UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Efecto de la CBCA de Caña Brava en los morteros de cemento hidráulico

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Darwin Emerson Segundo Feria Guerrero

Asesor(es):
Mgtr. Ing. Shirley Marina Carrillo Siancas

Piura, setiembre de 2021

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Dedicatoria

A Dios porque a pesar de las dificultades siempre estuvo apoyándome, y a mi familia que fue mi motor principal para seguir adelante.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Agradecimientos

A mi asesora, Mgtr. Ing. Shirley Marina Carrillo Siancas, por el apoyo dedicado e incondicional a nuestra tesis.

Al Ing. César Dioses, quien nos brindó su gran apoyo con el ensayo a la tracción de las briquetas de mortero usando la probadora universal Galbadini del Laboratorio de Mecánica de la Universidad de Piura.

A los técnicos del Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura.

Al laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a cargo de la Dra. Elvira Leticia Zeballos Velásquez por habernos apoyado con las gestiones para realizar el ensayo de Difracción de Rayos X.

Al laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Física de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a cargo de los Licenciados Jorge Bravo Cabrejos y Mirian Mejía Santillán por su gran apoyo y dedicación a nuestra tesis y por permitirnos realizar el ensayo de Fluorescencia de Rayos X.

Al laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a cargo de la Ingeniera Ana María Osorio Anaya por el gran apoyo que nos brindó con la realización del ensayo de Dispersión de Luz Dinámica (DLS).

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Resumen

Producto de la elaboración de etanol y azúcar, la empresa Caña Brava presenta una acumulación de desechos cada vez mayor, procedente de la quema del bagazo de caña de azúcar. Actualmente, se recoge parte de estos desechos para la producción de compost, el cuál sirve como abono para las tierras de cultivo; pero esta opción apenas aprovecha una mínima cantidad de estos desechos. La presente tesis pretende evaluar el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como reemplazo parcial del cemento en la elaboración de mortero hidráulico considerando la posible variación de las características de la ceniza.

Se tomaron muestras de ceniza procedentes de 2 lotes de diferentes días de producción y después de caracterizarlas con difracción de rayos X, dispersión de luz dinámica y de fluorescencia de rayos X, fueron sometidas a un tratamiento previo de secado, tamizado y molienda fina. Se evaluaron 2 muestras de mortero correspondientes a cada lote de ceniza en porcentajes de reemplazo del 15%, además de la muestra patrón. Se evaluó el comportamiento en estado fresco (fluidez y tiempo de fraguado) y en estado endurecido (resistencia a la tracción y a la compresión).

Se encontró que la ceniza no presenta variación significativa en la composición química al variar el lote de producción, que las fases mineralógicas principales son el Cuarzo (SiO_2), la Calcita ($CaCO_3$) y la Albita ($NaAlSi_3O_8$) que el tamaño de las partículas son de menor tamaño que las partículas del cemento portland, menores a 0.5 μm. En estado fresco se observó que la presencia de CBCA en el mortero reduce el tiempo para lograr la consistencia plástica, de 40 minutos a 15 minutos, lo que es coherente con una disminución en los valores de fragua inicial y fragua final al incorporar CBCA al mortero. En estado endurecido, no se ha observado variación en la resistencia a la compresión y a la tracción de las mezclas con reemplazo de CBCA respecto a la mezcla patrón. Se concluye que la incorporación de la CBCA en un 15% en morteros hidráulicos sólo tiene efectos en la fluidez y consistencia, pero no afecta significativamente las propiedades en estado endurecido.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Tabla de contenido

Introducción **15**

Capítulo 1 Marco teórico **17**
1.1 Antecedentes 17
1.2 Bases teóricas 19
1.2.1 Cemento Portland 19
1.2.2 Agregado fino 20
1.2.3 Caña Brava 22
1.2.4 Mortero 25

Capítulo 2 Caracterización de materiales **27**
2.1 Cemento Portland tipo MS 27
2.2 Agregado fino 27
2.3 CBCA 29
2.3.1 Tratamiento previo 30
2.3.2 Ensayos de laboratorio 31

Capítulo 3 Metodología **41**
3.1 Diseño de mezcla 41
3.1.1 Selección del porcentaje de reemplazo 41
3.1.2 Morteros analizados 42
3.1.3 Dosificación de las mezclas 43
3.2 Ensayos en estado fresco 44
3.2.1 Fluidez o consistencia 44
3.2.2 Tiempo de fraguado 44
3.3 Ensayos en estado endurecido 44
3.3.1 Resistencia a la compresión 44
3.3.2 Resistencia a la tracción 44

Capítulo 4 Análisis de resultados **45**
4.1 Resultados en concreto fresco con diferentes concentraciones de CBCA 45
4.1.1 Fluidez o consistencia 45
4.1.2 Tiempo de fraguado 47

4.2 Resultados en concreto endurecido 51
4.2.1 Resistencia a la compresión 51
4.2.2 Resistencia a la tracción 53
4.2.3 Relación entre resistencia a la tracción y resistencia a la compresión 54

Conclusiones 57

Recomendaciones 59

Referencias bibliográficas 61

Anexos 65
Anexo A. Caracterización del agregado fino 67
Anexo B. Caracterización de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar 71
Anexo B.1 Informe de fluorescencia de rayos X 71
Anexo B.2 Informe de difracción de rayos X 75
Anexo B.3 Informe de dispersión de luz dinámica (DLS) 78
Anexo C. Diseño de mezcla patrón 82
Anexo D. Resultados del ensayo a compresión 83
Anexo E. Resultados del ensayo a tracción 86
Anexo F. Validación de datos para resultados de ensayo de resistencia a la compresión 87
Anexo G. Validación de datos para resultados de ensayo de resistencia a la tracción 91
Anexo H. Registro fotográfico 92

Lista de tablas

Tabla 1 Tamices para el agregado fino 20
Tabla 2 Tamices para el cálculo del módulo de finura agregado fino 21
Tabla 3 Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento 23
Tabla 4 Compuestos químicos de las cenizas y el cemento 23
Tabla 5 Composición química del cemento Portland tipo MS 27
Tabla 6 Parámetros del agregado fino 28
Tabla 7 Composición elemental de las muestras M1 y M2 de CBCA 34
Tabla 8 Fases mineralógicas de CBCA, muestra M1 35
Tabla 9 Fases mineralógicas de CBCA, muestra M2 36
Tabla 10 Resultados del ensayo de DLS. Resultados del laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química – UNMSM 39
Tabla 11 Fluidez (%) de mezclas con reemplazo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de CBCA 42
Tabla 12 Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación 42
Tabla 13 Dosificación de materiales para 1 m3 de mezcla patrón (Stock) 43
Tabla 14 Cantidades de materiales en peso en stock para cada tanda (1.4 litros) 43
Tabla 15 Resultados de fluidez de las muestras (dosificación para 0.5m3) 45
Tabla 16 Resultados del ensayo de aguja de Vicat 48
Tabla 17 Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días 52
Tabla 18 Resumen de resultados promedio de resistencia a la tracción a los 28 días 53
Tabla 19 Relación entre resistencia a la tracción y a la compresión a los 28 días 55

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1 Dimensiones de las briquetas para ensayo de tracción 26
Figura 2 Ubicación de la cantera de Chulucanas 28
Figura 3 Curva granulométrica del agregado fino de la cantera de Chulucanas 29
Figura 4 Secado previo de CBCA 30
Figura 5 Tamizado de CBCA 30
Figura 6 Tamizado de CBCA 31
Figura 7 Molienda en máquina de abrasión de Los Ángeles 31
Figura 8 Muestreo tipo pastillas de CBCA 32
Figura 9 Ensayo de fluorescencia de Rayos X 32
Figura 10 Espectro de FRXDE de CBCA, muestra M1 33
Figura 11 Espectro de FRXDE de CBCA, muestra M2 33
Figura 12 Difractograma de CBCA, muestra M1 35
Figura 13 Difractograma de CBCA, muestra M2 36
Figura 14 Análisis de distribución de CBCA M1 37
Figura 15 Análisis de distribución de CBCA M1-B 37
Figura 16 Análisis de distribución de CBCA M2 38
Figura 17 Análisis de distribución de CBCA M2-B 38
Figura 18 Fluidez (%) vs. Ceniza (%) 46
Figura 19 Fluidez (%) vs. Tiempo (min.) 46
Figura 20 Penetración (mm) vs. Tiempo (min.) 47
Figura 21 Tendencia de resultados de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días 52
Figura 22 Tendencia de resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días 54

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Introducción

El desarrollo urbano es un fenómeno constante que acarrea consigo un crecimiento de la población y la industrialización. Datos estadísticos del Banco Mundial nos indican que actualmente más del 50% de la población vive en zonas urbanas, y proyecta un aumento de 1.5 veces en dicha población para el 2045. Debido a esto, se está incrementando la demanda de cemento. La producción anual estimada de cemento en el mundo es de 4,100 millones TM (toneladas métricas), y en el Perú es de aproximadamente 10 millones TM. Además, en la actualidad se estima una producción de concreto de 25,000 millones TM en todo el mundo, lo que supone una mayor demanda de recursos para su producción, por ello se debe buscar opciones para la reducción o el reemplazo de dichos recursos, los cuales serán limitados en el futuro. (Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), 2017)

Por otra parte, es cada vez más frecuente abordar temas relacionados con la preservación del medio ambiente, existiendo organizaciones y leyes que buscan mejorar la situación ambiental. Actualmente, se busca de forma constante mejorar los procesos industriales y la valoración de los residuos sólidos para reducir la contaminación. En el sector construcción se viene aplicando de manera acertada la utilización de desechos industriales como la escoria, cenizas volantes, humo de sílice, cenizas de carbón, etc. (Nochaiya, et. al 2010), y se están desarrollando otras aplicaciones como, por ejemplo: reemplazo parcial de los agregados del concreto por elementos elaborados con plástico, caucho, vidrio o el uso de poliestireno expandido (tecnopor) (Alvarez & Sota, 2018), así como también el uso de residuos agroindustriales como lo son la cascarilla de arroz, hoja de caña de azúcar, palma africana, etc., que al transformarse en cenizas reactivas mejoran la durabilidad y la resistencia del concreto (Madurwar et al., 2013).

En el departamento de Piura, Caña Brava es un grupo de tres empresas dedicadas a la producción de etanol y azúcar a partir de la caña de azúcar. Su área de cultivo cuenta con una extensión de 9,400 hectáreas, y su procesamiento diario de caña es de 4,300 toneladas (Caña Brava, s/f). Una parte del residuo de ceniza generado de la calcinación es gestionada por una empresa fabricante de compost. Sin embargo, la otra no se gestiona adecuadamente, y podría generar problemas ambientales. No se dispone de información de las cantidades de la CBCA que son tratadas para la fabricación de compost ni el porcentaje que es desechado sin control ambiental. En consecuencia, se plantea este trabajo para analizar la posibilidad de poder utilizar el porcentaje que no es gestionado adecuadamente para la fabricación de morteros.

La presente tesis pretende evaluar el uso de la CBCA en la elaboración de mortero hidráulico. El resultado esperado de la fusión es lograr que la CBCA aporte de manera positiva en la resistencia a la compresión simple y en la resistencia a la tracción simple, a la mejora en la trabajabilidad y además de mitigar la contaminación del medio ambiente que se genera con el desperdicio del bagazo de caña en la industria azucarera.

Capítulo 1
Marco teórico

1.1 Antecedentes

La industria de la caña de azúcar para producir biocombustible se ha desarrollado a lo largo de los años. Sin embargo, también está causando problemas medio ambientales por la acumulación de residuos biodegradables, la quema de la paja y hojas de la caña de azúcar como parte del proceso de producción.

Desde algunos años, esto ha obligado a realizar investigaciones sobre las propiedades de los desechos y sus posibles aplicaciones en los diversos sectores; tal es el caso del uso de los residuos de bagazo de caña de azúcar en el sector agroindustrial para la generación de energía eléctrica, o el uso de diversos residuos agroindustriales (cascarilla de arroz, fibras de abacá, lechuguilla, fibras de coco, fibras de sisal, fibra de yute, etc.) en el sector construcción.

Una de las formas de aprovechar los residuos agroindustriales en construcción es el reemplazo del agregado fino por la CBCA en la fabricación de mortero (Camargo, y otros, 2014). En Chimbote se ha realizado el estudio del reemplazo parcial de cemento por CBCA para su uso en concreto, siendo el porcentaje sustituyente de 7% en peso de cemento. En este caso se analizó la resistencia a la compresión y la resistencia a altas temperaturas de la muestra experimental, obteniendo mejoras en ambos casos (Espinoza & Espinola, 2017). Otra de las investigaciones sobre la elaboración de concreto con residuos agroindustriales es la realizada por Arévalo et al (2016) en El Salvador, en donde se sustituyó parcialmente el cemento en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, haciendo uso de cenizas de dos ingenios[1] azucareros distintos (Chaparrastique y Jiboa) y evaluando la variabilidad de las propiedades del concreto como su trabajabilidad, temperatura y resistencia a la compresión en dichas sustituciones con respecto al diseño patrón, obteniendo los siguientes resultados:

- Las mezclas con ceniza alcanzan una temperatura que oscila entre 33°C y 38°C, mientras que el concreto patrón alcanza una temperatura de 31°C.
- El asentamiento disminuye a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de cemento por CBCA.
- Los porcentajes óptimos de sustitución de cemento por ceniza son de 10% y 15%.

---

[1] Ingenio: instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener azúcar, ron, alcohol y otros productos

Según Mondani y Vyawahare (2013) la fracción de agregados finos, del 10% al 20%, puede reemplazarse eficazmente con una CBCA (no tratada), sin una pérdida considerable de sus propiedades de trabajabilidad y resistencia. Se muestra claramente que la resistencia a la compresión de las mezclas con 10% y 20% de CBCA respecto a la muestra patrón, presenta aumento en el porcentaje a 28 días respecto a los 7 días, lo cual puede deberse a las propiedades puzolánicas de la CBCA. En su forma más pura, la CBCA puede ser un ingrediente potencial del concreto, ya que puede ser un reemplazo eficaz para el cemento y el agregado fino.

Según las investigaciones de Berenguer et. al (2018) realizados en Brasil, reemplazaron el cemento por CBCA en la elaboración de morteros con reemplazos provenientes de una pizzería que utilizan la CBCA en reemplazo de leña en sus hornos y de una empresa dedicada a la industria azucarera. Asimismo, al reemplazar el 15% de la masa de cemento por CBCA procedente de la pizzería y de la industria azucarera generó un efecto aglutinante y puzolánico en los morteros. Por otro lado, se verificó que la resistencia promedio a la compresión de la mezcla patrón, mezcla con reemplazo del 15% de CBCA de la pizzería y mezcla con reemplazo del 15% de CBCA de la industria azucarera fueron de 40.11 MPa, 40.13 MPa y 39.69 MPa respectivamente, a edad de 28 días. Asimismo, se verificó que la resistencia promedio a la tracción de la mezcla patrón, mezcla con reemplazo del 15% de CBCA de la pizzería y mezcla con reemplazo del 15% de CBCA de la industria azucarera fueron de 4.46 MPa, 4.35 MPa y 4.41 MPa respectivamente, a edad de 28 días. Los resultados demuestran que los morteros producidos con reemplazos de CBCA mostraron un buen desempeño en la resistencia a la compresión y a la tracción, debido a que los morteros con reemplazos contienen menos cemento que la mezcla patrón y sin embargo obtuvieron resistencias similares. Adicionalmente, los morteros con sustitución del 30% de la masa de cemento mostraron un comportamiento desfavorable en todos los ensayos de resistencia mecánica, y así se considera como proporción óptima de reemplazo el 15% de CBCA por cemento.

En otro trabajo se obtuvo que todas las muestras tanto las adicionadas con CBCA y el control incrementan sus resistencias a la compresión con el tiempo de hidratación. Se pudo observar un comportamiento similar en la pasta de referencia y con 15% CBCA a todas las edades. Las resistencias más altas reportadas fueron de 29.56 MPa y 29.64 MPa para las pastas control y con 15% CBCA respectivamente, a edad de 28 días. Por el contrario, el comportamiento de la ganancia de resistencia reportadas para la pasta con 45% CBCA fue muy pobre a todas las edades. En consecuencia, a esto, en esta investigación se consideró 15% CBCA como una proporción óptima de reemplazo parcial al cemento Portland (Tórrez, Gaitán, Pérez, & García, 2014).

De todo lo analizado con respecto a la utilización de CBCA en morteros y pastas, de la necesidad de aprovechar en mayor cantidad los residuos agroindustriales para reducir el impacto ambiental y teniendo en cuenta que no hay ninguna investigación sobre el tema en el norte del país; surge la idea de la presente investigación, que plantea realizar un estudio sobre

el uso de CBCA, específicamente del ingenio de Caña Brava, evaluando la viabilidad de su incorporación en morteros hidráulicos.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 *Cemento Portland*

1.2.1.1 Definición. Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del *clínker* compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda (NTP 334.009).

1.2.1.2 Tipos de cemento Portland. Según normas técnicas existe la siguiente clasificación:

a) NTP 334.009: Cementos. Cemento Portland. Requisitos:

- Tipo I: para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo II: para uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo II (MH): para uso general, específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III: para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

b) NTP 334.090: Cementos. Cemento Portland adicionados. Requisitos:

- Tipo IS: Cemento Portland, escoria de alto horno.
- Tipo IP: Cemento Portland puzolánico.
- Tipo I (PM): Cemento Portland puzolánico modificado.
- Tipo IT: Cemento adicionado ternario.
- Tipo ICo: Cemento Portland compuesto.

c) NTP 334.082: Cementos. Cementos Portland. Especificación de la performance:

- Tipo GU: Cemento Portland para construcciones generales. Usar cuando no se requiera propiedades especiales.
- Tipo HE: De alta resistencia inicial.
- Tipo MS: De moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: De alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: De moderado calor de hidratación.

- Tipo LH: De bajo calor de hidratación.

1.2.2 *Agregado fino*

1.2.2.1 Definición. Según la norma NTP 400.011, se le denomina agregado fino al material proveniente de la disgregación natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200). Es recomendable que el agregado fino cumpla con los siguientes límites (ver tabla 1).

Tabla 1

Tamices para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (N° 4)	95 a 100
2,36 mm (N° 8)	80 a 100
1,18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Nota. Concretos elaborados con agregado fino con deficiencias en los tamices 300µm (N° 50) y 150µm (N°100) algunas veces presentan dificultades en la trabajabilidad, bombeo o excesiva exudación. La deficiencia de finos puede ser subsanada con cemento adicional, adiciones minerales o aditivos.
Fuente: Adaptado de NTP 400.037

1.2.2.2 Propiedades del agregado fino

1.2.2.2.1 ***Análisis granulométrico***. Para obtener la granulometría de un agregado se realizará un procedimiento manual o mecánico; en este caso se empleará el método de tamizado, por el cual se realiza una separación de partículas a través de tamices de diferentes tamaños de abertura (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200), para así obtener la cantidad de partículas (en peso) retenidas en cada tamiz.

