



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD Y DEL TIPO DE CENIZA SOBRE ABSORCIÓN, POROSIDAD, COMPRESIÓN Y ACTIVIDAD PUZOLÁNICA EN MORTEROS DE ASENTADO, TRUJILLO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Guianmarco Rojas Fernandez

Asesora:

Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena

Trujillo – Perú

2020

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **Ingeniería Civil** , ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis del estudiante:

- Bach. Guianmarco Rojas Fernández

Por cuanto, **CONSIDERA** que el proyecto de investigación titulado: Evaluación de la cantidad y del tipo de ceniza sobre Absorción, Porosidad, Compresión y Actividad Puzolánica en morteros de asentado, Trujillo 2020 para aspirar al título profesional por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al(los) interesado(s) para su presentación.

Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena

Asesor

DEDICATORIA

Agradezco con todo mi corazón a DIOS por darme fuerzas, bendecirme y ser misericordioso conmigo en cada paso que doy.

A mis padres José Humberto Rojas Tapia y Juana Fernández Delgado por sus consejos e infinito apoyo.

A mis hermanas Mariely del Rosario Rojas Fernández y Mariely de los Milagros Rojas Fernández por su amor, cariño y por su apoyo y buenos consejos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por habernos permitido desarrollarnos intelectualmente, para de este modo cumplir con nuestras metas en la vida.

Al Ing. Iván Vásquez Alfaro, por facilitarnos las herramientas necesarias para el progreso de la investigación, así como su apoyo y confianza brindada durante toda nuestra carrera universitaria.

Agradezco al grupo de investigación ACIMAT, el cual fue partícipe en este camino, por abrirme las puertas y confiar en mi persona, por todo el tiempo y conocimientos durante este periodo, gracias por todo su apoyo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCION	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Antecedentes	17
1.3. Bases teóricas	20
1.3.1. Mortero.....	20
1.3.2. Tipo de morteros	20
A. Morteros de cemento y arena	20
B. Morteros de cal y arena	21
C. Morteros de cemento y cal	22
1.3.3. Clasificación del mortero	22
1.3.4. Propiedades de los morteros en estado plástico	23
A. Manejabilidad.....	23
B. Velocidad de endurecimiento	24
1.3.5. Propiedades de los morteros en estado endurecido	24
A. Retracción.....	24
B. Adherencia.....	25
C. Resistencia.....	25
D. Durabilidad.....	26
E. Apariencia	27
1.3.6. Componentes de un mortero	27
A. Cemento.....	27
A.1. Cemento portland	27
A.2. Materias primas del cemento pórtland	27

A.3.Fabricación del cemento.....	28
B. Tipos de cementos	28
B.1. Cementos pórtland sin adición	28
B.2. Cementos Pórtland adicionados.....	30
C. El agua de mezcla.....	30
C.1. Hidratación del cemento.....	32
C.2. Requisitos de calidad.....	33
D. Agregados.....	33
D.1. Clasificación de agregados.....	33
D.1.1. Por su naturaleza	33
D.1.2. Por su densidad.....	34
D.1.3. Por su origen, forma y textura	34
D.1.4. Agregados para concreto según su tamaño se clasifican en:	34
D.2. Propiedades del Agregado.....	34
1.3.7. Cenizas	37
1.3.8. Características físicas de las cenizas	38
1.3.9. Beneficios del uso de la ceniza en un mortero de cemento	38
1.3.10. Cenizas volantes	39
A. Actividad puzolánica de la ceniza	40
B. Reacción álcali-sílice (RAS)	40
C. Cenizas de bagazo de caña	41
D. Composición de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar (CBCA)	41
1.4. Formulación del problema.....	42
1.5. Objetivos	42
1.5.1. Objetivo general	42
1.5.2. Objetivos específicos.....	42
1.6. Hipótesis.....	42
1.7. Justificación.....	43
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	44
2.1. Tipo de investigación	44
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	44

2.2.1.	Unidad de estudio: Morteros	44
2.2.2.	Población: Morteros de asiento	44
2.2.3.	Muestra.....	44
2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	46
2.3.1.	Técnica de recolección de datos.....	46
2.3.2.	Instrumento de recolección de datos	46
2.4.	Procedimiento de recolección de datos	47
A.	Obtención de materia prima	48
B.	Caracterización de materia prima.....	48
B.1.	Caracterización física del agregado fino.....	48
B.1.1.	Ensayo granulometría del agregado fino	48
B.1.2.	Ensayo del contenido de humedad de los agregados.....	50
B.1.3.	Peso unitario suelto seco y peso unitario compactado seco.....	50
B.1.4.	Gravedad específica (densidad), absorción y porcentaje de vacíos del agregado fino	51
C.	Dosificación de muestra	53
D.	Conformado, secado y curado	53
D.1.	Conformado de probetas	53
D.2.	Secado y curado de probetas	54
E.	Ensayos de probetas	55
E.1.	Ensayo de absorción y porosidad.....	55
E.2.	Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C109)	55
E.3.	ensayo de actividad puzolánica.....	56
F.	Análisis de resultados y estadístico	56
G.	Análisis de costos	57
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		61
3.1.	Resultados de la caracterización del agregado fino.....	61
3.2.	Resultados de los ensayos físico mecánicos.....	62
3.2.1.	Resultados de resistencia a compresión de morteros con ceniza	62
3.2.2.	Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza.....	64
3.2.3.	Resultados de absorción de morteros con ceniza	65
3.2.4.	Resultados de porosidad de morteros con ceniza	67

3.3. Discusión de resultados	69
3.3.1. Discusión de los resultados de caracterización del agregado	69
3.3.2. Discusión de los resultados de DRXs.....	70
3.3.3. Discusión de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	71
3.3.4. Discusión de los resultados de la actividad puzolánica.....	73
3.3.5. Discusión de los resultados del ensayo de absorción	74
3.3.6. Discusión de los resultados del ensayo de porosidad.....	75
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	77
CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
ANEXOS	81
ANEXO A	81
ANEXO B.....	87
ANEXO C	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Morteros de cemento y arena	21
Tabla 1.2. Proporciones de morteros de cal y arena.....	21
Tabla 1.3. Proporciones de morteros de cemento y cal.....	22
Tabla 1.4. Especificaciones de los morteros por propiedad	22
Tabla 1.5. Fluidez del mortero para tipos de estructura y condiciones de colocación	24
Tabla 1.6. Ficha técnica del cemento Portland Tipo I.....	29
Tabla 1.7. Límites permisibles para el agua de mezcla.....	33
Tabla 1.8. Composición química de cenizas volantes	39
Tabla 1.9. Propiedades físicas de cenizas volantes	39
Tabla 1.10. Composición química de ceniza de bagazo de caña.....	41
Tabla 2.1. Variables de estudio de la investigación	44
Tabla 2.2. Matriz de diseño experimental de las variables.....	45
Tabla 2.3. Formato para recolección de datos de granulometría de la arena	49
Tabla 2.4. Formato de contenido de humedad del agregado fino	50
Tabla 2.5. Formato para recolección de datos de peso unitario de agregado fino.....	51
Tabla 2.6. Formato de peso específico y absorción de la arena	53
Tabla 2.7. Recolección de datos para el ensayo de resistencia a la compresión.....	55
Tabla 2.8. Análisis de costos unitarios de muro de ladrillo(amarre de soga, mortero 1:4	57
Tabla 2.9. Análisis de costos unitarios de mortero patrón	58
Tabla 2.10. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 10% de ceniza.....	58
Tabla 2.11. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 20% de ceniza.....	59
Tabla 2.12. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 30% de ceniza.....	59
Tabla 2.13. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 40% de ceniza.....	60
Tabla 3.1. Resumen de las características del agregado fino	61
Tabla 3.2. Porcentajes pasante del análisis granulométrico de agregado fino.....	61
Tabla 3.3. Resultados de compresión de morteros con ceniza volante.....	62
Tabla 3.4. Resultados de compresión de morteros con ceniza de bagazo de caña.	63
Tabla 3.5. Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza volante	64
Tabla 3.6. Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza de bagazo de caña.	64
Tabla 3.7. Resultados de absorción de morteros con ceniza volante.	65

Tabla 3.8. Resultados de absorción de morteros con ceniza de bagazo de caña.	66
Tabla 3.9. Resultados de porosidad de morteros con ceniza de bagazo de caña.	67
Tabla 3.10. Resultados de porosidad de morteros con ceniza volante.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estadísticas de producción de cemento del 2010 – 2020.....	14
Figura 1.2. Depósito de cenizas en su proceso de generación.....	16
Figura 1.3. Efecto del exceso de agua en la resistencia a compresión y adherencia de mortero.....	31
Figura 2.1. Forma de la probeta para el ensayo de resistencia a la compresión.....	44
Figura 2.2. Diagrama del procedimiento experimental de la tesis	47
Figura 2.3. Tamices para ensayo de granulometría.....	49
Figura 2.4. Conformado de probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm.....	54
Figura 2.5. Codificación de probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm	54
Figura 2.6. Resistencia a la compresión de morteros	56
Figura 3.1. Curva granulométrica del agregado fino.....	69
Figura 3.2. Difracción de rayos x de ceniza volante	70
Figura 3.3. Difracción de rayos x de ceniza de bagazo de caña de azúcar.....	70
Figura 3.4. Resistencia la compresión de morteros con cenizas.	72
Figura 3.5. Actividad puzolánica de morteros con cenizas.	73
Figura 3.6. Absorción de morteros con cenizas.	74
Figura 3.7. Porosidad de morteros con cenizas.	75

RESUMEN

Como parte de la iniciativa por la sostenibilidad del Cemento, la industria del cemento ha venido considerando el reciclaje de algunos residuos industriales como un componente de las mejores prácticas para el desarrollo sostenible, que buscan disminuir la contaminación y darle un valor agregado a estos sub - productos para solucionar problemas.

La presente investigación tuvo como objetivo principal buscar dar la importancia a residuos industriales como son las cenizas volantes, generada del carbón antracítico utilizado para prender las calderas para la fabricación de papel y cartón en la empresa de Trupal y las cenizas de bagazo de caña de azúcar, generada del bagazo de la última molienda que es llevado a una bagacera después de haber secado se traslada a las calderas como combustible de la empresa azucarera Laredo; en su uso como sustituto parcial del cemento durante la elaboración de morteros para asiento.

Para esta investigación se realizaron 50 probetas cúbicas de 50 mm de lado, conformadas a base de cemento tipo I Pacasmayo, arena gruesa, ceniza volante y ceniza de bagazo de caña de azúcar. Los porcentajes de reemplazo que se utilizaron en la investigación fueron de 10%, 20%, 30%, 40%, realizando 5 repeticiones por cada dosificación, lo que dio como resultados 200 pruebas aleatorias realizadas, curadas por 28 días.

Como variables respuestas se analizaron la resistencia a la compresión de los morteros según la norma ASTM 109, el índice de puzolánica según la norma ASTM 311, absorción y porosidad de los morteros según la norma ASTM C 642; todos basados en sus respectivas normativas.

Los resultados del patrón es 298 kg/cm² de compresión, 100% de índice de puzolanidad, 6% de absorción y los valores de 13% de porosidad. Concluyendo que el mejor porcentaje de ceniza como reemplazo parcial de cemento fue de 20% para ambos tipos de cenizas utilizadas en la que se obtuvo 343 kg/cm² y 335 kg/cm² de compresión, también se obtuvieron 114% y 112% de índice de puzolanidad, los valores de 6% y 10% de absorción y los valores de 14% y 19% de porosidad para morteros con CBCA y CV respectivamente. Se concluyó que la CBCA brindó la capacidad de obtener mejores propiedades físico mecánicas a los morteros de asiento.

Palabras clave: puzolanas, ceniza volante, ceniza de bagazo de caña.

ABSTRACT

As part of the initiative for the sustainability of Cement, the cement industry has been considering the recycling of some industrial waste as a component of the best practices for sustainable development, which seek to reduce pollution and give added value to these sub-products to solve problems.

The main objective of this research was to seek to give importance to industrial waste such as fly ash, generated from the anthracitic coal used to ignite the boilers for the manufacture of paper and cardboard in the Trupal company and the ashes of sugar cane bagasse, generated from the bagasse from the last milling that is taken to a bagasse to dry and then taken to the boilers as fuel for the Laredo sugar company; in its use as a partial substitute for cement during the preparation of settling mortars.

For this investigation, 50 cubic test tubes of 50 mm side were made, made of Pacasmayo type I cement, coarse sand, fly ash and sugar cane bagasse ash. The replacement percentages used in the research were 10%, 20%, 30%, 40%, with 5 repetitions for each dosage, which resulted in 200 random tests performed, cured for 28 days.

As response variables, the compressive strength of the mortars according to the ASTM 109 standard, the pozzolanic index according to the ASTM 311 standard, absorption and porosity of the mortars according to the ASTM C 642 standard were analyzed; all based on their respective regulations.

The results of the pattern are 298 kg / cm² compression, 100% pozzolanity index, 6% absorption and the values of 13% porosity. Concluding that the best percentage of ash as a partial replacement for cement was 20% for both types of ashes used in which 343 kg / cm² and 335 kg / cm² of compression were obtained, 114% and 112% of compression index were also obtained. pozzolanity, the values of 6% and 10% of absorption and the values of 14% and 19% of porosity for mortars with CBCA and CV respectively. It was concluded that CBCA provided the ability to obtain better physical-mechanical properties to bedding mortars.

Keywords: pozzolans, fly ash, cane bagasse ash.

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1. Realidad problemática

En el Perú construcción es una de las industrias que más dinero mueve año a año debido a su constante crecimiento, por eso mismo el consumo de agregados y de cemento para la elaboración de concreto y morteros también se elevan. Según el análisis realizado por la asociación de productores de cemento su producción se vio incrementada a través de los años (ver figura 1.1.).

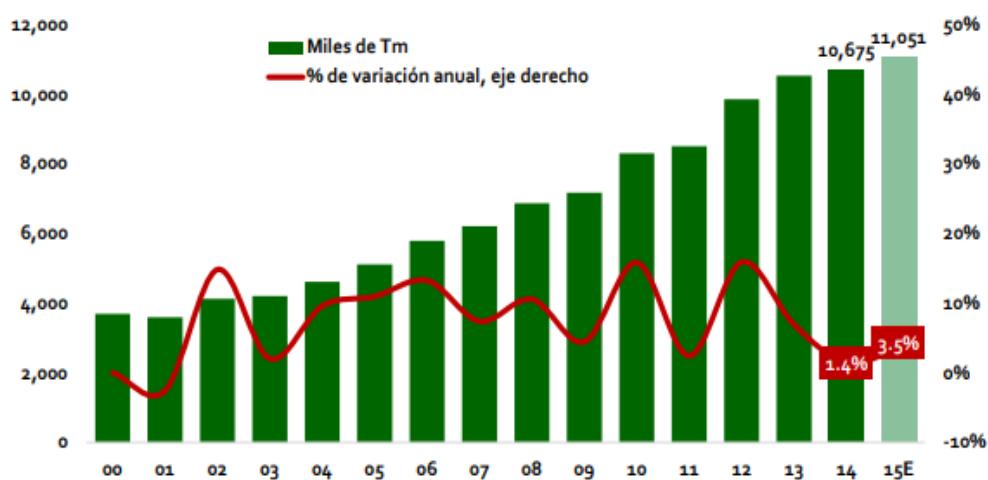


Figura 1. Estadísticas de producción de cemento del 2010 – 2020.

Fuente: (Asociación de productores de cemento)

El alto consumo de la materia prima para la elaboración del cemento genera un desgaste medio ambiental notorio debido al consumo de la gran cantidad de materia prima natural requerida (arcilla y caliza) y la alta producción de gases intensificadores del efecto invernadero principalmente dióxido de carbono arrojados a la atmósfera.

Actualmente en La Libertad se encuentra la empresa de cemento Pacasmayo una de las más grandes cementeras del país; esta empresa produce distintos tipos de cementos, citando los tipos de cemento se tienen: Tipo I que es el cemento natural y los cemento ICo, Ms, tipo V que son cementos adicionados que, justamente algunos de ellos son producto de la mezcla del cemento natural con adiciones que muchas veces son materiales reciclado con composición química que le puede brindar propiedades específicas a los cementos. La necesidad actual de construir viviendas ha aumentado debido al aumento exponencial de la población y con eso el aumento vertical de las ciudades debido a que ya no hay espacio horizontal donde habitar. Todo esto lleva a pensar en un único problema basado en la

creación de nuevos lugares donde vivir y es el excesivo incremento en el requerimiento de materiales de construcción como lo es el caso del cemento, siendo esta una de las principales causas por el que el CO₂ es producido.

Esto trae consecuencias desastrosas para la capa de ozono y para el calentamiento global esto va en aumento año tras año, siendo el último dato tomado en el 2014 de 36 millones de kilo toneladas, en comparativa con 1960 que fue de 9 millones de kilo toneladas (Banco Mundial, 2010). Por lo que se busca un cemento ecológico que disminuya el impacto atmosférico y que además posea mejores propiedades que un cemento normal.

Por lo anteriormente expuesto se pretende buscar materiales que ayuden a la elaboración de cemento ecológico que tengan la capacidad de generar una pasta aglomerante e hidráulica que le proporcione al concreto o al mortero una buena resistencia a la compresión, absorción y porosidad moderada, durabilidad ante medios físicos y químicos agresivos y que también le brinde buena fluidez del producto en su estado fresco.

La producción del cemento ecológico consigue por un lado reciclar los residuos; lo que, a la larga, al reducir el consumo de recursos materiales ayuda a preservarlos, además evita la emisión directa de Gases de Efecto Invernadero a través de la eliminación de la calcinación de la materia prima.

Uno de los residuos son las llamadas cenizas volantes o cenizas de materiales orgánicos originados por la combustión del carbón pulverizado mediante molinos, posteriormente con o sin combustibles secundarios, se ingresa dentro del horno por medio de una corriente de aire caliente a elevada velocidad, y estando en suspensión se quema. Durante el proceso las partículas inorgánicas no sufren combustión completa y es ahí que se producen las cenizas; dependiendo también del tipo de carbón, de la finura de molido y de la permanencia en la zona caliente. Las cenizas se ven como una alternativa adecuada para su uso en la elaboración de cemento ecológico; esto es porque las cenizas pueden tener una cierta cantidad de Sílice en su composición que ayudaría en la formación de pasta aglomerante que forma el cemento hidratado.

Las empresas que generan ceniza volante son todas las centrales termoeléctricas y aquellas que usan carbón para la combustión de las calderas de alto horno como por ejemplo siderperu, aceros Arequipa y las que generan ceniza de bagazo de caña de azúcar todas aquellas azucareras como por ejemplo Agroindustrial Cartavio, Agroindustrial Casagrande.



