998.
4. Neville, A.M. y Brooks, J.J. Tecnología del Concreto. Editorial Trillas. México D.F. 1998.
5. ASOCEM (Asociación de Productores de Cemento -2011). El concreto Fast Track en reparación y rehabilitación de pavimentos. (Revista Virtual Informativa, ASOCEM)
6. Beltran, L. (2003). Comportamiento Mecánico de Hormigón reforzado con fibra de vidrio.
7. KOSMATKA, Steven et al. (2004). Diseño y control de mezclas. México: Portland Cement Assotiation
8. DIEGO SÁNCHEZ DE GUZMÁN. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
9. Sparkes, P.N. El control de la calidad del hormigón: una revisión del punto de vista actual. "Proceedings" de un simposio sobre el proyecto de mezclas y control de calidad del hormigón. Londres.
10. Laura Huanca, S. (2006). Diseño de Mezclas de concreto. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
11. Vilca, P. (2008). Obtención del concreto de alta Resistencia. Lima Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
12. Polanco Rodríguez, Abraham. Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
13. Código ACI 318S (2011)

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

1. PROPIEDADES FISICO- MECANICAS DE LOS AGREGADOS
A. Análisis Granulométrico Del Agregado Fino. NTP 400.012, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -136

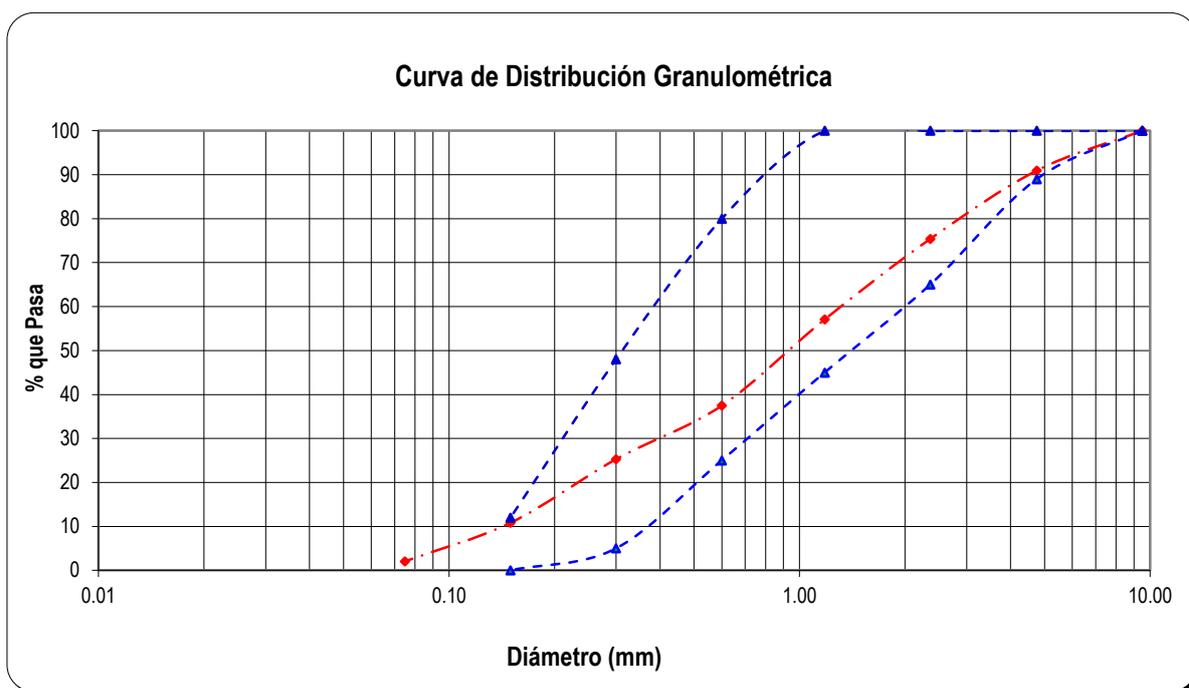
Tabla 29. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	118.00	9.08	9.08	90.92
8	2.36 mm	202.00	15.54	24.62	75.38
16	1.18 mm	238.00	18.31	42.92	57.08
30	0.60 mm	255.00	19.62	62.54	37.46
50	0.30 mm	158.00	12.15	74.69	25.31
100	0.15 mm	188.00	14.46	89.15	10.85
200	0.075 mm	114.00	8.77	97.92	2.08
Cazoleta	--	27.00	2.08	100.00	0.00

Peso de muestra: 1300.00 gramos

Módulo de finura: 3.030

Ilustración 6: Huso granulométrico del Agregado Fino.



D60=	1.23	D30=	0.42	D10=	0.11
	Cu=	11.18	Cc=	1.30	

Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

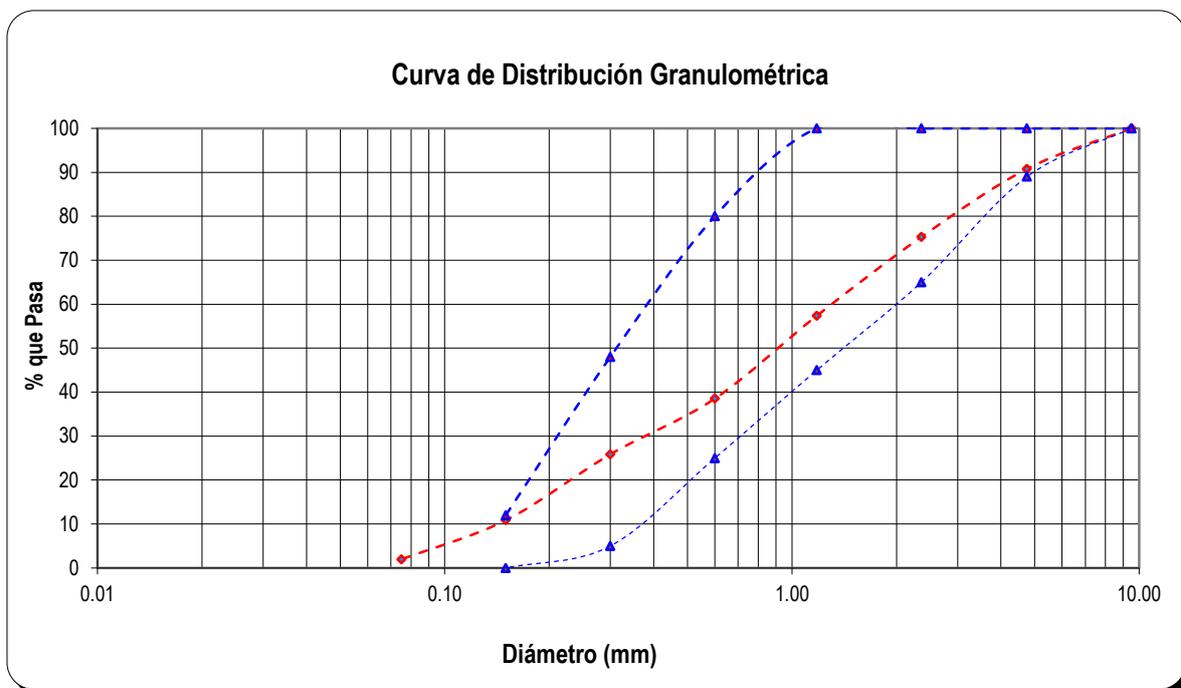
Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 02

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	120.00	9.23	9.23	90.77
8	2.36 mm	201.00	15.46	24.69	75.31
16	1.18 mm	233.00	17.92	42.62	57.38
30	0.60 mm	245.00	18.85	61.46	38.54
50	0.30 mm	165.00	12.69	74.15	25.85
100	0.15 mm	195.00	15.00	89.15	10.85
200	0.075 mm	116.00	8.92	98.08	1.92
Cazoleta	--	25.00	1.92	100.00	0.00

Peso de muestra: 1300.00 gramos

Módulo de finura: 3.013

Ilustración 7: Huso granulométrico del Agregado Fino.



D60=	1.24	D30=	0.41	D10=	0.12
	Cu=	10.33	Cc=	1.13	

Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

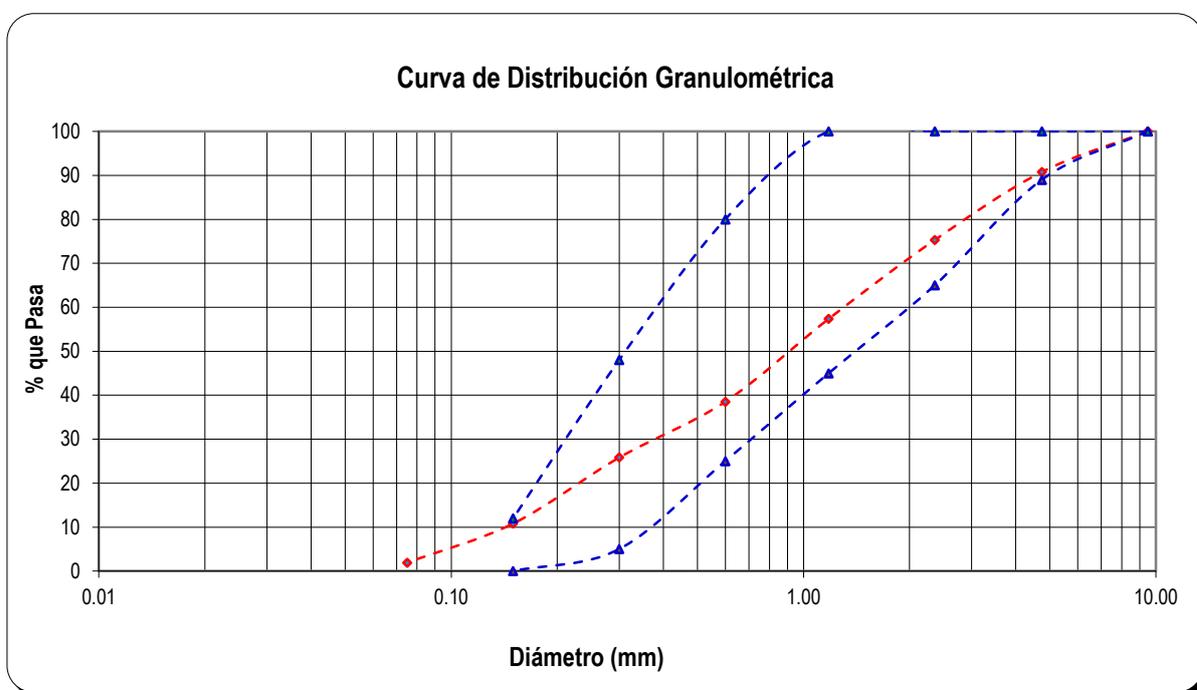
Tabla 31. Análisis granulométrico del agregado fino Ensayo N° 03

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	121.00	9.31	9.31	90.69
8	2.36 mm	206.00	15.85	25.15	74.85
16	1.18 mm	226.00	17.38	42.54	57.46
30	0.60 mm	241.00	18.54	61.08	38.92
50	0.30 mm	168.00	12.92	74.00	26.00
100	0.15 mm	197.00	15.15	89.15	10.85
200	0.075 mm	119.00	9.15	98.31	1.69
Cazoleta	--	22.00	1.69	100.00	0.00

Peso de muestra: 1300.00 gramos

Módulo de finura: 3.012

Ilustración 8: Huso granulométrico del Agregado Fino.



D60=	1.25	D30=	0.40	D10=	0.11
	Cu=	11.36	Cc=	1.16	

Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

Se observa en los Gráficos de las Ilustraciones 6, 7 y 8 que la curva granulométrica del agregado fino de la cantera "Roca Fuerte - Río Chonta - Baños Del Inca – Cajamarca", cumple con el huso granulométrico "M" de la norma NTP 400.037

Tabla 32. Módulo de finura del agregado fino

Módulo de finura	
Ensayo N° 01:	3.030
Ensayo N° 02:	3.013
Ensayo N° 03:	3.012
Promedio: 3.018	

B. Análisis Granulométrico Del Agregado grueso. NTP 400.012, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -136

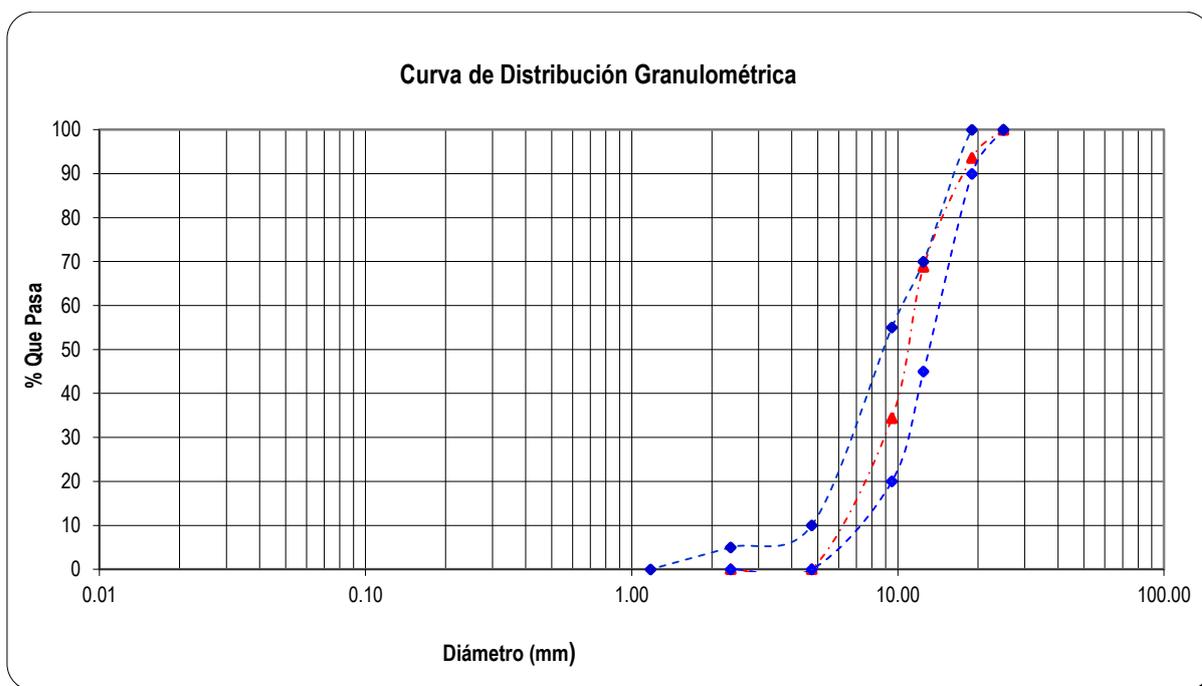
Tabla 33. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	511.00	6.39	6.39	93.61
1/2"	12.50 mm	1980.00	24.75	31.14	68.86
3/8"	9.50 mm	2758.00	34.48	65.61	34.39
4	4.75 mm	2745.00	34.31	99.93	0.08
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
Cazoleta	--	6.00	0.08	100.00	0.00

Peso de muestra: 8000.00 gramos

Módulo de finura: 6.716

Ilustración 9: Huso granulométrico del Agregado grueso.