A partir de estos datos, se realizará la curva granulométrica. Esta gráfica es la representación de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. (NTP 400.011).

1.2.2.3 Módulo de finura. Los agregados finos comúnmente se expresan con el módulo de finura, por lo general mientras más fino es el agregado, más pequeño es el módulo de finura.

Según la norma NTP 334.012, el módulo de finura del agregado fino se calcula sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (ver tabla 2) y dividir la suma entre 100:

Tabla 2

Tamices para el cálculo del módulo de finura agregado fino

Tamiz
9,5 mm (3/8pulg)
4,75 mm (N° 4)
2,36 mm (N° 8)
1,18 mm (N° 16)
600 µm (N° 30)
300 µm (N° 50)
150 µm (N° 100)

Donde:

$$Módulo\ de\ finura = \frac{\sum \%\ retenido\ acumulado\ (hasta\ ek\ tamiz\ \#100)}{100}$$

Los valores normales para el módulo de finura están entre 2.4 y 3.3 para el agregado fino.

1.2.2.3.1 ***Peso unitario suelto***. Consiste en obtener el peso (kg) del agregado fino por unidad de volumen (m^3), sin ejercer algún esfuerzo sobre el agregado en el recipiente contenido. La norma NTP 400.017 nos indica los equipos y el procedimiento a utilizar para la obtención del peso unitario suelto.

1.2.2.3.2 ***Peso unitario varillado***. Consiste en obtener el peso (kg) del agregado fino por unidad de volumen (m^3), compactando el agregado en el recipiente contenido. La norma NTP 400.017 nos indica los equipos y el procedimiento a utilizar para la obtención del peso unitario varillado.

1.2.2.3.3 ***Peso específico***. La norma NTP 400.021, define el peso específico como la relación, a una temperatura estable, de la masa (o peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas. Los valores son adimensionales.

Existen 3 formas de peso específico.

a) **Peso específico aparente:** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas. **NTP 400.021.**

b) **Peso específico de masa:** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en

las partículas, pero no incluyendo los poros entre las partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas. **NTP 400.021.**

c) **Peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS):** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa del agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas. **NTP 400.021**.

Los equipos y el procedimiento a utilizar para la obtención del peso específico están definidos en la norma **NTP 400.022**.

1.2.2.3.4 ***Capacidad de absorción***. Según la norma NTP 400.021, se define como la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera "seco" cuando este ha sido mantenido a una temperatura de 110°C ± 5°C por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

Los equipos y el procedimiento a utilizar para la obtención de la capacidad de absorción están definidos en la norma NTP 400.022.

1.2.2.3.5 ***Contenido de humedad***. Según la norma NTP 339.185, mide la humedad en la muestra de ensayo con mayor confiabilidad que la muestra representa a la fuente de agregado. En aquellos casos en que el agregado está alterado por calor o cuando se requieran mediciones más refinadas, el ensayo deberá ejecutarse usando un horno ventilado con temperatura controlada.

La norma NTP 339.185 define los equipos y el procedimiento a utilizar para la obtención del contenido de humedad.

1.2.3 *Caña Brava*

Caña Brava es un grupo de tres empresas dedicadas a la producción de etanol y azúcar a partir de la caña de azúcar. Su área de cultivo cuenta con una extensión de 9,400 hectáreas de caña, cultivadas sobre tierras eriazas e irrigadas por un sistema de goteo que permite utilizar de forma eficiente el agua del valle del Chira, en el departamento de Piura. Y su procesamiento diario de caña es de 4,300 toneladas (Caña Brava, s/f).

Está conformada por: Agrícola del Chira S.A. que se encarga de la plantación y cosecha de la caña de azúcar, Sucroalcolera del Chira S.A. encargada de la molienda y de la producción industrial del etanol, y Bioenergía del Chira S.A. responsable de la generación de la energía eléctrica a partir del bagazo.

1.2.3.1 CBCA de Caña Brava. La CBCA. es un subproducto de los desechos que genera la planta de Caña Brava al producir etanol y azúcar. Una vez que la caña de azúcar ha sido molida para la producción de etanol, quedan los residuos, el bagazo, el cual será quemado en las calderas para producir la energía que necesita la planta. Al finalizar todo este

proceso de quemado, queda la CBCA, el cual es transportado hacia los terrenos para la industria del abono orgánico.

1.2.3.2 Composición química de la CBCA. La composición química de la CBCA dependerá de la variedad de la caña, del terreno usado, de la cantidad de fertilizantes, de la edad de la caña de azúcar, del manipuleo en la cosecha, etc. Ver tablas 3 y 4.

Tabla 3

Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento

Características %	CBC1	CBC2	CBC3	Cemento
SiO_2	58,6	76,4	63,2	24,3
Al_2O_3	11,8	5,8	8,5	4,3
Fe_2O_3	5,8	4,5	6,4	3,0
CaO	3,0	3,3	3,9	58,8
MgO	2,2	2,3	4,3	1,4
K_2O	2,0	4,2	7,3	0,7
Na_2O	1,3	1,2	1,1	0,8
Pérdidas por ignición	10,0	2,0	11,0	4,0
Tamaño de partícula (µm)	38,7	79,8	41,5	16,0

Fuente: Tomado de Vidal et al. (2014)

Tabla 4

Compuestos químicos de las cenizas y el cemento

Compuestos químicos	CBCA 1	CBCA 2	Cemento Portland
SiO_2	63.61%	84.86%	18.30%
CaO	7.18%	2.96%	63.40%
MgO	6.85%	2.54%	0.62%
Fe_2O_3	6.63%	3.83%	3.31%
SO_3	4.43%	0.38%	3.32%
K_2O	4.03%	1.38%	0.78%
Al_2O_3	2.51%	1.91%	4.01%
Cl	1.81%	-	0.12%
Na_2O	1.04%	0.47%	0.24%
P_2O_5	0.87%	0.38%	0.38%
TiO_2	0.62%	0.75%	0.21%

Compuestos químicos	CBCA 1	CBCA 2	Cemento Portland
ZrO_2	0.14%	0.12%	-
MnO	0.12%	0.19%	0.08%
Cr_2O_3	0.06%	0.05%	0.02%
SrO	0.05%	0.03%	0.32%
ZnO	0.04%	0.03%	0.01%
Rb_2O	0.02%	0.015%	-

Fuente: Tomado de Berenguer et al. (2018)

1.2.3.3 Ensayos de laboratorio

1.2.3.3.1 ***Fluorescencia de Rayos X***. La fluorescencia de rayos X es una técnica de espectroscopía atómica. Esta se basa en las transiciones de electrones de los átomos que se producen cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio, produciendo una excitación del átomo, el cual pasa de un estado estable a otro de mayor energía (inestable) de lo que resultan transiciones en diferentes estados energéticos en el átomo, los cuales son únicos para cada átomo en particular. Esta característica se utiliza para la identificación de los analitos o compuestos que se deseen analizar, por lo que es de gran utilidad en el análisis cualitativo. (Gaitan & Torrez, 2013)

1.2.3.3.2 ***Difracción de Rayos X***. La difracción de rayos X en polvos es un método analítico capaz de suministrar información cualitativa como la identificación de fases cristalinas, detección de fases amorfas y formación de soluciones sólidas; también proporciona información cuantitativa como la concentración de las fases cristalinas y la fracción de fases amorfas, aunque fundamentalmente se utiliza como método de identificación de fases. La identificación de fases se base en el hecho de que cada sustancia cristalina presenta un diagrama de difracción único, es decir, una serie de picos o reflexiones con diferente intensidad y posición. (Gaitan & Torrez, 2013)

La posición de cada reflexión en el difractograma está relacionada con las características estructurales de la muestra, tales como, su simetría y sus parámetros de red, y de la intensidad se pueden obtener datos como las posiciones atómicas, entre otros. Así, si se encuentra la igualdad exacta entre el diagrama de una mezcla desconocida y el de un patrón conocido, se puede dar por sentada la identidad química. (Gaitan & Torrez, 2013)

1.2.3.3.3 ***Dispersión de luz dinámica (DLS)***. La dispersión de luz dinámica o técnica de DLS por sus Siglas en inglés (Dynamic Light Scattering) se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partículas pequeñas de una sustancia.

1.2.3.3.4 ***En la técnica de DLS***. Se utiliza una fuente de luz láser monocromática que incide sobre una solución muy diluida de la muestra a analizar, un fotómetro posicionado a un ángulo dado de detección, medido con respecto a la dirección de incidencia del láser sobre la muestra, y que colecta la luz dispersada por las partículas en un ángulo sólido

pequeño y un correlador digital que, conjuntamente con un software específico, permite obtener la función de autocorrelación de segundo orden de las fluctuaciones en la intensidad de luz dispersada a cada ángulo (Clementi, Gugliota, & Vega, 2008).

1.2.4 *Mortero*

1.2.4.1 Definición. Según norma técnica E.070, el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Este mortero será utilizado para unir las unidades de albañilería (ladrillos) para la construcción de muros de tabiquería y/o muros portantes; también para los revoques y enlucidos.

1.2.4.2 Tipos de mortero. Sánchez (2001) clasifica los morteros en dos familias:

1.2.4.2.1 ***Morteros aéreos***. Endurecen al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.

1.2.4.2.2 ***Morteros hidráulicos***. También llamados acuáticos, endurecen bajo agua, ya que, al igual que los cementos naturales, poseen en su composición, constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

En general, de acuerdo con los materiales que compongan el mortero, se pueden encontrar los siguientes tipos:

1.2.4.2.3 ***Morteros de cemento***. Compuesto por cemento, arena y agua. Es recomendable cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la proporción de materiales utilizada.

1.2.4.2.4 ***Morteros calcáreos***. Compuesto por cal, arena y agua. La cal, al ser un plastificante y ligador, hace de este tipo de mortero el más manejable de los conocidos. Sin embargo, no pueden esperarse altas resistencias, debido a su baja velocidad de endurecimiento.

1.2.4.2.5 ***Morteros de cal y cemento portland***. Compuesto por cemento, cal, arena y agua. Este mortero es aconsejable cuando se busca una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales.

1.2.4.3 Propiedades en estado fresco

1.2.4.3.1 ***Ensayo de fluidez***. En este ensayo se define la capacidad del mortero para fluir, debido a que, dependiendo de la aplicación, debemos medir su trabajabilidad. Los equipos y procedimientos usados se detallan en el manual de ensayos MTC E 617 – 2000.

1.2.4.3.2 ***Ensayo de la aguja de Vicat***. Determina el tiempo de fraguado inicial y final de la mezcla usando el método de la aguja de Vicat, según lo indicado en la norma NTP 334.006, la cual también indica los equipos y el procedimiento a seguir.

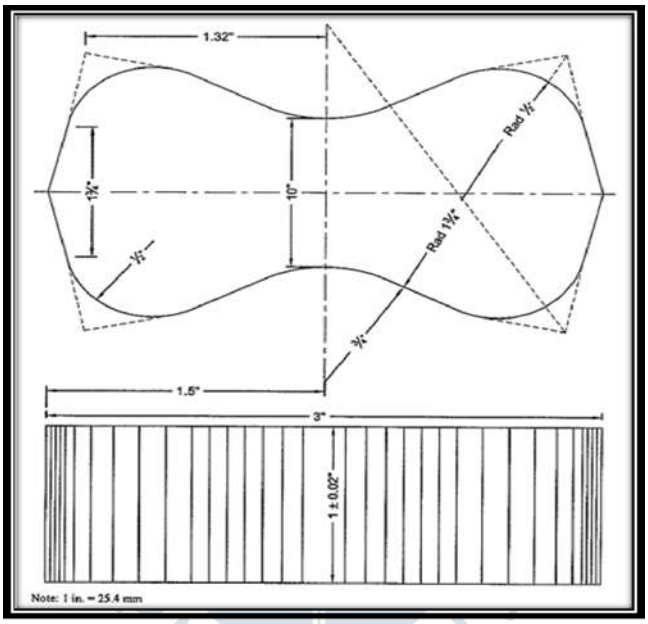
1.2.4.4 Propiedades en estado endurecido

1.2.4.4.1 ***Resistencia mecánica a la compresión***. Dependiendo del uso para el cual está siendo diseñado el mortero, deberá cumplir con un valor determinado de resistencia a la compresión. Según lo indicado por la NTP 334.051, este ensayo se realizará usando cubos de mortero de 50mm de lado, y nos define los equipos y procedimiento a seguir para su determinación.

1.2.4.4.2 ***Resistencia mecánica a la tracción***. Según la norma AASHTO 132-87, determina la resistencia a la tracción del mortero con cemento hidráulico, usando briquetas con las dimensiones que se muestran en la figura 1.

Figura 1

Dimensiones de las briquetas para ensayo de tracción



Nota: Los equipos a utilizar para su determinación, así como también el procedimiento, son determinados por la misma norma.

Fuente: Norma AASHTO 132-87 (AASHTO, 2009)

Capítulo 2
Caracterización de materiales

2.1 Cemento Portland tipo MS

El cemento usado fue el tipo MS de la marca PACASMAYO, es un cemento adecuado porque brinda un calor de hidratación moderado y una resistencia moderada a los ataques de sulfatos. En La tabla 5 se muestra la composición química del cemento Portland tipo MS marca Pacasmayo

Tabla 5

Composición química del cemento Portland tipo MS

Material	Simbología	Cantidad
Óxido de magnesio	MgO	10%
Óxido de aluminio	Al_2O_3	11%
Dióxido de Silicio	SiO_2	37%
Óxido de calcio	CaO	36%
Otros		6%

Fuente: Cemento y sus aplicaciones, Cementos Pacasmayo S.A.A. (2012)

2.2 Agregado fino

El agregado fino que se empleó para la fabricación del mortero patrón y para los reemplazos fue extraído de la "Cantera de Chulucanas", ubicada cerca de la carretera Chulucanas- Frías, por la cual atraviesa una quebrada, ver figura 2.

Este agregado se considera como uno de los más apropiados para la fabricación de morteros y/o concretos, debido a que dicho material pasa por un proceso de lavado generado por la corriente de la quebrada durante su transporte, por lo cual se considera un material libre de impurezas.

En el laboratorio de Ensayos y Materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura, se realizaron los ensayos a la arena gruesa para la fabricación de morteros, los resultados se expresan en la tabla 6. Ver anexo A

Figura 2

Ubicación de la cantera de Chulucanas

Fuente: Tomado de Google Maps (2018)

Tabla 6

Parámetros del agregado fino

Cantera Chulucanas	
Parámetros físicos	Resultados
Peso específico de masa (kg/m^3)	2580
Peso específico de masa (SSS) (kg/m^3)	2620
Peso específico aparente (kg/m^3)	2670
Absorción (%)	1,25
Peso unitario suelto (kg/m^3)	1503
Peso unitario varillado (kg/m^3)	1620
Cantidad de humedad (%)	0,45
Módulo de finura	2,4

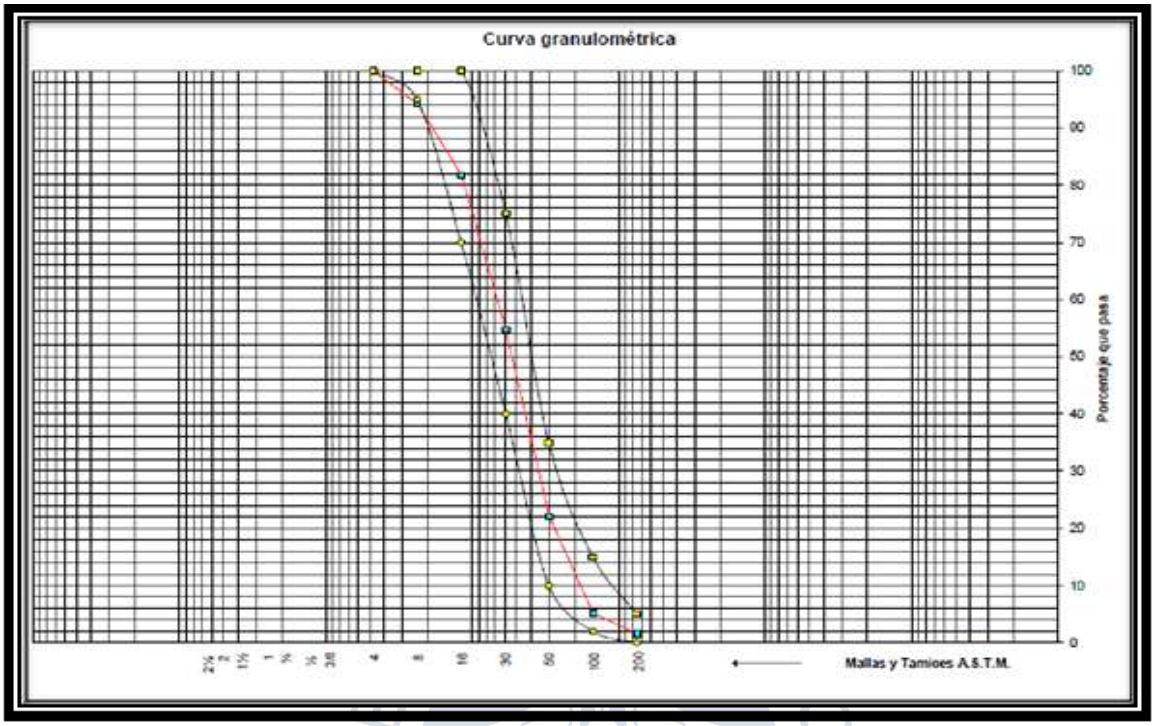
Fuente: Informe del LEMC (anexo A)

El módulo de finura del agregado fino está dentro del rango 2.4-3.3 que precisa la **NTP 400.012**. Es decir que es un material apto para la fabricación de morteros.

Según la curva granulométrica mostrada en la figura 3, este agregado fino se encuentra dentro de los husos especificados en la norma NTP 400.012, es decir es un agregado bien graduado, lo cual nos permite obtener una mezcla óptima.

Figura 3

Curva granulométrica del agregado fino de la cantera de Chulucanas



Fuente: Tomado del Informe del LEMC – UDEP (2019)

2.3 CBCA

La empresa Caña Brava S.A. siembra y cosecha la caña de azúcar para producir etanol la cual es usado para la producción de biocombustibles. La caña de azúcar cosechada es transportada a unos depósitos para extraer el jugo de la caña y posteriormente ésta es procesada para la obtención del etanol.