Figura 1.2. Depósito de cenizas en su proceso de generación

En la libertad existe empresas como Trupal en Santiago de Cao, la Agroindustrial Laredo; que para la fabricación de sus productos generan cenizas como sub producto en sus calderas, lo que genera una acumulación de cenizas en el tiempo y por lo tanto una contaminación en los pueblos cercanos, exponiendo a los pobladores a sufrir de Silicosis (adherencia de sílice en los pulmones) lo que le generaría grandes problemas respiratorios.

El Perú público el decreto Legislativo N°1278 sobre el tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales en la que se menciona acerca de las metodologías que se deben tener en cuenta tanto para la disminución de emisión de CO₂ como también la disminución de la cantidad de residuos sólidos y contaminación ambiental general en el país.

En Perú, los morteros de albañilería tienen una clasificación en tipo P y NP, que son usados en muros portantes y no portantes, las dosificaciones volumétricas de cemento: arena están comprendidas entre 1:3 a 1:6. (Norma técnica E-070 Albañilería, 2006)

Dentro de las empresas que venden morteros preparado están Pacasmayo, Unicon, Topex, morteros Transex presentando ventajas como permitir ajusta la consistencia para obtener la trabajabilidad deseada, baja retracción, no corrosivo, ni toxico; pero además, presenta desventajas como no garantizar el control de los agregados, de la composición granulométrica de los áridos, exactitud en la dosis de cemento, aditivo, agua, ni ofrecen morteros libres de contaminantes y materia orgánica, lo que genera más adelante un mal curado, aparición de fisuras y grietas, fallas de adherencia y de resistencia.

Debido a que se busca la reducción de la contaminación ambiental con el uso de las cenizas y así mismo a que es un material que puede utilizarse en la elaboración de un cemento ecológico, lo que también ayudaría a la disminución del uso de materiales no renovables, es que se busca darle una aplicación directa a este material, como podrían ser los morteros de asiento. Este tipo de morteros generalmente carecen de buenas propiedades por malos materiales o malos diseños lo que la durabilidad en obra es baja.

La elaboración de morteros a base de un cemento ecológico es una alternativa futurista y muy buena: por lo que la investigación radicaría en encontrar la cantidad y el tipo de ceniza necesaria para su uso con las que le brinde muy buenas propiedades en estado fresco y endurecido a un mortero de asiento.

1.2. Antecedentes

Calderón L y Martínez S (2017) investigaron la “Influencia del tamaño de partícula y del porcentaje de reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por cemento portland tipo I sobre la resistencia a la compresión, actividad puzolánica y reactividad álcali-sílice en morteros modificados”, la investigación se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo –Perú. Las materias primas que se emplearon: ceniza de bagazo de caña de azúcar retirada de los calderos de la Empresa Agroindustrial Laredo, ubicada en el distrito de Laredo, provincia Trujillo – Perú, cemento, arena fina y agua. Los porcentajes de reemplazo de cemento por CBCA que en esta investigación se emplearon, fueron de 10, 20 y 30 % en peso, con una relación agua/cemento de 0.55 y una proporción de arena: cemento de 3:1, se trabajó con tamaños de partícula de 48 μm y 75 μm . Las probetas por un periodo de 90 días se dejaron curar en una solución de agua saturada con cal para ensayo de resistencia a la compresión y 16 días en una solución de hidróxido de sodio para ensayo de reactividad álcali – sílice. Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que al aumento del porcentaje de reemplazo de CBCA por cemento, del mismo modo el aumento de tamaño de partícula, la resistencia a la compresión y la actividad puzolánica aumentan notablemente, en lo concerniente a la reactividad álcali – sílice propiedad relacionada directamente con el incremento en el porcentaje de reemplazo y el tamaño de partícula. Posteriormente se estableció que los datos de la muestra patrón registrados son de 83 kg/cm^2 con respecto a la resistencia a la compresión, 100% índice puzolánico y 0.04 % de reactividad álcali – sílice en ambos tamaños de partículas 75 micras y de 48 micras; determinando así que en un mortero con 20% de CBCA de reemplazo y un tamaño de partícula de 48 μm , se origina mayor resistencia a la compresión que es 110 Kg/cm^2 y un mayor porcentaje de la actividad puzolánica con un tamaño de partícula de 75 μm que es 32%; la reactividad álcali – sílice aumento un máximo de 0.09 % de manera proporcional al incremento de porcentaje de reemplazo de CBCA y el tamaño de partícula.

Farfán M, Pastor H (2018) realizaron la investigación “Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto en la Universidad Cesar Vallejo – Perú. En

esta investigación se estima el efecto de la ceniza de caña de azúcar (CBCA) en la resistencia del concreto de 210 kg/cm^2 , reemplazando parcialmente CBCA por el cemento, en proporciones de 20 y 40%. Los resultados obtenidos aportan con la idea de que la resistencia a la compresión del concreto disminuyó con el incremento de la proporción de ceniza, por debajo de la mezcla de diseño. Los resultados obtenidos gracias al ensayo de resistencia a la compresión en las probetas patrón obtuvieron un promedio de 212 kg/cm^2 para las muestras estándar, y luego reemplazando parcialmente CBCA por el cemento portland Tipo I, en proporciones de 20 y 40%. Los resultados muestran que la resistencia a la compresión del concreto disminuyó con el incremento de la proporción de ceniza, por debajo de la mezcla de diseño. El concreto con 20% de CBCA tuvo mejor comportamiento a compresión a los 7 y 28 días de curado, aunque ambas estuvieron 59% por debajo del concreto estándar (control). Esto sugiere no recomendar la CBCA para el uso estructural por su disminuida resistencia a la compresión.

Ramos C, Sotomayor G (2019) investigaron el “Diseño de mortero empleando ceniza de cascaras de arroz” en la Universidad Señor de Sipán. Lambayeque - Perú. Durante esta investigación se realizaron 525 muestras de morteros patrón (cemento, arena y agua potable), adicionado y sustituido con 5%, 10% y 15% de cenizas de cáscara de arroz respecto al peso del cemento; de las cuales 462 muestras con proporciones de 1:3.5, 1:4, 1:5 y 1:6 se destinaron a la evaluación de las propiedades físicas (mortero en estado fresco) y mecánicas (mortero en estado endurecido) en un periodo de 7, 14 y 28 días; dando como resultado 275 kg/cm^2 , 250 kg/cm^2 y 189 kg/cm^2 según corresponda a las diferentes proporciones; las muestras restantes se utilizaron para determinar las propiedades mecánicas de la albañilería simple (pilas y muretes) a los 28 días y las muestras restantes se utilizaron para determinar las propiedades mecánicas de la albañilería simple (pilas y muretes) a los 28 días, en donde se utilizó un mortero de 1:4 para el asentado de las unidades de albañilería con juntas de 1.5 cm. Los resultados obtenidos aportan a mi investigación indicando que se alcanzaron mejores resistencias en base al mortero patrón con 10% de sustitución.

Libreros J, Henaó S (2016) investigaron “Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo para la elaboración de morteros” en la Pontificia Universidad Javeriana. Cali. estudiaron mezclas de morteros con reemplazos del 10, 20 y 30% del cemento portland (en peso) y se compararon con mezclas

sin reemplazo alguno como referencia. Los resultados indican que, aunque hubo un retraso en el proceso de fraguado en los morteros con reemplazo de cemento portland en relación al mortero de referencia, las resistencias a compresión a los 56 días no solo no presentaron diferencia significativa, sino que los morteros con remplazo del 10 y 20% superaron la resistencia a compresión de la muestra de referencia en 2.5 y 5.0%, respectivamente. Del mismo modo, las resistencias a flexión de los morteros con reemplazo de cemento portland resultaron mayores que las del mortero de referencia. En el mejor caso, el mortero con reemplazo del 20%, se encontró una resistencia a flexión 40% mayor que la del mortero de referencia. Los resultados obtenidos en este estudio aportan a mi investigación indicando el gran potencial que tiene la ceniza del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo.

Lugo J (2014), investigo el “Efecto de las cenizas volantes tratadas térmicamente como sustituto parcial del cemento en morteros en la Universidad de San Buenaventura de Colombia, se estudió el efecto del tratamiento térmico en las cenizas volantes de dos ingenios azucareros del departamento del Valle del Cauca para su posible uso como adición del cemento en morteros, evaluando las propiedades mecánicas a compresión y consecuente índice de actividad puzolánica. Previo al tratamiento térmico efectuado a dos temperaturas de 750°C y 900°C, se realizó la caracterización morfológica, química y térmica de la ceniza volante, a partir de las técnicas de caracterización fluorescencia de rayos X, microscopía electrónica de barrido y Termogravimetría. Posterior a ello se elaboraron morteros sin ceniza, con ceniza sin tratamiento y con ceniza tratada térmicamente, la cual se sustituyó el 20% en peso del cemento, para así evaluar el índice de actividad puzolánica a la edad de 28 días y las resistencias mecánicas a tres edades (14,28 y 60 días). El proyecto de grado aporta a mi investigación que cualquiera de las temperaturas estudiadas sea 750°C o 900°C influencia el aumento de la actividad puzolánica de las cenizas estudiadas y mejoran satisfactoriamente las propiedades mecánicas de los morteros.

Argiz C, Meléndez E, (2012) estudiaron el “Efecto de la adición de mezclas de ceniza volante y ceniza de fondo procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de cementos Portland” en la Universidad de Madrid, España, emplearon un cemento CEM I 42,5 N de la UNE-EN 197-1:2000 (2) como material de referencia y como materia prima para elaborar los diferentes cementos de adición de cenizas volantes y de cenicero. Los

morteros de ensayo se fabricaron con arena normalizada alemana NORMSAND y agua destilada. Se utilizaron las cenizas volantes y de cenicero de la central termoeléctrica de ENDESA-Carboneras (Almería) debido a las adecuadas propiedades químicas y físicas de la ceniza volante. Esta central termoeléctrica tiene una potencia de 1.158.900 Kw y consume carbón de Suráfrica (90%) y Colombia (10%). Las cenizas de cenicero o de fondo se molieron a la finura del cemento (residuo del 5-8% en el tamiz de 45 μ m). En conclusión, la utilización de mezclas de cenizas de fondo o cenicero con cenizas volantes sustituyendo a éstas últimas entre el 0% y el 100%, aporta a mi investigación dando a conocer que el comportamiento mecánico de los morteros estudiados en los que el contenido máximo de adición ha sido del 35%, afecta a determinados aspectos micro estructurales, como la cantidad y distribución de poros capilares a partir de una mezcla de 10%

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Mortero

El uso del mortero en la construcción ha sido muy diverso; se usa ampliamente como material de revoque o repello, como material de pega en la mampostería y en los últimos tiempos en la mampostería estructural.

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso. (Sánchez D, 1987)

De acuerdo con su origen, se puede encontrar morteros premezclados en planta, premezclados secos o elaborados en obra.

De acuerdo con su dosificación los morteros pueden ser (1:3 o 1:4, etc), en relación de cemento: arena respectivamente, estos pueden arrojar distintas resistencias a la compresión de los 28 días de curado en razón de la granulometría de la arena utilizada. (Salamanca R, 2001)

1.3.2. Tipo de morteros

Los tipos de morteros pueden variar en función al aglomerante que se emplea. En cada caso advertiremos cuáles serán las proporciones adecuadas y cuál el uso acostumbrado para cada tipo de mortero. (Valencia et al, 2012)

A. Morteros de cemento y arena

El mortero de cemento es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa con conglomerante.

Se utiliza para:

Para enlucidos y zócalos, se utiliza una parte de cemento y dos de arena.

Para enlucidos de pavimento, bóvedas tabicadas y muros muy cargados utilizar una parte de cemento y tres de arena.

Para muros cargados o fábrica de ladrillos se puede utilizar un tipo de mortero más ordinario de una parte de cemento por cinco de arena.

Para morteros más pobres, utilizaremos siempre una parte de cemento por 6, 8 o 10 partes de arena. (Valencia et al, 2012)

Tabla 1.1. Morteros de cemento y arena

Tipo de mortero	Proporción en volumen		Kg cemento por m ³	Empleo preferente	Resistencia Kg/cm ²
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas	
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados.	
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados	98
Pobres	1	6	250	Fabrica cargadas	75
	1	8	200	Muros sin carga	50
	1	10	170	Rellenos para solado	30

Fuente: Valencia et al, 2012

B. Morteros de cal y arena

Los morteros de cal, conformados por cal, arena y agua, se distinguen por su flexibilidad, lo que posibilita la realización de una diversidad de trabajos artesanales. Por medio del correcto uso de los morteros de cal se obtienen terminaciones superiores, más flexibles, resistentes y duraderas. El uso de los morteros de cal es:

Para enlucidos se utilizará una parte de cal por una de arena.

Para muros de ladrillos, una parte de cal y tres de arena.

Para muros de mampostería, una parte de cal por cuatro de arena. (Valencia et al, 2012)

Tabla 1.2. Proporciones de morteros de cal y arena

Proporción en volumen

Cal	Arena	Empleo preferente
1	1	Enlucidos
1	2	Revoques
1	3	Muros de ladrillo
1	4	Muros de mampostería

Fuente: Valencia et al, 2012

C. Morteros de cemento y cal

Los morteros que son elaborados únicamente con cal, llamados “morteros de cal”, son de uso más sencillo, más flexibles, su endurecimiento es más lento y cuando secan, no son impermeables. Para tener un mortero de fácil de trabajo, con una adecuada solidez, se debe mezclar cal y cemento en proporciones variables según sea su destinación.

Para muros cargados e impermeables una parte de cemento, una cal y 6 de agua.

Para muros poco cargados, una de cemento, una de cal y 8 de agua.

Para cimientos, una de cemento, una de cal y 10 de agua.

Para revoques impermeables, cuatro partes de cemento, una de cal y 12 de agua.

(Valencia et al, 2012)

Tabla 1.3. Proporciones de morteros de cemento y cal

Proporción en volumen			Empleo preferente
Cemento	Cal	Agua	
1	1	6	Muros cargados
1	1	8	Muros poco cargados
1	1	10	Cimientos
4	1	12	Revoques impermeables

Fuente: Valencia et al, 2012

1.3.3. Clasificación del mortero

La norma ASTM C-270, hace una clasificación de los morteros de cuatro tipos, designándolos como M, S, N, O. Esta clasificación del tipo de mortero bajo la especificación de propiedades depende de la resistencia a la compresión, la retención de agua y el contenido de aire. (Arriola, 2009).

Tabla 1.4. Especificaciones de los morteros por propiedad

Mortero	Tipo	Resistencia
		Kg/cm ² (MPa)
Cemento – cal	M	176(17.2)
	S	127 (12.4)
	N	53 (5.2)
	O	25 (2.4)
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)
	S	127 (12.4)
	N	53 (5.2)

Fuente: Arriola, 2009

El tipo M es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros morteros, se utiliza en mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, altas cargas laterales de adobe, vientos fuertes o temblores. Debido a su durabilidad superior, se debe usarse en estructuras en contacto con el suelo tales como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de agua servidas y pozos.

El tipo S alcanza alta resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar, se utiliza para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia, también se utiliza donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos o para pegar baldosas de barro cocido.

El tipo N es un mortero de propósito general, utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno para paredes internas y divisiones. Este mortero de mediana resistencia representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.

El tipo O es un mortero de baja resistencia y mucha cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. Se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo. (Arriola, 2009)

1.3.4. Propiedades de los morteros en estado plástico

A. Manejabilidad

Es una medida de la facilidad de manejo de la mezcla, dicho en otras palabras, de la facilidad para permitir utilizar.

La manejabilidad está vinculada con la firmeza de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se halla en estado plástico; sujeto a la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC N 111, aunque en la práctica, hasta ahora, se ha definido por la apreciación del albañil. En la se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo a los tipos de construcción y a los sistemas de colocación.

Retención de agua: Referido a la capacidad del mortero de conservar su plasticidad al quedar expuesto con la superficie en la que será ubicado, por ejemplo, un ladrillo.

Para optimizar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La retención de agua interviene en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, ya que un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento.

B. Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad. (Gutiérrez, 2015)

Tabla 1.5. Fluidez del mortero para tipos de estructura y condiciones de colocación

Consistencia	Fluidez (%)	Condición 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: Gutiérrez, 2015

1.3.5. Propiedades de los morteros en estado endurecido

A. Retracción

Debido primordialmente a la retracción de la pasta de cemento y se visualiza incrementada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento. Para optimizar esta retracción y evitar agrietamientos es ventajoso utilizar arenas con granos de textura rugosa, y considerar además que en clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse más rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles. La retracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cemento de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar.

B. Adherencia

Es la capacidad de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero.

La adherencia es probablemente la más importante propiedad de los morteros, especialmente porque su función primordial es adherir unidades de mampostería. El termino general “Adherencia” se refiere a una propiedad específica que define el grado de contacto entre el mortero y la unidad de mampostería, y puede evaluarse con base en lo siguiente:

La resistencia a la tensión o la fuerza necesaria para separar las unidades.

La resistencia al deslizamiento por corte entre mortero-unidades.

La resistencia a la separación mortero-unidad por flexión.

Las determinaciones usuales en las normas, son las de adherencia por tensión y de adherencia por flexión. Una pobre adherencia contribuye en la penetración de humedad a través de las áreas. Los morteros deben desarrollar una buena adherencia para poder soportar los esfuerzos estructurales, sísmicos, por viento, por cambios de temperatura o contracción de los materiales.

C. Resistencia

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del mortero, principalmente cuando se le utiliza como componente de elementos de naturaleza estructural, por ejemplo, como mortero de junta en albañilerías, para relleno de albañilerías armadas o como mortero proyectado. Al utilizarlo en estas condiciones, el mortero queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre el elemento estructural, si estas sobrepasan su capacidad resistente se producirán fisuras o fracturas, que pueden llegar a afectar la seguridad de la estructura. Por este motivo, el mortero deberá tener una resistencia tal que las tensiones producidas no sobrepasen su capacidad resistente, lo cual hace necesario conocer esa característica.

Si el mortero es manipulado como pega, proporcionará una unión resistente. Si el mortero va a ser empleado para tolerar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión. Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos. El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento. Por último, el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados.

La resistencia a la compresión de los morteros es algunas veces usada como criterio para seleccionar el tipo de mortero, debido a su fácil medición y a su relación con otras propiedades como la resistencia a la tensión. La resistencia a la compresión depende en gran manera del contenido de cemento, de la cantidad de agua utilizada y, en menor grado, del tipo de agregado utilizado. La resistencia a compresión aumenta con el incremento de cemento, pero disminuye con el incremento de cal, arena, agua o contenido de aire.

D. Durabilidad

Al igual que en el concreto, la durabilidad se define como la resistencia que presenta el mortero ante agentes externos como: Baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. En general, se puede decir que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad.

La durabilidad del mortero es la resistencia a los agentes externos, como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.