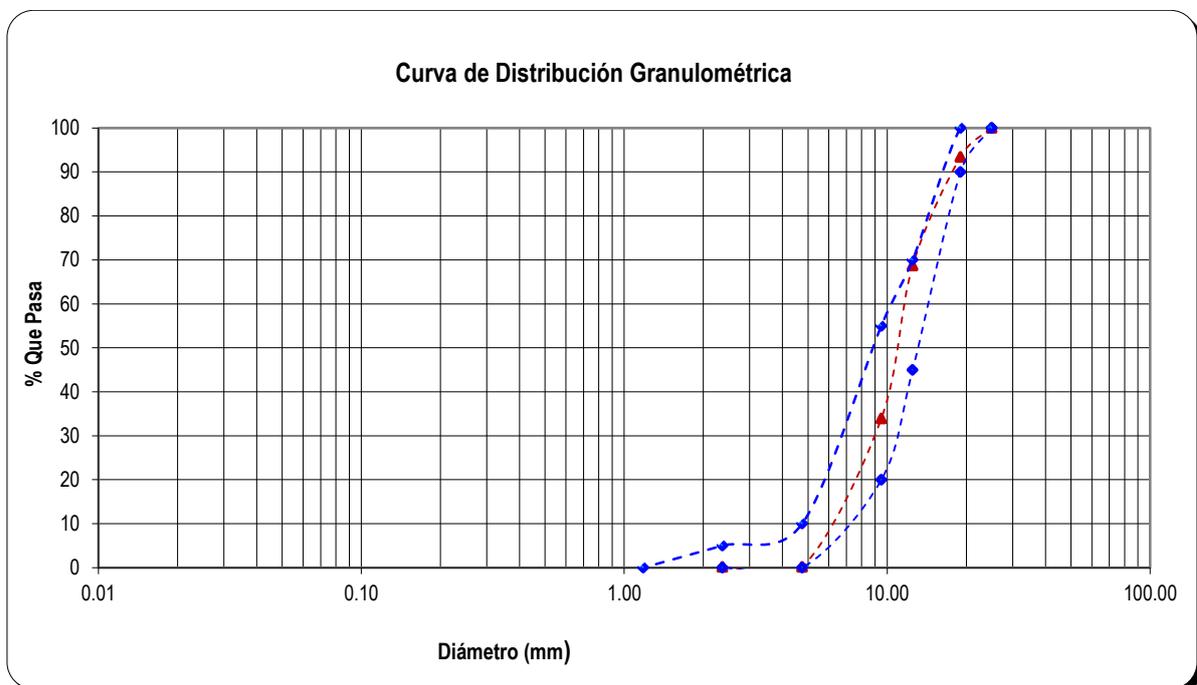
D60=	12.75	D30=	9.11	D10=	6.00
	Cu=	2.13	Cc=	1.08	

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

Tabla 34. Análisis granulométrico del agregado grueso .Ensayo N° 02

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	525.00	6.56	6.56	93.44
1/2"	12.50 mm	1978.00	24.73	31.29	68.71
3/8"	9.50 mm	2785.00	34.81	66.10	33.90
4	4.75 mm	2701.00	33.76	99.86	0.14
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
Cazoleta	--	11.00	0.14	100.00	0.00
Peso de muestra:8000.00 gramos					
Módulo de finura: 6.718					

Ilustración 10: Huso granulométrico del Agregado grueso.



D60=	12.80	D30=	9.20	D10=	6.10
	Cu=	2.10	Cc=	1.08	

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

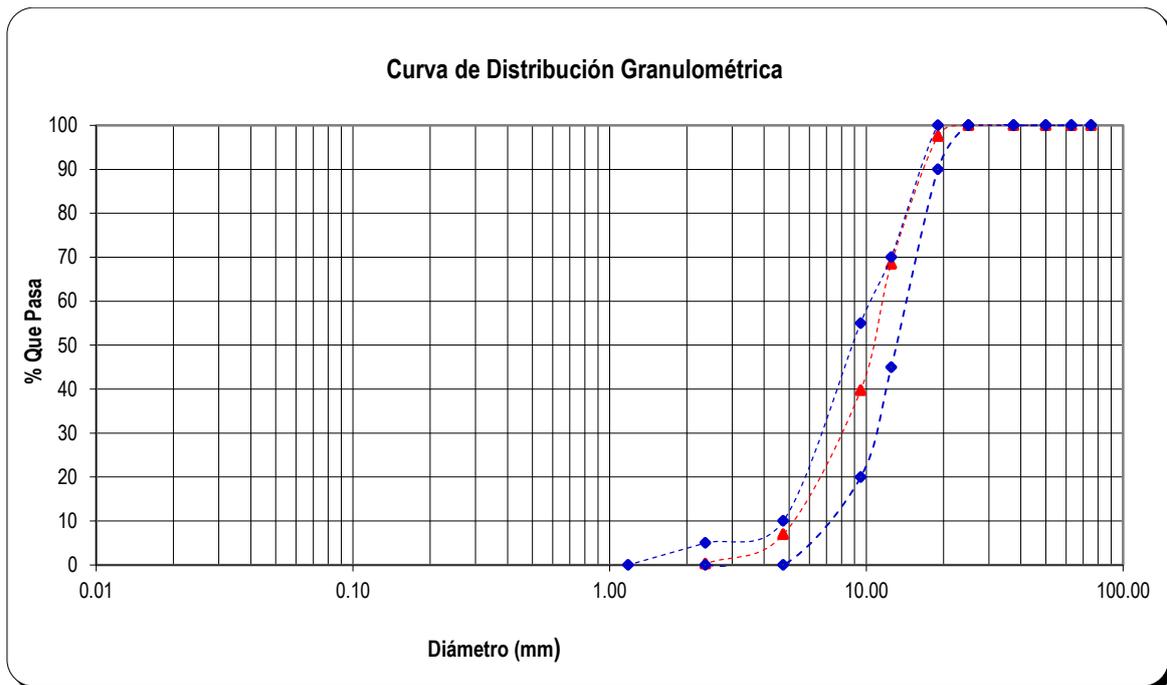
Tabla 35. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	537.00	6.71	6.71	93.29
1/2"	12.50 mm	1995.00	24.94	31.65	68.35
3/8"	9.50 mm	2711.00	33.89	65.54	34.46
4	4.75 mm	2748.00	34.35	99.89	0.11
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.89	0.11
Cazoleta	--	9.00	0.11	100.00	0.00

Peso de muestra: 8000.00 gramos

Módulo de finura: 6.716

Ilustración 11: Huso granulométrico del Agregado grueso.



D60=	13.10	D30=	9.08	D10=	6.20
	Cu=	2.11	Cc=	1.02	

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

Se observa en los gráficos de las Ilustraciones 9, 10 y 11 que la curva granulométrica del agregado grueso, cumple con el huso granulométrico "N° 67" de la norma A.S.T.M. C 33 M -11.

Tabla 36. Módulo de finura del agregado grueso

Módulo de finura	
Ensayo N° 01:	6.716
Ensayo N° 02:	6.718
Ensayo N° 03:	6.716
Promedio: 6.717	

C. Peso específico y absorción del agregado Fino. (NTP 400.022, ASTM C-128.)

Tabla 37. Peso específico del agregado fino.

Descripción	M-1	M-2	M-3
Peso de fiola (g)	151.10	151.10	151.10
Peso de la fiola + agua hasta menisco (g)	649.45	649.45	649.45
peso de la fiola + agua + muestra (g)	961.60	962.00	961.80
Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	492.85	492.75	492.30
volumen de agua añadida al frasco (g)	310.50	310.90	310.70
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.601	2.606	2.601
Peso Específico de Masa sss (g/cm ³)	2.639	2.644	2.641
Peso Específico Aparente (g/cm ³)	2.703	2.710	2.711
Promedio Peso Específico de Masa (g/cm³) : 2.602			
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm³): 2.641			
Promedio Peso Específico Aparente (g/cm³): 2.708			

sss: saturado superficialmente seco

Tabla 38. Absorción del agregado Fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra sss (g)	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	(B)	--	492.85	42.75	492.30
Absorción (%)	(C)	$(A-B) * 10^2 / B$	1.451	1.471	1.564
Promedio: 1.495 %					

D. Peso específico y absorción del agregado grueso. NTP 400.021, ASTM C-127.

Tabla 39. Peso específico del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de muestra sss (g):	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de muestra sss + cesta de alambre sumergida (g):	(B)	--	2838.0	2844.0	2849.0
Peso de cesta de alambre sumergida (g):	(C)	--	980.0	980.00	980.00
Peso de Recipiente (g):	(D)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de Muestra sss + Recipiente (g):	(E)	--	2968.0	2966.0	2967.0
Peso de Muestra Secada al horno + Recipiente (g):	(F)	--	1858.0	1864.0	1869.0
Peso de la muestra superficialmente Seca (g):	(G)	--	2.599	2.611	2.623
Peso de la muestra secada al horno (g):	(H)	$(F - D)$	2.627	2.641	2.653
Peso de la muestra sumergida en el agua (g):	(I)	$(B - C)$	2.674	2.691	2.702
Peso Específico de Masa (g/ cm ³):	--	$H / (G - I)$	3000.0	3000.0	3000.0
Peso Específico de Masa sss (g/ cm ³):	--	$G / (G - I)$	2838.0	2844.00	2849.0
Peso Específico Aparente (g/ cm ³):	--	$H / (H - I)$	980.00	980.00	980.00
Promedio Peso Específico de Masa (g/ cm³): 2.611					
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/ cm³): 2.640					
Promedio Peso Específico Aparente (g/ cm³): 2.689					

sss: saturado superficialmente seco.

Tabla 40. Absorción del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de muestra sss (g)	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso de muestra secada al horno (g)	(B)	--	2968.0	2966.0	2967.0
Absorción (%)	(C)	$(A-B)/B*100$	1.078	1.146	1.112
Promedio: 1.112%					

E. Peso unitario suelto seco y compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del agregado fino. NTP 400.017, / ASTM C -29/C 29 M: 1991.

Tabla 41. Peso específico del agua.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 151.10
Peso de la fiola en (g)	: 649.45
Volumen de la fiola (cm ³)	: 500.00
Peso específico (g/cm ³)	: 0.99670
P.e del agua en (Kg/m³)	: 996.70

Tabla 42. Factor f.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 3881.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 6848.00
Peso Agua (Kg)	: 2.9670
f (1/m³)	: 335.929

Tabla 43. Peso unitario suelto seco del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3881.00	3881.00	3881.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	8611.00	8600.00	8582.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	$(B - A)$	4730.00	4719.00	4701.00
Factor (f)	(D)		335.929	335.929	335.929
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D*(10^6/C)$	1.589	1.585	1.579
PUSS (Kg/m ³)		$C/(10^3/D)$	1589	1585	1579
Promedio: 1584 Kg/m³					

PUSS: peso unitario suelto seco.

Tabla 44. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3881.00	3881.00	3881.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	9022.00	9001.00	8985.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	5141.00	5120.00	5104.00
Factor (f)	(D)		335.929	335.929	335.929
PUSC (g/cm ³)	(E)	D*(10 ⁶ /C)	1.727	1.720	1.715
PUSC (Kg/m ³)		C/(10 ³ /D)	1727	1720	1715
Promedio: 1721 Kg/m³					

PUSC: Peso unitario seco compactado.

F. Peso unitario suelto seco, compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del agregado grueso: NTP 400.017, / ASTM C - 29/C 29 M: 1991.

Tabla 45. Peso específico del agua.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 151.10
Peso de la fiola en (g)	: 649.45
Volumen de la fiola (cm ³)	: 500.00
Peso específico (g/cm ³)	: 0.99670
P.e del agua en (Kg/m³)	: 996.70

Tabla 46. Factor f.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 4200.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 13900.00
Peso Agua (Kg)	: 9.7000
f (1/m³)	: 102.753

Tabla 47. Peso unitario suelto seco del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4200.00	4200.00	4200.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	17721.0	17735.0	17710.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	13521.0	13535.0	13510.00
Factor (f)	(D)		102.753	102.753	102.753
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D \cdot (10^6 / C)$	1.3893	1.3908	1.3882
PUSS (Kg/m ³)		$C / (10^3 / D)$	1389	1391	1388
Promedio: 1389 Kg/m³					

PUSS: peso unitario suelto seco.

Tabla 48. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4200.00	4200.00	4200.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	18800.0	18790.0	18811.0
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	14600.0	14590.0	14611.0
Factor (f)	(D)		102.753	102.753	102.753
PUSS (g/cm ³)	(E)	$D \cdot (10^6 / C)$	1.500	1.499	1.501
PUSS (Kg/m ³)		$C / (10^3 / D)$	1500	1499	1501
Promedio: 1500 Kg/m³					

PUSC: peso unitario seco compactado.

G. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino y grueso.
ASTM.C -117 / NTP 400.018

Tabla 49. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	480.00	479.00	478.00
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	20.00	21.00	22.00
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.		$(C/A)*100$	4.00	4.20	4.40
Promedio: 4.20 %					

Tabla 50. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	3000.0	3000.0	3000.0
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	2985.0	2988.0	2987.0
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	15.00	12.00	13.00
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.		$(C/A)*100$	0.50	0.40	0.43
Promedio: 0.44 %					

H. Contenido de humedad. NTP 339.185 ASTM C-566.

Tabla 51. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	75.00	80.00	150.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	1985.0	2025.0	1784.0
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	1901.0	1938.0	1709.0
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	4.60	4.68	4.81
Promedio: 4.698%					

Tabla 52. Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	101.00	205.00	85.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	1544.0	1458.0	1844.0
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	1533.0	1450.0	1834.0
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	0.77	0.64	0.57
Promedio: 0.66%					

I. Desgaste a la abrasión. NTP 400.019 / ASTM C -131

Tabla 53. Desgaste a la abrasión del agregado grueso.

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	TMN	Peso (g)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3645	3656	3646
% Desg. =((Pi -Pf) / Pi) x 100				27.10	26.88	27.08
% Desg. Promedio = 27.02						

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA CENIZA

2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

A. Peso unitario suelto seco y compactado, cálculo del factor f. NTP 400.017, / ASTM C 29 M: 1991.

Tabla 54: Peso específico del agua.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 151.10
Peso de la fiola en (g)	: 649.45
Volumen de la fiola (cm ³)	: 500.00
Peso específico (g/cm ³)	: 0.99670
P.e del agua en (Kg/m³)	: 996.70

Tabla 55: Factor f.

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 3881.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 6848.00
Peso Agua (Kg)	: 2.9670
f (1/m³)	: 335.929

Tabla 56: Peso unitario suelto seco de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3881.00	3881.00	3881.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	5512.00	5522.00	5541.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	1631.00	1641.00	1660.00
Factor (f)	(D)		335.929	335.929	335.929
PUSS (g/cm ³)	(E)	D*(10 ⁶ /C	0.548	0.551	0.558
PUSS (Kg/m ³)		C/(10 ³ /D)	548	551	558
Promedio: 552 Kg/m³					

PUSS: peso unitario suelto seco.

Tabla 57: Peso unitario seco compactado o varillado de la ceniza del bagazo de caña de azúcar.

Descripción	Símbolo	Fórmula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3881.00	3881.00	3881.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	5822.00	5817.00	5839.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	1941.00	1936.00	1958.00
Factor (f)	(D)		335.929	335.929	335.929
PUSS (g/cm ³)	(E)	D*(10 ⁶ /C	0.652	0.650	0.658
PUSS (Kg/m ³)		C/(10 ³ /D)	652	650	658
Promedio: 653 Kg/m³					

PUSSC: peso unitario seco compactado.

B. Peso específico y absorción. (NTP 400.022, ASTM C-128.)

Tabla 58: Peso específico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Descripción	M-1	M-2	M-3
Peso de fiola (g)	151.10	151.10	151.10
Peso de la fiola +agua hasta menisco (g)	593.60	593.60	593.60
peso de la fiola +agua + muestra (g)	919.00	918.10	920.00
Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	451.30	451.90	453.00
volumen de agua añadida al frasco (g)	267.90	267.00	268.90
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	1.944	1.939	1.960
Peso Específico de Masa sss (g/cm ³)	2.154	2.146	2.164
Peso Específico Aparente (g/cm ³)	2.461	2.444	2.461
Promedio Peso Específico de Masa (g/cm³) : 1.948			
Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm³): 2.155			
Promedio Peso Específico de Aparente (g/cm³): 2.455			

sss: saturado superficialmente seco

Tabla 59: Absorción de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra sss (g)	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	(B)	--	451.30	451.90	453.00
Absorción (%)	(C)	$\frac{(A-B)}{A} \times 10^2$	10.791	10.658	10.375
Promedio: 10.608 %					

C. Contenido de humedad. NTP 339.185 ASTM C-566.

Tabla 60: Contenido de humedad de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Descripción	Símbolo	Formula	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	103.00	88.00	71.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	655.00	578.00	702.00
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	653.00	576.00	700.00
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	0.36	0.41	0.32
Promedio: 0.364%					

ANEXO 3 ENSAYO QUIMICO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI



INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: CESAR HAYRO CHAVEZ BAZAN
MUESTRA	: Cenizas de Bagazo de caña
FECHA DE INGRESO	: 25 DE NOVIEMBRE DEL 2016
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
SiO ₂	%	53.95

TRUJILLO, 06 DE DICIEMBRE DEL 2016


Carlos A. Valqui Mendoza
ING. QUIMICO
R. CIP. 122583

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

☎ 949959632 / 949119298

ANEXO 4 DISEÑO DE MEZCLAS

3. DISEÑO DE MEZCLA

A. Procedimiento del diseño de mezclas método del módulo de finura de combinación de agregados: mezcla patrón

I. Características de los materiales.

Cemento

Cemento	:	Pacasmayo Tipo I (ASTM C-150)
Procedencia	:	Pacasmayo (La Libertad)
Peso Específico	:	3.12 g/cm ³
Peso de bolsa	:	42.5 kg

Agua

Agua potable	:	de la red pública de la ciudad universitaria
--------------	---	--

Agregados.

Cantera	:	"Roca Fuerte- Río Chonta - Baños Del Inca"
---------	---	--

	Agregado Fino	Piedra Chancada
Perfil	--	Angular
Tamaño máximo nominal	--	3/4"
Peso específico de masa	2.602 g/cm ³	2.611 g/cm ³
Peso específico sss	2.641 g/cm ³	2.640 g/cm ³
Peso específico aparente	2.708 g/cm ³	2.689 g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.584 g/cm ³	1.389 g/cm ³
Peso unitario compactado seco	1.721 g/cm ³	1.500 g/cm ³
Contenido de humedad (%)	4.70	0.66
Absorción (%)	1.50	1.112
Módulo de finura	3.018	6.717
Abrasión (%)	--	27.02
Porcentaje que pasa malla n° 200	4.20	0.44

sss: saturado superficialmente seco

II. Características del Concreto.

Resistencia a la compresión especificada	:	f'c=250 Kg/cm ²
--	---	----------------------------

III. Condiciones Ambientales y de exposición.

Lugar de la obra	:	Cajamarca
Temperatura promedio ambiente	:	22 °C
Humedad relativa	:	40%

IV. Diseño

a. Resistencia Requerida.

Utilizaremos el valor de Condiciones intermedias de ejecución en obra

$$f'_{cr} = 1.20 \times f'_c$$

$$\Rightarrow f'_{cr} = 300 \text{ Kg/cm}^2$$

b. Asentamiento.

Para nuestro caso: elementos estructurales (Vigas y columnas):

$$\Rightarrow \text{Asentamiento} \quad : \quad 3'' - 4''$$

$$\text{Consistencia} \quad : \quad \text{Plástica}$$

c. Tamaño Máximo Nominal.

De acuerdo a la granulometría obtenida:

$$\Rightarrow \text{TMN} = \frac{3}{4}''$$

d. Contenido de aire total.

Dado las condiciones especificadas no se requieren incluir aire

$$\text{Para nuestro caso} \quad : \quad \text{TMN } \frac{3}{4}''$$

$$\Rightarrow \text{Contenido de aire atrapado} \quad : \quad 2\%$$

e. Contenido de agua.

Para nuestro caso: Slump = 3'' - 4''; TMN = $\frac{3}{4}''$ y Sin aire incorporado

$$\text{Perfil del agregado} \quad : \quad \text{Angular}$$

$$\Rightarrow \text{Cantidad de Agua requerida} \quad : \quad 204 \text{ L/m}^3$$

f. Relación a/c.

Para nuestro caso: $f'_{cr} = 300 \text{ Kg/cm}^2$ y sin aire incorporado

$$\Rightarrow \text{Interpolamos} \quad : \quad a/c = 0.55$$

g. Factor cemento.

Para nuestro caso Agua : 204 Kg, y $a/c = 0.55$

$$\Rightarrow \text{Cemento} \quad : \quad 370.91 \text{ Kg} \quad \Rightarrow 8.727 \text{ Bolsas/m}^3$$

h. Cálculo del Volumen de la pasta de cemento sin incluir los agregados.

Conocido los pesos del cemento y agua, así como el volumen del aire, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de estos ingredientes.

Material	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento (Kg)	370.91	3120	0.118881
Agua (Lt)	204.00	1000	0.204
Aire (%)	2.00	--	0.02
Volumen total de la pasta de cemento:			0.342881

= > Volumen absoluto de agregados: $(1 - 0.342881) = 0.657119 \text{ m}^3$

i. Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados

Para calcular el valor de **mc**

Se entra con los siguientes datos.

TMN : ¾"

Factor cemento : 8.727 bolsas

N° de bolsas **mc**

8 5.11

8.727 **mc**

9 5.19

Interpolando

mc : 5.1682

Corrección del mc.

Vacíos teóricos

$$\%Vacíos = \left(1 - \frac{P_{usc}}{P_{em}}\right)$$

Reemplazando valores obtenemos que los vacíos teóricos equivalen a 42.55%.

El **mc** calculado corresponde a un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

5 % => 0.1

(42.55% - 35%) = 7.55 => x

X = 0.151

mc (corregido) = 5.1682 - 0.151 = 5.0172

j. Cálculo del valor de rf

Cálculo de la incidencia del agregado fino y grueso respecto del agregado global

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} \times 100$$

$$rf = \frac{6.717 - 5.0172}{6.717 - 3.018} \times 100$$

Reemplazando valores

$$rf = 45.95 \% \text{ (porcentaje de AF)}$$

$$rg = 100 - rf = 54.05 \% \text{ (porcentaje de AG)}$$

k. Cálculo de los Volumen absoluto de los agregados

Cálculo del volumen absoluto del agredo Fino y Grueso

Volumen absoluto del Agregado Fino : 0.301966m³

Volumen absoluto del Agregado Grueso : 0.355153 m³

l. Pesos secos de los agregados

Calculo de los pesos secos o de diseño

Peso Seco del Agregado Fino : 786.00 Kg/m³

Peso Seco del Agregado Grueso: 927.00 Kg/m³

m. Corrección del agua por contenido de humedad y absorción

Para ello es necesario utilizar los siguientes datos.

Agua : 204 litros

Características	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso seco de agregados	782. 00 Kg	927.00 Kg
Absorción (%)	1.50	1.112
Contenido de humedad (%)	4.70	0.66

Agregado fino : 25.15

Agregado Grueso : -4.19

Aporte de humedad de los agregados : **20.96**

= > Agua corregida 204lt. – 20.96 = **183.04 L.**

n. Dosificación de la mezcla para un metro Cúbico

Material	Peso seco	Peso específico	Volumen
Cemento	370.91 Kg	3120 Kg/m ³	0.118881 m ³
Agua	204.00 Lt	1000 Kg/m ³	0.204000 m ³
Aire	2.00 %	--	0.020000 m ³
Agregado fino	786.00 Kg	2602 Kg/m ³	0.302075 m ³
Agregado grueso	927.00 Kg	2611 Kg/m ³	0.355036 m ³
Total:			1.00 m³

o. Corrección por Humedad del Agregado

Cemento	:	370.91 Kg
Agua Efectiva	:	183.04.
Agregado Fino	:	786 x 1.0470 =823.00 Kg/m ³
Agregado Fino	:	927 x 1.0066 =933.00 Kg/m ³
Aire Total	:	2%

p. Proporción en Peso**Proporción en peso**

Cemento	:	1
Agregado fino	:	2.22
Agregado grueso	:	2.52
Agua efectiva	:	21 (Lt/ Bolsa)
Aire atrapado	:	2 %

q. Proporción en Volumen.**Proporción en volumen**

Cemento	:	1
Agregado fino	:	2.010
Agregado grueso	:	2.71
Agua efectiva	:	21.00 (Lt/ Bolsa)

B. resumen del diseño de mezclas método del módulo de fineza de combinación de agregados: adición del 1% de ceniza de caña de azúcar en peso del agregado fino.

a. Especificaciones técnicas del concreto a elaborar.

- Resistencia a compresión $f'c$: 250 Kg/ cm²
- Concreto sin aire incorporado
- Consistencia plástica (3"-4")

b. Características de los materiales.

➤ **Agregados.**

Descripción	Agregado Fino	Agregado grueso	Ceniza de caña de azúcar
Perfil	--	Angular	--
Tamaño máximo nominal	--	3/4"	--
Peso específico de masa	2.602 g/cm ³	2.611 g/cm ³	1.948 g/cm ³
Peso específico sss	2.641 g/cm ³	2.640 g/cm ³	2.155 g/cm ³
Peso específico aparente	2.708 g/cm ³	2.689 g/cm ³	2.455 g/cm ³
Peso unitario suelto	1.584 g/cm ³	1.389 g/cm ³	0.552 g/cm ³
Peso unitario compactado	1.721 g/cm ³	1.500 g/cm ³	0.653 g/cm ³
Contenido de humedad (%)	4.70	0.66	0.364
Absorción (%)	1.50	1.112	10.608
Módulo de finura	3.018	6.717	--
Abrasión (%)	--	27.02	--
% que pasa la malla N° 200	4.2	0.44	--

➤ **Cemento.**

Cemento : Pacasmayo Tipo I (ASTM C-150)
 Peso Específico : 3.12 g/cm³

c. Resultados

Materiales de diseño		Materiales corregidos por humedad de agregado	
Cemento (Kg)	: 370.91	Cemento (Kg)	: 370.91
Agua de diseño (Lt)	: 204.00	Agua efectiva(Lt)	: 183.90
Agregado fino seco (Kg)	: 777.86	Agregado fino húmedo (Kg)	: 814.00
Agregado grueso seco(Kg)	: 927.00	Agregado grueso húmedo(Kg)	: 933.00
Ceniza de caña (Kg)	: 5.88	Ceniza de caña (Kg)	: 5.90
Aire total (%)	: 2.00	Aire total (%)	: 2.00

Proporción en peso		Proporción en volumen	
Cemento	: 1	Cemento	: 1
Agregado fino	: 2.19	Agregado fino	: 1.980
Agregado grueso	: 2.52	Agregado grueso	: 2.71
Ceniza de cana (Kg)	: 0.016	Ceniza de cana (Kg)	: 0.040
Agua	: 21.10 (Lt/Bolsa)	Agua	: 21.10 (Lt/Bolsa)

C. resumen del diseño de mezclas método del módulo de fineza de combinación de agregados: adición del 3 % de ceniza de caña de azúcar; en peso del agregado fino

a. Especificaciones técnicas del concreto a elaborar.