El bagazo que se produce después de extraer el jugo de la caña de azúcar es transportado hacia las calderas donde pasan un proceso de quemado a altas temperaturas bordeando entre los 700 a 900 °C; durante el quemado en este sistema de calderas se inyecta oxígeno a través de tuberías para poder lograr el proceso de combustión.

La empresa Caña Brava, realiza un método de transporte de cenizas a través de tubos metálicos impulsados con agua mediante una serie de bombas, hasta depositarlas en sus campos eriazos, completamente saturadas.

Para el presente estudio se recolectaron dos muestras de CBCA (muestra 1 CBCA y muestra 2 CBCA) tomadas en diferentes días en los campos de la empresa Caña Brava y tratadas previamente según lo indicado en el apartado 2.3.1. Se optó por la recolección de cenizas de diferentes días a fin de observar la variabilidad en sus propiedades y/o aplicaciones posteriores, debido a que las cenizas no se han producido bajo las mismas condiciones de quemado en el horno como lo son la temperatura, presión, etc.

2.3.1 *Tratamiento previo*

La ceniza empleada como reemplazo de cemento en la fabricación del mortero fue tratada previamente según lo indicado a continuación:

2.3.1.1 Secado a la intemperie. Una vez trasladada la ceniza en sacos desde la empresa Caña Brava hasta el Laboratorio de Materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura; la CBCA fue colocada y extendida sobre sacos a la intemperie para un secado previo, tal cual se muestra en la figura 4, debido a que las muestras de CBCA se encuentran saturadas, esto es porque la empresa Caña Brava la emplea para la fabricación de compost y para evitar la suspensión de partículas en el aire.

Figura 4

Secado previo de CBCA

2.3.1.2 Tamizado. Se procede al tamizado por la malla N° 200 para eliminar el contenido orgánico y elementos no combustionados, ver figura 5.

Figura 5

Tamizado de CBCA

2.3.1.3 Secado al horno. Se coloca la CBCA en bandejas de acero y posteriormente colocadas en un horno a temperaturas de 110°C ± 5°C para eliminar la humedad contenida, ver figura 6.

Figura 6

Tamizado de CBCA

2.3.1.4 Proceso de molienda. Finalmente, las cenizas pasan por un proceso de molienda usando la máquina de abrasión de Los Ángeles (ver figura 7), este equipo trabaja a una tasa de molienda de 2.5 kg cada 1.5 horas, la cual contiene unas bolas de acero que permitieron volver las CBCA a partículas más finas y así tratar de semejar a la finura del cemento, comprobable mediante un análisis de laboratorio en el ensayo de dispersión de luz dinámica.

Figura 7

Molienda en máquina de abrasión de Los Ángeles

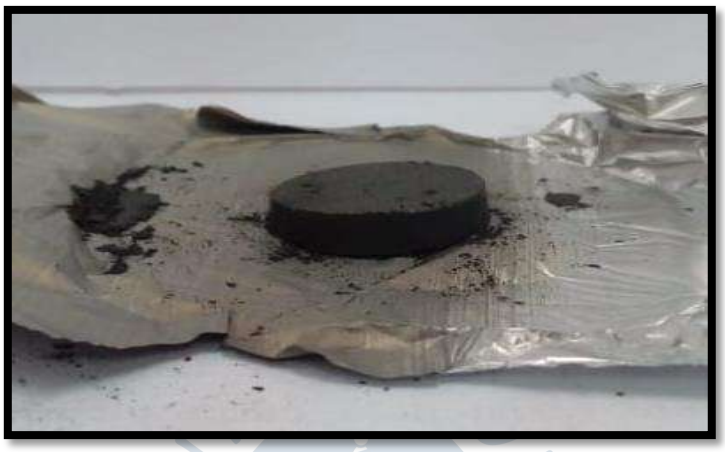
2.3.2 *Ensayos de laboratorio*

2.3.2.1 Fluorescencia de rayos X. Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE); ambas muestras estaban en la forma de grano fino (malla N° 200) de

color negro. Luego se colocó la ceniza dentro de un molde de acero inoxidable y se usó una prensa manual, ejerciendo presión sobre la ceniza y dándole así la forma final de una pastilla (Ver Figura 8). Ver anexo B.1

Figura 8

Muestreo tipo pastillas de CBCA



Se utilizó un espectómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30kV y una corriente de 15µA. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 segundos utilizando 2048 canales, irradiando la superficie plana de uno de los trozos, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; la distancia de muestra a fuente de rayos-X fue 4 cm y la distancia de la muestra al detector fue 2 cm aproximadamente (Ver Figura 9).

Figura 9

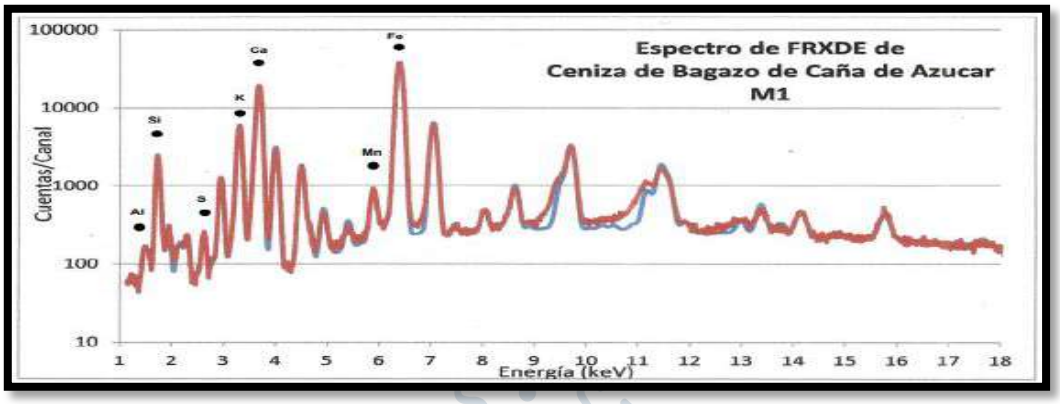
Ensayo de fluorescencia de Rayos X

En las figuras 10 y 11 se muestran los espectros de FRXDE de estas muestras de CBCA. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de Argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la

izquierda con el pico Al (Aluminio), seguido del pico Si (Sílice) y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico y la energía de los rayos-X.

Figura 10

Espectro de FRXDE de CBCA, muestra M1



Fuente: Tomado del Informe del laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Física–UNMSM (2019)

Figura 11

Espectro de FRXDE de CBCA, muestra M2

Fuente: Tomado del Informe del laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

La tabla 7 muestra los resultados del análisis elemental de las dos muestras, M1 y M2. Las concentraciones están en % de la masa total en términos de los elementos químicos presentes con Z>12. Estos elementos químicos pueden estar formando óxidos. La suma es menor que 100% y la diferencia corresponde a elementos con Z<13, siendo el oxígeno el más abundante. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difractometría de rayos-X (Informe del laboratorio de Arqueometría – UNMSM (2019) en el anexo B.1).

Tabla 7

Composición elemental de las muestras M1 y M2 de CBCA

Óxido	Concentración de M1	Concentración de M2
Al	6,555	10,064
Si	44,025	49,704
S	0,642	0,427
Cl	0,316	0,402
K	2,830	2,814
Ca	6,406	4,855
Ti	0,334	0,261
V	0,013	0,012
Cr	0,018	0,015
Mn	0,056	0,051
Fe	2,655	3,958
Ni	0,005	0,007
Cu	0,002	0,001
Zn	0,030	0,022
As	0,002	0,004
Sr	0,020	0,021
Y	0,000	0,002
Zr	0,020	0,016
La	0,041	0,068
Total	63,998	72,204

Fuente: Tomado del Informe del laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

Se evalúa los resultados de la composición elemental de las muestras M1 y M2, observando que los elementos químicos con mayor porcentaje de la masa total y mayor importancia son el Silicio (Si), Aluminio (Al), Calcio (Ca) y Hierro (Fe).

2.3.2.2 Difracción de Rayos X. Se analizó por difracción de rayos-X dos muestras de CBCA, ambas muestras están en la forma de grano fino (malla n° 200) de color negro. Las muestras fueron codificadas como M1 y M2. Ver anexo B.2.

La difracción de rayos-X se realizó teniendo las siguientes consideraciones instrumentales:

- Equipo: Difractómetro marca Shimadzu, modelo XRD-7000.
- Nota: Tubo de rayos X - Cu de longitud de onda, correspondiente a Kα1-Cu, λ= 1.5406 Å.
- Tipo de barrido: Tiempo fijo.
- Condiciones de medición:
  Inicio: 3°
  Final: 70°
  Paso: 0.02°
  Tiempo por paso: 0.6s

- Generador de rayos X: Voltaje de salida del tubo: 40kV Corriente de salida del tubo: 30mA
- Tipo de detector: Scintillation counter / NaI(Tl)

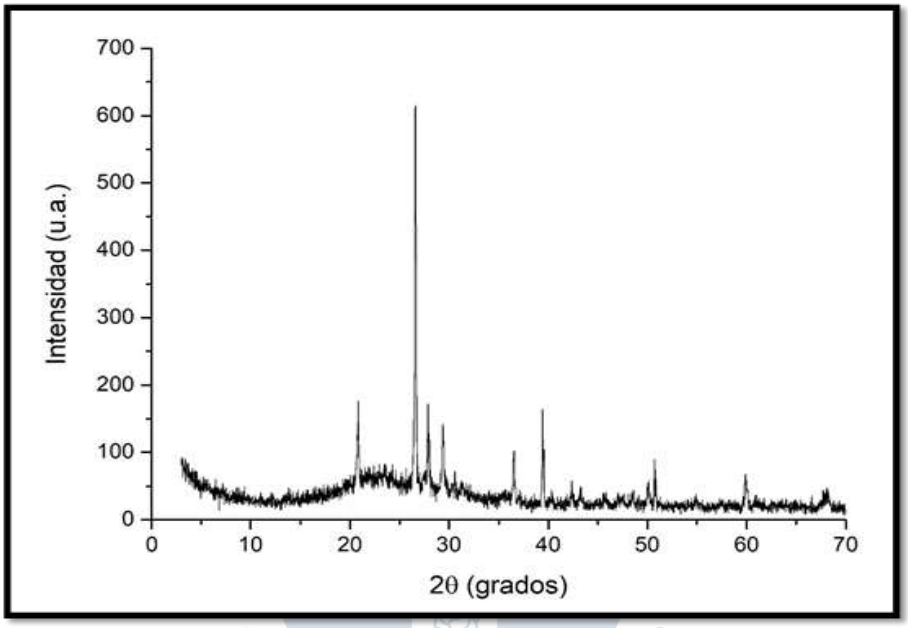
Resultados de los difractogramas:

Muestra 1:

En la figura 12, se muestra el perfil de difracción de la muestra:

Figura 12

Difractograma de CBCA, muestra M1



Fuente: Tomado del Informe del laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

Identificación de las distintas fases mineralógicas encontradas en la muestra recibida (Ver Tabla 8).

Tabla 8

Fases mineralógicas de CBCA, muestra M1

N°	Fases mineralógicas	Composición química
1	Cuarzo	SiO_2
2	Calcita	$CaCO_3$
3	Albita	$NaAlSi_3O_8$

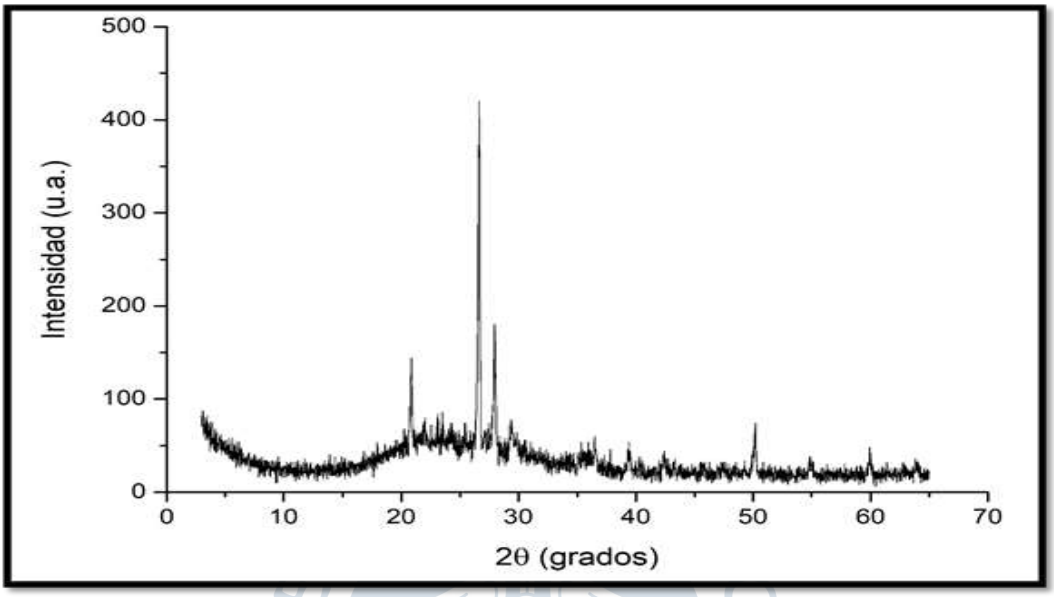
Fuente: Informe del laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

Muestra 2:

En la figura 13, se muestra el perfil de difracción de la muestra:

Figura 13

Difractograma de CBCA, muestra M2



Fuente: Tomado del Informe del laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

Identificación de las distintas fases mineralógicas encontradas en la muestra recibida (Ver Tabla 9).

Tabla 9

Fases mineralógicas de CBCA, muestra M2

N°	Fases mineralógicas	Composición química
1	Cuarzo	SiO_2
2	Calcita	$CaCO_3$
3	Albita	$NaAlSi_3O_8$

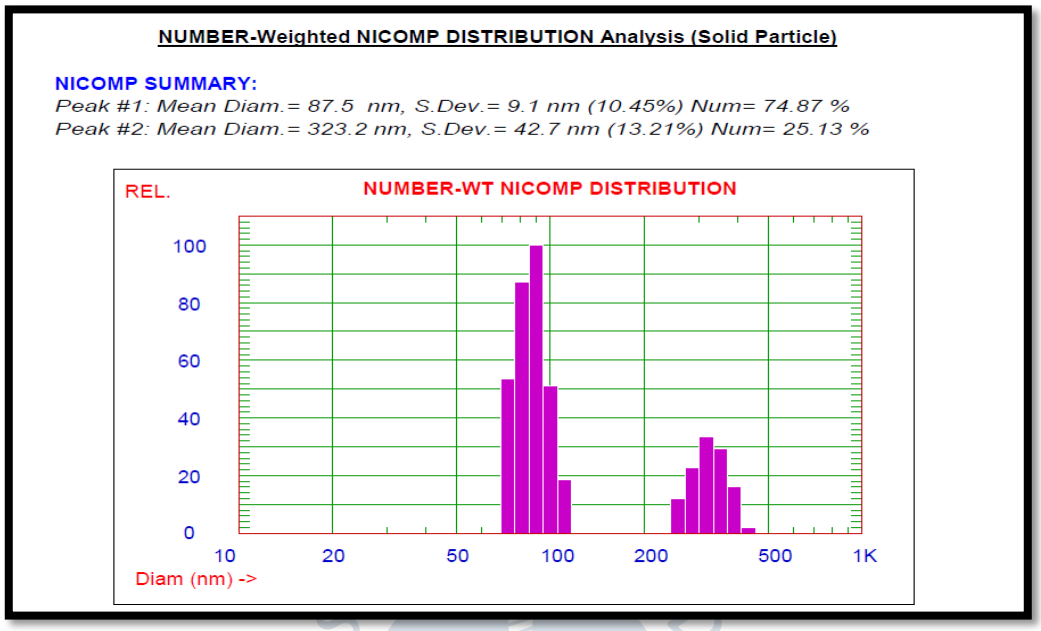
Fuente: Informe del laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física – UNMSM (2019)

Los resultados de ambas muestras permiten afirmar que contienen las mismas fases mineralógicas: Cuarzo (SiO_2), Calcita ($CaCO_3$) y Albita ($NaAlSi_3O_8$), aunque no se puede afirmar que en la misma proporción.

Ensayo de Dispersión de Luz Dinámica (DLS). Las 2 muestras de CBCA fueron subdivididas y codificadas en M1 y M1-B para la Muestra 1, y M2 y M2-B para la Muestra 2 (ver figuras 14, 15, 16 y 17) de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 14

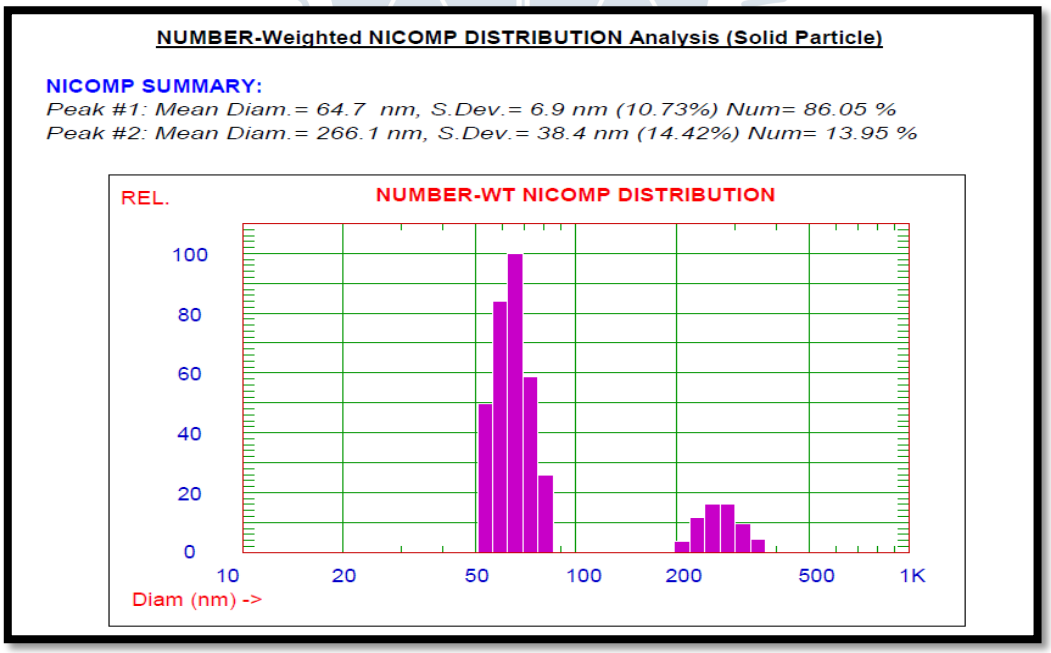
Análisis de distribución de CBCA M1



Fuente: Tomado del Informe de Dispersión de luz dinámica (DLS) del laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química –Anexo B.3.