E. Apariencia

La apariencia del mortero posteriormente del fraguado representa un trascendental papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para la obtención de una adecuada apariencia es básico la aplicación morteros de buena plasticidad. (Gutiérrez, 2015)

1.3.6. Componentes de un mortero

A. Cemento

Los cementos son aquellos que, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua. (Anter, 2010)

A.1. Cemento portland

Tiene como base el Clinker de cemento portland que está compuesto principalmente por silicato tricálcico (C_3S), silicato bicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y aluminoferrito tetracálcico (C_4AF), además de componentes secundarios como el yeso. (Anter, 2010)

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Pórtland} = \text{Clinker Pórtland} + \text{Yeso}$$

El cemento Pórtland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad (Anter, 2010)

A.2. Materias primas del cemento pórtland

Las principales materias primas necesarias para la fabricación de un cemento Pórtland son:

a. Materiales calcáreos: Deben tener un adecuado contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$) que será entre 60% a 80%, y no deberá tener más de 1.5% de magnesia. Aquí tenemos a las margas, cretas y calizas en general estos materiales suministran el óxido de calcio o cal.

b. Materiales arcillosos: Deben contener sílice en cantidad entre 60% y 70%. Estos materiales proveen el dióxido de silicio o sílice y también el óxido de aluminio o alúmina, aquí tenemos a las pizarras, esquistos y arcillas en general.

c. Minerales de fierro: Suministran el óxido férrico en pequeñas cantidades. En algunos casos éstos vienen con la arcilla. **d. Yeso:** Aporta el sulfato de calcio. (Torres A, 2004)

A.3.Fabricación del cemento

La fabricación del cemento es una actividad industrial del procesado de minerales que se divide en 3 etapas básicas:

- Obtención de las materias primas (materiales calcáreos y arcillas principalmente), para conseguir la composición deseada de óxidos reactivos al agua en la producción del clinker.
- Molienda y cocción de las materias primas, realizada con equipos mecánicos rotatorios que reducen el tamaño de las partículas de materias para que las reacciones químicas de cocción en el horno, puedan ejecutarse de forma apropiada. El material adquirido debe ser homogeneizado para garantizar la calidad del producto final de la cocción o clinker y la correcta operación del horno.
- Molienda del cemento, con equipos mecánicos, sometiendo la mezcla de materiales a impactos de cuerpos metálicos o fuerzas de compresión elevadas, junto con la molienda conjunta del clinker, yeso (en proporciones bajas, su función es de retardador de fraguado) y otros materiales denominados “adiciones” (que son los que dan características especiales a los cementos) termina la fabricación del cemento. El grado de finura de molido da las características resistentes, así, a mayor finura de molido aumenta la clase resistente.
- Almacenamiento, en silos para servir ensacado o a granel. (Anter, 2010)

B. Tipos de cementos

B.1. Cementos pórtland sin adición

Constituidos por Clinker Pórtland y la inclusión solamente de un determinado porcentaje de sulfato de calcio (yeso). Aquí tenemos según las Normas Técnicas:

Tipo I: Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo

Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación $\frac{3}{4}$.

Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.

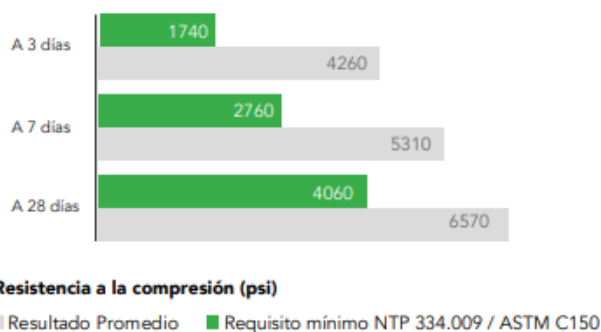
Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos. (Torres A, 2004)

Tabla 1.6. Ficha técnica del cemento Portland Tipo I

Cemento tipo i “estructural”	
Descripción	Gracias a su nuevo diseño de Clinker, se logra un concreto más durable brindando alta resistencia a todas las edades.
Usos	Cemento de uso general
Atributos	Diseño que supera los requisitos de las normas nacionales Alta resistencia a todas las edades <ul style="list-style-type: none"> • Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra. • El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo protegido de la humedad • Almacenar en pilas de menos de 10 sacos • Utilizar agregados y materiales de buena calidad • A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua

Resistencia a la compresión



Requerimientos químicos					
Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas de ensayo	Resultado
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	2.1
SO ₃	Máximo	3.0	%	NTP 334.086	2.8
Perdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	3.1
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6
Requerimientos físicos					
Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas de ensayo	Resultado
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.078	8
Finura, Superficie específica	Mínimo	2.600	cm ³ /g	NTP 334.002	4000
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.07
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.4 (4260)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	36.6 (5310)
28 días	Mínimo	28.0	MPa (psi)	NTP 334.051	45.3 (6570)

Tiempo de Fraguado Vicat					
raguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	139
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	250
Ventajas			<ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg granel y big bag de 1TM • Fecha y hora de envasado: para que utilices el cemento mas fresco • Fecha de vencimiento: para aprovechar de mejor manera sus propiedades 		

Fuente: Ficha Informativa de Pacasmayo

B.2. Cementos Pórtland adicionados

Contienen además de Clinker Pórtland y Yeso, 2 o más constituyentes inorgánicos que contribuyen a mejorar las propiedades del cemento. (Ej.: puzolanas, escorias granuladas de altos hornos, componentes calizos, sulfato de calcio, incorporadores de aire). Aquí tenemos según Normas técnicas: Cementos Pórtland Puzolánicos (NTP 334.044)

Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP: Contenido de puzolana entre 15% y 40%.

Cemento Pórtland Puzolánico Modificado Tipo I (PM): Contenido de puzolana menos de 15%. $\frac{3}{4}$ Cementos Pórtland de Escoria (NTP 334.049)

Cemento Pórtland de Escoria Tipo IS: Contenido de escoria entre 25% y 70%.

Cemento Pórtland de Escoria Modificado Tipo I (SM): Contenido de escoria menor a 25%.

Cementos Pórtland Compuesto Tipo 1 (Co) (NTP 334.073): Cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Pórtland y materiales calizos, hasta un 30% de peso. (Torres A, 2004)

C. El agua de mezcla

Las aguas potables y las que no contengan sabores u olores pueden ser empleadas para elaborar la mezcla, no obstante, algunas aguas no potables consiguen también ser usadas si cumplen con algunos requisitos, es habitual en nuestro país trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades. El estudio de las características del agua a utilizar en la mezcla del mortero adquiere gran importancia ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante (cemento) para lograr:

La formación de gel

Se define como gel a la parte sólida de la pasta la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

En estado fresco

Facilitan una adecuada manipulación y colocación de la misma.

En estado endurecido

La convierten en un producto de las propiedades y características deseadas. Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque esta velocidad determinara el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del mortero. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de la molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

Relación agua/cemento

Relación agua/cemento: utilización de bajas relaciones a/c compatibles con la trabajabilidad del mortero. La relación a/c idónea también depende del TM del agregado utilizado, la granulometría, la relación agregado/cemento y el uso de aditivos. Por esta razón, aunque se recomiendan relaciones agua cemento cercanas a 0.30, este valor puede variar ante la influencia de las variables anteriores. (Fernández y Navas, 2011)

La cantidad de agua es posiblemente un aspecto mal comprendido del mortero, probablemente debido a la confusión entre los requerimientos del mortero y del concreto. Los requerimientos de agua del mortero son bastantes diferentes de los del concreto en donde se requiere una baja relación A/C (agua/cemento).

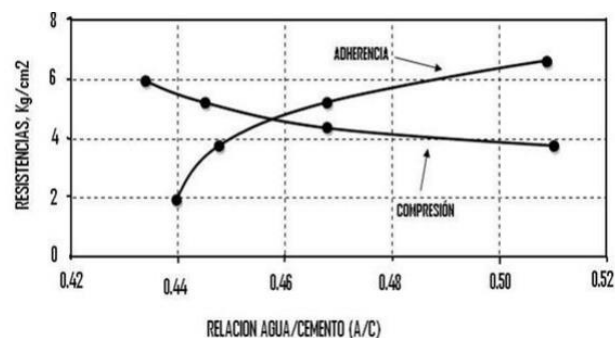


Figura 1.3. Efecto del exceso de agua en la resistencia a compresión y adherencia del mortero

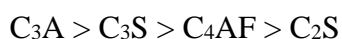
Fuente: Folleto Morteros hidráulicos, generalidades y selección. ISCYC. 2002.p 7

Curado del mortero

El aumento de resistencia continuará con la edad mientras se encuentre cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorablemente la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto sea aproximadamente del 80% o la temperatura del concreto descienda por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene. (Torres A, 2004)

C.1. Hidratación del cemento

Hidratación del cemento Portland. La hidratación del cemento Portland lleva asociada una secuencia de reacciones químicas entre las fases del clínker, el sulfato cálcico y el agua, que conducen primero al fraguado y posteriormente al endurecimiento del material. La velocidad con la cual las distintas fases del cemento Portland reaccionan con el agua es diferente y se ordena de la siguiente manera:



Los aluminatos reaccionan primero, y son los principales responsables del fraguado, es decir, la solidificación de la pasta de cemento. La hidratación del C_3A y del C_4AF , en presencia de yeso, da lugar principalmente a sulfoaluminatos hidratados de calcio. El endurecimiento de la pasta de cemento, es decir, el desarrollo de resistencia que sigue a la solidificación, está gobernada por la hidratación de los silicatos. La hidratación del C_3S y del C_2S da lugar a silicatos hidratados de calcio formando un gel rígido que se indica como S-C-H. Está compuesto de partículas extremadamente pequeñas con una estructura laminar que tienden a aglomerarse en formaciones de unas pocas micras de tamaño, caracterizadas por espacios interpaginarios de pequeñas dimensiones (< 2 nm) y por una gran área superficial (100-700 m^2/g). (Lorca, 2014).

Debido a la gran área superficial, el S-CH puede dar una resistencia considerable a la pasta de cemento. Su composición química no está bien definida ya que la relación entre los óxidos de silicio y calcio puede variar según el grado de hidratación, la relación agua/cemento (a/c) y la temperatura (por ejemplo, la relación C/S puede pasar de 1,5 a 2). El S-C-H representa aproximadamente el 50-60% del volumen de la pasta de cemento completamente hidratada (Lorca, 2014)

C.2. Requisitos de calidad

El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites:

Tabla 1.7. Límites permisibles para el agua de mezcla

Descripción		Limite permisible	
Sólidos en suspensión	5000	Ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Fuente: Norma NTP 339.088

D. Agregados

Lo definimos como el conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial dichas dimensiones se encuentran especificadas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

D.1. Clasificación de agregados

D.1.1. Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, los naturales son de uso frecuente, también los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

- a. **El agregado fino**, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- b. **El agregado grueso**, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
- c. **El hormigón**, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera. (Torres A, 2004)

D.1.2. Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

D.1.3. Por su origen, forma y textura

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades.

En términos descriptivos las formas de los agregados pueden ser:

Angular: Sus bordes se encuentran bien delimitados, conformado por la intersección de sus caras (planas) de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular: Evidencian algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada: Bordes desgastados casi eliminados.

Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

Lisa

Áspera

Granular

Vítrea

Cristalina

D.1.4. Agregados para concreto según su tamaño se clasifican en:

Agregados finos (arenas)

Agregados gruesos (piedras). (Torres A, 2004)

D.2. Propiedades del Agregado

El análisis granulométrico, la gravedad específica, la absorción, el contenido de humedad del agregado fino y del grueso y el peso volumétrico compactado en seco del agregado grueso, son propiedades físicas esenciales para los cálculos de la mezcla. Otros ensayos pueden ser aconsejables para trabajos grandes o especiales son el examen petrográfico y ensayos de la reactividad química, durabilidad, resistencia a la abrasión y presencia de

diferentes sustancias dañinas; todos estos ensayos dan información valiosa para juzgar la calidad final del concreto y para proyectar las mezclas. (Hernández y Hernández, 1999).

a) Análisis Granulométrico

Se da ese nombre a la operación de separar una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales contiene partículas del mismo tamaño. Los tamices son aberturas cuadradas y sus propiedades son descritas en la norma británica BS 410. (Hernández y Hernández, 1999). Antes de efectuar el análisis granulométrico es preciso secar la muestra con aire, a fin de evitar que los terrones de partículas finas se clasifiquen como si fueran partículas gruesas, así como para que no se tapen los tamices finos. (Hernández y Hernández, 1999).

Las normas que se aplican a los agregados son: ASTM C33, ASTM C144. En las cuales se establece que: las cantidades de agregado fino que pasan los tamices N° 50 y 100 afectan la manejabilidad, facilitan mejores acabados, la textura superficial y la exudación del concreto. (Hernández y Hernández, 1999).

En las especificaciones se permite que el tamiz N°50 deje pasar del 10 al 30%. Un agregado cuyas características son óptimas en su totalidad dará un buen concreto. (Hernández y Hernández, 1999).

El agregado fino no debe tener más del 45% retenido entre dos tamices estándar consecutivos. Otro requisito, para que la mezcla sea trabajable, es que debe contener suficiente material cuyo tamaño sea menor de un tamiz de 300 micrones (N° 50 ASTM) (Hernández y Hernández, 1999).

Los agregados de granulometrías discontinuas son aquellos en los cuales faltan algunos tamaños de partículas. La falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación. (Hernández y Hernández, 1999). Los límites granulométricos para agregados finos, como es analizado en el laboratorio de Concretos, se basan en la norma ASTM C33, que son descritos a continuación. (Hernández y Hernández, 1999).

b) Peso Volumétrico

Los métodos para determinar las masas unitarias volumétricas de los agregados se describen en la norma ASTM C29. La masa unitaria volumétrica de los agregados para usarse en varios tipos de concreto es: para concreto aislante liviano, de 100 a 1100; para concreto estructural

liviano de 500 a 1100; para concreto de masa normal de 1200 a 1750; y para concreto de gran masa de 1750 Kg/m³ en adelante. (Hernández y Hernández, 1999).

c) Tamiz 200

La presencia de un porcentaje muy elevado de material que pasa este tamiz, representa contar con un material que, en lugar de mejorar las características de la mezcla, implica mayor relación agua – cemento, con la consiguiente disminución de sus propiedades. (Hernández y Hernández, 1999).

d) Peso Especifico

El peso específico se define como la relación entre el peso de un volumen dado de material y el peso de un volumen igual de agua destilada a 20 grados centígrados. El peso específico debe estar entre 2.45 y 2.75 (Hernández y Hernández, 1999).

e) Porcentaje de Absorción

La absorción según la norma se define como el proceso por el cual un líquido es arrastrado dentro de un cuerpo solido poroso y tiende a llenar los poros permeables del mismo. En el caso del concreto y agregados, el líquido es el agua y el incremento de masa de expresa como porcentaje, referido a la masa seca del cuerpo, el cual se considera seco cuando ha sido tratado por un medio apropiado, para remover el agua no combinada, tal como el secado hasta masa constante, a una temperatura entre 100 y 110 grados centígrados. La porosidad de los agregados, su impermeabilidad y absorción influyen en propiedades como la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, así como en la resistencia de la mezcla. La absorción y la humedad superficial se determinan al seguir los lineamientos descritos en las normas ASTM C70, C127 y C128; con el objeto de controlar la proporción de agua en la mezcla. La arena aumenta de volumen cuando se encuentra húmeda y se patea o se mueve de alguna otra forma, por esta razón no se recomienda la dosificación por volumen. (Hernández y Hernández, 1999).

f) Contenido de Materia Orgánica

La materia orgánica que se encuentra en el agregado suele proceder de la descomposición de materia vegetal y se manifiesta como humus o marga orgánica. Es una sustancia perjudicial que debe conocerse su contenido, ya que afecta en el fraguado, endurecimiento, produce deterioro, la hidratación del cemento y si está en alto grado puede reducir la

resistencia. El análisis se basa en las normas ASTM C40 y ASTM C87. (Hernández y Hernández, 1999)

g) Módulo de finura

El módulo de finura se obtiene de la suma de los porcentajes acumulados de los agregados retenidos en los tamices estándar, dividida por 100. Es un indicador de la finura de los granos de un agregado. Conveniente para la estimación de las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas. El módulo de finura debe estar comprendida entre 2.3 y 3.1, no debe variar más de 0.20 del valor supuesto al elegir las proporciones de agregados. (Hernández y Hernández, 1999).

h) Sanidad de los agregados

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos en volumen, debido a cambios en las condiciones ambientales como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado; los cuales afectan la durabilidad del concreto o mortero y pueden comprometer no solo su aspecto superficial (descascaramientos), sino también la estabilidad de una estructura (agrietamientos internos). La capacidad de los agregados para soportar estos cambios desde luego depende de la procedencia, granulometría, forma, textura, porosidad y propiedades mecánicas de sus partículas. Para tales casos, la norma ASTM C-88 ha estandarizado un proceso de secado al horno, mediante varios ciclos, en el cual el agregado que previamente se ha sumergido en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio, es sometido a la acción destructora del sulfato que le induce esfuerzos internos al cristalizarse (Sánchez de Guzmán, 2001).

1.3.7. Cenizas

Las cenizas, como subproducto, se han venido utilizando por varios motivos: conservación y reciclado de recursos y materias primas, conservación y ahorro de energía, protección ambiental y, en el campo del hormigón, por imperativos del desarrollo tecnológico moderno de este material. Las cenizas son aptas como adiciones activas al Clinker de cemento portland, en paralelo con las puzolanas naturales, ya que, como materiales activos, confieren a los cementos resultantes propiedades y comportamientos específicos distintos y mejores en muchos aspectos que los de los cementos portland ordinarios que no contienen adiciones activas o constituyentes secundarios. Las cenizas se han utilizado también como elementos

sustitutivos o complementarios de las fracciones finas de los áridos, cuando éstos son deficitarios en ellas. (Calleja J, 1978)

1.3.8. Características físicas de las cenizas

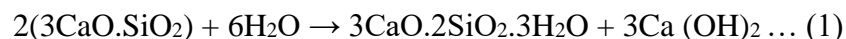
Dentro de las características físicas de las cenizas, las más importantes son, tal vez, las relacionadas con su finura: superficie específica, residuos sobre tamices y, sobre todo, granulometría. Parece ser que la finura de una ceniza, en relación con sus propiedades y comportamiento, queda mejor definida por el valor de su residuo en un tamiz, que, por su superficie específica, ya que se ve muy afectado por el contenido de partículas de carbón poroso en las cenizas, el cual perturba por su capacidad de adsorción. Por ello se recurre, en la caracterización de las cenizas por su finura, al residuo sobre el tamiz de 45 μm , efectuando el tamizado, bien en seco, o bien en húmedo, o por lavado con acetona que es más rápido. Cada ceniza de cada origen tiene sus propias características, y a veces un residuo bajo en tamiz de 45 μm corresponde a una superficie específica baja, ya que en ésta influye la densidad de la ceniza y el error (humano) inherente a su determinación.