- Resistencia a compresión $f'c$: 250 Kg/ cm²
- Concreto sin aire incorporado
- Consistencia plástica (3"-4")

b. Características de los materiales.

➤ **Agregados.**

Descripción	Agregado Fino	Agregado grueso	Ceniza de caña de azúcar
Perfil	--	Angular	--
Tamaño máximo nominal	--	3/4"	--
Peso específico de masa	2.602 g/cm ³	2.611 g/cm ³	1.948 g/cm ³
Peso específico sss	2.641 g/cm ³	2.640 g/cm ³	2.155 g/cm ³
Peso específico aparente	2.708 g/cm ³	2.689 g/cm ³	2.455 g/cm ³
Peso unitario suelto	1.584 g/cm ³	1.389 g/cm ³	0.552 g/cm ³
Peso unitario compactado	1.721 g/cm ³	1.500 g/cm ³	0.653 g/cm ³
Contenido de humedad (%)	4.70	0.66	0.364
Absorción (%)	1.50	1.112	10.608
Módulo de finura	3.018	6.717	--
Abrasión (%)	--	27.02	--
% que pasa la malla N° 200	4.2	0.44	--

➤ **Cemento.**

Cemento : Pacasmayo Tipo I (ASTM C-150)

Peso Específico : 3.12 g/cm³

c. Resultados

Materiales de diseño		Materiales corregidos por humedad de agregado	
Cemento (Kg)	: 370.91	Cemento (Kg)	: 370.91
Agua de diseño (Lt)	: 204.00	Agua efectiva(Lt)	: 185.61
Agregado fino seco (Kg)	: 762.14	Agregado fino húmedo (Kg)	: 798.00
Agregado grueso seco(Kg)	: 927.00	Agregado grueso húmedo(Kg)	: 933.00
Ceniza de caña (Kg)	: 17.65	Ceniza de caña (Kg)	: 17.69
Aire total (%)	: 2.00	Aire total (%)	: 2.00

Proporción en peso		Proporción en volumen	
Cemento	: 1	Cemento	: 1
Agregado fino	: 2.15	Agregado fino	: 1.950
Agregado grueso	: 2.52	Agregado grueso	: 2.710
Ceniza de caña (Kg)	: 0.048	Ceniza de caña (Kg)	: 0.130
Agua	: 21.30 (Lt/Bolsa)	Agua	: 21.30 (Lt/Bolsa)

D. resumen del diseño de mezclas método del módulo de fineza de combinación de agregados: adición del 5 % de ceniza de caña de azúcar; en peso del agregado fino

a. Especificaciones técnicas del concreto a elaborar.

- Resistencia a compresión $f'c$: 250 Kg/ cm²
- Concreto sin aire incorporado
- Consistencia plástica (3"-4")

b. Características de los materiales.

➤ **Agregados.**

Descripción	Agregado Fino	Agregado grueso	Ceniza de caña de azúcar
Perfil	--	Angular	--
Tamaño máximo nominal	--	3/4"	--
Peso específico de masa	2.602 g/cm ³	2.611 g/cm ³	1.948 g/cm ³
Peso específico sss	2.641 g/cm ³	2.640 g/cm ³	2.155 g/cm ³
Peso específico aparente	2.708 g/cm ³	2.689 g/cm ³	2.455 g/cm ³
Peso unitario suelto	1.584 g/cm ³	1.389 g/cm ³	0.552 g/cm ³
Peso unitario compactado	1.721 g/cm ³	1.500 g/cm ³	0.653 g/cm ³
Contenido de humedad (%)	4.70	0.66	0.364
Absorción (%)	1.50	1.112	10.608
Módulo de finura	3.018	6.717	--
Abrasión (%)	--	27.02	--
% que pasa la malla N° 200	4.2	0.44	--

➤ **Cemento.**

Cemento : Pacasmayo Tipo I (ASTM C-150)
Peso Específico : 3.12 g/cm³

c. Resultados

Materiales de diseño		Materiales corregidos por humedad de agregado	
Cemento (Kg)	: 370.91	Cemento (Kg)	: 370.91
Agua de diseño (Lt)	: 204.00	Agua efectiva(Lt)	: 187.32
Agregado fino seco (Kg)	: 746.43	Agregado fino húmedo (Kg)	: 781.00
Agregado grueso seco(Kg)	: 927.00	Agregado grueso húmedo(Kg)	: 933.00
Ceniza de caña (Kg)	: 29.41	Ceniza de caña (Kg)	: 29.48
Aire total (%)	: 2.00	Aire total (%)	: 2.00
Proporción en peso		Proporción en volumen	
Cemento	: 1	Cemento	: 1
Agregado fino	: 2.11	Agregado fino	: 1.91
Agregado grueso	: 2.52	Agregado grueso	: 2.71
Ceniza de caña (Kg)	: 0.079	Ceniza de caña (Kg)	: 0.220
Agua	: 21.50 (Lt/Bolsa)	Agua	: 21.50 (Lt/Bolsa)

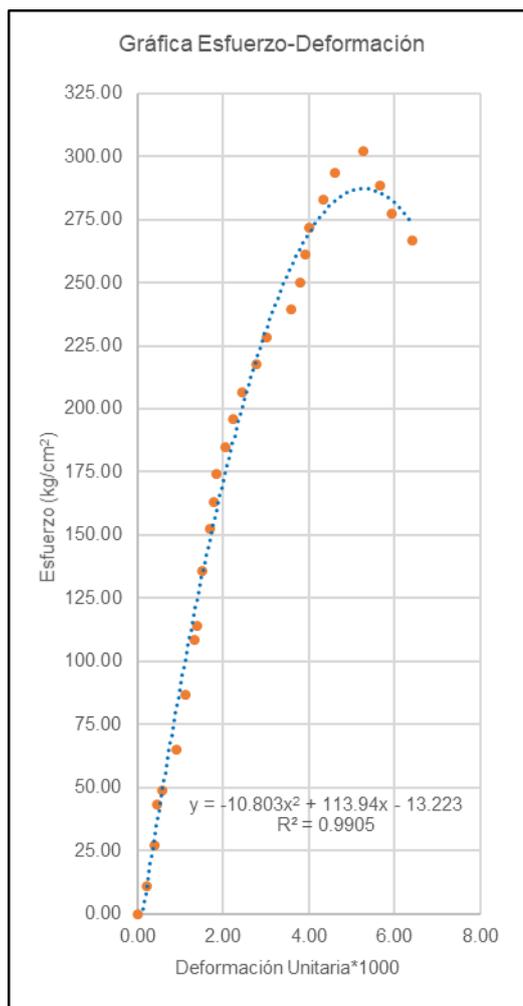
ANEXO 5 GRAFICAS ESFUERZO - DEFORMACION

5.1. Mezcla patrón

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 0%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 31
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.07	0.23	10.88	25.08
5000	0.12	0.39	27.20	42.29
8000	0.14	0.46	43.51	49.01
9000	0.18	0.59	48.95	62.18
12000	0.28	0.92	65.27	93.44
16000	0.34	1.12	87.03	111.08
20000	0.40	1.32	108.78	127.88
21000	0.42	1.38	114.22	133.29
25000	0.46	1.51	135.98	143.84
28000	0.51	1.68	152.29	156.49
30000	0.54	1.78	163.17	163.80
32000	0.56	1.84	174.05	168.56
34000	0.62	2.04	184.93	182.27
36000	0.68	2.24	195.81	195.14
38000	0.74	2.43	206.69	207.17
40000	0.84	2.76	217.56	225.35
42000	0.92	3.03	228.44	238.20
44000	1.09	3.59	239.32	260.56
46000	1.15	3.78	250.20	266.84
48000	1.19	3.91	261.08	270.55
50000	1.22	4.01	271.96	273.10
52000	1.32	4.34	282.83	280.05
54000	1.40	4.61	293.71	283.93
55500	1.60	5.26	301.87	287.09
53000	1.72	5.66	288.27	284.49
51000	1.80	5.92	277.39	280.89
49000	1.95	6.41	266.52	270.11



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-10.803 X^2 + 113.94 X + -13.223$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9905$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	301.87
MÓD. DE ELASTICIDAD:	260616.183
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-10.803 X^2 + 111.40 X + 0$

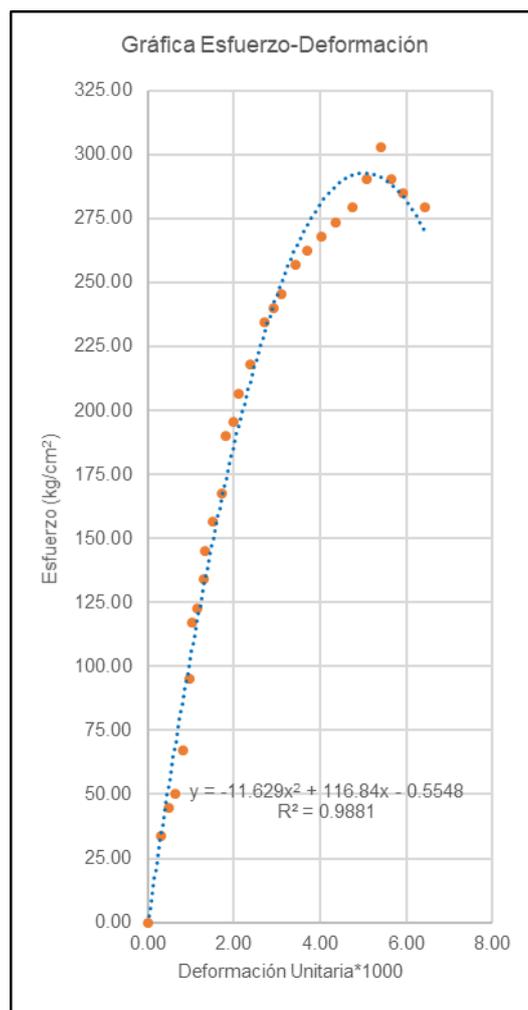
Fuente: Elaboración Propia

INTERPRETACION: Para la mezcla patrón ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 55.00 Tn, teniendo una deformación de 1.60 mm y un esfuerzo de rotura de 301.87 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 0%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 35
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGID O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6000	0.09	0.30	33.50	33.60
8000	0.15	0.49	44.67	54.87
9000	0.19	0.63	50.26	68.55
12000	0.25	0.82	67.01	88.31
17000	0.29	0.95	94.93	100.98
21000	0.31	1.02	117.27	107.17
22000	0.35	1.15	122.85	119.23
24000	0.39	1.28	134.02	130.90
26000	0.40	1.32	145.19	133.75
28000	0.46	1.51	156.36	150.34
30000	0.52	1.71	167.52	166.02
34000	0.55	1.81	189.86	173.52
35000	0.60	1.97	195.44	185.52
37000	0.64	2.11	206.61	194.67
39000	0.72	2.37	217.78	211.76
42000	0.82	2.70	234.53	230.85
43000	0.89	2.93	240.12	242.72
44000	0.94	3.09	245.70	250.44
46000	1.04	3.42	256.87	263.99
47000	1.12	3.68	262.45	273.02
48000	1.22	4.01	268.04	282.05
49000	1.32	4.34	273.62	288.56
50000	1.44	4.74	279.21	293.05
52000	1.54	5.07	290.38	294.02
54250	1.64	5.39	302.94	292.48
52000	1.72	5.66	290.38	289.43
51000	1.80	5.92	284.79	284.77
50000	1.95	6.41	279.21	271.69



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-11.629 X^2 + 116.84 X + -0.554$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9881$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	302.94
MÓD. DE ELASTICIDAD:	261077.378
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-11.629 X^2 + 116.95 X + 0$

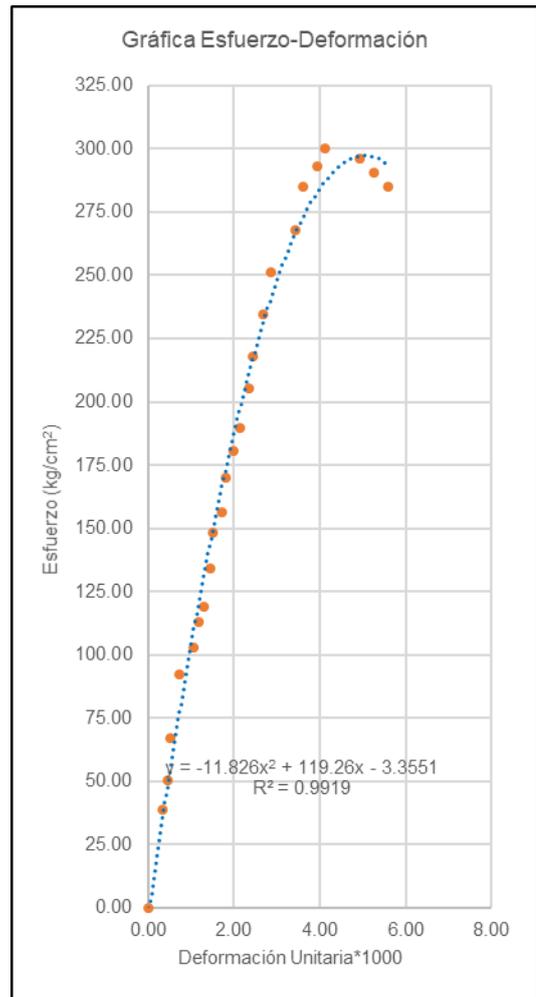
Fuente: Elaboración Propia

INTERPRETACION: Para la mezcla patrón ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 54.25 Tn, teniendo una deformación de 1.64 mm y un esfuerzo de rotura de 302.94 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 0%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 37
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO
 (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
7000	0.10	0.33	39.09	37.73
9000	0.14	0.46	50.26	52.11
12000	0.16	0.53	67.01	59.14
16500	0.22	0.72	92.14	79.63
18400	0.32	1.05	102.75	111.73
20200	0.36	1.18	112.80	123.85
21300	0.39	1.28	118.94	132.68
24000	0.44	1.45	134.02	146.87
26600	0.46	1.51	148.54	152.37
28000	0.52	1.71	156.36	168.25
30400	0.55	1.81	169.76	175.85
32300	0.60	1.97	180.37	188.00
34000	0.65	2.14	189.86	199.50
36800	0.71	2.34	205.50	212.47
39000	0.74	2.43	217.78	218.61
42000	0.81	2.66	234.53	232.03
45000	0.87	2.86	251.29	242.54
48000	1.04	3.42	268.04	267.31
51000	1.10	3.62	284.79	274.28
52500	1.20	3.95	293.17	283.86
53750	1.25	4.11	300.15	287.69
53000	1.50	4.93	295.96	297.24
52000	1.60	5.26	290.38	296.58
51000	1.70	5.59	284.79	293.36