Figura 15

Análisis de distribución de CBCA M1-B



Fuente: Tomado del Informe de Dispersión de luz dinámica (DLS) del laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química. Anexo B.3.

Figura 16

Análisis de distribución de CBCA M2

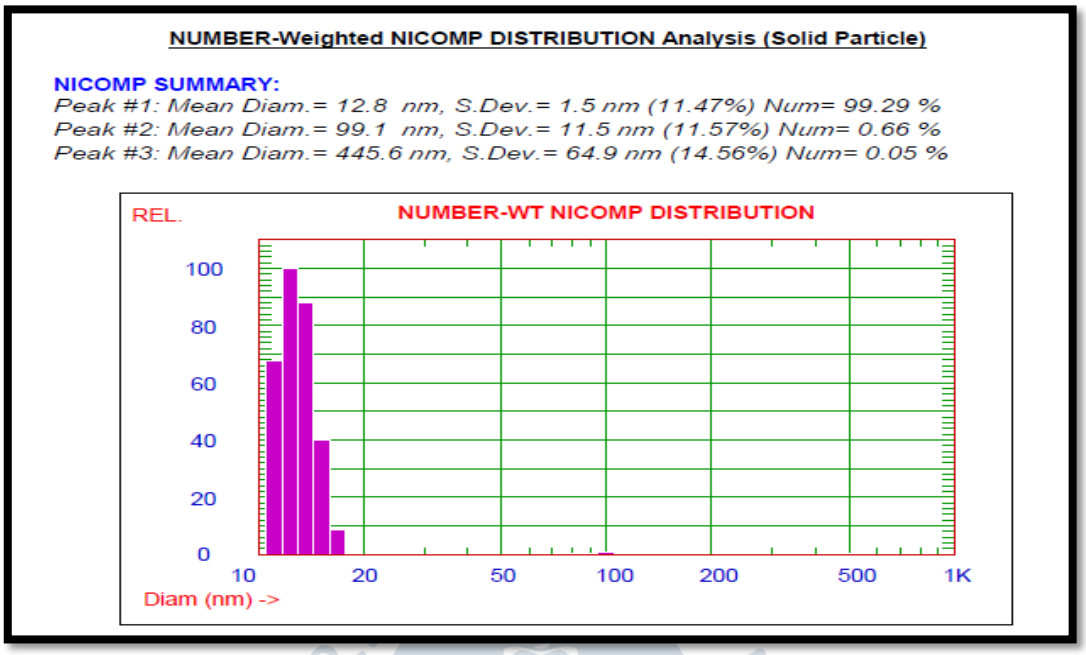


Figura 17

Análisis de distribución de CBCA M2-B

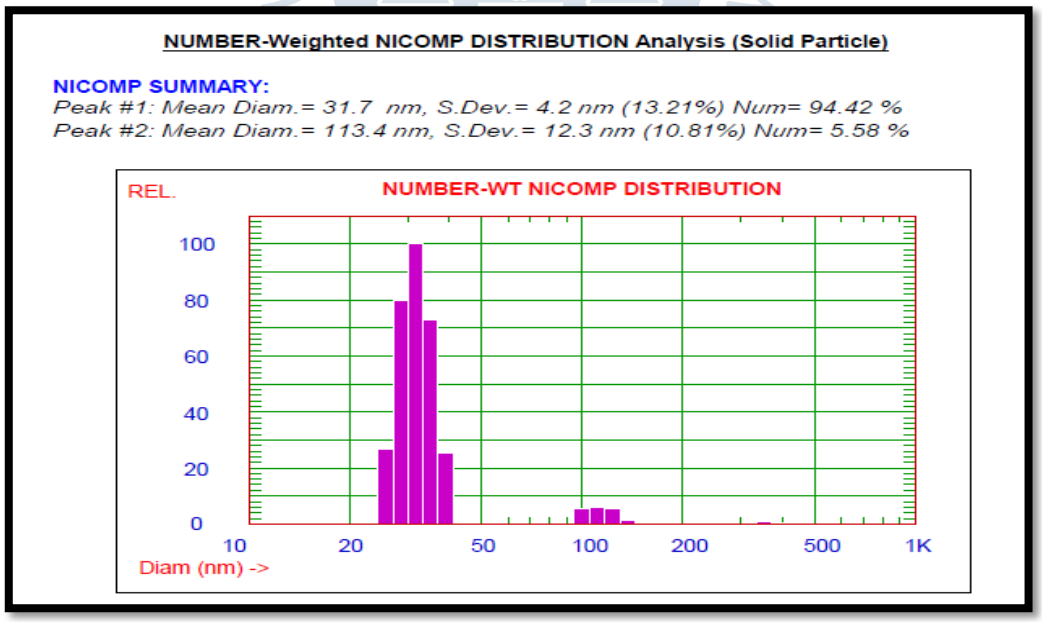


Tabla 10

Resultados del ensayo de DLS. Resultados del laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química – UNMSM

Muestra		Población		Tamaño de partículas (nm)	Tamaño de partículas (µm)
Muestra 1 CBCA	M1	Población M1-1	74.87%	87.5	0.0875
		Población M1-2	25.13%	323.2	0.3232
	M1-B	Población M1B-1	86.05%	64.7	0.0647
		Población M1B-2	13.95%	266.1	0.2661
Muestra 2 CBCA	M2	Población M2-1	99.29%	12.8	0.0128
		Población M2-2	0.66%	99.1	0.0991
		Población M2-3	0.05%	445.6	0.4456
	M2-B	Población M2B-1	94.42%	31.7	0.0317
		Población M2B-2	5.58%	113.4	0.1134

La tabla 10 nos muestra poblaciones de partículas de cada muestra según el tamaño predominante de estas. Se tomará como referencia para cada muestra los tamaños de partículas de las poblaciones mayores. Tomando como resultados, que el tamaño de partículas de ambas muestras son muy pequeñas, incluso la muestra 2 contiene partículas más pequeñas que la muestra 1.

Esto favorecería la posible reactividad de las muestras de CBCA, aunque no se tiene el dato de cantidad de las formas cristalinas de los compuestos. Además, al ser las partículas muy pequeñas, podría tener más impacto en el tiempo de fraguado, la fluidez de la mezcla y las propiedades mecánicas del mortero. Ver anexo B.3.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Capítulo 3
Metodología

3.1 Diseño de mezcla

La base de la experimentación consiste en encontrar un diseño de mezcla patrón, a partir del cual se evalúan las variaciones en el comportamiento de las mezclas con el reemplazo de CBCA, al ser sometidas a los diferentes ensayos.

El procedimiento utilizado para el diseño de mezcla que se ha tomado como guía es el indicado por Sánchez (2001).

Es necesario tener en cuenta el siguiente proceso:

1. Definir los siguientes parámetros: propiedades del agregado fino, porcentaje de fluidez, relación agua/cemento (a/c).
2. Calcular la dosificación de la mezcla en peso.
3. Realizar los ajustes necesarios a la dosificación de la mezcla para obtener las cualidades requeridas.

Las proporciones de cemento, agua y arena usados en las muestras (patrón, muestra 1 y muestra 2) se mencionan en el apartado 3.1.3.

3.1.1 *Selección del porcentaje de reemplazo*

El porcentaje de reemplazo se determinó en base a la fluidez de la mezcla de mortero. Inicialmente se realizó una mezcla patrón con fluidez inicial del 120% y se evaluó el cambio al reemplazar el cemento por CBCA, en peso. Tomando como referencia lo indicado en la tabla 11, se observó la disminución de fluidez con respecto a las mezclas con reemplazo de CBCA, pasando de consistencia plástica a valores menores de 80% (consistencia seca) en menos de 5 min. Esto se debe a que el tamaño de las partículas es muy pequeño y esto hace que el área superficial sea mayor, por lo tanto, habrá un requerimiento mayor de agua. Por ello se decidió llevar la mezcla patrón a la fluidez máxima de 150% (consistencia húmeda) y a partir de allí evaluar su variación con respecto a las mezclas con reemplazo en peso de CBCA (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) para decidir el porcentaje de reemplazo que sería usado para el presente estudio.

Tabla 11

Fluidez (%) de mezclas con reemplazo de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de CBCA

Mezcla	Ceniza (%)	Fluidez (%)
Patrón	0%	150%
Mezcla 1	5%	140%
	10%	118%
	15%	110%
	20%	76%
Mezcla 2	5%	141%
	10%	119%
	15%	108%
	20%	80%

El procedimiento para la realización de este ensayo fue el indicado en la NTP 334.057.

Tabla 12

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación

Consistencia	Fluidez (%)	Condiciones de colocación	Ejemplo de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (seca)	80 - 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100 - 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 - 150	Sin vibración	Pañetes rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Fuente: Adaptado de Tecnología del concreto y del mortero de Sánchez (2001)

3.1.2 *Morteros analizados*

La mezcla patrón y las mezclas con reemplazo parcial de CBCA, se realizaron usando una batidora de morteros en el laboratorio de ensayos de materiales de construcción (LEMC) de la Universidad de Piura.

Se estableció una mezcla patrón con una relación a/c=0.55 y una consistencia húmeda de 150%, lo cual arrojó como resultado el diseño que se muestra en la tabla 13 y anexo C.

Tabla 13

Dosificación de materiales para 1 m3 de mezcla patrón (Stock)

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	Kg.	600
Agregado Fino	Kg.	1225
Agua	Kg.	340
P.U.	Kg/m^3	2165

3.1.3 *Dosificación de las mezclas*

Los antecedentes fueron la base para establecer el porcentaje de reemplazo de cemento por CBCA, debido a que en cada uno de ellos se muestra una disminución en la resistencia a la compresión y la fluidez en el rango comprendido entre el 10% y 20% de reemplazo. Con esta información y realizando un ensayo de fluidez previo, se estableció el 15% como el porcentaje de reemplazo a estudiar. Luego de definir el diseño de mezcla patrón y el porcentaje de reemplazo a estudiar, se calcularon las cantidades de reemplazo (en peso) para cada tipo de muestra de CBCA, las cuales se indican en la tabla 14.

Tabla 14

Cantidades de materiales en peso en stock para cada tanda (1.4 litros)

Mezcla	Cemento (gr.)	Agregado Fino (gr.)	Ceniza (gr.)	Agua (gr.)	Dosificación (CEM:AF:CBCA)		
					Cemento	Agregado Fino	CBCA
Patrón	840	1715	0	476	1	2.04	0
Mezcla 1	714	1715	126	476	1	2.4	0.2
Mezcla 2	714	1715	126	476	1	2.4	0.2

Se procedió con el reemplazo de cemento por cada tipo de muestra de CBCA y se procedió con la realización de los ensayos de las mezclas en estado fresco y con la elaboración de cubos de mortero para los ensayos de las mezclas en estado endurecido.

La cantidad de cubos de mortero se elaboraron de la siguiente manera:

- Cubos de mortero para ensayo de resistencia a la compresión: 3 unidades para cada tipo de mezcla (patrón, muestra 1 CBCA, muestra 2 CBCA) y para cada edad de rotura (7 y 28 días). Un total de 18 unidades.
- Briquetas para ensayo de resistencia a la tracción: 3 unidades para cada tipo de mezcla (patrón, muestra 1 CBCA, muestra 2 CBCA) para rotura a los 28 días. Un total de 9 unidades.

3.2 Ensayos en estado fresco

3.2.1 *Fluidez o consistencia*

Realizado el ensayo previo de fluidez y luego de elegir el porcentaje de reemplazo de CBCA a estudiar, se realizó la evaluación de pérdida de consistencia de las mezclas preparadas con CBCA de la muestra 1 y CBCA de la muestra 2 con respecto al tiempo transcurrido, para poder evaluar cuánto tiempo la mezcla tuvo consistencia suficiente para su manipulación. Para la elaboración de este ensayo se elaborarán tandas de 0.5 m^3.

3.2.2 *Tiempo de fraguado*

Es importante la evaluación de los tiempos de inicio y fin de fragua de las mezclas, pues nos indica el tiempo que disponemos para manipular la mezcla desde el inicio de la mezcla hasta su colocación y vibrado o apisonado de ser el caso, así como también el inicio de su curado y el tiempo que debe pasar para poder transitar sobre él. Para la determinación del tiempo de fraguado se utilizó el ensayo de aguja de Vicat, el cual se aplicó tanto para pastas como para morteros.

3.3 Ensayos en estado endurecido

3.3.1 *Resistencia a la compresión*

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes de las mezclas de mortero o concreto al definirlo como material de construcción; aquella resistencia depende de muchos factores tanto de los materiales empleados para su producción como de las propiedades propias de la mezcla en estado fresco y en estado endurecido.

3.3.2 *Resistencia a la tracción*

A pesar de que las mezclas de mortero o concreto son frágiles a la tracción, no deja de ser esta una propiedad importante, por ello es necesaria su evaluación.

Al igual que la compresión, la tracción también se puede ver afectada por las características de los materiales y la mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Para la realización de este ensayo nos guiaremos por la norma AASHTO T-132-87, que nos indica los equipos a utilizar y el procedimiento a seguir.

Se realizó el ensayo a tracción usando la máquina o “Probadora Universal” marca Galbadini del Laboratorio de Mecánica de la Universidad de Piura.

Capítulo 4
Análisis de resultados

4.1 Resultados en concreto fresco con diferentes concentraciones de CBCA

4.1.1 *Fluidez o consistencia*

Se realizó el estudio previo de la fluidez con respecto al porcentaje de ceniza de la mezcla 1 y mezcla 2 para verificar que se encuentren dentro de los rangos de fluidez (ver tabla 15) que se sugieren en la tabla 12.

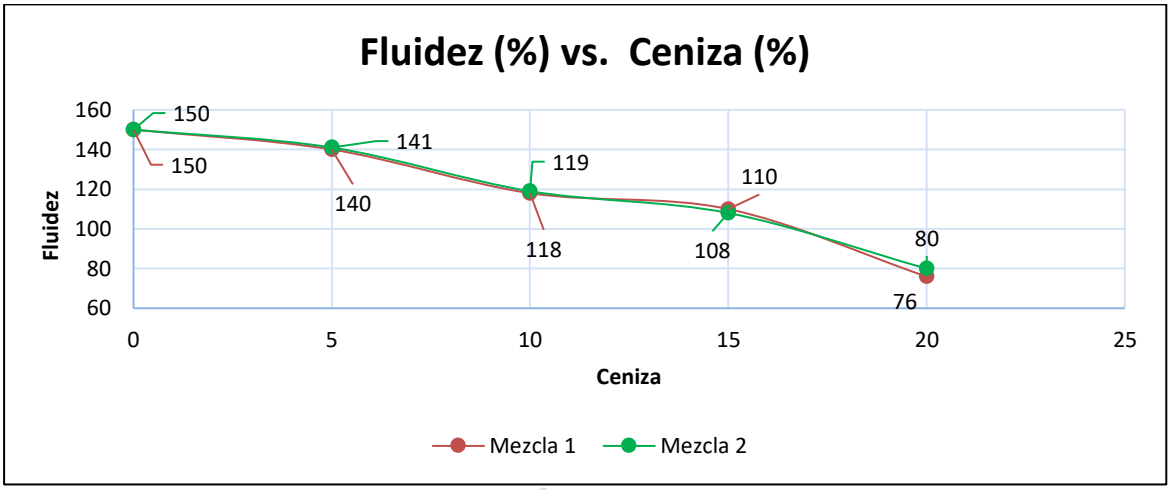
Tabla 15

Resultados de fluidez de las muestras (dosificación para 0.5m3)

Mezcla	Cemento (gr.)	Agregado Fino (gr.)	CBCA		Agua (gr.)	Fluidez (%)
			%	(gr.)		
Patrón	300	612.5	0%	-	170	150%
Mezcla 1	285	612.5	5%	15	170	140%
	270	612.5	10%	30	170	118%
	255	612.5	15%	45	170	110%
	240	612.5	20%	60	170	76%
Mezcla 2	285	612.5	5%	15	170	141%
	270	612.5	10%	30	170	119%
	255	612.5	15%	45	170	108%
	240	612.5	20%	60	170	80%

Figura 18

Fluidez (%) vs. Ceniza (%)

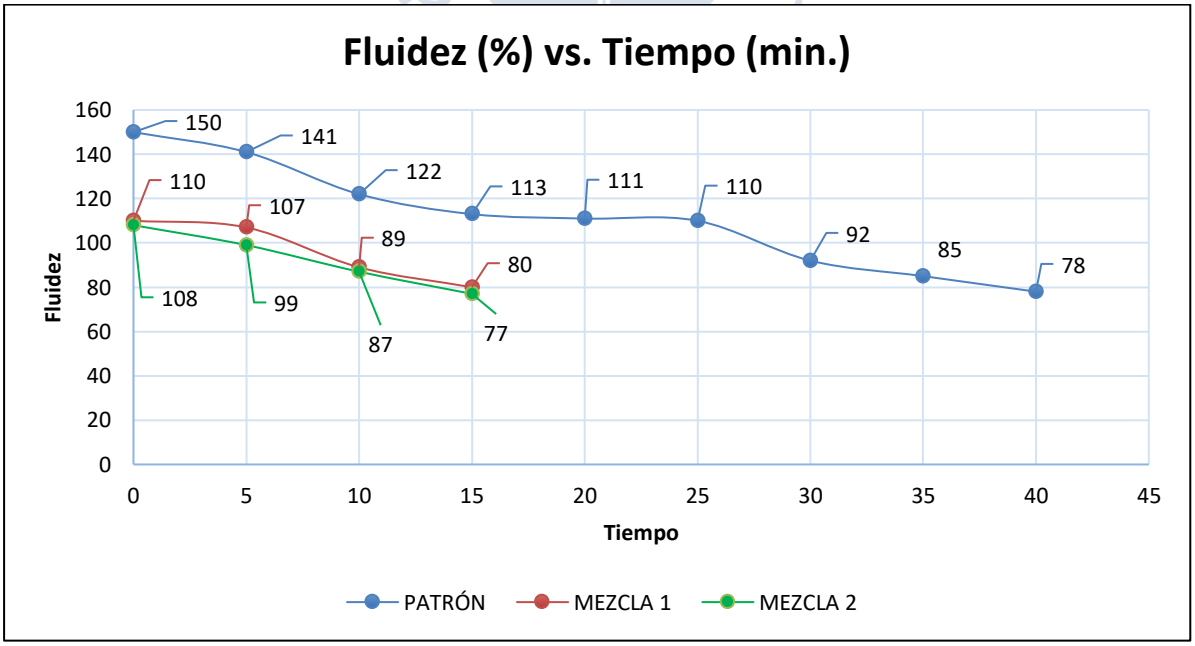


De la figura 18 podemos observar que la pérdida de fluidez de la mezcla 1 es muy similar a la mezcla 2, sólo existe una pequeña diferencia que hace que la segunda sea un poco más fluida. Esto es un indicador de que las cenizas de ambas muestras reducen la trabajabilidad de las mezclas. Se verifica que la fluidez de mezcla con 15% de ceniza se encuentra dentro de los rangos de consistencia media o plástica, para ambos casos (muestra 1 y muestra 2).