En cuanto a la densidad, las cenizas menos densas son las de mayor proporción de partículas a veces huecas, las cuales contienen carbono, casi todo él amorfo, y a su vez con superficie específica y capacidad de adsorción variables. (Calleja J, 1978)

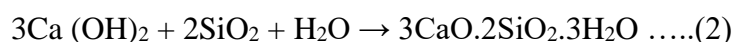
1.3.9. Beneficios del uso de la ceniza en un mortero de cemento

La necesidad de extender la durabilidad del concreto, ha propiciado el uso de aditivos y modificaciones a la composición del concreto. La adición de cenizas como aditivo se ha vuelto una práctica común en los últimos años. (Montemor et al., 2002)

La mejora en las características de permeabilidad en concretos adicionados con ceniza se debe a la reacción de hidratación principal, la cual en sistemas a base de cemento portland ordinario suele ser:



Pero en sistemas con cenizas se presenta una reacción de hidratación secundaria:



En concretos y morteros con cenizas, el contenido de hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ tiende a disminuir debido a la reacción secundaria de hidratación. Durante la hidratación en concretos con CPO se produce cal, pero en concretos con cenizas se consume cal. Esta es la principal ventaja del uso de cenizas. Las principales fases producidas a temperatura ambiente

durante la reacción puzolánica son: CSH, C₂ASH (silico-aluminato de calcio hidratado) y C₄AH (aluminato tetra cálcico hidratado). Estos productos secundarios llenan los vacíos capilares, lo que disminuye la porosidad del concreto. Este efecto permite un incremento en la resistividad del concreto y una consecuente disminución de los coeficientes de difusión de algunas especies como el oxígeno y los iones cloro. (Montemor et al., 2002)

1.3.10. Cenizas volantes

Las cenizas son los residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas. Los productos de esta combustión se subdividen en cenizas volantes y de hogar. Los primeros, son residuos volátiles obtenidos a lo largo del trayecto de los gases de la combustión del carbón que son evacuados por la chimenea de la caldera.

Las propiedades de estas cenizas varían ampliamente según el tipo de carbón, el residuo de cenizas, el grado de pulverización y el tipo de colectores empleados. Aun cuando estas cenizas se obtengan de una misma fuente de producción, sus propiedades físicas y químicas presentan cierto rango de variación. (Ossa M, Jorquera H, 1984)

Las características químicas y físicas de las cenizas volantes empleadas para la adición de los cementos experimentales se indican en las siguientes tablas:

Tabla 1.8. Composición química de cenizas volantes

Componentes	Cantidad (%)
Sílice (SiO ₂)	49.10
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	26.18
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	14.63
Oxido de magnesio (MgO)	1.13
Oxido de calcio (CaO)	5.84
Trióxido de azufre (SO ₃)	0.58
Oxido de sodio (Na ₂ O)	1.52
Cloruros (Cl ⁻)	Trazas
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.77
Pérdida por calcinación	1.27
Residuo insoluble	77.31

Fuente: Ossa M, Jorquera H, 1984

Tabla 1.9. Propiedades físicas de cenizas volantes

Propiedades	Valor
Peso específico	2.212
Superficie específica (cm ² /g)	2.100
Densidad aparente (kg/dm ³), suelta	0.97

Fuente: Ossa M, Jorquera H, 1984

A. Actividad puzolánica de la ceniza

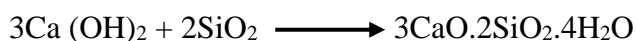
La actividad puzolánica se define como la capacidad del material para fijar la cal a temperatura ambiente y formar compuestos que tengan propiedades hidráulicas. Entendiéndose por propiedades hidráulicas la capacidad de dicho producto para endurecer en presencia de agua. Algunos autores establecen que la actividad puzolánica de las cenizas se debe a su composición y estructura vítrea que, a su vez, está condicionada por la temperatura en su formación y en su enfriamiento, de forma que, cuando existe un enfriamiento rápido después del tratamiento, la actividad puzolánica de la ceniza aumenta, y ésta disminuye si su enfriamiento se hace lentamente, causando la formación de fases cristalinas.

La gran reactividad de las puzolanas tanto naturales como artificiales, depende además de su composición química y mineralógica, y de la cantidad de fase amorfa o vítrea, de su gran superficie reactiva, de la presencia de álcalis, alcalinotérreos y del grado de condensación de grupos como SiO_4^{4-} , $\text{Al}(\text{OH})_4$. (Lorca, 2014)

Fraguado del cemento:



Reacción Puzolánica:



B. Reacción álcali-sílice (RAS)

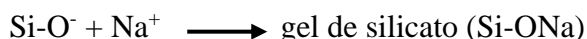
La reacción álcali – sílice es la más común y estudiada de las reacciones expansivas (álcali-sílice, álcali-carbonato y ataque sulfatito). En la fabricación del mortero, la hidratación del cemento portland da como resultado una solución intersticial que contiene hidróxidos de calcio, sodio y potasio. El hidróxido de calcio está en forma cristalizada mientras que los hidróxidos de sodio y potasio se encuentran presentes en la solución. La RAS se produce cuando la disolución alcalina de los poros del mortero y los minerales silicios de algunos áridos reaccionan para formar un gel, que, al consumir agua, aumenta el volumen. La expansión viene causada por la presión osmótica. Los geles de silicato alcalino pueden ejercer grandes presiones durante el proceso expansivo.

Las reacciones que se producen son principalmente dos, y lo hacen simultáneamente:

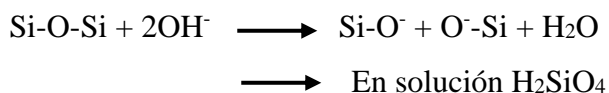
- Reacción 1: Reacciona ácido-base, neutralización de los grupos silanol (Si-OH) por la solución alcalina sosa caustica ($\text{NaOH} = \text{Na}^+ \text{OH}^-$).

En primer lugar, el grupo silanol reacciona con el OH^- , y da como producto Si-

O⁻, que al reaccionar con el Na⁺, produce un gel de silicato.



- Reacción 2: Ataque de los puentes de siloxeno por la solución alcalina, lo que provoca una desintegración de la estructura y el paso de la sílice en solución al estado de iones positivos (H₂SiO₄)



Para que se dé la RAS, es necesaria la presencia de sílice reactiva, álcalis sodio y potasio además de humedad. Pero para que además produzca fisuración y expansión se requiere que las cantidades tanto de sílice reactiva como de álcalis disponibles, sean significativas y que el agua provenga de una fuente externa. (Lorca, 2014).

C. Cenizas de bagazo de caña

Las CBCA es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Es utilizado como combustible para calentar las calderas de donde se obtiene el azúcar. La utilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en diversos campos, y ahora, en la construcción, será muy beneficioso. Al comprender con un gran porcentaje de sílice, podría emplearse como material cementante para utilizarlo como cemento puzolánico. También, hay que conocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40 – 50 % de su volumen de toda la planta.

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

La composición de la ceniza varía según la variedad de la caña, su edad, el tipo de suelo y la cantidad de fertilizantes. En la tabla 1.9 se indica cómo se encuentra distribuida la composición química de las CBCA en el Perú.

Tabla 1.10. Composición química de ceniza de bagazo de caña

Composición	Cantidad (%)
SiO ₂	67.52
Al ₂ O ₃	3.50
CaO	7.60
MgO	3.50
Fe ₂	8.95
K ₂ O	3.75
Na ₂ O	2.17
P ₂ O ₆	1.70

SO₃

0.03

Fuente: Chávez C, 2017

1.4. Formulación del problema

¿En qué medida influye la cantidad y el tipo de ceniza sobre las propiedades de absorción, porosidad, resistencia a la compresión y actividad puzolánica en la elaboración de morteros de asentado?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la cantidad y el tipo de ceniza sobre las propiedades de absorción, porosidad, resistencia a la compresión y actividad puzolánica en la elaboración de morteros de asentado.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el agregado fino y los tipos de ceniza utilizados en la investigación.
- Determinar el porcentaje y el tipo de ceniza adecuada, para lograr la máxima resistencia a la compresión en morteros de asentado.
- Obtener el porcentaje el porcentaje y el tipo de ceniza adecuada, para lograr la adecuada absorción y porosidad en morteros de asentado.
- Obtener el porcentaje el porcentaje y el tipo de Ceniza adecuada, para lograr la mejor actividad puzolánica en morteros de asentado.
- Elaborar un análisis estadístico para verificar si las variables independientes influyen significativamente en las variables dependientes.
- Realizar el costo de un mortero patrón por m² y el mortero optimo

1.6. Hipótesis

H1: A medida que se incrementa la cantidad de ceniza y varía el tipo de ceniza influye en aumentar la resistencia a la compresión, disminuye la absorción, porosidad e incrementa la actividad puzolánica en los morteros de asentado.

H0: A medida que se incrementa la cantidad de ceniza y se varía el tipo de ceniza en la mezcla con cemento, no se verán influenciadas la resistencia a compresión, la actividad puzolánica, la porosidad y absorción.

1.7. Justificación

La presente investigación busca mejorar las propiedades de los morteros, ya que es indispensable que éste tenga la capacidad de resistir a una gran variedad de condiciones extremas durante su vida útil. Siempre a nivel ingenieril se busca constantemente nuevas técnicas, metodologías y el uso de nuevo materiales para la mejora de las propiedades de este tipo de producto (morteros).

Mediante el uso de las cenizas volantes de carbón y cenizas de bagazo de caña de azúcar, siendo estos desechos industriales que dándole un valor agregado y usándolo como parte de la mezcla de un mortero como sustituto parcial del cemento podrá contribuir a la mejora de las propiedades del mortero y con esto lograr la reducción de la contaminación que hay en el mundo generando un beneficio sustentable y económico.

La mala dosificación, el uso del cemento inadecuado y por ende su baja durabilidad hace que las investigaciones en la búsqueda de la mejora de las propiedades de un mortero sean constantes, con la finalidad de poner en el mercado un material cementante elaborado con estos tipos de residuos que le brindan buenas propiedades físicas mecánicas a los morteros. Poco frecuentes son los trabajos elaborados con cenizas usados en la producción de cementos durante su proceso de producción, comparándolos con cementos portland sin adición. Los resultados conseguidos, indican ventajas y desventajas semejantes a las presentadas por cementos con adiciones de puzolanas naturales. La razón es evidente, puesto que las puzolanas naturales y las cenizas se originan de fenómenos que pueden ser comparados.

El rehuso de cenizas permite reducir las emisiones de CO₂ al sustituir cemento por cenizas, los costes que demande la fabricación de los morteros debido a la reducción de consumo de cemento que normalmente se emplea, evaluando la influencia de este tipo de residuos, mejorando la resistencia a la compresión y absorción que son las principales propiedades que se consideran en la fabricación de morteros de cemento. La información presente en este trabajo promueve mayores estudios, nuevas opiniones y aplicaciones de los materiales residuales en la industria en nuestra región y país.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El diseño de la investigación es experimental bifactorial, en el diseño se manipulan deliberadamente una variable, para medir el efecto que tienen en una variable dependiente de interés.

Tabla 2.1. Variables de estudio de la investigación

Variab <i>les</i> independientes	Niveles de estudio
A: Cantidad de ceniza	10%, 20%, 30%, 40%
B: Tipo de ceniza	Volante, Bagazo de caña
Variables dependientes	
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	
Actividad puzolánica (%)	
Absorción (%)	
Porosidad (%)	

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Unidad de estudio: Morteros

2.2.2. Población: Morteros de asiento

2.2.3. Muestra

Se realizaron 50 probetas de forma cubica dimensiones de 50 mm x 50 mm x 50 mm a base cemento Pacasmayo tipo I, agregado fino de la cantera Chicama, agua de la localidad y ceniza de bagazo de caña de agroindustrial Laredo y ceniza volante de la empresa Trupal. Las mismas probetas sirvieron para realizar todos los ensayos.

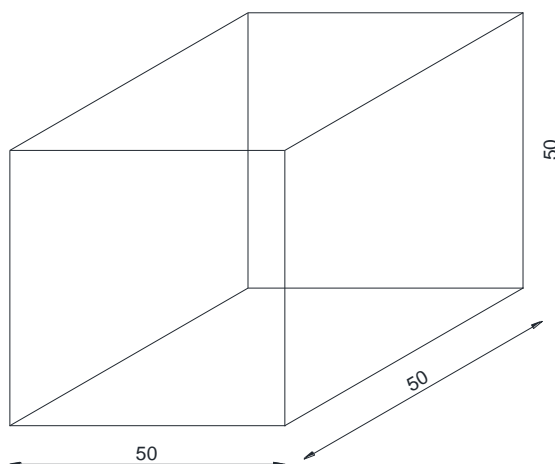


Figura 2.1. Forma de la probeta para el ensayo de resistencia a la compresión

Se realizaron 10 tipos de dosificaciones a base cemento, agregado fino, agua y ceniza de bagazo de caña para ensayo de fluidez.

Tabla 2.2. Matriz de diseño experimental de las variables

Variables	A	
	a1	a2
b1	a1b1-1	a2b1-1
	a1b1-2	a2b1-2
	a1b1-3	a2b1-3
	a1b1-4	a2b1-4
	a1b1-5	a2b1-5
b2	a1b2-1	a2b2-1
	a1b2-2	a2b2-2
	a1b2-3	a2b2-3
	a1b2-4	a2b2-4
	a1b2-5	a2b2-5
b3	a1b3-1	a2b3-1
	a1b3-2	a2b3-2
	a1b3-3	a2b3-3
	a1b3-4	a2b3-4
	a1b3-5	a2b3-5
b4	a1b4-1	a2b4-1
	a1b4-2	a2b4-2
	a1b4-3	a2b4-3
	a1b4-4	a2b4-4
	a1b4-5	a2b4-5
b5	a1b5-1	a2b5-1
	a1b5-2	a2b5-2
	a1b5-3	a2b5-3
	a1b5-4	a2b5-4
	a1b5-5	a2b5-5

- **Cálculo del número de ensayos de compresión de la investigación**

Número de ensayos: [(Nivel A x Nivel B x N° Rep.)

$$\text{Número de ensayos} = (2 \times 5 \times 5) = 50$$

- **Cálculo del número de ensayos de actividad puzolánica de la investigación**

Número de ensayos: [(Nivel A x Nivel B x N° Rep.)

$$\text{Número de ensayos} = (2 \times 5 \times 5) = 50$$

- **Cálculo del número de ensayos porosidad de la investigación**

Número de ensayos: [(Nivel A x Nivel B x N° Rep.)

$$\text{Número de ensayos} = (2 \times 5 \times 5) = 50$$

- **Cálculo del número de ensayos absorción de la investigación**

Número de ensayos: [(Nivel A x Nivel B x N° Rep.)

$$\text{Número de ensayos} = (2 \times 5 \times 5) = 50$$

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica de recolección de datos

La investigación se utilizó la observación directa, esto nos permite observar de manera detallada el fenómeno en un determinado tiempo y espacio. Por medio de esta técnica registramos el comportamiento y características de las probetas con diferentes dosificaciones de ceniza de bagazo de caña, así se obtuvo la información y resultados confiables de los ensayos que se realizaron.

2.3.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento empleado fue el guía de observación, evaluado por el Ing. Iván Vásquez Alfaro, asesor de esta investigación. La guía de observación nos ayudó a usar un registro de todas las características observadas al realizar los ensayos de resistencia a compresión, contracción y durabilidad.

2.4. Procedimiento de recolección de datos

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento experimental de la investigación.

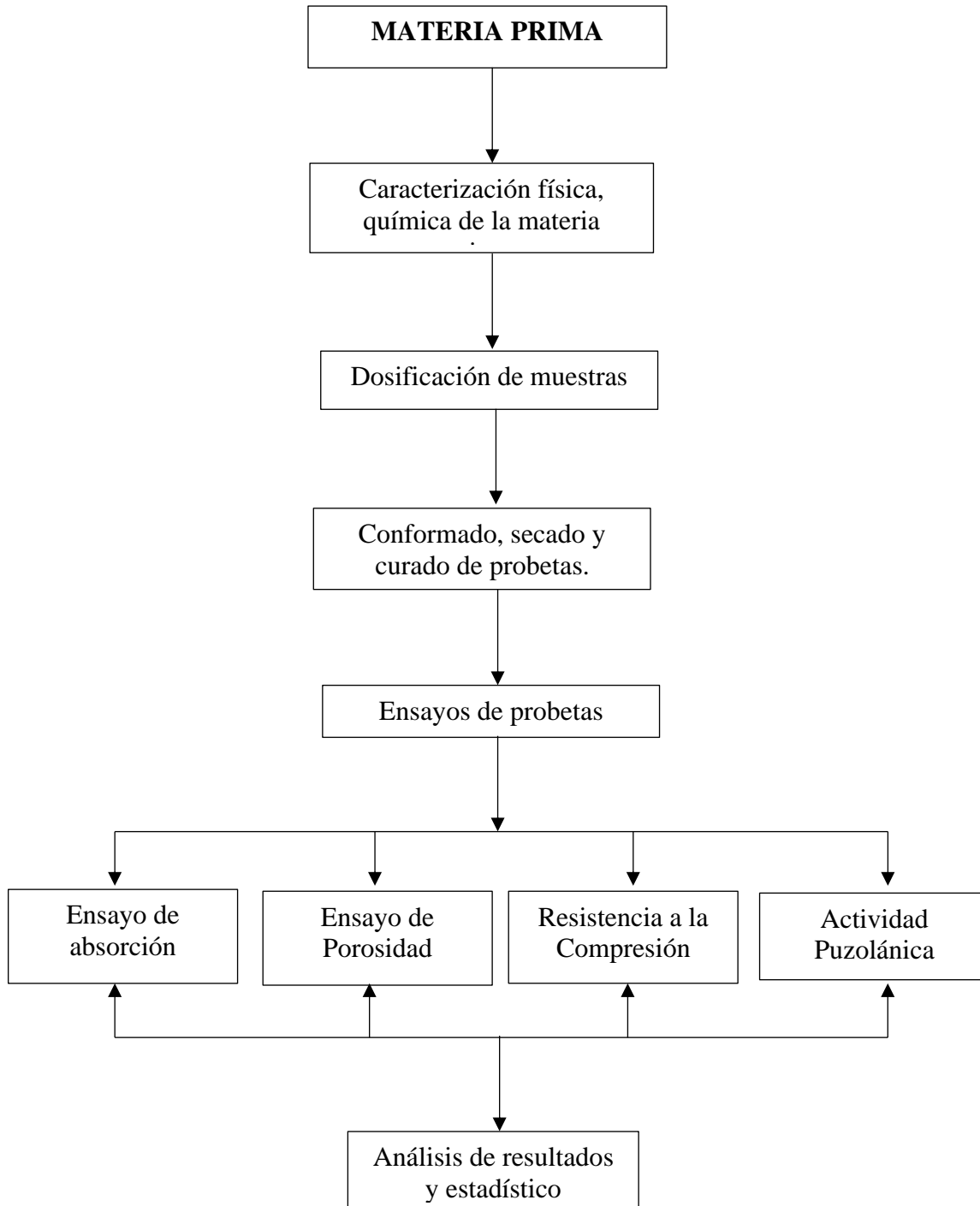


Figura 2.2. Diagrama del procedimiento experimental de la tesis

A. Obtención de materia prima

Para la elaboración de morteros se compró el material de agregado fino de Sodimac, cemento tipo I de la empresa Pacasmayo y agua potable de la localidad de Trujillo.