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-11.826 X^2 + 119.26 X + -3.3551$
COEF. CORRELACIÓN :	$R^2 = 0.9919$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	300.15
MÓD. DE ELASTICIDAD:	259871.471
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-11.826 X^2 + 118.59 X + 0$

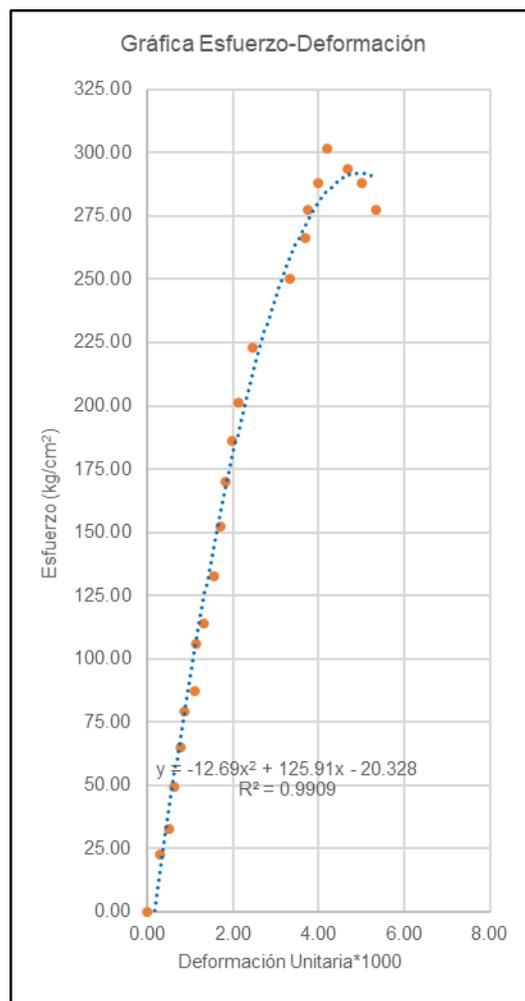
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla patrón ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 53.75 Tn, teniendo una deformación de 1.25 mm y un esfuerzo de rotura de 300.15 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 0%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 39
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGID O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4200	0.09	0.30	22.84	34.93
6000	0.15	0.49	32.63	56.98
9100	0.19	0.63	49.50	71.13
12000	0.24	0.79	65.27	88.20
14600	0.26	0.86	79.41	94.84
16000	0.34	1.12	87.03	120.29
19500	0.35	1.15	106.06	123.34
21000	0.40	1.32	114.22	138.22
24400	0.47	1.55	132.71	157.89
28000	0.52	1.71	152.29	171.12
31300	0.56	1.84	170.24	181.20
34200	0.60	1.97	186.02	190.85
37000	0.65	2.14	201.25	202.29
41000	0.75	2.47	223.00	223.11
46000	1.01	3.32	250.20	264.40
49000	1.12	3.68	266.52	276.28
51000	1.14	3.75	277.39	278.08
53000	1.21	3.98	288.27	283.53
55500	1.28	4.21	301.87	287.63
54000	1.42	4.67	293.71	291.79
53000	1.52	5.00	288.27	291.47
51000	1.62	5.33	277.39	288.40



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-12.69 X^2 + 125.91 X + -20.328$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9909$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	301.87
MÓD. DE ELASTICIDAD:	260616.183
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-12.69 X^2 + 121.74 X + 0$

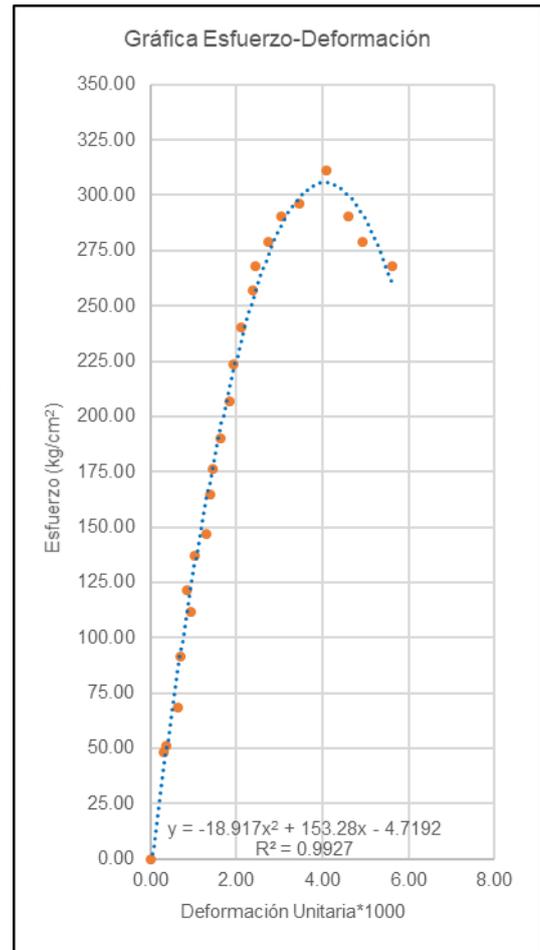
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla patrón ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 55.50 Tn, teniendo una deformación de 1.28 mm y un esfuerzo de rotura de 301.87 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 0%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 40
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
8600	0.09	0.30	48.02	43.37
9200	0.11	0.36	51.37	52.56
12200	0.19	0.63	68.13	87.68
16400	0.21	0.69	91.58	96.05
21800	0.26	0.86	121.73	116.26
20000	0.28	0.92	111.68	124.05
24500	0.31	1.02	136.81	135.44
26300	0.39	1.28	146.86	164.01
29500	0.42	1.38	164.73	174.04
31600	0.44	1.45	176.46	180.53
34000	0.49	1.61	189.86	196.03
37000	0.56	1.84	206.61	216.01
40000	0.59	1.94	223.37	223.96
43000	0.64	2.11	240.12	236.39
46000	0.72	2.37	256.87	254.15
48000	0.74	2.43	268.04	258.18
50000	0.83	2.73	279.21	274.29
52000	0.92	3.03	290.38	287.08
53000	1.05	3.45	295.96	299.71
55750	1.24	4.08	311.32	305.71
52000	1.40	4.61	290.38	299.31
50000	1.50	4.93	279.21	289.98
48000	1.71	5.63	268.04	257.08



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-18.917 X^2 + 153.28 X + -4.7192$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9927$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	311.32
MÓD. DE ELASTICIDAD:	264662.132
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-18.917 X^2 + 152.11 X + 0$

Fuente: *Elaboración Propia*

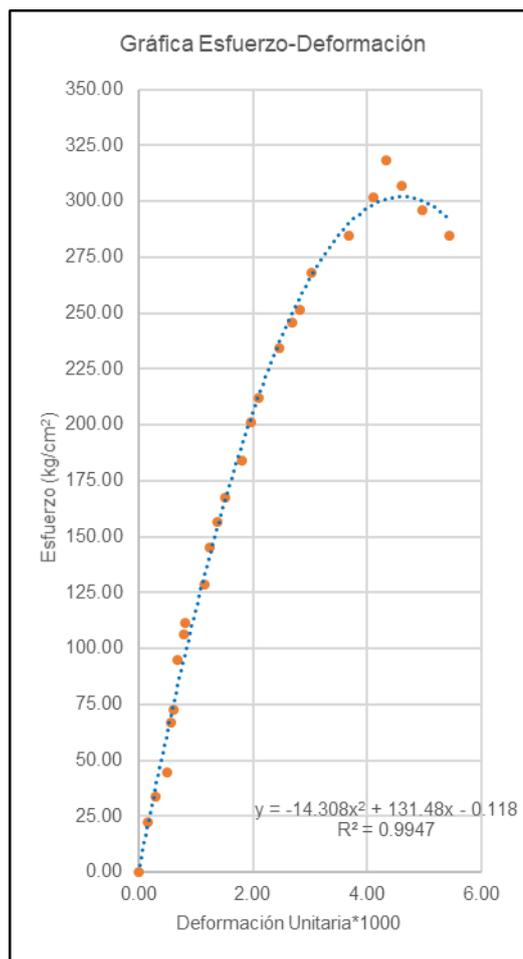
INTERPRETACION: Para la mezcla patrón ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 55.75 Tn, teniendo una deformación de 1.24 mm y un esfuerzo de rotura de 311.32 kg/cm².

5.2. Mezcla con dosificación de 1%

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 1%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 32
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4000	0.05	0.16	22.34	21.23
6000	0.09	0.30	33.50	37.66
8000	0.15	0.49	44.67	61.38
12000	0.17	0.56	67.01	69.04
13000	0.19	0.63	72.59	76.57
17000	0.21	0.69	94.93	83.98
19000	0.24	0.79	106.10	94.86
20000	0.25	0.82	111.68	98.43
23000	0.35	1.15	128.44	132.38
26000	0.38	1.25	145.19	141.96
28000	0.42	1.38	156.36	154.30
30000	0.46	1.51	167.52	166.15
33000	0.55	1.81	184.28	190.99
36000	0.60	1.97	201.03	203.71
38000	0.64	2.11	212.20	213.33
42000	0.75	2.47	234.53	237.22
44000	0.82	2.70	245.70	250.48
45000	0.86	2.83	251.29	257.37
48000	0.92	3.03	268.04	266.78
51000	1.12	3.68	284.79	290.10
54000	1.25	4.11	301.54	298.61
57000	1.32	4.34	318.30	301.03
55000	1.40	4.61	307.13	301.93
53000	1.51	4.97	295.96	299.94
51000	1.65	5.43	284.79	291.98



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-14.308 X^2 + 131.48 X + -0.118$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9947$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	318.30
MÓD. DE ELASTICIDAD:	267612.749
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-14.308 X^2 + 131.45 X + 0$

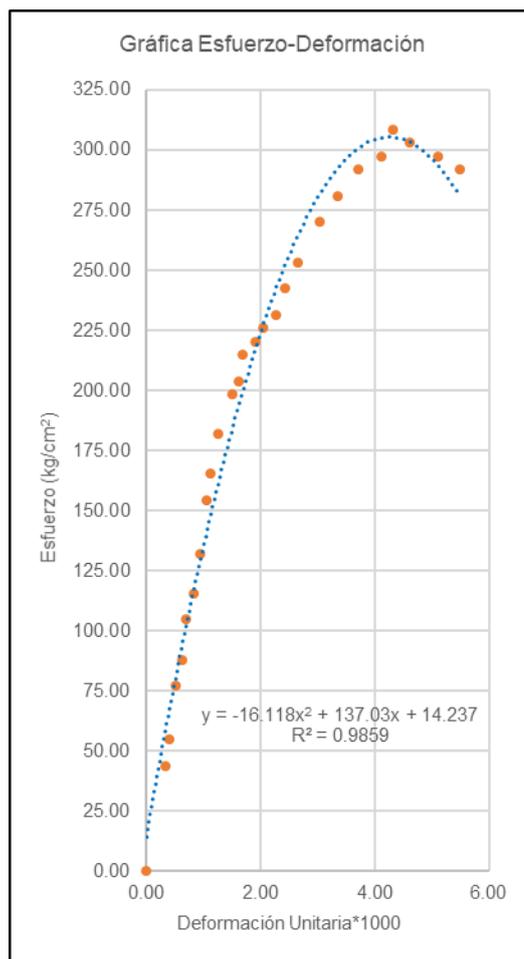
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 1% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 57.00 Tn, teniendo una deformación de 1.32 mm y un esfuerzo de rotura de 318.30 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 1%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 34
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
8000	0.10	0.33	44.09	44.42
10000	0.12	0.39	55.11	52.89
14000	0.16	0.53	77.15	69.40
16000	0.19	0.63	88.17	81.42
19000	0.21	0.69	104.71	89.25
21000	0.25	0.82	115.73	104.51
24000	0.29	0.95	132.26	119.21
28000	0.32	1.05	154.31	129.87
30000	0.34	1.12	165.33	136.80
33000	0.38	1.25	181.86	150.24
36000	0.46	1.51	198.39	175.45
37000	0.49	1.61	203.90	184.33
39000	0.51	1.68	214.93	190.07
40000	0.58	1.91	220.44	209.08
41000	0.62	2.04	225.95	219.18
42000	0.69	2.27	231.46	235.50
44000	0.74	2.43	242.48	246.11
46000	0.81	2.66	253.50	259.50
49000	0.92	3.03	270.03	277.09
51000	1.02	3.36	281.06	289.42
53000	1.13	3.72	292.08	298.96
54000	1.25	4.11	297.59	304.54
56000	1.31	4.31	308.61	305.45
55000	1.40	4.61	303.10	304.46
54000	1.55	5.10	297.59	296.53
53000	1.67	5.49	292.08	284.54



ECUACIÓN (ESFUERZO):	-16.118 X ² + 137.03 X + 14.237
COEF. CORRELACIÓN:	R ² = 0.9859
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	308.61
MÓD. DE ELASTICIDAD:	263509.783
ECUACIÓN CORREGIDA:	-16.118 X ² + 140.34 X + 0