A continuación, se presenta en la figura 19 la pérdida de su fluidez con respecto al tiempo transcurrido de las mezclas 1 y 2, utilizando el 15% de CBCA respectivamente y la mezcla patrón.

Figura 19

Fluidez (%) vs. Tiempo (min.)



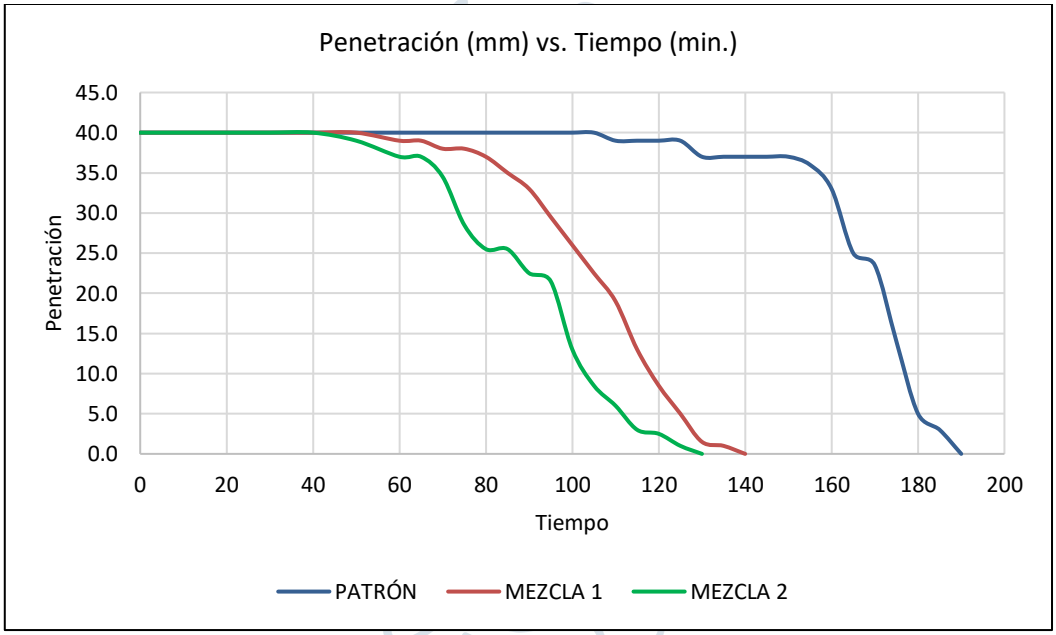
De la figura 19, habiendo partido de la fluidez inicial de cada mezcla, observamos que la mezcla patrón obtiene una fluidez mínima (80%) aproximadamente a los 40 min, mientras que las mezclas con ceniza de la muestra 1 y muestra 2 la obtienen alrededor de los 15 min, reduciendo los tiempos de trabajabilidad.

4.1.2 *Tiempo de fraguado*

A continuación, se presentan los resultados de tiempo de fraguado mediante el uso de la aguja de Vicat de las 3 diferentes mezclas (patrón, muestra 1, muestra 2). Las penetraciones fueron tomadas cada 10 min hasta pasada 1 hora de la producción de las mezclas, luego se tomaron en intervalos de 5 min para poder mostrar los resultados con mayor exactitud, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Penetración (mm) vs. Tiempo (min.)



De la figura 20 podemos observar que las mezclas con ceniza experimentan menores tiempos de fragua inicial y de fragua final con respecto a la mezcla patrón, siendo los valores más bajos los mostrados por la mezcla con ceniza de la muestra 2. Estos resultados son consistentes con la pérdida de fluidez observada al introducir la CBCA en las mezclas.

Tabla 16

Resultados del ensayo de aguja de Vicat

Tiempo de fraguado mediante aguja de Vicat			
Tiempo (min.)	Penetración (mm.)		
	Patrón	Mezcla 1	Mezcla 2
0	40.0	40.0	40.0
10	40.0	40.0	40.0
20	40.0	40.0	40.0
30	40.0	40.0	40.0
40	40.0	40.0	40.0
50	40.0	40.0	39.0
60	40.0	39.0	37.0
65	40.0	39.0	37.0
70	40.0	38.0	34.5
75	40.0	38.0	28.5
80	40.0	37.0	25.5
85	40.0	35.0	25.5
90	40.0	33.0	22.5
95	40.0	29.5	21.5
100	40.0	26.0	13.0
105	40.0	22.5	8.5
110	39.0	19.0	6.0
115	39.0	13.0	3.0
120	39.0	8.5	2.5
125	39.0	5.0	1.0
130	37.0	1.5	0.0
135	37.0	1.0	-
140	37.0	0.0	-
145	37.0	-	-
150	37.0	-	-
155	36.0	-	-
160	33.0	-	-
165	25.0	-	-
170	23.5	-	-
175	14.0	-	-
180	5.0	-	-
185	3.0	-	-
190	0.0	-	-

Rigiéndonos por lo indicado en la norma NTP 334.006, donde se indica que el tiempo de fraguado inicia cuando la aguja penetra 25 mm, encontramos los tiempos de fraguado inicial de las 03 mezclas, para lo cual se aplica la interpolación cuadrática entre los valores adyacentes a los 25 mm. mostrados en la tabla 16, obteniendo que el tiempo de fragua inicial para las mezclas 1 y 2 es de 1 hora 43 minutos y 1 hora 25 minutos respectivamente, mientras que para la mezcla patrón es de 2 horas 45 minutos. La interpolación cuadrática para hallar los tiempos de fragua inicial de las mezclas 1 y 2 se realizó de la siguiente manera:

Para la mezcla patrón:

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT

TIEMPO (min.)	**PENETRACIÓN (mm.) PATRÓN**
155	36.0
160	33.0
165	25.0
170	23.5
175	14.0

X = 165 minutos = 2 horas 45 minutos

Para la mezcla 1:

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT

TIEMPO (min.)	**PENETRACIÓN (mm.) MEZCLA 1**
100	26.0
X	25.0
105	22.5

$$\frac{(X-105)}{(100-105)} = \frac{(25.0-22.5)}{(26.0-22.5)}$$

$$(X-105)*(26.0-22.5) = (25.0-22.5)*(100-105)$$

$$(X-105)*(3.5) = (2.5)*(-5)$$

$$3.5X-367.5 = -5$$

$$3.5X = -5+367.5$$

$$X = 362.5 / 3.5$$

X = 103.57 minutos = 1 hora 43 minutos

Para la mezcla 2:

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT	
TIEMPO (min.)	**PENETRACIÓN (mm.) MEZCLA 2**
85	25.5
X	25.0
90	22.5

$$\frac{(X-105)}{(100-105)} = \frac{(25.0-22.5)}{(26.0-22.5)}$$

$$(X-90)*(25.5-22.5) = (25.0-22.5)*(85-90)$$

$$(X-90)*(3) = (2.5)*(-5)$$

$$3X-270 = -12.5$$

$$3X = -12.5+270$$

$$X = 257.5 / 3$$

X = 85.83 minutos = 1 hora 25 minutos

Los tiempos de fragua final son obtenidos cuando la penetración de la aguja es de 0 mm, obteniendo para la mezcla 1 y mezcla 2, 2 horas 20 minutos y 2 horas 10 minutos respectivamente, mientras que para la mezcla patrón tenemos un tiempo de 3 horas 10 minutos. Para hallar los tiempos de fragua final, se tomaron los datos de la tabla 16:

Para la mezcla patrón:

TIEMPO DE FRAGUA FINAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT	
TIEMPO (min.)	**PENETRACIÓN (mm.) PATRÓN**
170	23.5
175	14.0
180	5.0
185	3.0
190	0.0

X = 190 minutos = 3 horas 10 minutos

Para la mezcla 1:

TIEMPO DE FRAGUA FINAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT	
TIEMPO (min.)	PENETRACIÓN (mm.) MEZCLA 1
120	8.5
125	5.0
130	1.5
135	1.0
140	0.0
X = 140 minutos = 2 horas 20 minutos	

Para la mezcla 2:

TIEMPO DE FRAGUA FINAL MEDIANTE AGUJA DE VICAT	
TIEMPO (min.)	PENETRACIÓN (mm.) MEZCLA 2
110	6.0
115	3.0
120	2.5
125	1.0
130	0.0
X = 130 minutos = 2 horas 10 minutos	

4.2 Resultados en concreto endurecido

4.2.1 *Resistencia a la compresión*

Siguiendo la norma NTP 334.051, este ensayo se realizó usando cubos de mortero de 50mm de lado para edades de 7 y 28 días de curado. Asimismo, se evaluaron especímenes por tipo de mezcla (patrón, mezcla 1 y mezcla 2).

Los resultados promedio se muestran en la tabla 17 y los valores individuales de las resistencias de cada espécimen por edad se muestran en el anexo D.

La tabla 17 muestra los promedios de las resistencias obtenidos por mezcla. Estos valores son producto de la validación de datos, tras la eliminación de los valores individuales alejados del promedio, ver anexo F.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo tanto a 7 días como a 28 días. Ver tabla 17 y figura 21.

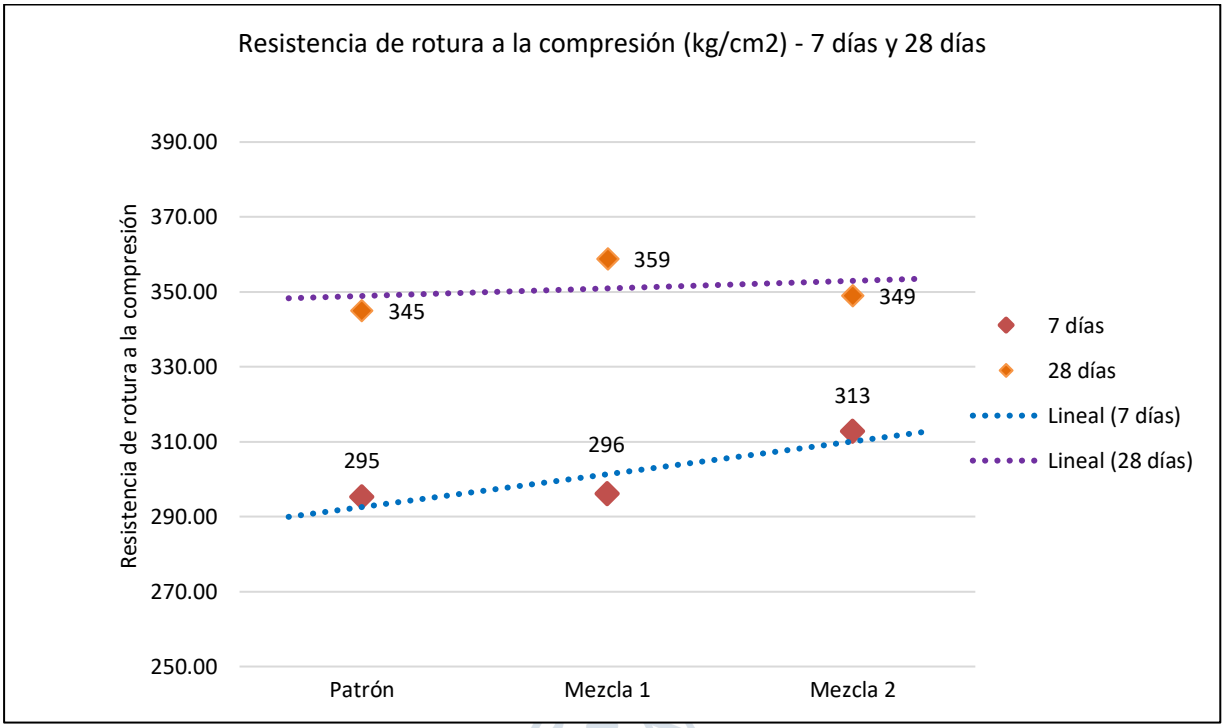
Tabla 17

Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días

Mezcla	Resistencia de rotura a la compresión (kg/cm^2)	
	7 días	28 días
Patrón	295	345
Mezcla 1	296	359
Mezcla 2	313	349

Figura 21

Tendencia de resultados de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días



En la figura 21 se observa que la resistencia a la compresión a la edad de 28 días para la mezcla patrón es de 345 kg/cm^2 mientras que para la mezcla 1 y la mezcla 2 son 359 kg/cm^2 y 349 kg/cm^2 respectivamente. Como se puede observar este ligero aumento, no es significativo, pues es aproximadamente 4% de la mezcla 1 con respecto a la mezcla patrón y 1% de la mezcla 2 con respecto a la mezcla patrón.

Al tomar como referencia los antecedentes estudiados de los autores Berenguer et al (2018) y Tórrez et al (2014), y en comparación con los resultados obtenidos, se puede observar que los resultados están conforme a lo esperado, debido a que, en ambas investigaciones coinciden en que las resistencias a la compresión de las mezclas 1 y 2 son similares a la resistencia de la mezcla patrón, es decir que la CBCA ha logrado influenciar positivamente en la resistencia a la compresión.

Por otro lado, a pesar de que el aumento no es considerable y que las resistencias a la compresión de la mezcla 1 y mezcla 2 son similares a la resistencia de la mezcla patrón, se observa que el reemplazo de CBCA por cemento no es perjudicial al desarrollo de la resistencia a la compresión simple; por el contrario, es favorable, ya que las mezclas con reemplazo (mezcla 1 y mezcla 2) tienen 15% menos de cemento respecto a la mezcla patrón. A pesar de esta condición "desfavorable", se podría considerar que, gracias a su tamaño de partícula, la ceniza podría estar actuando como agregado fino, con una gran capacidad para retener agua, dejando menos agua libre y generando una relación a/c más baja, igualando este parámetro al de la mezcla patrón. En cualquier caso, es necesario realizar pruebas adicionales para validar dicha hipótesis.

Adicionalmente, como se ha mencionado anteriormente, en las mezclas con reemplazo se ha obtenido un ahorro del 15% de cemento, lo cual permite una disminución de las emisiones de dióxido de carbono por parte de la industria cementera y al usar el CBCA se logra mitigar la contaminación del medio ambiente que se genera con el desperdicio del bagazo de caña en los ingenios azucareros, además de los ahorros económicos que todo esto supone.

4.2.2 *Resistencia a la tracción*

Según la norma AASHTO 132-87, este ensayo se realizó usando briquetas con las dimensiones detalladas en la figura 1. Se evaluaron 3 especímenes por tipo de mezcla (patrón, mezcla 1 y mezcla 2) a edad de curado de 28 días.

Los resultados promedios se muestran en la tabla 18 y los valores individuales de las resistencias de cada espécimen por edad se muestran en el anexo E. Asimismo, la desviación estándar de los datos individuales se puede ver en el anexo G.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo a los 28 días. Ver tabla 18 y figura 22.

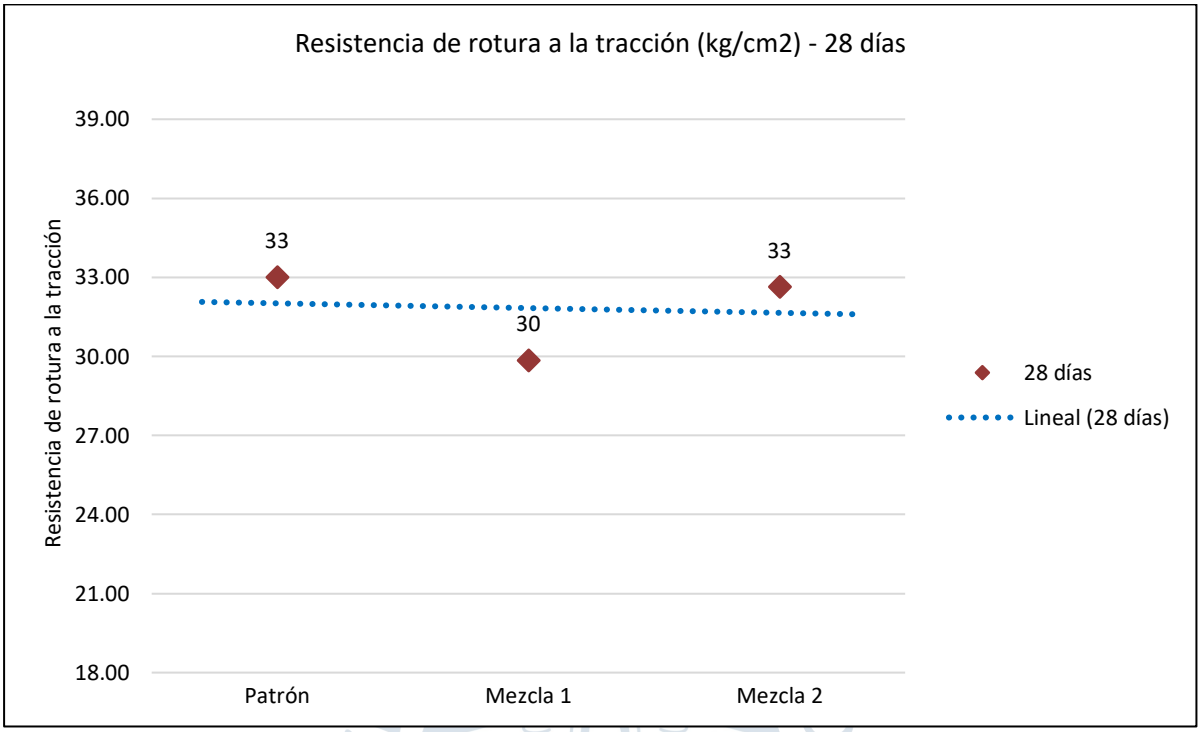
Tabla 18

Resumen de resultados promedio de resistencia a la tracción a los 28 días

Mezcla	Resistencia de rotura a la tracción (kg/cm^2)
	28 días
Patrón	33
Mezcla 1	30
Mezcla 2	33

Figura 22

Tendencia de resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días



En la figura 22 se observa que la resistencia a la tracción para la mezcla patrón es de 33 kg/cm^2 mientras que para la mezcla 1 y la mezcla 2 son 30 kg/cm^2 y 33 kg/cm^2 respectivamente, obteniendo una diferencia de 9% y 0% respectivamente con respecto a la mezcla patrón. Se observa que la resistencia a la tracción de las mezclas 1 y 2 son similares a la resistencia a la tracción de la mezcla patrón, lo cual indica que el uso de CBCA no es perjudicial en la resistencia de tracción en morteros.

Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por otras investigaciones como Berenguer et al (2018) y Tórrez et al (2014) donde no se observa un cambio en las resistencias a la tracción al usar CBCA, es decir que la CBCA ha logrado influenciar positivamente en la resistencia a la tracción.

Como en el caso de la resistencia a la compresión, las variaciones en la resistencia a la tracción no son significativas; sin embargo, se ha logrado un ahorro del 15% de cemento, lo cual es favorable en términos ambientales.

4.2.3 *Relación entre resistencia a la tracción y resistencia a la compresión*

Según Ottazzi (2004), la relación entre la resistencia a la tracción respecto a la resistencia a la compresión del concreto se encuentra en un rango del 8% al 15%. Aunque esto se ha determinado para concretos, se ha podido verificar también para morteros.

En la tabla 19, se muestra la relación entre la resistencia a la tracción y resistencia a la compresión de la mezcla patrón, mezcla 1 y mezcla 2 a la edad de 28 días, las cuales son de 10%, 8% y 9% respectivamente. Se verifica que la relación tracción/compresión se encuentra

dentro del rango previsto. Además, se interpreta que las mezcla patrón y las mezclas con reemplazo son aptas para su uso en pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos (ver tabla 12).

Tabla 19

Relación entre resistencia a la tracción y a la compresión a los 28 días

Mezcla	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Relación f't/f'c (%)
Patrón	345	33	10%
Mezcla 1	359	30	8%
Mezcla 2	349	33	9%

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Conclusiones

Se ha verificado que la CBCA no sufre cambios significativos en su composición química, teniendo un gran porcentaje de pérdidas por ignición (LOI). Los elementos químicos con mayor porcentaje de la masa total y mayor importancia son el Silicio (Si), Aluminio (Al), Calcio (Ca) y Hierro (Fe); los cuales son importantes para la formación de compuestos principales del cemento Portland. En el ensayo de difracción de rayos X indicó que ambas muestras de CBCA contienen las mismas fases mineralógicas: Cuarzo (SiO_2), Calcita ($CaCO_3$) y Albita ($NaAlSi_3O_8$). Asimismo, para el ensayo de dispersión de luz dinámica (DLS) donde se muestra que los diámetros o tamaños de las partículas de las muestras 1 y 2 son muy pequeñas, favorecen su influencia en el comportamiento del mortero de cemento hidráulico.

La incorporación de CBCA como reemplazo parcial de un 15% de cemento en la elaboración de mortero hidráulico presenta similares resistencias a la mezcla patrón tanto en la resistencia a la compresión simple como en la resistencia a la tracción, pero disminuye drásticamente la trabajabilidad.

Se concluye entonces que el reemplazo de cemento por un 15% de CBCA en morteros es viable como una alternativa a la contaminación del medio ambiente que se genera con la disposición del bagazo de caña en los ingenios azucareros.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Recomendaciones

Se recomienda realizar mayor estudio de la interacción de las partículas de CBCA con el mortero y evaluar la actividad puzolánica del mismo. Esto podría estar asociado con el contenido de sílice amorfa en la ceniza.

Teniendo en cuenta la rápida pérdida de fluidez de las mezclas con 15% de CBCA, se recomienda elaborar las mezclas con una dosificación de aditivo plastificante y evaluar sus propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido. Adicionalmente se recomienda explorar mayores porcentajes de reemplazo, utilizando este aditivo plastificante para controlar la pérdida de fluidez.

Y finalmente, recomienda estudiar más los efectos de la CBCA en la resistencia a la tracción.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Referencias bibliográficas

AASHTO, T. (2009). *Standard Method of Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars*. Obtenido de American Association of State and Highway Transportation Officials: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AASHTO%20T%20132&item_s_key=00489024

Alvarez, Y., & Sota, O. (2018). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión de un concreto con sustitución del agregado grueso por poliestireno expandido modificado, utilizando agregados de cunyac y vicho frente a un concreto patrón convencional de 210 kg/cm2.* Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cuzco. Obtenido de http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1600

Arévalo, A., Andrade, J., Zelaya, H., & Noé, H. (2016). *Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto.* Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14162/

Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM). (2017). *Estadísticas Nacionales – Reporte Estadístico – 2017*. Obtenido de http://www.asocem.org.pe/

Berenguer, F., Nogueira, S., Marden, E., Barreto, P., & Helene, A. (2018). La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros. *Revista ALCONPAT, 8(1)*, 30 – 37. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352018000100030&script=sci_abstract

Camargo, P., Pereira, A., Akasaki, J., Fioriti, C., Payá, J., & Pinheiro, J. (2014). Performance of mortars produced with the incorporation of sugar cane bagasse ash. *Revista ingeniería de construcción, 29(2)*, 187-199.

Caña Brava. (s/f). *Página oficial Caña Brava*. Obtenido de https://www.canabrava.com.pe/nosotros/

Clementi, L., Gugliota, L., & Vega, J. (2008). Regularización de tikhonov y algoritmos genéticos como herramientas para estimar tamaños de partículas nanométricas por dispersión de luz dinámica. *Mecánica computacional, 17*, 2753 - 2764.

Espinoza, W., & Espinola, I. (2017). *Resistencia del Concreto fc: 210 Kg/ 〖cm〗 ^2 con*

sustitución parcial del Cemento por Ceniza de la Paja de la Caña de Azúcar. Tesis de pregrado, Universidad de San Pedro. Obtenido de http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/1517

Gaitan, J., & Torrez, B. (2013). *Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento tipo GU. Otra thesis, Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del.* Otra Thesis, Universidad Nacional de Ingeniería.

INACAL (2002) NTP.400.022 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

INACAL (2003) NTP.399.607 – UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería.

INACAL (2013) NTP.339.184 – CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto.

INACAL (2013) NTP.339.185 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenidos de humedad total evaporable de agregados por secado.

INACAL (2013) NTP.400.012 – AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

INACAL (2016) NTP.334.009 – CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos.

INACAL (2016) NTP.334.090 – CEMENTOS. Cemento Portland adicionados. Requisitos.

INACAL (2017) NTP.334.003 – CEMENTOS. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.

INACAL (2019) NTP.334.001 – CEMENTOS. Terminología relacionada al cemento hidráulico.

INACAL (2019) NTP.334.051 – CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50mm de lado.

INACAL (2019) NTP.334.060 – CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico.

INACAL (2020) NTP.400.011 – AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.

INACAL (2020) NTP.400.017 – AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y lo vacíos en los agregados.

Madurwar, M., Ralegaonkar, R., & Mandavgane, S. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials, 38*, 872-878.

Mondani, P., & Vyawahare, M. (2013). Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering, 51*, 25-29.

Nochaiya, T., Wongkeo, W., & Chaipanich, A. (2010). Utilization of fly ash with silica fume and properties of Portland cement–fly ash–silica fume concrete. *Fuel, 89(3)*, 768-774. R. A.

Ottazi, G. (2004). *Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado.* Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1055/OTTAZZI_PASINO_GIANFRANCO_MATERIAL_ENSE%c3%91ANZA_CONCRETO_ARMADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pacasmayo S.A.A. (2012). *Cemento y sus aplicaciones*, *Cementos*. Obtenido de https://www.cementospacasmayo.com.pe/

Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. *Pontificia Universidad Javeriana*. Cargraphics S. A.

Tórrez, B., Gaitán, J., Pérez, L., & García, J. (2014). *Valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland*. Obtenido de Nexo Revista Científica, . , 27(2), 82-89: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5179449

Vidal, D., Torrez, J., & Gonzales, L. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. *Revista de Física(48)*, 14-23.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Anexos

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Orden de servicio N° : 22203
Informe N° : 190429
Fecha de ensayo : 07/12/2018
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Solicitante : Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por:** El laboratorio
Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis : "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Procedencia : Agregado fino procedente de cantera Chulucanas

Abertura mm	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
62.7	2 1/2 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
24.4	1 "				
19.1	3/4 "				
12.7	1/2 "				
9.5	3/8 "				
4.76	4	0.00	0.00	0.00	100
2.38	8	29.10	5.81	5.81	94
1.19	16	62.60	12.49	18.30	82
0.59	30	135.20	26.98	45.27	55
0.297	50	163.90	32.70	77.97	22
0.149	100	84.60	16.88	94.85	5
0.074	200	17.80	3.55	98.40	2
	Fondo	7.60	1.52		
	Total	500.80		2.42	
	Peso inicial	501.20			
	Pérdida	0.40			

Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

Descripción de la muestra: Agregado fino, procedente de cantera Chulucanas. Módulo de finura 2.4
Huso trazado: NTP 399.607-2003 (arena natural)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
Norma: NTP 400.022 2002

Orden de servicio Nº : 22203
Informe Nº : 190426

Fecha de recepción : 10/12/2018
Fecha de ensayo : 14/12/2018
Fecha de emisión : 19/02/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestra	: El solicitante
Muestreo realizado por	: Agregado fino
Procedencia	: Cantera Chulucanas

RESULTADOS:

Muestra	Peso específico de masa (g/cm^3)	Peso específico de masa saturado con superficie seca (g/cm^3)	Peso específico aparente (g/cm^3)	Absorción (%)
M-1	2.59	2.62	2.67	1.26
M-2	2.58	2.61	2.67	1.25
Promedio	2.58	2.62	2.67	1.25

Observaciones: ---

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA V.E.M.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
Norma: NTP 400.017 1999

Orden de servicio Nº : 22203
Informe Nº : 190427

Fecha de recepción : 10/12/2018
Fecha de ensayo : 14/12/2018
Fecha de emisión : 20/02/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestra	: El solicitante
Muestreo realizado por	: Agregado fino
Procedencia	: Cantera Chulucanas

RESULTADOS:

Ensayo	Peso unitario suelto (kg/m^3)
N° 1	1.503
N° 2	1.503
Promedio	1.503

Observaciones:
Resultados obtenidos a partir de un contenido de humedad de 0,45 (tamizado por tamiz N°4)

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Gaby Ruiz Perezz L.E.M.C.
Ingeniero C
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS
Norma: NTP 400.017 1999

Orden de servicio N° : 22203
Informe N° : 190428

Fecha de recepción :
Fecha de ensayo : 06/12/2018
Fecha de emisión : 07/12/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestra	: El solicitante
Muestreo realizado por	: Agregado fino
Procedencia	: Cantera Chulucanas

RESULTADOS:

Ensayo	Peso unitario varillado (kg/m^3)
N° 1	1.619
N° 2	1.621
Promedio	1.620

Observaciones:
Resultados obtenidos a partir de un contenido de humedad de 0,45 (tamizado por tamiz N°4)

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Gaby Ruiz Perezzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Fuente: Ensayos realizados en LEMC de la Universidad de Piura.

Anexo B. Caracterización de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

Anexo B.1 Informe de fluorescencia de rayos X

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

Informe N°068- LAQ/2019

Análisis de ceniza de bagazo de caña de azúcar por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) dos muestras de ceniza de bagazo de caña de azúcar a pedido de los Sres. Bach. **Feria Guerrero, Darwin E, S., y Bach. Velasco Prieto, Roger Fernando**, egresados de la Universidad de Piura, en relación a su trabajo de tesis titulada:

"Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como remplazo de Cemento Hidráulico en Mortero."

Las muestras fueron calcinadas a 700°C en la Planta Caña Brava y están en la forma de grano fino (malla 200) de color negro. Las muestras fueron codificadas como M1 y M2.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μA. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, irradiando la superficie plana de uno de los trozos, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 3620 cts/s para la muestra M1 y 6250 ctss para la muestra M2. .

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Na (Z=11) y Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo

L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene. La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En las Figura 1 y2 se muestran los espectros de FRXDE de estas muestra de ceniza de bagazo de caña de azúcar. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico y la energía de los rayos-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de las dos muestras, M1 y M2. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los elementos químicos

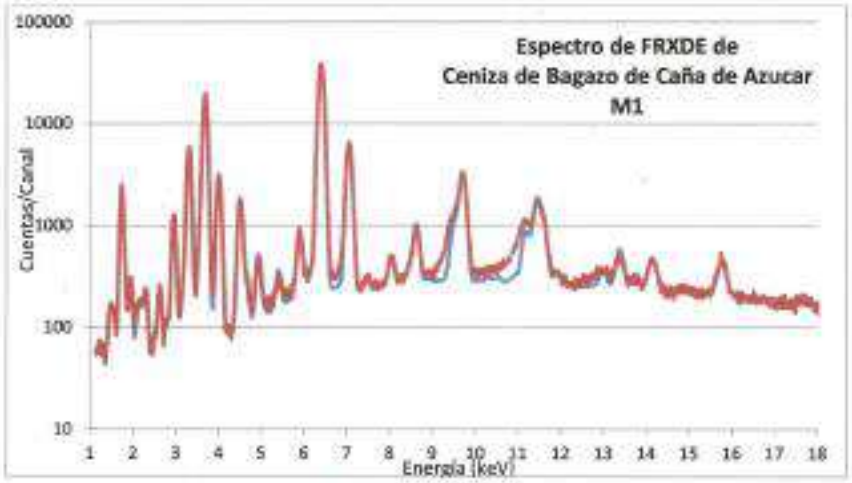
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

presentes con Z>12. Estos elementos químicos pueden estar formando óxidos y otros compuestos diferentes de óxidos. La suma es menor que 100%, El resto corresponde a elementos con Z<13, siendo oxígeno el más abundante. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difractometría de rayos-X..

Tabla 1. Composición elemental de las muestra M1 y M2 de ceniza de bagazo de caña de azúcar en % de masa.

Óxido	Concentración de M1	Concentración de M2
Al	6.555	10,064
Si	44.025	49.704
S	0.642	0.427
Cl	0.316	0.402
K	2.830	2.814
Ca	6.406	4.855
Ti	0.334	0.261
V	0.013	0.012
Cr	0.018	0.015
Mn	0,056	0,051
Fe	2.655	3.958
Ni	0.005	0.007
Cu	0.002	0.001
Zn	0.030	0.022
As	0.002	0.004
Sr	0.020	0.021
Y	0.000	0.002
Zr	0.020	0.016
La	0.041	0.068
Total	63.998	72.204

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría



Figuras 1. Espectros de FRXDE de las muestras M1 y M2 de ceniza de bagazo de caña de azúcar en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado.

Investigador Responsable:
Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....
Laboratorio de Arqueometría
Lima, 07 de octubre del 2019

Fuente: Ensayos realizados en Laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Física UNMSM

Anexo B.2 Informe de difracción de rayos X

DIFRACCIÓN DE RAYOS X
CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

I. Consideraciones Instrumentales:

Equipo : *Difractómetro Shimadzu, modelo XRD-7000.*

Fuente : *Tubo de rayos X - Cu de longitud de onda, Correspondiente a $K_{\alpha 1}$-Cu, λ= 1.5406 Å.*

Tipo de barrido : *Tiempo fijo*

Condiciones de medición:

Inicio: 3°
Final: 70°
Paso: 0.02°
Tiempo por paso: 0.6 s

Generador de Rayos X:

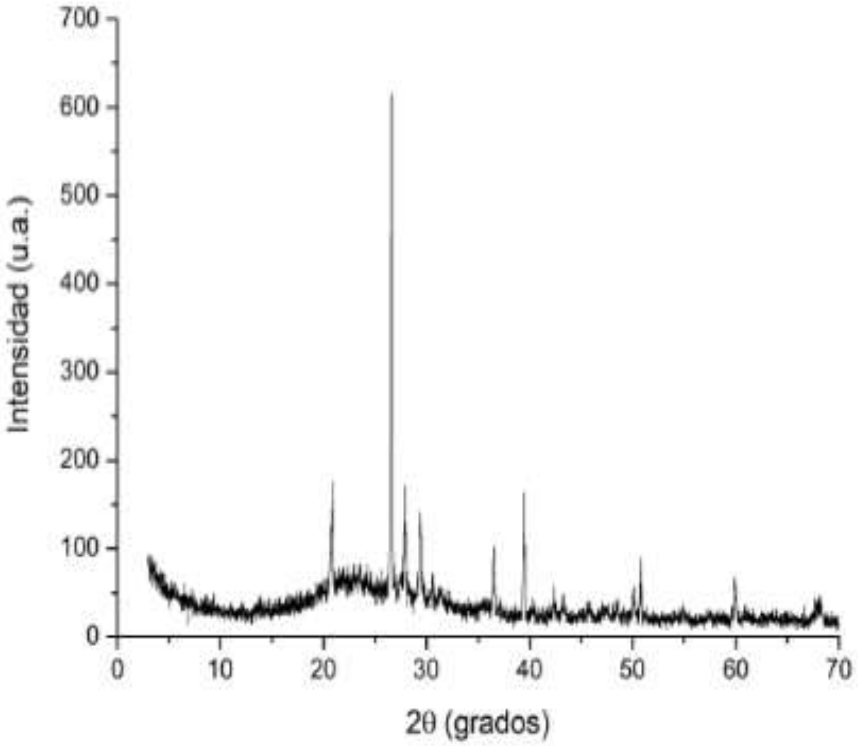
Voltaje de salida del tubo: 40 kV
Corriente de salida del tubo: 30 mA

Tipo de detector: Scintillation counter / NaI(Tl)

II. Análisis de los difractrogramas

Muestra-1

A continuación, se muestra el perfil de difracción de la muestra:

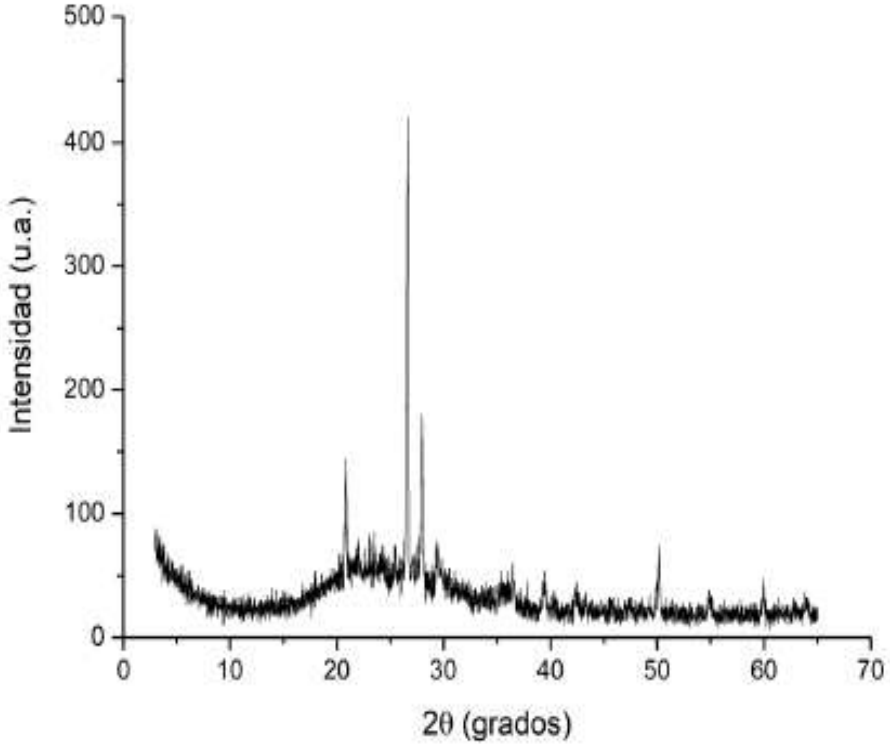


Identificación de las distintas fases mineralógicas encontradas en la muestra recibida:

N°	Fases mineralógicas	Composición química
1	Cuarzo	SiO_2
2	Calcita	$CaCO_3$
3	Albita	$NaAlSi_3O_8$

Muestra-2

A continuación, se muestra el perfil de difracción de la muestra:



Identificación de las distintas fases mineralógicas encontradas en la muestra recibida:

N°	*Fases mineralógicas*	*Composición química*
1	*Cuarzo*	SiO_2
2	*Calcita*	$CaCO_3$
3	*Albita*	$NaAlSi_3O_8$

Fuente: Ensayos realizados en Laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Física UNMSM

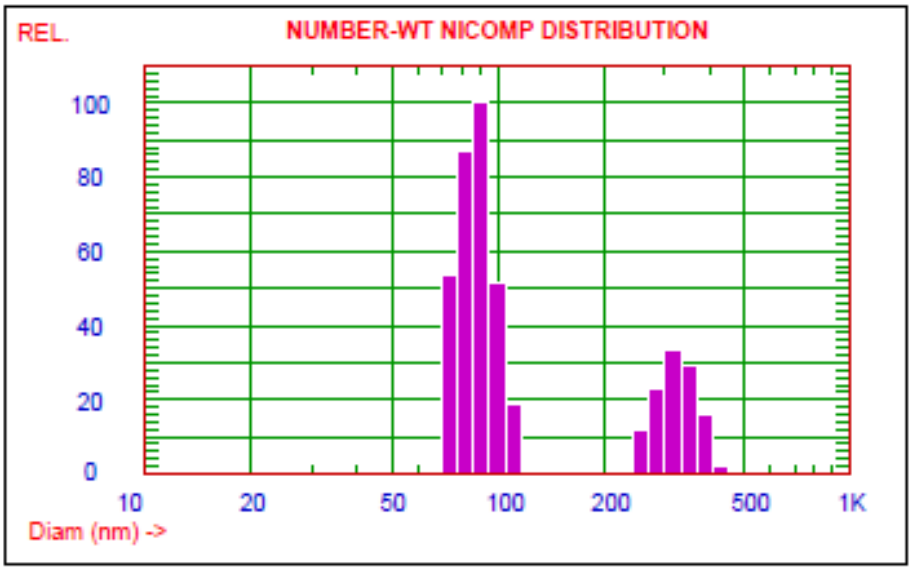
Anexo B.3 Informe de dispersión de luz dinámica (DLS)

Particle Sizing Systems, Inc.
Santa Barbara, Calif., USA

Sample
Data File: C:\2020\PIURA\M-1 17:45:31 2/13/2020

NUMBER-Weighted NICOMP DISTRIBUTION Analysis (Solid Particle)

NICOMP SUMMARY:
Peak #1: Mean Diam.= 87.5 nm, S.Dev.= 9.1 nm (10.45%) Num= 74.87 %
Peak #2: Mean Diam.= 323.2 nm, S.Dev.= 42.7 nm (13.21%) Num= 25.13 %



Mean Diameter = 151.9 nm Fit Error = 4.508 Residual = 71.240

NICOMP SCALE PARAMETERS:
Min. Diam. = 10 nm Plot Size = 45
Smoothing = 3 Plot Range = 100

GAUSSIAN SUMMARY:

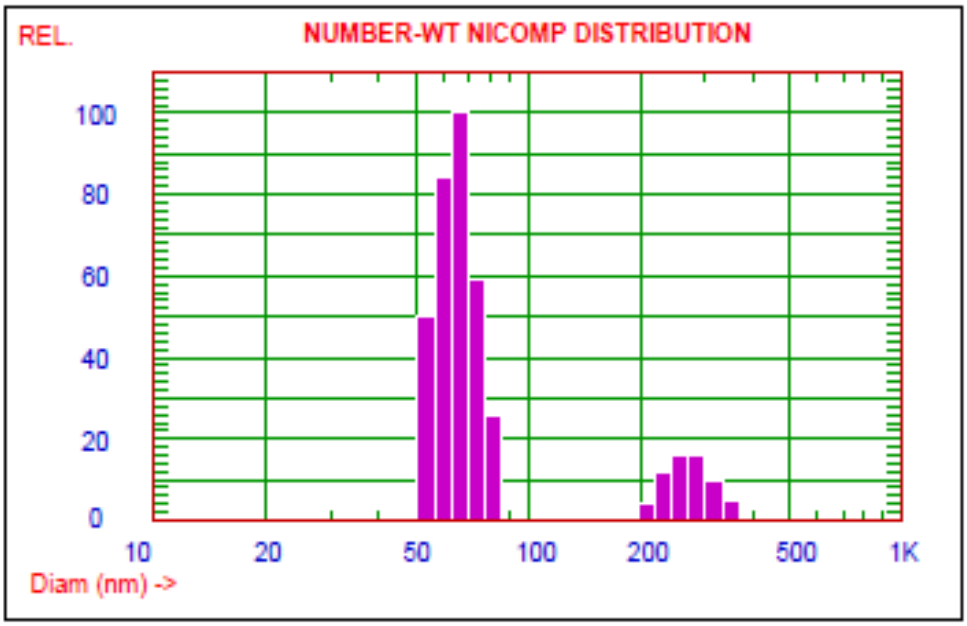
Mean Diameter	*= 63.2 nm*	*Variance (P.I.)*	*= 0.666*
Stnd. Deviation	*= 51.5 nm (81.6%)*	*Chi Squared*	*= 9.203*
Norm. Stnd. Dev. (Coeff. of Var'n)	*= 0.816*	*Baseline Adj.*	*= 0.144 %*
		Z-Avg. Diff. Coeff.	*= 9.70E-009 cm2/s*
Run Time	*= 0 Hr 5 Min 11 Sec*	*Wavelength*	*= 632.8 nm*
Count Rate	*= 66 KHz*	*Temperature*	*= 23 deg C*
Channel #1	*= 71.1 K*	*Viscosity*	*= 0.933 cp*
Channel Width	*= 46.0 uSec*	*Index of Ref.*	*= 1.333*

Particle Sizing Systems, Inc.
Santa Barbara, Calif., USA

Sample
Data File: C:\2020\PIURA\M-1-B 17:35:43 2/14/2020

NUMBER-Weighted NICOMP DISTRIBUTION Analysis (Solid Particle)

NICOMP SUMMARY:
Peak #1: Mean Diam.= 64.7 nm, S.Dev.= 6.9 nm (10.73%) Num= 86.05 %
Peak #2: Mean Diam.= 266.1 nm, S.Dev.= 38.4 nm (14.42%) Num= 13.95 %



M-1-B

Mean Diameter = 98.5 nm Fit Error = 4.635 Residual = 84.326

NICOMP SCALE PARAMETERS:
Min. Diam. = 10 nm Plot Size = 45
Smoothing = 3 Plot Range = 100

GAUSSIAN SUMMARY:

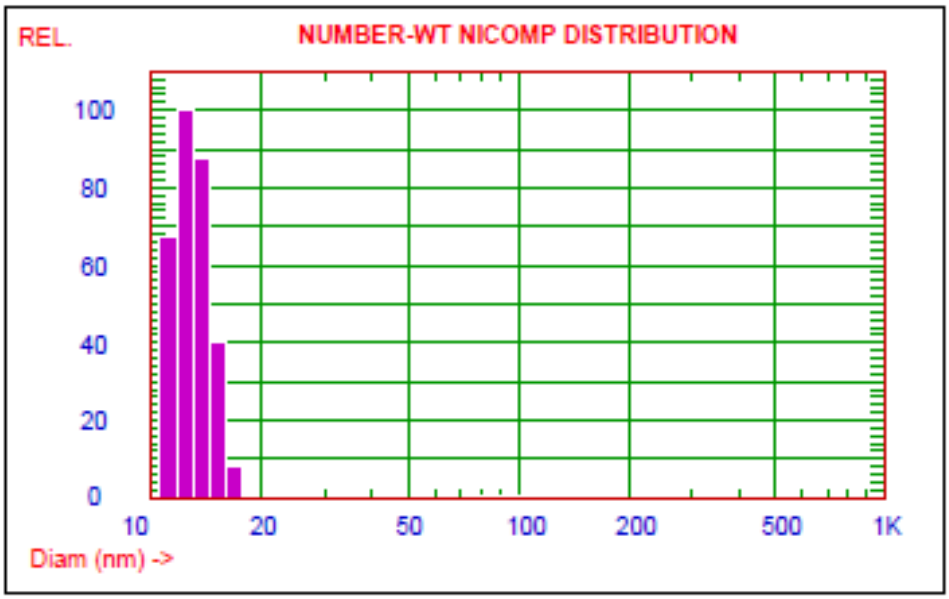
Mean Diameter	*= 65.7 nm*	*Variance (P.I.)*	*= 0.937*
Stnd. Deviation	*= 63.5 nm (96.8%)*	*Chi Squared*	*= 10.785*
Norm. Stnd. Dev. (Coeff. of Var'n)	*= 0.968*	*Baseline Adj.*	*= 0.139 %*
		Z-Avg. Diff. Coeff.	*= 8.77E-009 cm2/s*
Run Time	*= 0 Hr 5 Min 11 Sec*	*Wavelength*	*= 632.8 nm*
Count Rate	*= 65 KHz*	*Temperature*	*= 23 deg C*
Channel #1	*= 47.2 K*	*Viscosity*	*= 0.933 cp*
Channel Width	*= 38.0 uSec*	*Index of Ref.*	*= 1.333*

Particle Sizing Systems, Inc.
Santa Barbara, Calif., USA

Sample
Data File: C:\2020\PIURA\M-2 17:53:6 2/13/2020

NUMBER-Weighted NICOMP DISTRIBUTION Analysis (Solid Particle)

NICOMP SUMMARY:
Peak #1: Mean Diam.= 12.8 nm, S.Dev.= 1.5 nm (11.47%) Num= 99.29 %
Peak #2: Mean Diam.= 99.1 nm, S.Dev.= 11.5 nm (11.57%) Num= 0.66 %
Peak #3: Mean Diam.= 445.6 nm, S.Dev.= 64.9 nm (14.56%) Num= 0.05 %



M-2

Mean Diameter = 13.6 nm Fit Error = 0.838 Residual = 0.000

NICOMP SCALE PARAMETERS:
Min. Diam. = 10 nm Plot Size = 45
Smoothing = 3 Plot Range = 100

GAUSSIAN SUMMARY:

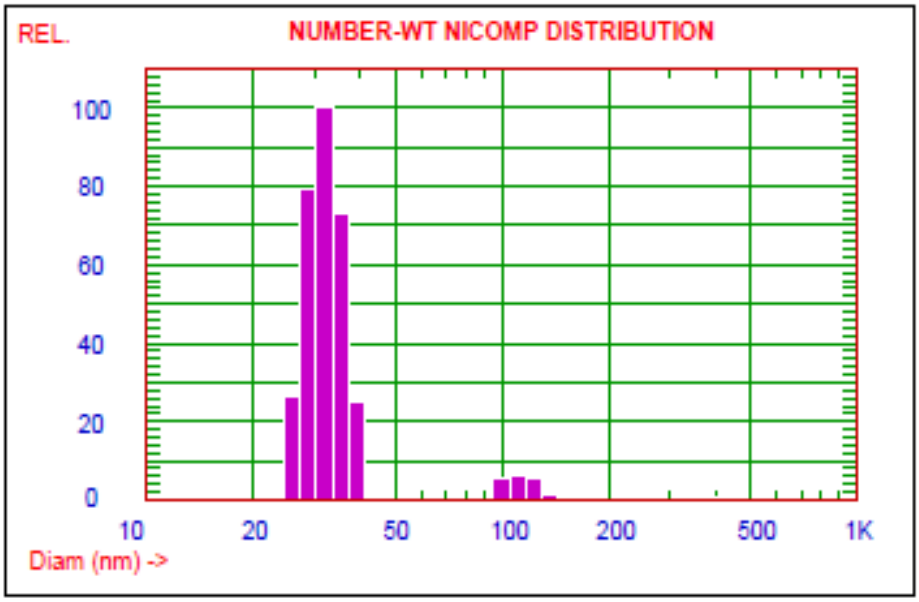
Mean Diameter	*= 31.6 nm*	*Variance (P.I.)*	*= 0.387*
Stnd. Deviation	*= 19.6 nm (62.2%)*	*Chi Squared*	*= 14.173*
Norm. Stnd. Dev. (Coeff. of Var'n)	*= 0.622*	*Baseline Adj.*	*= 0.009 %*
		Z-Avg. Diff. Coeff.	*= 2.33E-008 cm2/s*
Run Time	*= 0 Hr 5 Min 12 Sec*	*Wavelength*	*= 632.8 nm*
Count Rate	*= 128 KHz*	*Temperature*	*= 23 deg C*
Channel #1	*= 75.5 K*	*Viscosity*	*= 0.933 cp*
Channel Width	*= 22.0 uSec*	*Index of Ref.*	*= 1.333*

Particle Sizing Systems, Inc.
Santa Barbara, Calif., USA

Sample
Data File: C:\2020\PIURA\M-2-B 17:43:32 2/14/2020

NUMBER-Weighted NICOMP DISTRIBUTION Analysis (Solid Particle)

NICOMP SUMMARY:
Peak #1: Mean Diam.= 31.7 nm, S.Dev.= 4.2 nm (13.21%) Num= 94.42 %
Peak #2: Mean Diam.= 113.4 nm, S.Dev.= 12.3 nm (10.81%) Num= 5.58 %



Mean Diameter = 38.3 nm Fit Error = 4.855 Residual = 71.133

NICOMP SCALE PARAMETERS:
Min. Diam. = 10 nm Plot Size = 45
Smoothing = 3 Plot Range = 100

GAUSSIAN SUMMARY:

Mean Diameter	*= 36.9 nm*	*Variance (P.I.)*	*= 0.805*
Stnd. Deviation	*= 34.9 nm (89.7%)*	*Chi Squared*	*= 26.623*
Norm. Stnd. Dev. (Coeff. of Var'n)	*= 0.897*	*Baseline Adj.*	*= 0.075 %*
		Z-Avg. Diff. Coeff.	*= 1.48E-008 cm2/s*
Run Time	*= 0 Hr 5 Min 11 Sec*	*Wavelength*	*= 632.8 nm*
Count Rate	*= 88 KHz*	*Temperature*	*= 23 deg C*
Channel #1	*= 55.9 K*	*Viscosity*	*= 0.933 cp*
Channel Width	*= 26.0 uSec*	*Index of Ref.*	*= 1.333*

Fuente: Ensayos realizados en Laboratorio de Mineralogía y Cristaloquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química UNMSM

Anexo C. Diseño de mezcla patrón

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante : Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo
Velasco Prieto, Roger Fernando
Orden de servicio N°: 22203
Informe N°: 190433
Fecha de emisión: 20/02/2019

Tesis: : "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"

Ubicación: : Piura

PARAMETROS FISICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Módulo de fineza	2.40	-
TMN (pulg.)	-	0
Peso unitario suelto en stock(kg/m^3)	1503	0
Peso unitario varillado en stock(kg/m^3)	1620	0
Gravedad específica (SSS)	2.62	0
Capacidad de absorción (%)	1.25%	0.00%
Humedad total (%)	0.45%	0.00%

DOSIFICACION

f'c (especificada):	kg/cm^2
Desviación estándar:	------ No especificada
f'cr (requerida):	kg/cm^2 (Calculada según tabla 5.3 del R.N.E. Norma E.060 Concreto Armado)
Edad especificada (días):	28

	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1m^3 de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Tipo MS	Pacasmayo	600	kg	1
Agregado fino	Arena	Cantera Chulucanas	1225	kg	2.04
Agregado grueso	Piedra	--	--	kg	
Agua	Potable	--	340	kg	--
Aditivo 1	--	--	--	kg	--
Aditivo 2	--	--	--	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.55	--	--
Flujo (%)	--	--	150	mm	--
Factor cemento	--	--	14.12	bls/m^3	--

Observaciones:

** La presente corresponde a un diseño preliminar a partir de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 días, pudiendo ser ajustado el diseño a la edad de 28 días.*

Técnico encargado: Francisco Castro
Supervisor: Ing. Gaby Ruiz P.

Gaby Ruiz Petroza
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C LABORATORIO DE MATERIALES DE CONST.

Fuente: Ensayos realizados en LEMC de la Universidad de Piura

Anexo D. Resultados del ensayo a compresión

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0mm.

Orden de servicio Nº : 22203
Informe Nº : 190432

Fecha de recepción : 08/01/2019
Fecha de ensayo : Según lo detallado en cuadro de resultados
Fecha de emisión : 07/02/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: 06 muestra de 50,0mm x 50,0mm.

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm^2)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm^2)	Resistencia especificada (kg/cm^2)
Muestra patrón M1	08/01/2019	15/01/2019	7	26.68	8388	314	–
Muestra patrón M2	08/01/2019	15/01/2019	7	27.04	7433	275	–
Muestra patrón M3	08/01/2019	15/01/2019	7	26.81	7946	296	–
Muestra patrón M1	08/01/2019	05/02/2019	28	26.78	9012	337	–
Muestra patrón M2	08/01/2019	05/02/2019	28	26.88	9046	336	–
Muestra patrón M3	08/01/2019	05/02/2019	28	26.52	9597	362	–

Observaciones: Empleó NTP 334,051

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0mm.