Así mismo se consiguió la ceniza volante de la empresa Trupal y la ceniza de bagazo de caña de azúcar de la empresa Laredo. Ambas cenizas se molieron en un molino de bolas de la Universidad Nacional de Trujillo por 12 horas y posteriormente tamizados por malla de número 325.

B. Caracterización de materia prima

B.1. Caracterización física del agregado fino

B.1.1. Ensayo granulometría del agregado fino

Se determinó la granulometría de la arena gruesa, siguiendo las especificaciones dadas en la norma ASTM C-136 y la NTP 400.012.

El análisis granulométrico del agregado fino consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman. Para realizar este análisis se siguen los siguientes pasos: Primero se procede a cuartear la muestra (Separar solo con una diagonal o por la mitad). Pesar 1000 gramos de la muestra preparada/ seleccionada, en una balanza de 0.01g de precisión y 1kg de capacidad. Hacer pasar el material por el juego de tamices (los cuales tienen aberturas cuadradas de diversos tamaños, según la norma ASTM E- 11), luego se pesa en una balanza de 0.01gramos de precisión las muestras retenidas en cada malla y lo registramos posteriormente en la Tabla 2.3.

Elaborar el diagrama de curvas granulométricas de los agregados fino, para ello; se dibujan las curvas referidas a coordenadas rectangulares, en las cuales las abscisas (logarítmicas) representan los diámetros de las aberturas de las mallas y las ordenadas, los porcentajes en peso que pasan el diámetro correspondiente.

Se determina:

El módulo de finura (MF).

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. acumulado en malla } N^{\circ} 100}{100} \dots (3)$$

Tabla 2.3. Formato para recolección de datos de granulometría de la arena

Tamiz (N°)	Abertura (mm)	Peso Malla (g)	Peso malla + muestra (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% que pasa
4							
8							
16							
30							
50							
100							
200							
BC							
				$\Sigma=$	$MF=$		

Formulas a emplear:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total}} \times 100 \dots (4)$$

$$\% \text{ Ret acum} = \frac{\text{Peso.ret.acum}}{\text{Peso total}} \times 100 \dots (5)$$

$$\% \text{ Ret acum} = \frac{\text{Peso.ret.acum}}{\text{Peso total}} \times 100 \dots (6)$$

El rango de clasificación del módulo de finura de la arena es la siguiente:

Arenas finas módulo de finura entre 0.5-1.5

Arenas medias módulo de finura entre 1.5-2.5

Arenas gruesas módulo de finura entre 2.5 - 3.5



Figura 2.3. Tamices para ensayo de granulometría

B.1.2. Ensayo del contenido de humedad de los agregados

Se determinó el contenido de humedad de la arena gruesa, siguiendo las especificaciones dadas en la norma ASTM C 566. Los pasos a seguir en este ensayo son: Se procede a pesar en una balanza de 0.01g de precisión dos frascos de metal vacíos donde se colocará la muestra (WL). Luego se pesa en una balanza de 0.01g de precisión, los mismos frascos, pero conteniendo cierta cantidad de muestra (WM). Después de pesar en una balanza de 0.01g de precisión, la muestra con las con los frascos y tomar nota del valor correspondiente, se lleva las muestras a la estufa a $110^{\circ} C \pm 5^{\circ} C$ por 24 horas (WS). Finalmente, transcurridas las 24 horas, se sacarán las muestras de la estufa y se colocarán en un desecador por 1 hora, para luego pesarlas (WS) y calcular el contenido de humedad.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_{MH} - W_{MS}}{W_{MS}} \times 100 \dots (7)$$

WMH = Masa de la muestra con Humedad (g) = WM - WL

WMS = Masa de la muestra sin Humedad (g) = WS - Wz

Tabla 2.4. Formato de contenido de humedad del agregado fino

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
WL(g)			
WM(g)			
WS(g)			
H(%)			
Promedio (%)			

B.1.3. Peso unitario suelto seco y peso unitario compactado seco

Se determinó el peso unitario suelto y compactado seco de la arena gruesa, bajo norma ASTM C 29, NTP 400.017 y la MTC E203. Se procedió a pesar el molde (T) y medir el molde: Altura: 16.60 cm, 16.70 cm. Promedio: 16.65 cm. Diámetro: 15.21 cm, 15.18 cm. Promedio: 15.195 cm. Peso: 7.51 kg. Volumen: $0,0030192 \text{ m}^3$ (V) Ensayo para el estado suelto: Se pone el agregado fino en el molde, se dejará caer a una altura de 5 cm hasta colmar el molde, y se procede a enrasar con la varilla metálica de 60 cm de longitud y 16mm de diámetro, el molde debe estar lleno, y se procede a pesar en una balanza con 1 g de precisión y 30 kg de capacidad, el molde lleno de agregado (G). Ensayo para el estado compactado: El agregado fino se vacó en un molde metálico en tres capas de agregado y compactando cada una de las capas 25 veces para que el material se distribuya en toda el área y posteriormente se golpeó 15 veces uniformemente en todo el recipiente con el martillo de goma, evitando golpear el fondo. Finalmente se nivelo con la parte superior del recipiente y

se procedió a pesar el recipiente con la muestra (G), dividiendo el peso por el volumen del recipiente, obteniendo el peso compacto seco. La norma NTP N° 400.017 para agregados normales el peso unitario compacto seco oscila entre 1500 kg/m³ y 1700 kg/m³.

$$M = \frac{G-T}{V} \dots (8)$$

$$M = (G - T)X F \dots (9)$$

M = Peso unitario de los agregados (kg/m³)

G = Peso del agregado más el recipiente (kg)

T = Peso del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m³)

F = Factor para el recipiente (m³)

Tabla 2.5. Formato para recolección de datos de peso unitario de agregado fino

Muestra	Peso del molde (kg)	Peso del molde + muestra suelta (kg)	Peso del molde + muestra compacta (kg)	Volumen del molde (m ³)	PUSS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)

B.1.4 Gravedad específica (densidad), absorción y porcentaje de vacíos del agregado fino

Se determinó la gravedad específica (densidad), absorción y porcentaje de vacíos de una muestra de agregado fino bajo norma ASTM C 128, NTP 400.022 y la MTC E205, el cual es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Se realizó de acuerdo al procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorios, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación y el cual se encontró por fórmula. Primero se procede a lavar la muestra de arena hasta asegurar que se elimine el polvo u otros recubrimientos superficiales de las partículas. Posteriormente se llena en un recipiente con agua hasta su máxima capacidad (para que la muestra quede totalmente saturada) y se deja sumergir por 24 horas. Una vez transcurrida las 24 horas y la muestra está totalmente saturada de agua, se procede a secar la arena con la ayuda de una cocina eléctrica hasta que el agregado quede superficialmente seco. Para determinar si el material se encuentra libre de humedad, se realiza el ensayo del cono de absorción; que consiste en introducir la muestra en el molde

cónico, seguidamente se apisona la muestra 25 veces dejando caer el pisón desde una altura de 1 cm.

Se procede a nivelar y retirar el molde de la muestra, si se desmorona a lo mucho 1/3 de está, es porque ha alcanzado la condición requerida (estado saturado superficialmente seco) y no existe humedad libre, de lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que se cumpla la condición. Se pesa 400 g de muestra en estado saturado superficialmente seco para luego ser colocada en una fiola de 500 ml. Se llena parcialmente la fiola con agua. Para eliminar todas las burbujas de aire se agita la fiola. En muchas ocasiones se produce espuma que puede ser eliminada mediante toallas de papel o alcohol isopropílico. Se afora la fiola y se cuantifica el peso de la misma. Se procede a remover el agregado fino de la fiola, secándose a una temperatura de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ hasta peso constante, después se enfría a temperatura ambiente. Finalmente se determina la masa de la fiola llena con agua a $23^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S-A}{A} \dots (10)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+A-C} \times 0.9975 \dots (11)$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca al horno (g)

B = Masa de la fiola más agua hasta la línea de aforo (g)

C = Masa de la fiola más muestra y agua hasta la línea de aforo (g)

S = Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco (g)

Para determinar el contenido de vacíos se requiere el valor de peso específico obtenido anteriormente, al igual que el peso unitario de la arena, según corresponda y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Vacíos} = \frac{100((S \times W) - PU)}{(S \times W)} \dots (12)$$

Donde:

PU = Peso unitario del agregado (kg/m^3).

S = Peso específico (g/cm^3).

W = Densidad del agua, 1000 kg/m^3 .

Tabla 2.6. Formato de peso específico y absorción de la arena

Muestra	Peso arena (g)	Peso fiola + agua (g)	B + muestra (g)	Peso seco (g)	Peso específico (g/cm ³)	Absorción %	% de vacíos Suelto	% de vacíos compacto
Muestra 1								
Muestra 2								
Muestra 3								
Promedio								

C. Dosificación de muestra

Usamos una dosificación del mortero en relaciones de cemento: arena de 1:4 para el trabajo en laboratorio, el cual se obtuvo haciendo una conversión que se utiliza con frecuencia en obra para trabajos de asentado de ladrillos, 1 bolsa de cemento con 8 latas de arena gruesa, así mismo se utilizó una relación de agua/ cemento de 0.6. La ceniza fue reemplazando a la cantidad de cemento en 10%, 20%, 30%, 40%.

D. Conformado, secado y curado

D.1. Conformado de probetas

Se procedió a llenar la pasta homogénea en los moldes cúbicos siguiendo lo especificado en la norma ASTM C-109, se colocó una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una. Los golpes de cada etapa se dieron siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal que asegure el llenado de los compartimentos. Se deben completar las 4 etapas de compactación, en cada compartimiento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera. Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en el compartimento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde. Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana de la espátula, retirando el mortero sobrante con un movimiento de vaivén.



Figura 2.4. Conformado de probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm

D.2. Secado y curado de probetas

Una vez terminado el proceso de conformación de probetas cubicas, se coloca el conjunto de molde y placa en la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegerlos contra la caída de gotas. Si se desmoldan las probetas cubicas antes de las 24 horas, dejar las probetas en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Luego se coloca un código para cada una de las probetas, se tuvo en cuenta el tipo y tiempo de almacenamiento del cemento utilizado en la fabricación del mortero y el tipo de ensayo para cuales están destinadas. Luego se tiene que registrar las dosificaciones de los cubos de morteros con su respectiva codificación. Después de haber desmoldado y codificado las probetas cubicas, se sumergen en agua saturada con cal (hidróxido de calcio) con 2g de cal por litro de agua es suficiente, dentro de una poza de curado, renovar el agua frecuentemente para que permanezca limpia. El curado se va a realizar para un periodo de 28 días a una temperatura oscilante entre 23° C y 27° C bajo la norma ASTM C31.



Figura 2.5. Codificación de probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm

E. Ensayos de probetas

E.1. Ensayo de absorción y porosidad

Se empleó la norma ASTM C 642, para determinar la capacidad de absorción y porosidad de las probetas de mortero con los porcentajes especificados, en los diseños descritos anteriormente. Luego de armar el equipo de Arquímedes, se procedió a la toma de datos del peso suspendido (S) seguido del peso saturado (M) y; posteriormente, llevadas al horno estufa para su respectivo secado a 100 °C durante 24 h. Finalmente se dejó enfriar dentro del horno para luego proceder al pesaje de las muestras y obtener los pesos secos (D) de cada probeta.

$$V = M - S \dots (13)$$

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{(M-D)}{V} \times 100 \dots (14)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(M-D)}{D} \times 100 \dots (15)$$

E.2. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C109)

Luego de cumplir los 28 días de curado las probetas cúbicas de mortero, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión, estando las probetas totalmente secas y limpias de toda arena suelta, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se comprueba que las caras en contacto con las tapas retensoras estén totalmente planas. Después se tiene que colocar cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo a la compresión, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección.

Las probetas cubicas serán ensayadas con el equipo de compresión digital (ELE) del laboratorio de concreto del departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

$$Fm = \frac{P}{A} \dots (16)$$

Fm = Es la resistencia a la compresión en kg/cm²

P = Es a carga máxima en total en N

A = Área de la superficie de la carga en mm²

Tabla 2.7. Recolección de datos para el ensayo de resistencia a la compresión

Muestra	Dimensiones (mm)	Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Velocidad (KN/s)	Resistencia (kg/cm ²)
A1					
A2					



Figura 2.6. Resistencia a la compresión de morteros

E.3. ensayo de actividad puzolánica

La actividad puzolánica viene a ser la división entre la resistencia de los morteros con distinta cantidad y tipo de ceniza y el mortero patrón multiplicado por 100. De acuerdo a la norma ASTM C311, el índice mínimo de puzolanidad debe ser de 70%, tanto a los 7 como 90 días de curado, para que puedan ser consideradas como puzolanas, así como la expansión lineal según norma deberá ser menor al 0.1%.

El cálculo para el índice de actividad puzolánica de morteros con cemento Portland y cenizas es:

$$IP = \frac{A}{B} \times 100 \dots (17)$$

A: Resistencia a la compresión de los cubos del mortero con adición

B: Resistencia a la compresión de los cubos de mortero patrón (cemento portland tipo I)

F. Análisis de resultados y estadístico

Para la evaluación estadística de los resultados se utilizó la prueba F (Fisher) para determinar la influencia de cada una de las variables en estudio. El análisis de varianza (ANAVA) se efectuó a un nivel de confianza del 95%.

G. Análisis de costos

Mediante el análisis de costos se logró definir un precio para la producción de morteros de asiento en un m² de muro de ladrillo (amarre de sogá, mortero 1:4 con junta de 1.5 cm.) a través de la individualización de los elementos que la componen.

En un 1 m² de muro de ladrillo (amarre de sogá, mortero 1:4 con junta de 1.5 cm.) entran 38 ladrillos. Para obtener la cantidad de cada material para esta producción, se toma en cuenta las cantidades del diseño patrón de muro de ladrillo; obteniéndose las cantidades de los agregados para producir 1 m². Asimismo, para la cantidad de la mano de obra, se multiplica el número de cuadrilla por las 8 horas de trabajo sobre el rendimiento en la producción de 1 m² de muro de ladrillo. Y para la cantidad de equipos se considera 3.

Para el precio de la mano de obra se toma en consideración a la última publicación emitida por CAPECO y por la Federación de trabajadores en construcción civil del Perú. Asimismo, para el precio de equipos y herramientas, se toma en consideración al libro “Costos y presupuestos de edificación” publicado por CAPECO, donde establece que el costo directo de herramientas corresponde al consumo o desgaste que se generan al ser utilizadas, considerando que el costo de la hora máquina (Hm) corresponde a la multiplicación del costo directo de la mano de obra por un coeficiente de incidencia que varía de 1% a 5% estimado en función a la experiencia de obras similares. Finalmente, para el precio de los materiales tomamos en cuenta las cantidades para producir un muro de ladrillo.

Mediante los diversos análisis y cálculos, se obtuvo el precio para la producción de mortero de asiento para 1m² de muro de ladrillo es de S/. 18.60 para el diseño patrón. Teniendo en cuenta este análisis, se pudo obtener el precio para la producción de mortero con incorporación de mis cenizas (CBCA/CV).

Tabla 2.8. Análisis de costos unitarios de muro de ladrillo de amarre de sogá, mortero 1:4

Partida	MURO DE LADRILLO (AMARRE SOGA MORTERO 1:4 JUNTA 1.5 cm.)				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	99.1882
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.2235769	19.7	4.4045	30.8620
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ladrillo	Und.	39.2175	0.65	25.4914	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	1.16	24	27.7457	67.19
Operario	H-H	1.16	22.96	26.5434	

Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x37.80	1.1382	1.14

Tabla 2.9. Análisis de costos unitarios de mortero patrón

Partida	Mortero de asiento patrón				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	18.5918
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.2235769	19.7	4.4045	5.3706
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ladrillo	Und.	0	0.65	0.0000	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	0.00	24	0.0000	13.06
Operario	H-H	0.00	22.96	0.0000	
Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x5.3706	0.161118	0.16

Tabla 2.10. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 10% de ceniza

Partida	Mortero de asiento adicionado 10% de ceniza				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	18.2434
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.20121921	19.7	3.9640	5.0420
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ceniza	Bls.	0.02235769	5	0.1118	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	0.00	24	0.0000	13.05
Operario	H-H	0.00	22.96	0.0000	
Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x5.0420	0.15126	0.15

Tabla 2.11. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 20% de ceniza

Partida	Mortero de asiento adicionado 20% de ceniza				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	17.8951
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.17886152	19.7	3.5236	4.7133
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ceniza	Bls.	0.04471538	5	0.2236	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	0.00	24	0.0000	13.04
Operario	H-H	0.00	22.96	0.0000	
Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x4.7133	0.141399	0.14

Tabla 2.12. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 30% de ceniza

Partida	Mortero de asiento adicionado 30% de ceniza				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	17.5467
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.15650383	19.7	3.0831	4.3846
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ceniza	Bls.	0.06707307	5	0.3354	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	0.00	24	0.0000	13.03
Operario	H-H	0.00	22.96	0.0000	
Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x4.3846	0.131538	0.13

Tabla 2.13. Análisis de costos unitarios de mortero adicionado 40% de ceniza

Partida	Mortero de asiento adicionado 40% de ceniza				
Rendimiento	Colocación=6.92 m ² /día, Acarreo=19.23 m ² /día			PRECIO FINAL	17.1983
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	SUBTOTAL
Cemento	bls.	0.13414614	19.7	2.6427	4.0560
Arena	m ³	0.025121	35	0.8792	
Agua	Litros	0.014485773	6	0.0869	
Ceniza	Bls.	0.08943076	5	0.4472	
MANO DE OBRA					
Capataz	H-H	0.00	24	0.0000	13.02
Operario	H-H	0.00	22.96	0.0000	
Oficial	H-H		0	0.0000	
Peón	H-H	0.79	16.41	12.8990	
Herramientas Manuales		3% de MO	0.03x4.0560	0.12168	0.12

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de la caracterización del agregado fino

A continuación, se muestran tablas y figuras que muestran los resultados obtenidos en la caracterización de agregado fino.