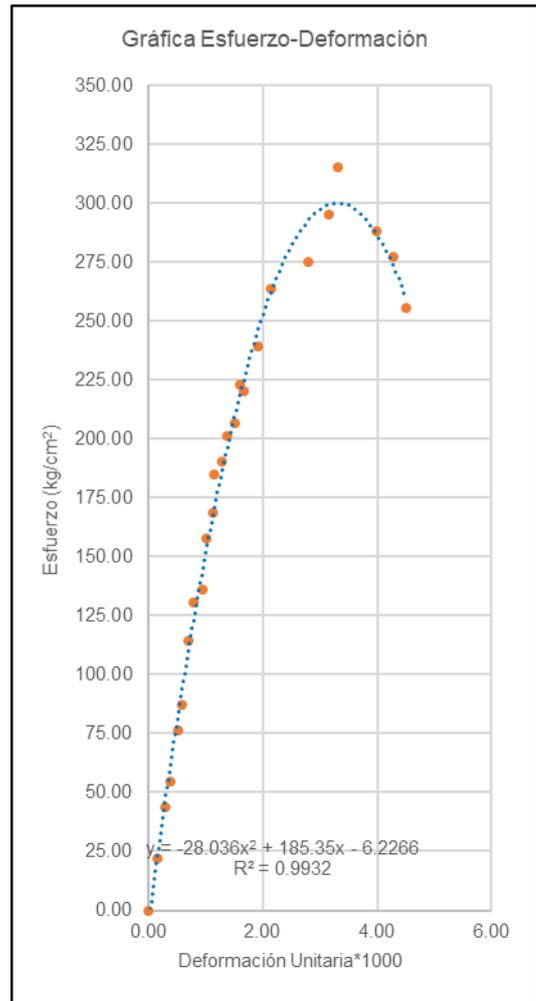
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 1% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 56.00 Tn, teniendo una deformación de 1.31 mm y un esfuerzo de rotura de 308.61 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 1%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 38
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO
 (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4000	0.05	0.16	21.76	29.42
8000	0.09	0.30	43.51	51.86
10000	0.12	0.39	54.39	68.05
14000	0.16	0.53	76.15	88.79
16000	0.18	0.59	87.03	98.80
21000	0.21	0.69	114.22	113.35
24000	0.24	0.79	130.54	127.36
25000	0.29	0.95	135.98	149.49
29000	0.31	1.02	157.73	157.92
31000	0.34	1.12	168.61	170.11
34000	0.35	1.15	184.93	174.05
35000	0.39	1.28	190.37	189.21
37000	0.42	1.38	201.25	199.95
38000	0.46	1.51	206.69	213.41
41000	0.49	1.61	223.00	222.86
40500	0.51	1.68	220.28	228.87
44000	0.58	1.91	239.32	247.96
48500	0.65	2.14	263.80	264.09
50600	0.85	2.80	275.22	293.77
54300	0.96	3.16	295.34	299.75
58000	1.01	3.32	315.47	300.05
53000	1.21	3.98	288.27	286.05
51000	1.30	4.28	277.39	271.83
47000	1.37	4.51	255.64	257.37



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-28.036 X^2 + 185.35 X + -6.2266$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9958$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	315.47
MÓD. DE ELASTICIDAD:	266421.264
ECUACIÓN CORREGIDA:	$28.036 X^2 + 183.46 X + 0$

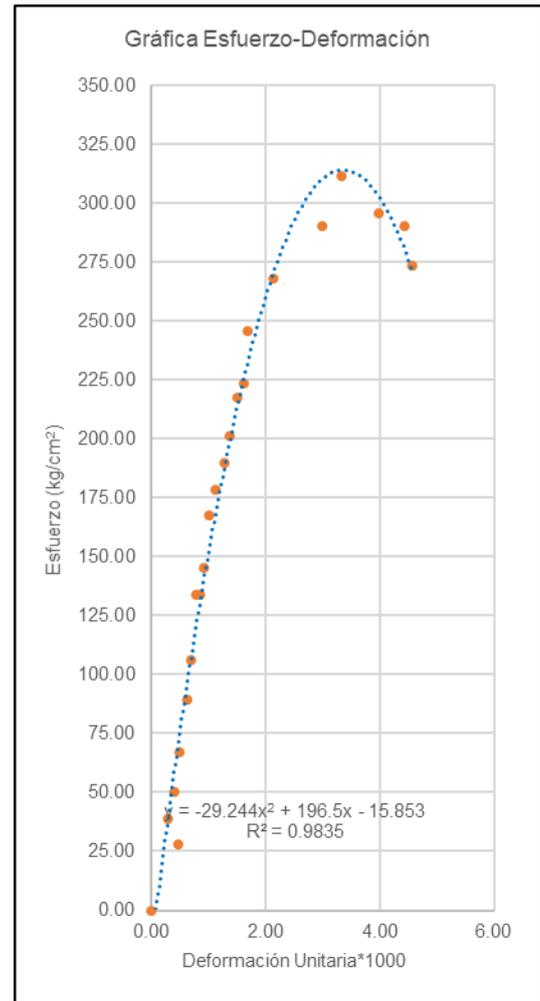
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 1% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 58.00 Tn, teniendo una deformación de 1.01 mm y un esfuerzo de rotura de 315.47 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 1%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 42
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5000	0.14	0.46	27.92	82.09
7000	0.09	0.30	39.09	54.20
9000	0.12	0.39	50.26	71.12
12000	0.15	0.49	67.01	87.48
16000	0.19	0.63	89.35	108.40
19000	0.21	0.69	106.10	118.49
24000	0.24	0.79	134.02	133.13
24000	0.26	0.86	134.02	142.58
26000	0.28	0.92	145.19	151.78
30000	0.31	1.02	167.52	165.10
32000	0.34	1.12	178.69	177.85
34000	0.39	1.28	189.86	197.83
36000	0.42	1.38	201.03	209.06
39000	0.46	1.51	217.78	223.15
40000	0.49	1.61	223.37	233.05
44000	0.51	1.68	245.70	239.34
48000	0.65	2.14	268.04	276.24
52000	0.91	2.99	290.38	311.87
55750	1.01	3.32	311.32	314.18
53000	1.21	3.98	295.96	299.81
52000	1.35	4.44	290.38	274.69
49000	1.39	4.57	273.62	265.24



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-29.244 X^2 + 196.5 X + -15.853$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9835$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	311.32
MÓD. DE ELASTICIDAD:	264662.132
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-29.244 X^2 + 191.72 X + 0$

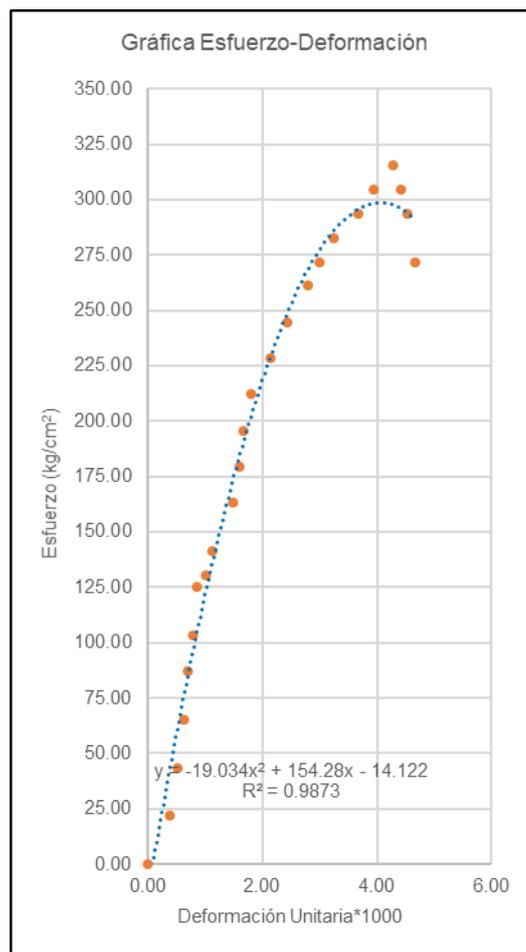
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 1% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 55.75 Tn, teniendo una deformación de 1.01 mm y un esfuerzo de rotura de 311.32 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 1%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 44
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGID O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4000	0.12	0.39	21.76	56.54
8000	0.16	0.53	43.51	74.07
12000	0.19	0.63	65.27	86.79
16000	0.21	0.69	87.03	95.06
19000	0.24	0.79	103.34	107.15
23000	0.26	0.86	125.10	115.01
24000	0.31	1.02	130.54	133.94
26000	0.34	1.12	141.42	144.80
30000	0.45	1.48	163.17	181.45
33000	0.49	1.61	179.49	193.54
36000	0.51	1.68	195.81	199.34
39000	0.55	1.81	212.13	210.44
42000	0.65	2.14	228.44	235.32
45000	0.74	2.43	244.76	254.19
48000	0.85	2.80	261.08	272.71
50000	0.91	2.99	271.96	280.72
52000	0.99	3.26	282.83	289.08
54000	1.12	3.68	293.71	297.06
56000	1.20	3.95	304.59	298.50
58000	1.30	4.28	315.47	296.60
56000	1.34	4.41	304.59	294.69
54000	1.38	4.54	293.71	292.12
50000	1.42	4.67	271.96	288.89



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-19.034 X^2 + 154.28 X + -14.122$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9873$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	315.47
MÓD. DE ELASTICIDAD:	266421.264
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-19.034 X^2 + 150.76 X + 0$

Fuente: *Elaboración Propia*

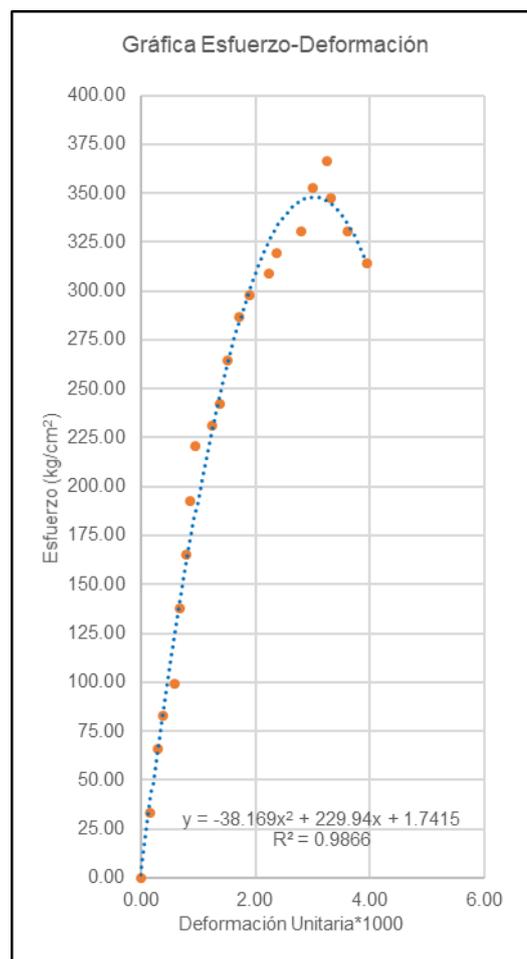
INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 1% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 58.00 Tn, teniendo una deformación de 1.30 mm y un esfuerzo de rotura de 315.47 kg/cm².

5.3. Mezcla con dosificación de 3

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 3%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 31
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6000	0.05	0.16	33.07	36.88
12000	0.09	0.30	66.13	64.90
15000	0.12	0.39	82.66	85.05
18000	0.18	0.59	99.20	123.11
25000	0.21	0.69	137.77	141.03
30000	0.24	0.79	165.33	158.20
35000	0.26	0.86	192.88	169.23
40000	0.29	0.95	220.44	185.17
42000	0.38	1.25	231.46	228.51
44000	0.42	1.38	242.48	245.62
48000	0.46	1.51	264.52	261.42
52000	0.52	1.71	286.57	282.63
54000	0.58	1.91	297.59	300.87
56000	0.68	2.24	308.61	324.65
58000	0.72	2.37	319.63	331.86
60000	0.85	2.80	330.65	346.14
64000	0.91	2.99	352.70	348.02
66500	0.99	3.26	366.48	345.90
63000	1.01	3.32	347.19	344.55
60000	1.10	3.62	330.65	334.36
57000	1.20	3.95	314.12	315.20



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-38.169 X^2 + 229.94 X + -1.7415$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9866$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	366.48
MÓD. DE ELASTICIDAD:	287153.129
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-38.169 X^2 + 230.52 X + 0$

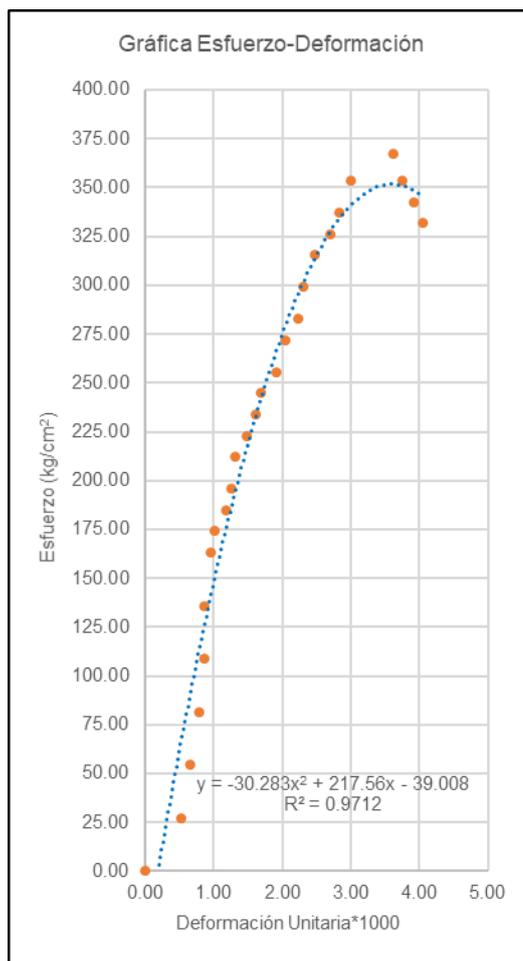
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 3% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 66.50 Tn, teniendo una deformación de 0.99 mm y un esfuerzo de rotura de 366.48 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 3%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 33
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGID O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5000	0.16	0.53	27.20	100.25
10000	0.20	0.66	54.39	122.69
15000	0.24	0.79	81.59	144.08
20000	0.26	0.86	108.78	154.39
25000	0.26	0.86	135.98	154.39
30000	0.29	0.95	163.17	169.35
32000	0.31	1.02	174.05	179.00
34000	0.36	1.18	184.93	201.97
36000	0.38	1.25	195.81	210.70
39000	0.40	1.32	212.13	219.17
41000	0.45	1.48	223.00	239.19
43000	0.49	1.61	233.88	254.03
45000	0.51	1.68	244.76	261.06
47000	0.58	1.91	255.64	283.59
50000	0.62	2.04	271.96	295.02
52000	0.68	2.24	282.83	310.20
55000	0.70	2.30	299.15	314.73
58000	0.75	2.47	315.47	324.93
60000	0.82	2.70	326.35	336.44
62000	0.86	2.83	337.22	341.58
65000	0.91	2.99	353.54	346.53
67500	1.10	3.62	367.14	350.40
65000	1.14	3.75	353.54	348.20
63000	1.19	3.91	342.66	343.98
61000	1.23	4.05	331.79	339.42