Orden de servicio Nº : 22203
Informe Nº : 190430

Fecha de recepción : 08/01/2019
Fecha de ensayo : Según lo detallado en cuadro de resultados
Fecha de emisión : 07/022019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: 06 muestra de 50,0mm x 50,0mm.

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (dias)	Área (cm^2)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm^2)	Resistencia especificada (kg/cm^2)
Muestra ceniza 1 M1	09/01/2019	16/01/2019	7	26.60	7855	295	–
Muestra ceniza 1 M2	09/01/2019	16/01/2019	7	26.68	6454	242	–
Muestra ceniza 1 M3	09/01/2019	16/01/2019	7	26.78	7949	297	–
Muestra ceniza 1 M1	09/01/2019	06/02/2019	28	26.88	10054	374	–
Muestra ceniza 1 M2	09/01/2019	06/02/2019	28	26.94	9492	352	–
Muestra ceniza 1 M3	09/01/2019	06/02/2019	28	27.25	9539	350	–

Observaciones: Empleó NTP 334,051

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0mm.

Orden de servicio N° : 22203
Informe N° : 190431

Fecha de recepción : 08/01/2019
Fecha de ensayo : Según lo detallado en cuadro de resultados
Fecha de emisión : 07/022019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: Feria Guerreo, Darwin Emerson Segundo Velasco Prieto, Roger Fernando
Tesis	: "Valoración del Potencial de CBCA de Caña Brava como reemplazo del cemento hidráulico en mortero"
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Muestra	: 06 muestra de 50,0mm x 50,0mm.

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm^2)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm^2)	Resistencia especificada (kg/cm^2)
Muestra ceniza 2 M1	10/01/2019	17/01/2019	7	26.68	8471	318	–
Muestra ceniza 2 M2	10/01/2019	17/01/2019	7	26.78	7933	296	–
Muestra ceniza 2 M3	10/01/2019	17/01/2019	7	26.62	8636	324	–
Muestra ceniza 2 M1	10/01/2019	07/02/2019	28	27.14	10458	385	–
Muestra ceniza 2 M2	10/01/2019	07/02/2019	28	27.19	9558	351	–
Muestra ceniza 2 M3	10/01/2019	07/02/2019	28	27.41	9498	347	–

Observaciones: Empleó NTP 334.051

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

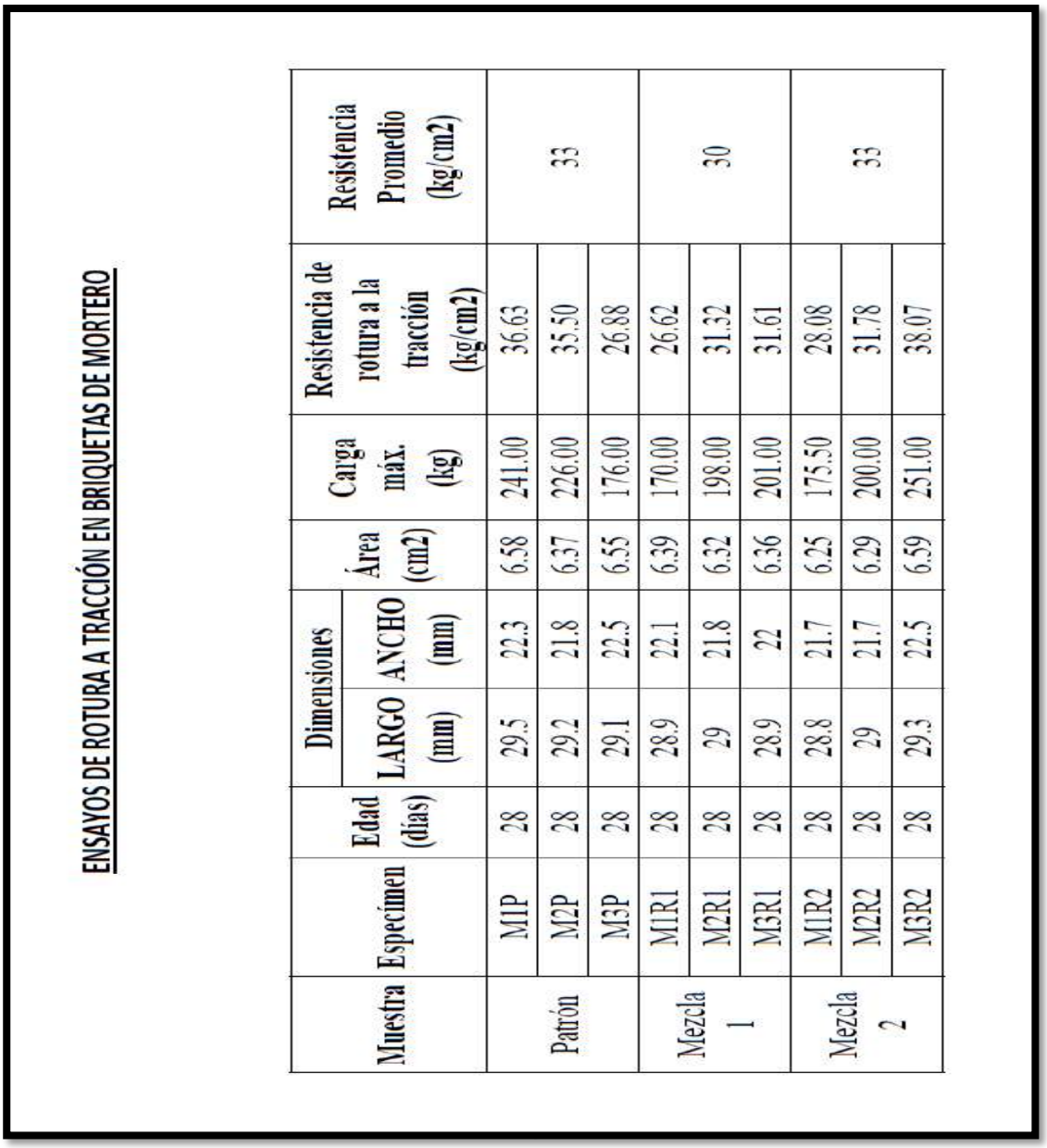
UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Fuente: Ensayos realizados en LEMC de la Universidad de Piura

Anexo E. Resultados del ensayo a tracción



ENSAYOS DE ROTURA A TRACCIÓN EN BRIQUETAS DE MORTERO

Muestra	Especimen	Edad (días)	Dimensiones		Área (cm2)	Carga máx. (kg)	Resistencia de rotura a la tracción (kg/cm2)	Resistencia Promedio (kg/cm2)
			LARGO (mm)	ANCHO (mm)				
Patrón	M1P	28	29.5	22.3	6.58	241.00	36.63	33
	M2P	28	29.2	21.8	6.37	226.00	35.50	
	M3P	28	29.1	22.5	6.55	176.00	26.88	
Mezcla 1	M1R1	28	28.9	22.1	6.39	170.00	26.62	30
	M2R1	28	29	21.8	6.32	198.00	31.32	
	M3R1	28	28.9	22	6.36	201.00	31.61	
Mezcla 2	M1R2	28	28.8	21.7	6.25	175.50	28.08	33
	M2R2	28	29	21.7	6.29	200.00	31.78	
	M3R2	28	29.3	22.5	6.59	251.00	38.07	

Fuente: Ensayo realizado en Laboratorio de Mecánica de la Universidad de Piura

Anexo F. Validación de datos para resultados de ensayo de resistencia a la compresión

VALIDACIÓN DE DATOS PARA RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN

En la tabla 1, se observa el resumen de resultados alcanzados en los informes de LEMC (Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción) de la Universidad de Piura.

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN						
Mezcla	**Especímen**	**Edad (días)**	**Área (cm2)**	**Carga máx. (kg)**	**Resistencia de rotura (kg/cm2)**	**Resistencia Promedio (kg/cm2)**
Patrón	M1P	7	26.68	8388	314	295.22
	M2P	7	27.04	7433	275	
	M3P	7	26.81	7946	296	
	M1P	28	26.78	9012	337	344.98
	M2P	28	26.88	9046	337	
	M3P	28	26.52	9597	362	
Mezcla 1	M1R1	7	26.6	7855	295	278.01
	M2R1	7	26.68	6454	242	
	M3R1	7	26.78	7949	297	
	M1R1	28	26.88	10054	374	358.81
	M2R1	28	26.94	9492	352	
	M3R1	28	27.25	9539	350	
Mezcla 2	M1R2	7	26.68	8471	318	312.72
	M2R2	7	26.78	7933	296	
	M3R2	7	26.62	8636	324	
	M1R2	28	27.14	10458	385	361.13
	M2R2	28	27.19	9558	352	
	M3R2	28	27.41	9498	347	

Tabla 1: Resumen de resultados del ensayo a la compresión sin corrección de datos.

En la tabla 2, se calcula la desviación estándar (S), concluyendo que los valores de las resistencias están distanciados de forma considerable.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	X	S
Patrón	M1P	7	314.39	19.78
	M2P		274.89	
	M3P		296.38	
	M1P	28	336.52	14.64
	M2P		336.53	
	M3P		361.88	
Mezcla 1	M1R1	7	295.3	31.28
	M2R1		241.9	
	M3R1		296.83	
	M1R1	28	374.03	13.23
	M2R1		352.34	
	M3R1		350.06	
Mezcla 2	M1R2	7	317.5	14.69
	M2R2		296.23	

	M3R2		324.42	
	M1R2	28	385.34	21.12
	M2R2		351.53	
	M3R2		346.52	

Tabla 2: Desviación estándar de resultados promedio de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días.

Se procede a evaluar la anulación de algunos resultados para lograr que la desviación estándar disminuya y obtener una validación correcta de datos.

Variación total					
Tipo de operación	**Desviación estándar para varias condiciones de control**				
	Excelente	**Muy buena**	**Buena**	**Regular**	**Mala**
Pruebas en la construcción	< 28	28 - 35	35 - 42	42 - 49	> 49
Mezclas de ensayo en laboratorio	< 14	14 - 17	17 - 21	21 - 24	> 24

Tabla 3: Normas para el control de calidad del concreto.
Fuente: ACI 214 – 77. Práctica recomendada para evaluación de resultados de ensayos de resistencia de concreto.

Los ensayos de rotura a la compresión fueron realizados en laboratorio, por lo tanto se elige como tipo de operación a "mezclas de ensayo en laboratorio", según la tabla 3; luego de definir el tipo de operación se evalúan las condiciones de control para las desviaciones estándar.

Para el estudio de la tesis, se consideran solo las desviaciones que se encuentren en condición de control mala o regular, tal cual se indica en la tabla 3. Debido a esto, se anularán valores de resistencias que tengan mayor dispersión respecto al promedio. Ver tabla 4.

Mezcla	**Edad (días)**	**Espécimen**	**Resistencia de rotura (kg/cm2)**	**S**	**Condición de control**	
					ACI 214 - 77	
Patrón	7	M1P	314.39	19.78	17 - 21	Buena
		M2P	274.89			
		M3P	296.38			
	28	M1P	336.52	14.64	14 - 17	Muy buena
		M2P	336.53			
		M3P	361.88			

Mezcla 1	7	M1R1	295.3	31.28	> 24	Mala
		M2R1	241.9			
		M3R1	296.83			
	28	M1R1	374.03	13.23	< 14	Excelente
		M2R1	352.34			
		M3R1	350.06			
Mezcla 2	7	M1R2	317.5	14.69	14 - 17	Muy buena
		M2R2	296.23			
		M3R2	324.42			
	28	M1R2	385.34	21.12	21 - 24	Regular
		M2R2	351.53			
		M3R2	346.52			

Tabla 4: *Condiciones de control previas a la corrección de datos.*

Se observa en la tabla 4, que la desviación estándar de las resistencias a los 7 días de la mezcla 1 se encuentra en condición de control del tipo "mala", asimismo la desviación estándar de las resistencias a los 28 días de la mezcla 2 se encuentra en condición de control del tipo "regular". Debido a esto, se procede a eliminar la resistencia del espécimen M2R1 de la mezcla 1 y la resistencia del espécimen M1R2 de la mezcla 2.

Posterior a la corrección de datos, se obtienen nuevas desviaciones estándar que se presentan en la tabla 5.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	X	Xprom	S
Patrón	M1P	7	314.39	295.22	19.78
	M2P		274.89		
	M3P		296.38		
	M1P	28	336.52	344.98	14.64
	M2P		336.53		
	M3P		361.88		
Mezcla 1	M1R1	7	295.3	296.06	0.76
	M3R1		296.83		
	M1R1	28	374.03	358.81	13.23
	M2R1		352.34		
	M3R1		350.06		
Mezcla 2	M1R2	7	317.5	312.72	14.69
	M2R2		296.23		
	M3R2		324.42		
	M2R2	28	351.53	349.02	2.51
	M3R2		346.52		

Tabla 5: *Corrección de desviación estándar de resultados promedio de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días.*

En la tabla 6, se observa que las desviaciones estándar se encuentran en condición buena a excelente según indica la tabla 3.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	X	S	Condición de control	
					ACI 214 - 77	
Patrón	M1P	7	314.39	19.78	17 - 21	Buena
	M2P		274.89			
	M3P		296.38			
	M1P	28	336.52	14.64	14 - 17	Muy buena
	M2P		336.53			
	M3P		361.88			
Mezcla 1	M1R1	7	295.3	0.76	< 14	Excelente
	M3R1		296.83			
	M1R1	28	374.03	13.23	< 14	Excelente
	M2R1		352.34			
	M3R1		350.06			
Mezcla 2	M1R2	7	317.5	14.69	14 - 17	Muy buena
	M2R2		296.23			
	M3R2		324.42			
	M2R2	28	351.53	2.51	< 14	Excelente
	M3R2		346.52			

Tabla 6: *Condiciones de control con la corrección de datos – resistencia a la compresión.*

Fuente: Validación de datos de los ensayos realizados en LEMC de la Universidad de Piura

Anexo G. Validación de datos para resultados de ensayo de resistencia a la tracción

VALIDACIÓN DE DATOS PARA RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA TRACCIÓN

En la tabla 1, estas desviaciones estándar se encuentran en condición excelente según la tabla 2, esto quiere decir que los valores hallados en laboratorio tienen una mínima dispersión con respecto a la media.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	X	S	Condición de control ACI 214 - 77	
Patrón	M1P	28	36.63	5.34	< 14	Excelente
	M2P	28	35.5			
	M3P	28	26.88			
Mezcla 1	M1R1	28	26.62	2.8	< 14	Excelente
	M2R1	28	31.32			
	M3R1	28	31.61			
Mezcla 2	M1R2	28	28.08	5.05	< 14	Excelente
	M2R2	28	31.78			
	M3R2	28	38.07			

Tabla 1: *Condiciones de control – resistencia a la tracción.*

Variación total					
Tipo de operación	Desviación estándar para varias condiciones de control				
	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Pruebas en la construcción	< 28	28 - 35	35 - 42	42 - 49	> 49
Mezclas de ensayo en laboratorio	< 14	14 - 17	17 - 21	21 - 24	> 24

Tabla 2: Normas para el control de calidad del concreto.

Fuente: ACI 214 – 77. Práctica recomendada para evaluación de resultados de ensayos de resistencia de concreto.

Fuente: Validación de datos de los ensayos realizados en LEMC de la Universidad de Piura

Anexo H. Registro fotográfico

Foto 1. Secado al aire de la CBCA

Foto 2. Proceso de tamizado de la CBCA por malla N° 200

Foto 3. Molienda de la CBCA en Máquina de abrasión Los Ángeles

Foto 4. Secado al horno de la CBCA

Foto 5. Proceso de tamizado de agregado fino

Foto 6. Preparación de mezcla

Foto 7. Ensayo de fluidez mediante mesa de flujo

Foto 8. Ensayo de tiempo de fraguado (Aguja de Vicat)

Foto 9. Llenado de moldes cúbicos para ensayos a compresión

Foto 10. Curado de cubos de mortero

Foto 11. Medición de cubos de mortero

Foto 12. Rotura de cubos de mortero a compresión

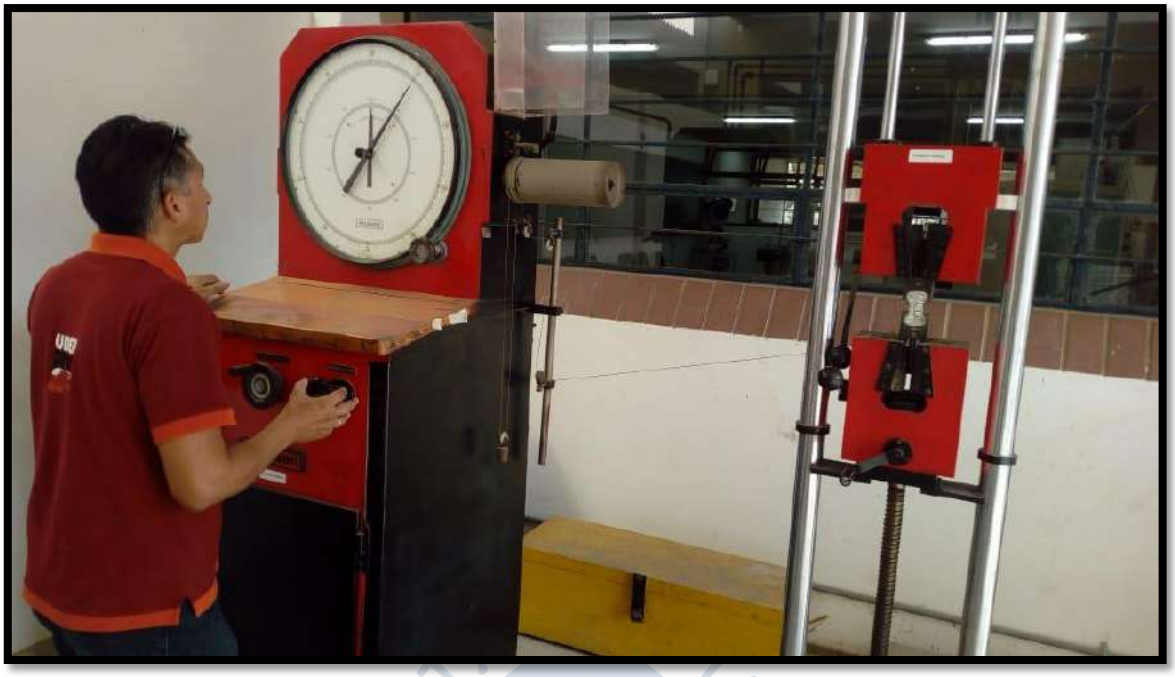


Foto 13. Rotura de briquetas a tracción con el Ing. César Dioses

Foto 14. Ensayo de fluorescencia de rayos X