Tabla 3.1. Resumen de las características del agregado fino

Característica	Agregado Fino
Módulo de Finura (MF)	2.6
Humedad (%H)	0.6
Absorción (%Abs)	1.1
Peso específico (Pe) (g/cm ³)	2.65
Peso Unitario Suelto Seco (PUSS) (Kg/m ³)	2290
Peso Unitario Compacto Seco (PUCS)(Kg/m ³)	2495

Tabla 3.2. Porcentajes pasante del análisis granulométrico de agregado fino

Mallas		I	II	III	Promedio
Nº De Malla	Diametro (Mm)	% pasante	% pasante	% pasante	
4	4.75	96.53	95.61	96.58	96
8	2.36	83.42	82.42	82.81	82
16	1.18	69.32	68.37	69.15	68
30..	0.6	57.17	57.06	57.83	57
50	0.3	46.04	46.04	47.18	46
100	0.15	11.16	11.15	10.28	10
200	0.075	2.25	2.40	2.64	2
BC	Menor a 0.075	0.00	0.00	0.00	0

3.2. Resultados de los ensayos físico mecánicos

3.2.1. Resultados de resistencia a compresión de morteros con ceniza

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los morteros elaborados con distintos tipos y distintas cantidades de cenizas.

Tabla 3.3. Resultados de compresión de morteros con ceniza volante

Muestra		Area (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	R prom (Kg/cm ²)
0	1	2550	75.34	299	298
	2	2499	73.97	299	
	3	2601	76.02	295	
	4	2500	74.52	301	
	5	2450	72.15	298	
10	1	2500	78.45	317	315
	2	2550	79.14	314	
	3	2500	77.95	315	
	4	2550	78.94	313	
	5	2500	78.19	316	
20	1	2550	84.01	333	335
	2	2500	83.19	336	
	3	2500	83.17	336	
	4	2500	83.52	338	
	5	2550	84.21	334	
30	1	2500	76.12	308	307
	2	2550	77.28	306	
	3	2500	76.48	309	
	4	2601	78.41	305	
	5	2500	75.64	306	
40	1	2499	72.14	292	292
	2	2601	74.97	291	
	3	2500	72.23	292	
	4	2450	71.15	293	
	5	2500	72.64	294	

Tabla 3.4. Resultados de compresión de morteros con ceniza de bagazo de caña

Muestra		Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	R prom (Kg/cm ²)
0	1	2550	75.34	299	298
	2	2499	73.97	299	
	3	2601	76.02	295	
	4	2500	74.52	301	
	5	2450	72.15	298	
10	1	2450	80.15	331	330
	2	2601	84.69	329	
	3	2499	81.67	330	
	4	2500	82.64	334	
	5	2550	81.99	325	
20	1	2499	84.67	342	343
	2	2500	84.29	341	
	3	2450	83.17	343	
	4	2550	86.48	343	
	5	2601	88.45	344	
30	1	2500	80.15	324	321
	2	2601	81.98	319	
	3	2500	80.24	324	
	4	2601	82.69	321	
	5	2550	80.32	318	
40	1	2450	72.41	299	297
	2	2550	75.21	298	
	3	2550	75.09	298	
	4	2550	75.01	297	
	5	2450	71.59	295	

3.2.2. Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de actividad puzolánica de los morteros elaborados con distintos tipos y distintas cantidades de cenizas.

Tabla 3.5. Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza volante

	Resistencia	Actividad Puzolánica
(%)	(Kg/cm ²)	(%)
0	298.8	100
10	315.4	105
20	335.4	112
30	307.1	102
40	292.8	98

Tabla 3.6. Resultados de actividad puzolánica de morteros con ceniza de bagazo de caña

	Resistencia	Actividad Puzolánica
(%)	(Kg/cm ²)	(%)
0	298.8	100
10	330.2	110
20	343	114
30	321.7	107
40	297.8	99

3.2.3. Resultados de absorción de morteros con ceniza

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de absorción de los morteros elaborados con distintos tipos y distintas cantidades de cenizas.

Tabla 3.7. Resultados de absorción de morteros con ceniza volante

Muestra		Absorción (%)	Absorción prom (%)
0	1	6.1	6
	2	6.1	
	3	6.0	
	4	6.1	
	5	6.0	
10	1	9.3	9
	2	9.4	
	3	9.3	
	4	9.2	
	5	9.5	
20	1	10.9	10
	2	10.7	
	3	10.6	
	4	10.8	
	5	10.7	
30	1	11.5	11
	2	11.6	
	3	11.5	
	4	11.7	
	5	11.6	
40	1	12.4	12
	2	12.5	
	3	12.4	
	4	12.4	
	5	12.4	

Tabla 3.8. Resultados de absorción de morteros con ceniza de bagazo de caña

Muestra		Absorción (%)	Absorción prom (%)
0	1	6.1	6
	2	6.1	
	3	6.0	
	4	6.1	
	5	6.0	
10	1	6.4	6
	2	6.5	
	3	6.6	
	4	6.6	
	5	6.4	
20	1	6.9	6
	2	7.0	
	3	6.9	
	4	6.8	
	5	6.8	
30	1	7.5	7
	2	7.6	
	3	7.6	
	4	7.7	
	5	7.6	
40	1	8.1	8
	2	8.1	
	3	8.2	
	4	8.1	
	5	8.0	

3.2.4. Resultados de porosidad de morteros con ceniza

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de porosidad de los morteros elaborados con distintos tipos y distintas cantidades de cenizas.

Tabla 3.9. Resultados de porosidad de morteros con ceniza de bagazo de caña

Muestra		Porosidad (%)	Porosidad prom (%)
0	1	13.2	13
	2	13.2	
	3	13.0	
	4	13.1	
	5	13.1	
10	1	13.6	13
	2	13.4	
	3	13.5	
	4	13.6	
	5	13.7	
20	1	13.9	14
	2	13.9	
	3	13.9	
	4	14.2	
	5	14.1	
30	1	14.7	14
	2	14.8	
	3	14.7	
	4	14.8	
	5	14.8	
40	1	15.6	15
	2	15.6	
	3	15.7	
	4	15.5	
	5	15.5	

Tabla 3.10. Resultados de porosidad de morteros con ceniza volante

Muestra		Porosidad	Porosidad prom
		(%)	(%)
0	1	13.2	13
	2	13.2	
	3	13.0	
	4	13.1	
	5	13.1	
10	1	18.5	18
	2	18.4	
	3	18.6	
	4	18.6	
	5	18.4	
20	1	19.5	19
	2	19.4	
	3	19.4	
	4	19.4	
	5	19.6	
30	1	20.9	21
	2	21.2	
	3	21.1	
	4	21.0	
	5	21.1	
40	1	22.3	22
	2	22.1	
	3	22.2	
	4	22.1	
	5	22.3	

3.3. Discusión de resultados

3.3.1. Discusión de los resultados de caracterización del agregado

En la figura 3.1. se muestra la curva granulométrica del agregado fino utilizado en la investigación.

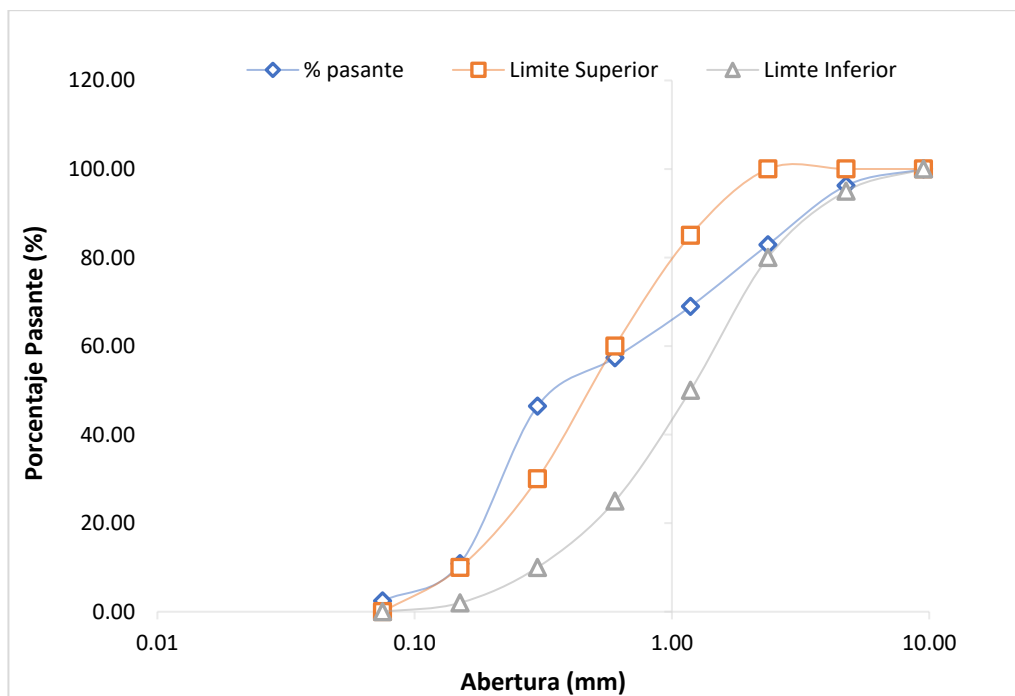


Figura 3.1. Curva granulométrica del agregado fino

Se observa que el 90% del material está dentro de los límites permisible para ser calificado como un agregado de buen factor de empaquetado, lo que es importante debido a que este ayuda en el desarrollo de la resistencia del mortero, ya que coincide con la disminución de la porosidad del producto.

En la tabla 3.1. se observa el módulo de finura obtenido (3.6), valor que define la clasificación del agregado fino como una arena gruesa. Esto corrobora el hecho de que, para elaborar morteros de asiento es común usar este tipo de arena.

También es posible relacionarlo con el peso unitario seco suelto y compacto cuyos valores obtenidos presentes en la tabla 3.1. también nos dice que el agregado utilizado es arena gruesa. El contenido de humedad y la absorción de la arena son bajas cerca del 1%, lo que hace que este tipo de arena sea adecuada para uso en morteros debido a que en el proceso de elaboración no cambiara drásticamente el agua de mezclado en el mortero.

3.3.2. Discusión de los resultados de DRXs

En la figura 3.2 y 3.3. se muestran el análisis de difracción de rayos x de la ceniza volante y de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

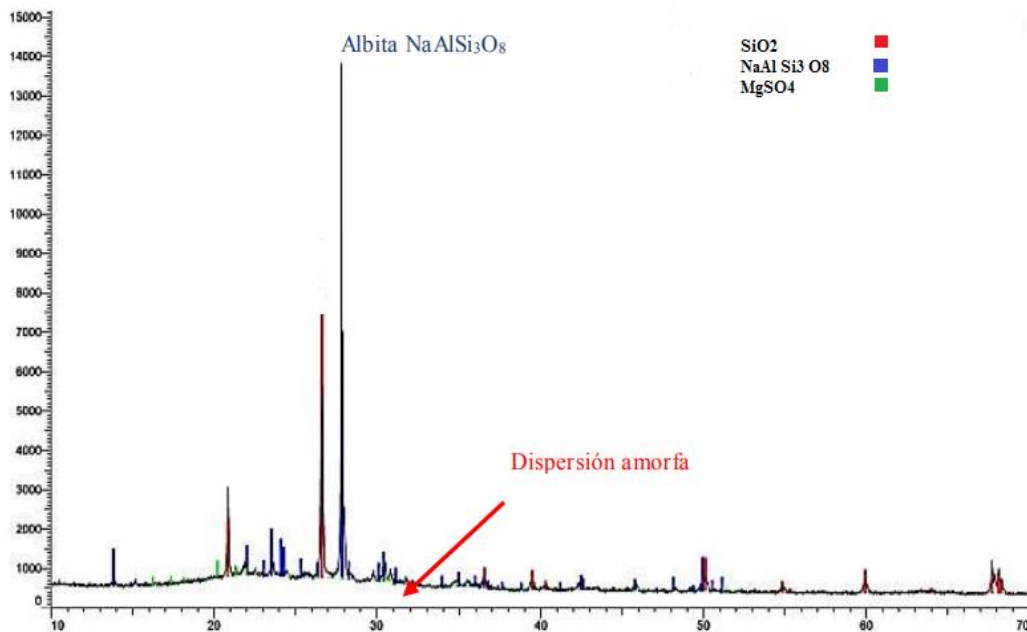


Figura 3.2. Difracción de rayos x de ceniza volante

En la figura 3.2. se muestra la presencia de Cuarzo y Albita como principales componentes de la ceniza volante en picos de difracción elevados, teniendo mayor cristalinidad la Albita (NaAlSi₃O₈), así como un área amorfa por debajo de 900 counts.

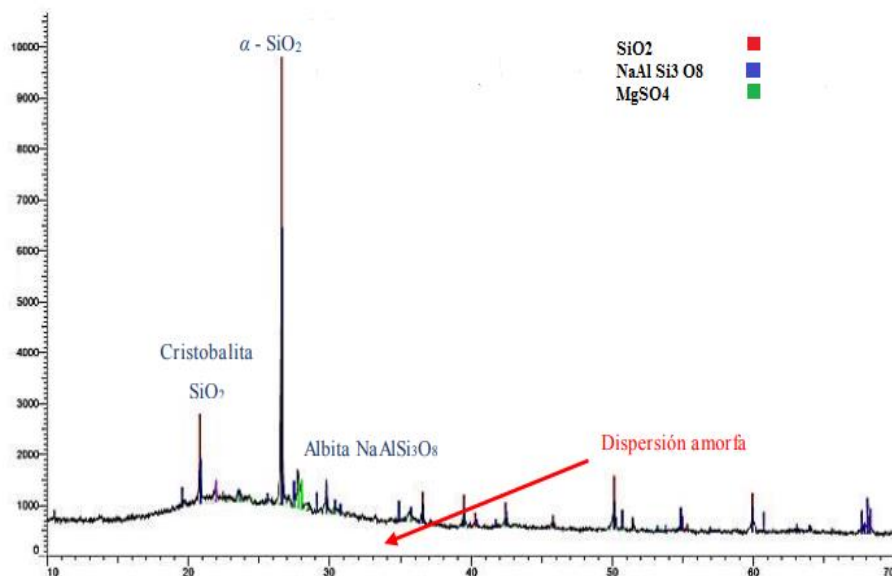


Figura 3.3. Difracción de rayos x de ceniza de bagazo de caña de azúcar

En la figura 3.3. se muestra al Cuarzo como mayor plano cristalino y en menor plano cristalino a la albita, esto debido al proceso de molienda donde la albita pasa a establecer una estructura casi amorfa y menos reactiva en comparación con la sílice del cuarzo, el área de amorfismo aumenta a casi 1100 counts aproximadamente.

Como se mencionó anteriormente en ambas figuras observan la presencia de SiO_2 , albita y MgSO_4 , las diferencias se dan en la presencia mayor de SiO_2 en el DRX de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en comparación al DRX de la ceniza volante. También se puede observar que el análisis de DRX de la ceniza de bagazo de caña de azúcar presenta mayor dispersión amorfa que el DRX de la ceniza volante.

Estos hechos anteriormente mencionados son importantes debido a que el contenido de SiO_2 y sobre todo que tenga una adecuada dispersión amorfa, ayudaran en el desarrollo de la resistencia de los morteros y cumpliendo su función de puzolanas adicionadas.

3.3.3. Discusión de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión

A continuación, se presenta el grafico donde muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de morteros mezclados con ceniza volante (CV) y con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

Se observa que a medida que aumenta la cantidad de ceniza dentro del mortero la resistencia a la compresión se ve incrementada hasta un 20 % de reemplazo para ambos tipos de ceniza, a partir de allí los valores de la resistencia a la compresión se ven disminuido. En comparación de ambos tipos de ceniza utilizados los mejores resultados de resistencia se obtuvieron cuando se utilizó ceniza de bagazo de caña azúcar.

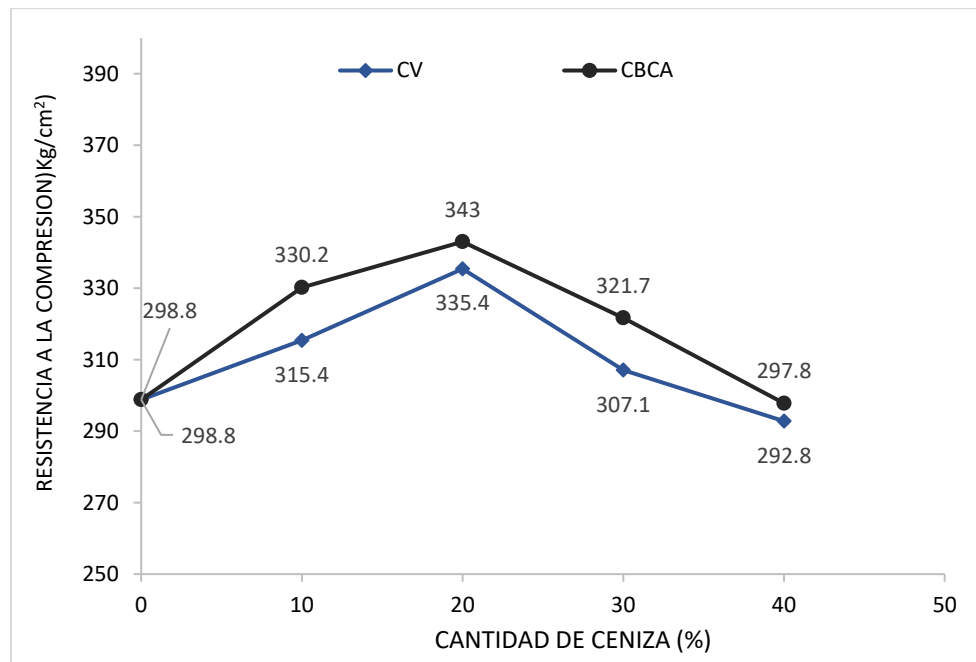


Figura 3.4. Resistencia a la compresión de morteros con cenizas

El cemento tipo I presenta una composición de 95% de clinker y 5 % de yeso, en contacto con agua forman una pasta gel donde los silicatos de calcio con los silicatos dicálcicos y silicatos tricálcicos llegan a hidratarse y a formar una pasta endurecida, el tiempo de endurecimiento se debe al sulfato de calcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)

El incremento de la resistencia a la compresión de los morteros con cenizas se debe a la reacción puzolánica que se produce entre la sílice y la alúmina de las cenizas y la portlandita, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, procedente de la hidratación de los silicatos (C_3S y C_2S) del clinker del cemento Portland.

El grado de amorficidad de las cenizas también influyen en el desarrollo de la resistencia de los morteros, por lo que al presentar mayor amorficidad la ceniza de bagazo de caña de azúcar, también se obtienen mayores los valores de resistencia a la compresión en comparación a los morteros realizados con ceniza volante.

Pero la disminución de la resistencia se debe a que el exceso de las cenizas genera que exista un desbalance en la proporción de cemento y la ceniza; si es excesivamente menor la cantidad de cemento dentro del mortero no se genera suficiente cantidad de portlandita para que reaccione con la ceniza y no existiría suficiente material conglomerante para alcanzar la resistencia necesaria.

En comparación con Libreros J, Henao S (2016) que investigaron la “Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo para la

elaboración de morteros”. Ellos concluyeron al igual que esta investigación que el 20% de ceniza de bagazo de caña de azúcar les brindaba la mejor resistencia.