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-30.283 X^2 + 217.56 X + -39.008$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9712$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	367.14
MÓD. DE ELASTICIDAD:	287413.242
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-30.283 X^2 + 206.42 X + 0$

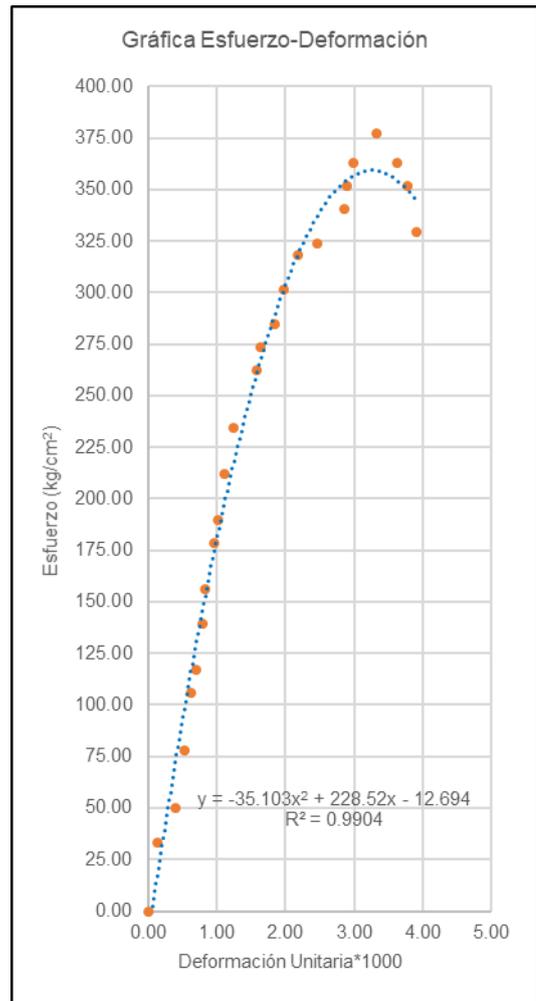
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 3% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 67.50 Tn, teniendo una deformación de 1.10 mm y un esfuerzo de rotura de 367.14 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 3%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 35
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO
 (cm): 15.1
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 179.079

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6000	0.04	0.13	33.50	28.94
9000	0.12	0.39	50.26	83.18
14000	0.16	0.53	78.18	108.48
19000	0.19	0.63	106.10	126.65
21000	0.21	0.69	117.27	138.39
25000	0.24	0.79	139.60	155.43
28000	0.25	0.82	156.36	160.95
32000	0.29	0.95	178.69	182.30
34000	0.31	1.02	189.86	192.52
38000	0.34	1.12	212.20	207.27
42000	0.38	1.25	234.53	225.88
47000	0.48	1.58	262.45	267.10
49000	0.50	1.64	273.62	274.43
51000	0.56	1.84	284.79	294.59
54000	0.60	1.97	301.54	306.52
57000	0.66	2.17	318.30	322.13
58000	0.75	2.47	323.88	340.42
61000	0.87	2.86	340.63	355.23
63000	0.88	2.89	351.80	355.97
65000	0.91	2.99	362.97	357.74
67500	1.01	3.32	376.93	358.69
65000	1.10	3.62	362.97	353.05
63000	1.15	3.78	351.80	347.25
59000	1.19	3.91	329.46	341.25



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-35.103 X^2 + 228.52 X + -12.694$
COEF. CORRELACIÓN :	$R^2 = 0.9904$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	376.93
MÓD. DE ELASTICIDAD:	291220.040
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-35.103 X^2 + 224.59 X + 0$

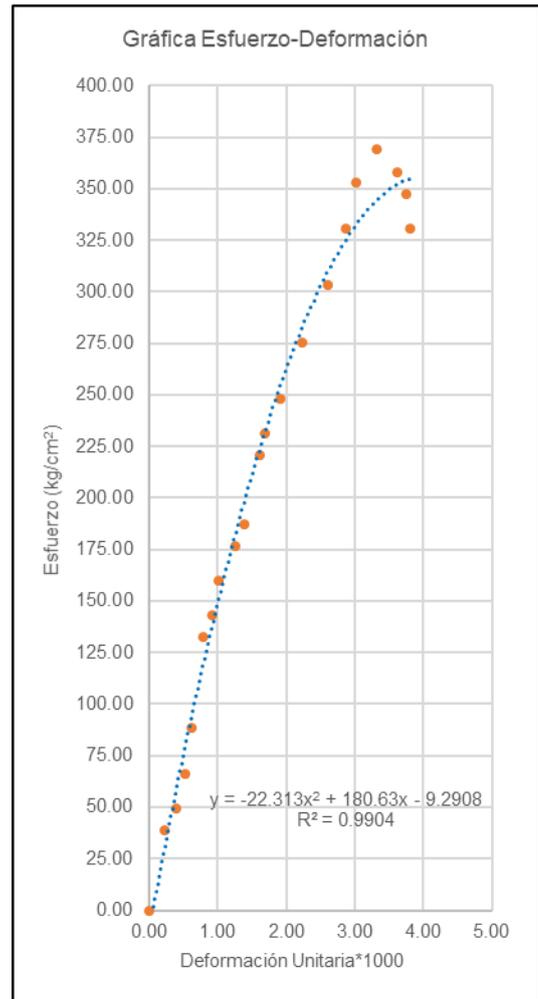
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 3% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 67.50 Tn, teniendo una deformación de 1.01 mm y un esfuerzo de rotura de 376.93 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 3%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 38
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
7000	0.07	0.23	38.58	39.88
9000	0.12	0.39	49.60	66.91
12000	0.16	0.53	66.13	87.67
16000	0.19	0.63	88.17	102.73
24000	0.24	0.79	132.26	126.87
26000	0.28	0.92	143.28	145.31
29000	0.31	1.02	159.82	158.64
32000	0.38	1.25	176.35	188.04
34000	0.42	1.38	187.37	203.77
40000	0.49	1.61	220.44	229.45
42000	0.51	1.68	231.46	236.36
45000	0.58	1.91	247.99	258.99
50000	0.68	2.24	275.55	287.23
55000	0.79	2.60	303.10	312.71
60000	0.87	2.86	330.65	327.58
64000	0.92	3.03	352.70	335.30
67000	1.01	3.32	369.23	346.15
65000	1.10	3.62	358.21	353.09
63000	1.14	3.75	347.19	354.92
60000	1.16	3.82	330.65	355.55



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-22.313 X^2 + 180.63 X + -9.2908$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9904$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	369.23
MÓD. DE ELASTICIDAD:	288230.631
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-22.313 X^2 + 178.32 X + 0$

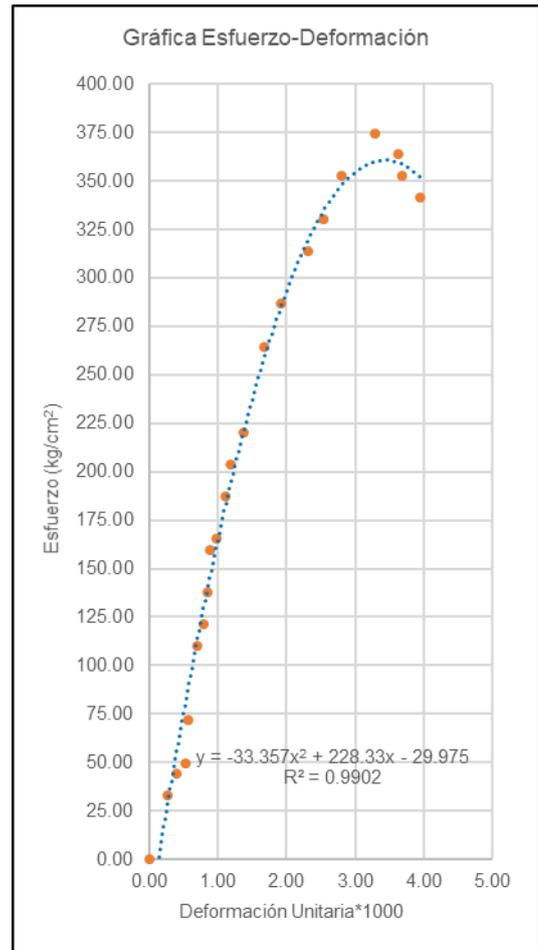
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 3% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 67.00 Tn, teniendo una deformación de 1.01 mm y un esfuerzo de rotura de 369.23 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 3%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 43
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6000	0.08	0.26	33.07	55.43
8000	0.12	0.39	44.09	81.41
9000	0.16	0.53	49.60	106.23
13000	0.17	0.56	71.64	112.26
20000	0.21	0.69	110.22	135.64
22000	0.24	0.79	121.24	152.42
25000	0.26	0.86	137.77	163.24
29000	0.27	0.89	159.82	168.55
30000	0.30	0.99	165.33	184.03
34000	0.34	1.12	187.37	203.65
37000	0.36	1.18	203.90	213.03
40000	0.42	1.38	220.44	239.44
48000	0.51	1.68	264.52	274.19
52000	0.58	1.91	286.57	297.17
57000	0.70	2.30	314.12	328.33
60000	0.77	2.53	330.65	341.71
64000	0.85	2.80	352.70	352.66
68000	1.00	3.29	374.74	360.76
66000	1.10	3.62	363.72	357.13
64000	1.12	3.68	352.70	355.54
62000	1.20	3.95	341.68	346.28



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-33.357 X^2 + 228.33 X + -29.975$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9902$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	374.74
MÓD. DE ELASTICIDAD:	290373.639
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-33.357 X^2 + 219.40 X + 0$

Fuente: *Elaboración Propia*

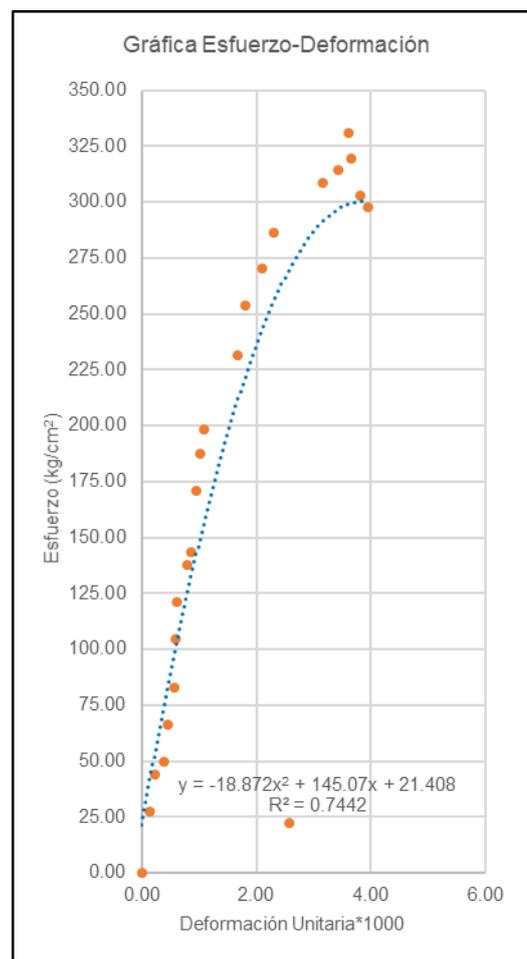
INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 3% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 68.00 Tn, teniendo una deformación de 1.00 mm y un esfuerzo de rotura de 374.74 kg/cm².