3.3.4. Discusión de los resultados de la actividad puzolánica

A continuación, se presenta el gráfico donde muestra los resultados de actividad puzolánica de morteros mezclados con ceniza volante (CV) y con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

Se observa al igual que en el análisis realizado de la resistencia a la compresión, se ve que a medida que aumenta la cantidad de ceniza dentro del mortero la actividad puzolánica se ve incrementada hasta un 20 % de reemplazo para ambos tipos de ceniza.

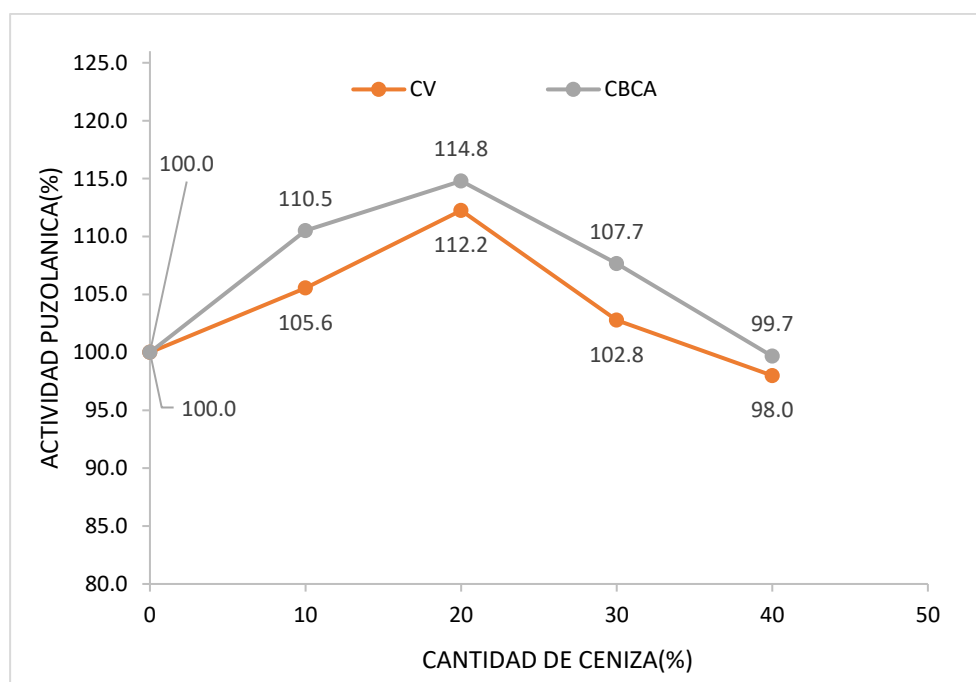


Figura 3.5. Actividad puzolánica de morteros con cenizas

Este comportamiento de incremento de la actividad puzolánica principalmente se da por lo expuesto anteriormente en el análisis hecho en la resistencia a la compresión. Así mismo también el incremento de la actividad puzolánica se da debido a la influencia ejercida por las cenizas sobre el aluminato tricálcico (C_3A) y el Ferro aluminato tetra cálcico (C_4AF) en el cemento y el grado de reacción de la ceniza.

Un retardo de la hidratación del C_3A y C_4AF , reduce el calor liberado y estimula formación de silicatos hidratados que son insolubles en agua y tiene carácter de gel por lo que aportan resistencia a la compresión de un mortero y por ende mejorando la actividad puzolánica.

En comparación con Calderón L y Martínez S (2017) que investigaron la “Influencia del tamaño de partícula y del porcentaje de reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por cemento portland tipo I sobre la resistencia a la compresión, actividad puzolánica y reactividad álcali-sílice en morteros modificados”, coinciden con esta investigación que concluir que con un 20% de ceniza se obtiene la mayor actividad puzolánica.

3.3.5. Discusión de los resultados del ensayo de absorción

Se presenta la figura 4.6. donde muestra los resultados de absorción de morteros mezclados con ceniza volante (CV) y con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

Se puede observar un incremento de la absorción de agua de los morteros conforme se incrementó la cantidad de cenizas. El incremento se dio para ambos tipos de cenizas utilizadas, obteniéndose los valores más elevados para morteros elaborados con ceniza volante.

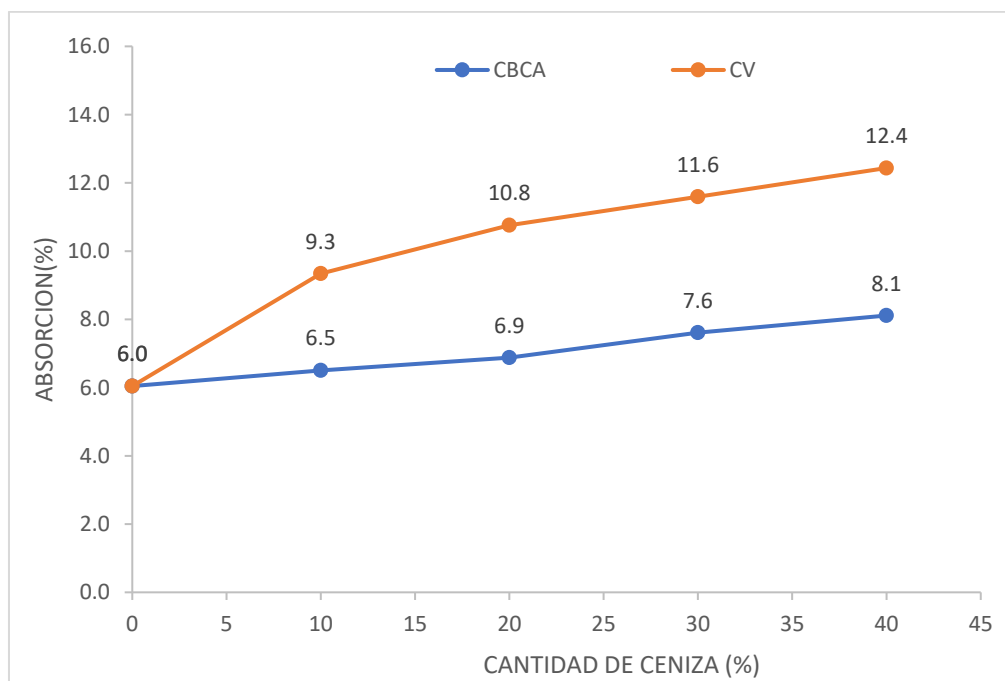


Figura 3.6. Absorción de morteros con cenizas

La absorción de agua en un mortero depende de las características de los componentes del mismo, también de los espacios vacíos o poros que presente el material. El incremento de la absorción de agua que se observó con mayor significancia en los morteros con ceniza volante a partir del 10 % de reemplazo se debió a que el exceso de ceniza volante y la interacción que existe entre este material y el agua genera que haya una disminución de la relación agua/

cemento por lo que la pasta presenta menos trabajabilidad debido a que la ceniza es un material de alta superficie específica y por lo tanto un material poroso e higroscópico que tiene la capacidad de absorber gran cantidad de agua.

3.3.6. Discusión de los resultados del ensayo de porosidad

Se presenta la figura 4.7. donde muestra los resultados de porosidad de morteros mezclados con ceniza volante (CV) y con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

Se puede observar un incremento de la porosidad de los morteros conforme se incrementó la cantidad de cenizas. El incremento se dio para ambos tipos de cenizas utilizadas, obteniéndose los valores más elevados para morteros elaborados con ceniza volante.

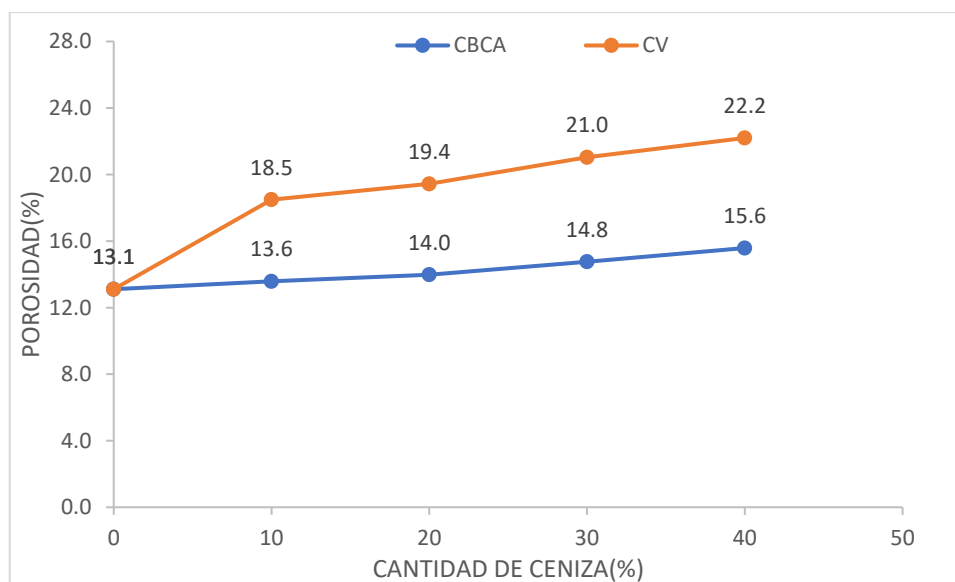


Figura 3.7. Porosidad de morteros con cenizas

La porosidad de forma porcentual se ve incrementada debido a que la ceniza con materiales de alta superficie específica y por ende demasiados porosos, eso se comprueba en el momento de elaboración del mortero ya que requieren y absorben más agua a medida que se va incrementando el uso de las mismas.

Aparte de que durante la reacción de la sílice y la portlandita que generan más silicatos cálcicos hidratados, durante el endurecimiento el agua que no reacciona y se considera agua de mezcla se evapora dejando así porosidades.

En comparación con los antecedentes tanto para la absorción y la porosidad se podría decir que esta investigación coincide con la investigación realizada por Argiz C, Meléndez E,

(2012) donde también concluyeron como la cantidad y distribución de poros capilares a partir de una mezcla de 10% de cenizas se ve afectada e incrementada.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

De la caracterización del agregado fino se logró determinar que tuvo un módulo de finura de 2.61 peso unitario suelto y compacto de 2287.82 kg/m³ y 2494.27 kg/m³ y una humedad relativamente baja de 0.63%, una baja absorción de 1.13% y un peso específico de 2.65.

Se determinó la influencia que tuvo el reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar y de ceniza volante por cemento en la elaboración de un mortero, concluyendo que hasta la resistencia a la compresión y por lo tanto la actividad puzolánica se vieron incrementadas. Así mismo los resultados de la absorción y porosidad se vieron incrementados ligeramente.

Después de los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que, la máxima resistencia a la compresión se obtuvo con un 20% de ceniza para ambos tipos de cenizas, pero el mejor resultado fue de 343 kg/cm² para morteros con ceniza de bagazo de caña de azúcar y después se obtuvo 335.4 kg/cm² para morteros con ceniza volante.

Se obtuvieron los resultados de absorción y porosidad de la cual se concluye que para tanto para la absorción y porosidad el 20% de ceniza es un valor moderado. Ahora bien, en la comparación de los tipos de cenizas, la de bagazo de caña de azúcar da menores porosidades y absorción a un mortero.

Se llegó a la conclusión que, la máxima actividad puzolánica se obtuvo con un 20% de ceniza para ambos tipos de cenizas, pero el mejor resultado fue de 114.8 % para morteros con ceniza de bagazo de caña de azúcar y después se obtuvo 112.2 % para morteros con ceniza volante.

Se elaboró un análisis estadístico de varianza y prueba F donde se concluye estadísticamente que las variables independientes influyen significativamente en las variables dependientes de la investigación.

CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda controlar las adiciones de agua, debido a que en este estudio se utilizó una relación $A/C = 0.65$ para todos los ensayos.
2. Se recomienda monitorear la elaboración de las probetas cilíndricas con la finalidad de evitar fallas en la evaluación de los ensayos correspondientes a este estudio.
3. Se recomienda realizar el capeo correspondiente para cada probeta cilíndrica ya que esto beneficia a la evaluación del ensayo de resistencia a la compresión.
4. Se recomienda evaluar otras propiedades de los morteros como fluidez, desgaste, resistencia a la adherencia entre otros para realizar un mejor estudio.
5. Se recomienda el uso de residuos orgánicos como las cenizas orgánicas utilizadas en esta investigación, ya que contribuyen a combatir la contaminación ambiental que es un tema que nos afecta a todos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anter (2010). *Cemento*, 1(1), 1-2. <http://www.anter.es/pdf/L1.pdf>. Madrid. España.
- Argiz C, Meléndez E, (2012). *Efecto de la adición de mezclas de ceniza volante y ceniza de fondo procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de cementos Portland*. *Materiales de construcción*.63(309), 50-58. España.
- Arriola (2009). *Diseño de Morteros con cementos Hidráulicos para la Construcción de Muros con elementos de mampostería*. Universidad de San Carlos. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf. Tesis de licenciatura. Guatemala
- Calleja J (1978). *Cenizas, cementos y hormigones con cenizas*. *Materiales de construcción* 2(187), 4-12. Madrid. España.
- Chávez C (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico*. Universidad Nacional de Cajamarca. http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016_44477012_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Tesis para titulación. Perú.
- Chichilla, V; Mejia, M. y Mendoza, C. (2012). “*Determinación de la resistencia a la compresión de mortero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país*”. Universidad de El Salvador. Tesis Ingeniero Civil. L Salvador.
- Farfán M, Pastor H (2018). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto*. *Revista de Investigación y Cultura*, 7(3), 2- 8. <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-HACER/article/view/1791/1471>. Perú.
- Fernández, R., y Navas, A. (2012). *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad*. *Infraestructura Vial* Vol. 13 Num. 24 2012.
- Gutiérrez (2015). *Morteros*. Universidad Nacional de Colombia. Capítulo 3, 119-121. http://bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf. Colombia.
- HERNANDEZ H.; HERNANDEZ C. (1999). “*Estudio de las características físico – mecánicas en adoquines de concretos fabricados con arena caliza y arena de río*”. Universidad de San Carlos de Guatemala – Tesis – Ingeniero Civil. Guatemala.
- Libreros J, Henao S (2016). *Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo para la elaboración de morteros*. (Grado). Pontificia Universidad Javeriana. Cali. Colombia.
- Lugo J (2014). “*Efecto de las cenizas volantes tratadas térmicamente como sustituto parcial del cemento en morteros*”. (Titulación). Universidad de San Buenaventura. Colombia.

- LORCA A. (2014). “Efecto de la adición de hidróxido cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por ceniza volante”. Departamento de Ingeniería De la Construcción y proyectos de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral. Valencia. España.
- Martínez S., Calderón L (2017). *Influencia del tamaño de partícula y del porcentaje de reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por cemento portland tipo i sobre la resistencia a la compresión, actividad puzolanica, y reactividad alcali-silice en morteros modificados* (Titulación). Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Montemor M. F., M. P. Cunha, M. G. Ferreira, A. M. Simons, (2002). *Corrosion behavior of rebars in fly ash mortar exposed to carbon dioxide and chlorides*, Cement and Concrete Composites vol. 24, 45-53.
- McMillian y Lyse (1929) Efecto de la relación agua/cemento y la duración de curado
- Ossa M, Jorquera H (1984). *Cementos con cenizas volantes*. Materiales de construcción. 34(193), 4-6. España.
- Ramos C, Sotomayor G (2019). *Diseño de mortero empleando cenizas de cascaras de arroz*. (Titulación). Universidad Señor de Sipan. Lambayeque. Perú.
- Sánchez D (1987). *Tecnología del concreto y del mortero*. Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá. Colombia.
- Salamanca R (2001). *La tecnología de los morteros*. Revista Ciencia y Tecnología, 11, 2-9. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101107.pdf>. Colombia.
- Sánchez de Guzmán, Diego. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5ta ed., pp. 57-108, 303-317). Bogotá (Colombia): Bhandar Editores.
- Torres A (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.
- Valencia G, et al. (2012). *Estudio de durabilidad y corrosión en morteros armados adicionados con toba volcánica y ceniza bagazo de caña de azúcar*, de Revista de la construcción, 2(2), 2-4. <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v11n2/art10.pdf>. Colombia

ANEXOS

ANEXO A

Recolección de datos de caracterización

Tabla A.1 Recolección de datos del ensayo de humedad de agregado fino

Muestra	Lata (g)	Lata + Muestra (g)	Lata + Muestra Seca (g)	Humedad (%)	Humedad Promedio
1	43.95	138.18	137.6	0.619	0.625
2	46.05	99.57	99.24	0.620	
3	49.69	116.25	115.83	0.635	

Tabla A.2 Datos del ensayo de granulometría (primera repetición) de agregado fino

Malla		Granulometría 1				
N°	Peso	Malla + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	% Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Pasante
4	508.11	594.12	86.01	8.5	8.5	91
8	489.85	621.48	131.63	13.1	21.7	78
16	411.88	554.27	142.39	14.2	35.9	64
30	402.21	523.65	121.44	12.1	48.1	51
50	369.67	480.99	111.32	11.1	59.2	40
100	345.95	636.48	290.53	29.0	88.2	11
200	299.84	394.45	94.61	9.4	97.7	2
BC	369.9	392.36	22.46	2.2	100.000	0

Tabla A.3 Datos del ensayo de granulometría (segunda repetición) de agregado fino

Malla		Granulometría 2				
N°	Peso	Malla + muestra (g)	Peso Retenido (g)	% Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Pasante
4	508.11	582.17	74.06	7.4	7.4	92
8	489.85	634.12	144.27	14.4	21.8	78
16	411.88	556.01	144.13	14.4	36.3	63
30	402.21	518.47	116.26	11.6	47.9	52
50	369.67	479.83	110.16	11.0	58.9	41
100	345.95	644.12	298.17	29.8	88.8	11
200	299.84	387.3	87.46	8.7	97.5	2
BC	369.9	393.87	23.97	2.4	100.0	0

Tabla A.4 Datos del ensayo de granulometría (tercera repetición) de agregado fino

Malla		Granulometría 3				
N°	Peso	Malla + muestra (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Pasante
4	508.11	581.41	73.3	7.3	7.3	92
8	489.85	636.48	146.63	14.6	21.9	78
16	411.88	552.48	140.6	14.0	36.0	63
30	402.21	515.34	113.13	11.2	47.3	52
50	369.67	476.27	106.6	10.6	57.9	42
100	345.95	664.18	318.23	31.7	89.	10
200	299.84	376.28	76.44	7.6	97.3	2
BC	369.9	396.26	26.36	2.6	100.0	0

Tabla A.5 Datos del ensayo de granulometría promedio de agregado fino

Mallas		I	II	III	Promedio
N° De Malla	Diámetro (mm)	% Pasante	% Pasante	% Pasante	
4	4.75	96.53	95.6	96.5	96
8	2.36	83.42	82.4	82.8	82
16	1.18	69.32	68.3	69.1	68
30	0.6	57.17	57.0	57.8	57
50	0.3	46.04	46.0	47.1	46
100	0.15	11.16	11.1	10.2	10
200	0.075	2.25	2.4	2.6	2
BC	Menor a 0.075	0.00	0.0	0.0	0

Tabla A.6 Datos del ensayo de peso unitario suelto y compacto

Pesos	1	2		3		Promedio		
	PUSS	PUCS	PUSS	PUCS	PUSS	PUCS	PUSS	PUCS
Recipiente (kg)	6.096	6.096	6.096	6.096	6.096	6.096	2287.8	2494.3
Recipiente + muestra (kg)	13.482	13.959	13.295	14.045	13.276	14.013		
Peso unitario (kg/m ³)	2329.1	2479.6	2270.2	2506.7	2264.2	2496.6		

Tabla A.7 Datos para determinar absorción y peso específico de agregado fino

Peso	1	2	3
Fiola (g)	245.01	247.91	246.31
Fiola + Agua (g)	1193.04	1242.3	1242.3
Fiola + Muestra (g)	727.99	728.49	743.51
Fiola+ Muestra + Agua (g)	1495.19	1544.16	1554.24
Muestra (g)	477.46	475.37	491.64

Tabla A.8 Datos de absorción y peso específico de agregado fino

Muestra	Absorción (%)	Peso Especifico (g/cm ³)
1	1.2	2.6
2	1.1	2.7
3	1.1	2.7
Promedio	1.1	2.7

Tabla A.9 Datos de análisis químico de agregado fino

	Salinidad (%)	Conductividad (μS/cm)	Solidos Totales suspendidos (mg/L)	Temp (°C)	pH
Arena	0.01	263	137	22.4	7.4
Agua Potable	0.11	2.09	1046	22.5	6.9
Agua Destilada	0	9.29	4.4	22.5	7

Tabla A.10 Recolección de datos del ensayo de resistencia a la compresión de morteros con ceniza volante

Muestra	Dimensiones(mm)		Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Fuerza (N)	Resistencia		R prom (Kg/cm ²)
	Lado 1	Lado 2				(MPa)	(Kg/cm ²)	
0	1	51	50	2550	75.34	75340	29.5	298
	2	49	51	2499	73.97	73970	29.6	
	3	51	51	2601	76.02	76020	29.2	
	4	50	50	2500	74.52	74520	29.8	
	5	50	49	2450	72.15	72150	29.4	
10	1	50	50	2500	78.45	78450	31.4	315
	2	50	51	2550	79.14	79140	31.0	
	3	50	50	2500	77.95	77950	31.2	
	4	50	51	2550	78.94	78940	31.0	
	5	50	50	2500	78.19	78190	31.3	
20	1	51	50	2550	84.01	84010	32.9	335
	2	50	50	2500	83.19	83190	33.3	
	3	50	50	2500	83.17	83170	33.3	
	4	50	50	2500	83.52	83520	33.4	
	5	50	51	2550	84.21	84210	33.0	
30	1	50	50	2500	76.12	76120	30.4	307
	2	50	51	2550	77.28	77280	30.3	
	3	50	50	2500	76.48	76480	30.6	
	4	51	51	2601	78.41	78410	30.1	
	5	50	50	2500	75.64	75640	30.3	
40	1	49	51	2499	72.14	72140	28.9	292
	2	51	51	2601	74.97	74970	28.8	
	3	50	50	2500	72.23	72230	28.9	
	4	50	49	2450	71.15	71150	29.0	
	5	50	50	2500	72.64	72640	29.1	

Tabla A.11 Recolección de datos del ensayo de resistencia a la compresión de morteros con ceniza de bagazo de caña de azúcar

Muestra	Dimensiones(mm)		Área (mm ²)	Fuerza		Resistencia		R prom (Kg/cm ²)
	Lado 1	Lado 2		(KN)	(N)	(MPa)	(Kg/cm ²)	
0	1	51	50	2550	75.34	75340	29.5	298
	2	49	51	2499	73.97	73970	29.6	
	3	51	51	2601	76.02	76020	29.2	
	4	50	50	2500	74.52	74520	29.8	
	5	50	49	2450	72.15	72150	29.4	
10	1	49	50	2450	80.15	80150	32.7	330
	2	51	51	2601	84.69	84690	32.6	
	3	49	51	2499	81.67	81670	32.7	
	4	50	50	2500	82.64	82640	33.1	
	5	50	51	2550	81.99	81990	32.2	
20	1	51	49	2499	84.67	84670	33.9	343
	2	50	50	2500	84.29	84290	33.7	
	3	50	49	2450	83.17	83170	33.9	
	4	51	50	2550	86.48	86480	33.9	
	5	51	51	2601	88.45	88450	34.0	
30	1	50	50	2500	80.15	80150	32.1	321
	2	51	51	2601	81.98	81980	31.5	
	3	50	50	2500	80.24	80240	32.1	
	4	51	51	2601	82.69	82690	31.8	
	5	50	51	2550	80.32	80320	31.5	
40	1	49	50	2450	72.41	72410	29.6	297
	2	50	51	2550	75.21	75210	29.5	
	3	51	50	2550	75.09	75090	29.4	
	4	51	50	2550	75.01	75010	29.4	
	5	49	50	2450	71.59	71590	29.2	

Tabla A.12 Recolección de datos del ensayo de absorción y porosidad de morteros con ceniza de bagazo de caña de azúcar

Muestra	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso suspendido (g)	Absorción (%)	Abs prom (%)	Porosidad (%)	Por prom (%)	
0	1	249.37	264.47	149.84	6	13.2	13	
	2	249.39	264.52	150.2		6.1		13.2
	3	250.45	265.48	149.56		6.0		13.0
	4	248.42	263.48	148.47		6.1		13.1
	5	246.56	261.45	147.56		6.0		13.1
10	1	251.48	267.48	149.69	6	13.6	13	
	2	249.67	266.01	144.28		6.5		13.4
	3	250.65	267.14	145.27		6.6		13.5
	4	254.01	270.85	147.25		6.6		13.6
	5	248.65	264.58	148.64		6.4		13.7
20	1	254.21	271.69	145.74	6	13.9	14	
	2	250.94	268.45	142.15		7.0		13.9
	3	249.96	267.32	142.58		6.9		13.9
	4	254.21	271.45	149.74		6.8		14.2
	5	248.56	265.51	145.01		6.8		14.1
30	1	249.57	268.41	140.56	7	14.7	14	
	2	250.84	270.02	140.67		7.6		14.8
	3	256.14	275.48	143.89		7.6		14.7
	4	250.87	270.14	139.68		7.7		14.8
	5	249.68	268.74	139.64		7.6		14.8
40	1	264.18	285.48	148.54	8	15.6	15	
	2	256.48	277.24	144.29		8.1		15.6
	3	261.44	282.94	145.58		8.2		15.7
	4	261.45	282.71	145.96		8.1		15.5
	5	265.14	286.48	149.21		8.0		15.5

Tabla A.13 Recolección de datos del ensayo de absorción y porosidad de morteros con ceniza volante

Muestra	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso suspendido (g)	Absorción (%)	Abs prom (%)	Porosidad (%)	Poroprom (%)	
0	1	249.37	264.47	149.84	6	13.2	13	
	2	249.39	264.52	150.2		6.1		13.2
	3	250.45	265.48	149.56		6.0		13.0
	4	248.42	263.48	148.47		6.1		13.1
	5	246.56	261.45	147.56		6.0		13.1
10	1	245.65	268.45	145.24	9	18.5	18	
	2	251.24	274.85	146.29		9.4		18.4
	3	250.84	274.18	148.72		9.3		18.6
	4	252.65	276.01	150.11		9.2		18.6
	5	261.24	286.01	151.65		9.5		18.4
20	1	250.85	278.24	137.48	10	19.5	19	
	2	251.42	278.34	139.47		10.7		19.4
	3	252.64	279.48	140.99		10.6		19.4
	4	252.78	280.09	139.24		10.8		19.4
	5	250.94	277.88	140.27		10.7		19.6
30	1	256.17	285.74	144.21	11	20.9	21	
	2	256.24	286.04	145.17		11.6		21.2
	3	254.74	284.01	145.34		11.5		21.1
	4	251.96	281.37	141.04		11.7		21.0
	5	253.48	282.98	143.08		11.6		21.1
40	1	254.7	286.24	144.57	12	22.3	22	
	2	256.48	288.64	143.11		12.5		22.1
	3	256.72	288.67	144.67		12.4		22.2
	4	249.97	281.02	140.67		12.4		22.1
	5	248.56	279.35	141.42		12.4		22.3

ANEXO B

Procesamiento estadístico de los resultados

B.1. Cálculos para el análisis de varianza (ANAVA)

Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes.

Para su determinación se procedió como se indica a continuación

b. Conocimientos previos

b.1. Planteamiento de la Hipótesis

Hipótesis alterna (H1)

A medida que se incrementa la cantidad de ceniza y se varía el tipo de ceniza en la mezcla con cemento, la resistencia a la compresión aumentara y se mejorara la fluidez de un mortero de asentado.

Hipótesis nula (H0)

El uso de cenizas en mezclas con cemento no influye en las propiedades de resistencia a la compresión y fluidez en la elaboración de un mortero de asentado.

b.2. Nivel de significancia:

En ingeniería se trabaja con un 95% de confianza ($\alpha = 0.05$)

b.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula (H0) si $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ donde:

F_0 se obtiene experimentalmente.

F_{α, v_1, v_2} se obtiene de tablas. Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v_1, v_2}$, pues:

$$V_1 = a-1 \quad \text{y} \quad V_2 = ab(n-1)$$

Dónde:

“a y b” es el número de niveles

“n” es el número de réplicas

a. Análisis de varianza para diseño bifactorial

Presentamos el siguiente análisis de varianza, por ser el problema de investigación de diseño bifactorial.

c.1. Resumen de análisis de varianza y prueba de F

Tabla c.1 Cuadro de resumen del análisis de varianza para un diseño bifactorial

Factor de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0	F0.
Factor A	SSA	a-1	$MSS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_A = \frac{MS_A}{MS_E}$	
Factor B	SSB	b-1	$MSS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_B = \frac{MS_B}{MS_E}$	05
Interacción A x B	SSAB	(a-1)(b-1)	$MSS_{AB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_{AXB} = \frac{MS_{AXB}}{MS_E}$	
Error	SSE	ab(n-1)	$MSS_E = \frac{SS_{AxB}}{ab(n-1)}$		
Total	SST	abn-1			

Formulas a calcular en el análisis de varianza y prueba F

Suma De Cuadrados

a) Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

b) Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

c) Cálculo de la suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

d) Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB).

$$SS_{AXB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

e) **Cálculo de la suma de cuadrados totales.**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axb \times n}$$

f) **Cálculo de la suma de cuadrados de error**

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B}$$

Media de cuadrados

a) **Cálculo de la media de cuadrados del factor A**

$$MS_{A_{\dots}} = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_{B_{\dots}} = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_{A \times B_{\dots}} = \frac{SS_{A \times B}}{(a - 1) \times (b - 1)}$$

F₀ Experimental

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(A \times B) = \frac{MS_{A \times B}}{MS_E}$$

A. Cálculo estadístico de la resistencia a la compresión.

Tabla c.2 Datos para el análisis de ANAVA para el ensayo de compresión

		A				SUMA B
		a1	a2	a3	a4	
b1		331.1	342.9	324.4	299.1	
		329.5	341.2	319	298.5	
		330.7	343.5	324.8	298	
		334.5	343.2	321.7	297.7	
		325.4	344.1	318.8	295.7	
B	SUMA	1651.2	1714.9	1608.7	1489	6463.8
		317.6	333.4	308.1	292.1	
		314.1	336.8	306.7	291.7	
	b2	315.5	336.7	309.6	292.4	
		313.3	338.1	305.1	293.9	
	316.5	334.2	306.2	294		
	SUMA	1577	1679.2	1535.7	1464.1	6256
	SUMA A	3228.2	3394.1	3144.4	2953.1	12719.8

Suma De Cuadrados

g) **Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor A.**

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 10091.30$$

h) **Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor B.**

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 1079.52$$

i) **Cálculo de la suma de cuadrados subtotales**

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 11364.21$$

j) **Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB).**

$$SS_{AxB} = SSSUBTOTAL - SS_A - SS_B = 193.39$$

k) **Cálculo de la suma de cuadrados totales.**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n} = 11495.56$$

l) **Cálculo de la suma de cuadrados de error**

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} = 131.34$$

Media de cuadrados

b) **Cálculo de la media de cuadrados del factor A**

$$MS_{A_{\sim}} = \frac{SS_A}{a-1} = 3363.77$$

$$MS_{B_{\sim}} = \frac{SS_B}{b-1} = 1079.52$$

$$MS_{AxB_{\sim}} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1) \times (b-1)} = 64.46$$

F₀ Experimental

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E} = 819.53$$

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E} = 263.01$$

$$F_0(A \times B) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E} = 15.71$$

Tabla c.3 Análisis de varianza de los resultados experimentales de la resistencia a la compresión

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F _o (observado)	F _{TABULAR}
A	3	10091.30	3363.77	819.53	2.90
B	1	1079.52	1079.52	263.01	4.15
A x B	3	193.39	64.46	15.71	2.90
Error	32	131.3	4.10		
Total	39	11495.56	4511.86		

Debido a que F_{AxB} es mayor que F₀ teórico, Podemos concluir que la cantidad de ceniza y el tipo de ceniza influyen significativamente en la resistencia a la compresión de morteros de asiento.

B. Cálculo estadístico de la absorción.

Tabla c.4 Datos para el análisis de ANAVA para el ensayo de absorción

	A				SUMA B
	a1	a2	a3	a4	
b1	6.4	6.9	7.5	8.1	
	6.5	7	7.6	8.1	
	6.6	6.9	7.6	8.2	
	6.6	6.8	7.7	8.1	
	6.4	6.8	7.6	8	
B SUMA	32.5	34.4	38	40.5	145.4
b2	9.3	10.9	11.5	12.4	
	9.4	10.7	11.6	12.5	
	9.3	10.6	11.5	12.4	
	9.2	10.8	11.7	12.4	
	9.5	10.7	11.6	12.4	
SUMA	46.7	53.7	57.9	62.1	220.4
SUMA A	79.2	88.1	95.9	102.6	365.8

Suma De Cuadrados

a) Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 30.54$$

b) Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 140.63$$

c) **Cálculo de la suma de cuadrados subtotales**

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 174.21$$

d) **Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB).**

$$SS_{AXB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B = 3.04$$

e) **Cálculo de la suma de cuadrados totales.**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 174.46$$

f) **Cálculo de la suma de cuadrados de error**

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} = 0.25$$

Media de cuadrados

g) **Cálculo de la media de cuadrados del factor A**

$$MS_{A_{\dots}} = \frac{SS_A}{a-1} = 10.18$$

$$MS_{B_{\dots}} = \frac{SS_B}{b-1} = 140.63$$

$$MS_{AxB_{\dots}} = \frac{SS_{AXB}}{(a-1) \times (b-1)} = 1.01$$

F₀ Experimental

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E} = 1313.59$$

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E} = 18145.16$$

$$F_0(A \times B) = \frac{MS_{A \times B}}{MS_E} = 130.97$$

Tabla c.5 Análisis de varianza de los resultados experimentales de absorción

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F_0 (observado)	$F_{TABULAR}$
A	3	30.54	10.18	1313.59	2.90
B	1	140.63	140.63	18145.16	4.15
A x B	3	3.04	1.01	130.97	2.90
Error	32	0.2	0.01		
Total	39	174.46	151.83		

Debido a que $F_{A \times B}$ es mayor que F_0 teórico, Podemos concluir que la cantidad de ceniza y el tipo de ceniza influyen significativamente en la absorción de morteros de asiento.

C. Cálculo estadístico de la porosidad

Tabla c.6 Datos para el análisis de ANAVA para el ensayo de porosidad

		A	SUMA B			
		0	10	20	30	
		a1	a2	a3	a4	
		13.6	13.9	14.7	15.6	
		13.4	13.9	14.8	15.6	
b1		13.5	13.9	14.7	15.7	
		13.6	14.2	14.8	15.5	
		13.7	14.1	14.8	15.5	
	SUMA	67.8	70	73.8	77.9	289.5
		18.5	19.5	20.9	22.3	
b2		18.4	19.4	21.2	22.1	
		18.6	19.4	21.1	22.2	
		18.6	19.4	21	22.1	
		18.4	19.6	21.1	22.3	
	SUMA	92.5	97.3	105.3	111	406.1
SUMA A	160.3	167.3	179.1	188.9	695.6	

Suma De Cuadrados

- a) **Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor A.**

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 48.06$$

- b) **Cálculo de la suma de cuadrados para el Factor B.**

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 339.89$$

- c) **Cálculo de la suma de cuadrados subtotales**

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 392.38$$

- d) **Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB).**

$$SS_{AXB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B = 4.43$$

- e) **Cálculo de la suma de cuadrados totales.**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn} = 392.72$$

- f) **Cálculo de la suma de cuadrados de error**

$$\underline{SS_E} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} = 0.34$$

Media de cuadrados

- c) **Cálculo de la media de cuadrados del factor A**

$$MS_{A_{\sim}} = \frac{SS_A}{a-1} = 16.02$$

$$MS_{B_{\dots}} = \frac{SS_B}{b-1} = 339.89$$

$$MS_{A \times B_{\dots}} = \frac{SS_{A \times B}}{(a-1) \times (b-1)} = 1.48$$

F₀ Experimental

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E} = 1525.59$$

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E} = 32370.38$$

$$F_0(A \times B) = \frac{MS_{A \times B}}{MS_E} = 140.79$$

Tabla c.7 Análisis de varianza de los resultados experimentales de absorción

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F _o (observado)	F _{TABULAR}
A	3	48.06	16.02	1525.59	2.90
B	1	339.89	339.89	32370.38	4.15
A x B	3	4.43	1.48	140.79	2.90
Error	32	0.3	0.01		
Total	39	392.72	357.40		

Debido a que F_{AxB} es mayor que F₀ teórico, Podemos concluir que la cantidad de ceniza y el tipo de ceniza influyen significativamente en la porosidad de morteros de asiento.

ANEXO C

Fichas técnicas



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Figura c.1. Ficha técnica de cemento Pacasmayo tipo 1

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 334.051
1998**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle De La Prosa 138, San Borja (LIMA 41) apartado 145

✓

Lima, Perú

CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland cubos de 50 mm de lado

Cement. Method for Compressive Strength of Portland Cement Mortars (Using 2-in (50 mm) Cube Specimens)

1998-07-15
2° EDICIÓN

R.0035-98- INDECOPI/CRT. Publicada el 98-08-05

Precio basado en 16 páginas

I.C.S.:91.100.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Cementos, Cemento Portland, Morteros de Cemento Portland, Método, Aparatos, Materiales, Procedimiento, Precisión

Figura c.2. Ficha de referencia de la norma utilizada para ensayos de compresión