5.4. Mezcla con dosificación de 5%

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 5%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 34
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5000	0.04	0.13	27.55	19.48
8000	0.07	0.23	44.09	33.66
9000	0.12	0.39	49.60	56.48
12000	0.14	0.46	66.13	65.32
15000	0.17	0.56	82.66	78.28
19000	0.18	0.59	104.71	82.52
22000	0.19	0.63	121.24	86.71
25000	0.24	0.79	137.77	107.08
26000	0.26	0.86	143.28	114.94
31000	0.29	0.95	170.84	126.43
34000	0.31	1.02	187.37	133.88
36000	0.33	1.09	198.39	141.17
42000	0.51	1.68	231.46	199.43
46000	0.55	1.81	253.50	210.58
49000	0.64	2.11	270.03	233.28
52000	0.70	2.30	286.57	246.57
4000	0.78	2.57	22.04	262.01
56000	0.96	3.16	308.61	287.18
57000	1.04	3.42	314.12	294.12
60000	1.10	3.62	330.65	297.62
58000	1.11	3.65	319.63	298.05
55000	1.16	3.82	303.10	299.64
54000	1.20	3.95	297.59	300.17



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-18.872 X^2 + 145.07 X + 21.408$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.7442$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	330.65
MÓD. DE ELASTICIDAD:	272758.539
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-18.872 X^2 + 150.54 X + 0$

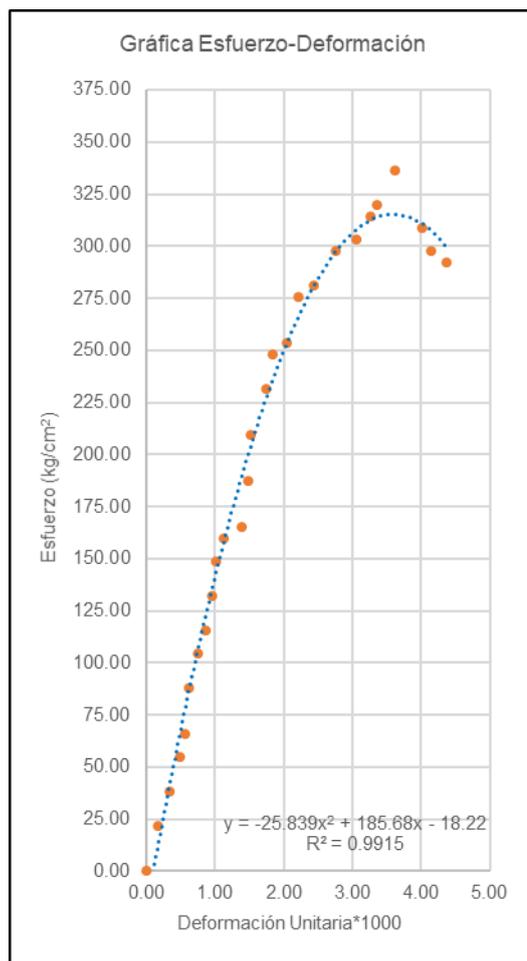
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 5% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 60.00 Tn, teniendo una deformación de 1.10 mm y un esfuerzo de rotura de 330.65 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 5%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 36
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGID O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4000	0.05	0.16	22.04	28.99
7000	0.10	0.33	38.58	56.59
10000	0.15	0.49	55.11	82.79
12000	0.17	0.56	66.13	92.88
16000	0.19	0.63	88.17	102.74
19000	0.23	0.76	104.71	121.80
21000	0.26	0.86	115.73	135.51
24000	0.29	0.95	132.26	148.71
27000	0.31	1.02	148.79	157.23
29000	0.34	1.12	159.82	169.60
30000	0.42	1.38	165.33	200.11
34000	0.45	1.48	187.37	210.63
38000	0.46	1.51	209.41	214.02
42000	0.53	1.74	231.46	236.22
45000	0.56	1.84	247.99	244.89
46000	0.62	2.04	253.50	260.73
50000	0.67	2.20	275.55	272.39
51000	0.74	2.43	281.06	286.36
54000	0.84	2.76	297.59	301.57
55000	0.93	3.06	303.10	310.48
57000	0.99	3.26	314.12	313.91
58000	1.02	3.36	319.63	314.86
61000	1.10	3.62	336.17	314.95
56000	1.22	4.01	308.61	308.38
54000	1.26	4.14	297.59	304.40
53000	1.33	4.38	292.08	295.28



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-25.839 X^2 + 182.68 X + -18.22$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9915$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	336.17
MÓD. DE ELASTICIDAD:	275022.134
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-25.839 X^2 + 180.54 X + 0$

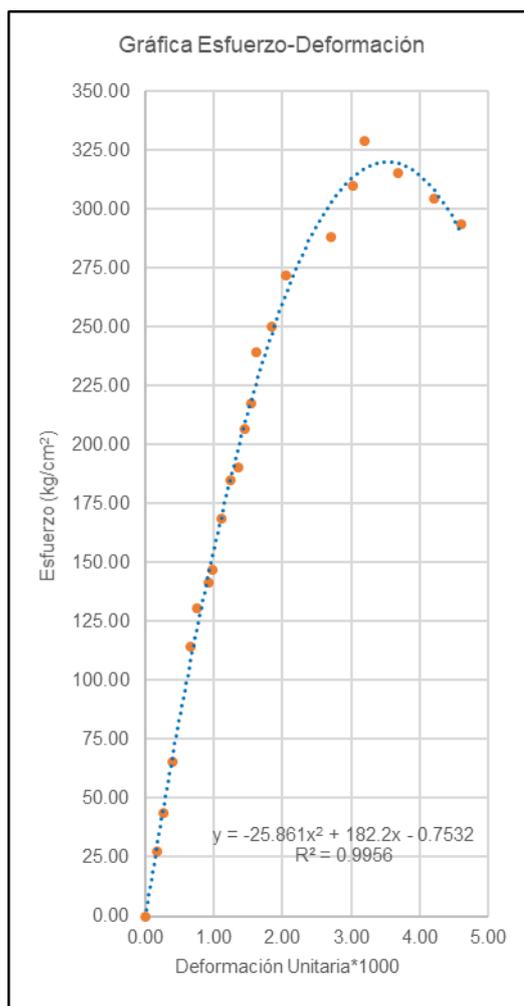
Fuente: Elaboración Propia

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 5% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 61.00 Tn, teniendo una deformación de 1.10 mm y un esfuerzo de rotura de 336.17 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 5%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 39
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO
 (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5000	0.05	0.16	27.20	29.23
8000	0.08	0.26	43.51	46.10
12000	0.12	0.39	65.27	67.81
21000	0.20	0.66	114.22	108.53
24000	0.23	0.76	130.54	122.88
26000	0.28	0.92	141.42	145.68
27000	0.30	0.99	146.86	154.41
31000	0.34	1.12	168.61	171.19
34000	0.38	1.25	184.93	187.07
35000	0.41	1.35	190.37	198.40
38000	0.44	1.45	206.69	209.23
40000	0.47	1.55	217.56	219.55
44000	0.49	1.61	239.32	226.15
46000	0.56	1.84	250.20	247.48
50000	0.62	2.04	271.96	263.59
53000	0.82	2.70	288.27	302.72
57000	0.92	3.03	310.03	313.90
60500	0.97	3.19	329.07	317.38
58000	1.12	3.68	315.47	319.45
56000	1.28	4.21	304.59	307.78
54000	1.40	4.61	293.71	289.62



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-25.861 X^2 + 182.2 X + -0.7532$
COEF. CORRELACIÓN	$R^2 = 0.9956$
:	
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	329.07
MÓD. DE ELASTICIDAD:	272102.527
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-25.861 X^2 + 181.99 X + 0$

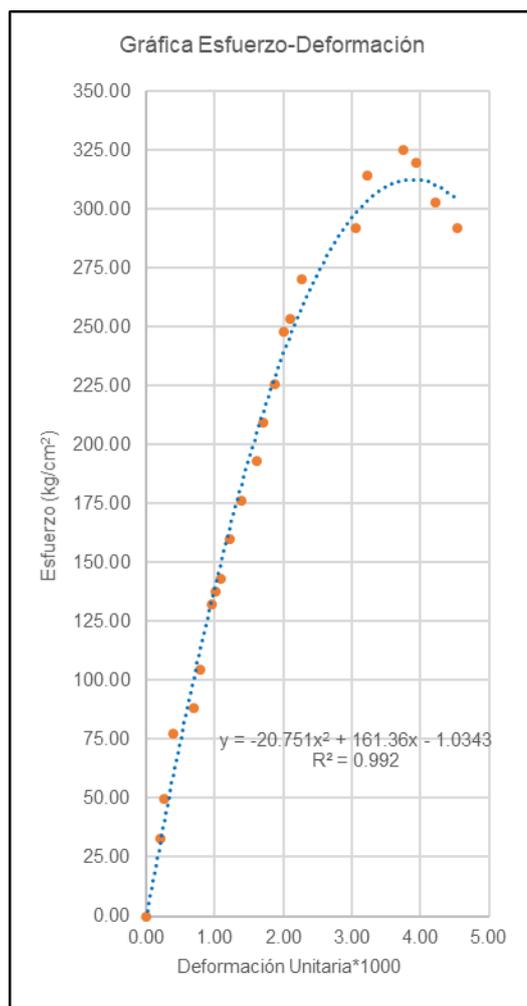
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 5% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 60.50 Tn, teniendo una deformación de 0.97 mm y un esfuerzo de rotura de 329.07 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 5%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 42
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.2
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 181.458

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6000	0.06	0.20	33.07	30.99
9000	0.08	0.26	49.60	40.96
14000	0.12	0.39	77.15	60.36
16000	0.21	0.69	88.17	101.38
19000	0.24	0.79	104.71	114.25
24000	0.29	0.95	132.26	134.79
25000	0.31	1.02	137.77	142.70
26000	0.33	1.09	143.28	150.42
29000	0.37	1.22	159.82	165.33
32000	0.42	1.38	176.35	182.96
35000	0.49	1.61	192.88	205.75
38000	0.52	1.71	209.41	214.84
41000	0.57	1.88	225.95	229.10
45000	0.61	2.01	247.99	239.70
46000	0.64	2.11	253.50	247.17
49000	0.69	2.27	270.03	258.74
53000	0.93	3.06	292.08	298.62
57000	0.98	3.22	314.12	303.67
59000	1.14	3.75	325.14	312.29
58000	1.20	3.95	319.63	312.56
55000	1.28	4.21	303.10	310.40
53000	1.38	4.54	292.08	303.67



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-20.751 X^2 + 161.36 X + -1.0343$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.992$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	325.14
MÓD. DE ELASTICIDAD:	270476.001
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-20.751 X^2 + 161.09 X + 0$

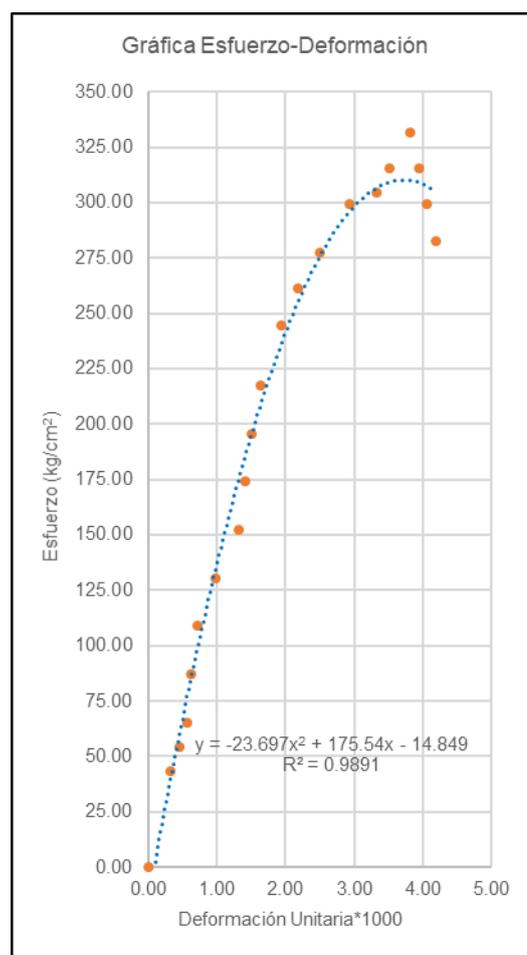
Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 5% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 59.00 Tn, teniendo una deformación de 1.14 mm y un esfuerzo de rotura de 325.14 kg/cm².

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CBCA : 5%
 COD. C-P-
 ESPÉCIMEN: 45
 EDAD: 28 DÍAS
 DIÁMETRO (cm): 15.3
 ALTURA (mm): 304
 ÁREA (cm²): 183.854

CARGA A (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO O (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO O (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
8000	0.10	0.33	43.51	53.85
10000	0.14	0.46	54.39	73.95
12000	0.17	0.56	65.27	88.49
16000	0.19	0.63	87.03	97.92
20000	0.22	0.72	108.78	111.69
24000	0.30	0.99	130.54	146.15
28000	0.40	1.32	152.29	184.61
32000	0.43	1.41	174.05	195.15
36000	0.46	1.51	195.81	205.22
40000	0.50	1.64	217.56	217.94
45000	0.59	1.94	244.76	243.56
48000	0.66	2.17	261.08	260.61
51000	0.76	2.50	277.39	280.60
55000	0.89	2.93	299.15	298.93
56000	1.01	3.32	304.59	308.16
58000	1.07	3.52	315.47	310.01
61000	1.16	3.82	331.79	309.31
58000	1.20	3.95	315.47	307.67
55000	1.23	4.05	299.15	305.90
52000	1.27	4.18	282.83	302.82



ECUACIÓN (ESFUERZO):	$-23.697 X^2 + 175.54 X + -14.849$
COEF. CORRELACIÓN:	$R^2 = 0.9891$
ESF. ROTURA (kg/cm ²):	331.79
MOD. DE ELASTICIDAD:	273224.604
ECUACIÓN CORREGIDA:	$-23.697 X^2 + 171.48 X + 0$

Fuente: *Elaboración Propia*

INTERPRETACION: Para la mezcla con dosificación de 5% de CBCA ensayado a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 61.00 Tn, teniendo una deformación de 1.16 mm y un esfuerzo de rotura de 331.79 kg/cm².

ANEXO 6: PANEL FOTOGRAFICO



Imagen N°01.- Traslado de agregados
Cantera: Roca Fuerte – Campus Universitario.



Imagen N°02.- Obtención Agregado fino y agregado grueso de la cantera “Roca Fuerte”.



Imagen N°03.- Traslado de la ceniza, desde Paramonga - Cajamarca.



Imagen N°04.- Cemento Pacasmayo tipo I



Imagen N°05.- Granulometría del Agregado Grueso





Imagen N°06.- Peso Unitario suelto y compactado del agregado fino



Imagen N°07.- Peso específico del agregado grueso.

Imagen N°08.- Peso específico del agregado fino.



Imagen N°07.- Peso específico de la ceniza.

Imagen N°08.- Porcentaje de finos, mediante el método de lavado.



Imagen N°09.- Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.



Imagen N°10.- Elaboración de la mezcla de concreto.



Imagen N°11.- Elaboración de la mezcla de concreto.



Imagen N°12.- Elaboración de la mezcla de concreto.



Imagen N°13.- Apariencia del concreto elaborado con ceniza.



Imagen N°14.- Realizando el test de Slump del concreto elaborado con ceniza.



Imagen N°15.- Realizando el test de Slump del concreto elaborado con ceniza.



Imagen N°16.- Llenado de especímenes de concreto.



Imagen N°17.- Curado de especímenes.



Imagen N°18.- Especímenes de concreto, 28 días.



Imagen N°19.- Medición del diámetro de los especímenes de concreto.



Imagen N°20.- Ensayo para evaluar la resistencia a compresión.



Imagen N°21.- Ensayo para evaluar la resistencia a compresión.



Imagen N°22.- Ensayo para evaluar la resistencia a compresión.



Imagen N°23.- Fallas típicas del espécimen ensayado.



Imagen N°24.- Fallas típicas del espécimen ensayado.



Imagen N°25.- Fallas típicas del espécimen ensayado.