

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA
EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS
DE CAL Y ARENA- CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

Bachiller: SARA ELIZABETH HUAMÁN MORENO

Asesor:

Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Cajamarca, Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
SARA ELIZABET HUAMÁN MORENO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE CAL Y ARENA- CAJAMARCA

Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:
Bachiller: SARA ELIZABETH HUAMÁN MORENO

JURADO EVALUADOR

Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
Asesor

Dr. Wilfredo Fernández Muñoz
Jurado Evaluador

M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Jurado Evaluador

M.Cs. María Salome de la Torre Ramírez
Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2023



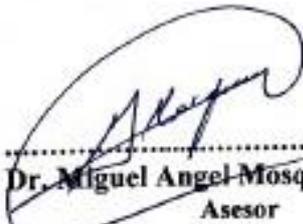
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *16:00* horas del día 17 de Agosto de dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DR. WILFREDO FERNÁNDEZ MUÑOZ**, el **M.Cs. MARCO ANTONIO SILVA SILVA**, la **M.Cs. MARÍA SALOME DE LA TORRE RAMÍREZ** y en calidad de Asesor el **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE CAL Y ARENA - CAJAMARCA"** presentada por la **Bach. en Ingeniería Civil**.

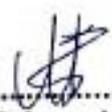
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR...** con la calificación de **DIPLOMADO... (1.8), EXCELENTE...** la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. en Ingeniería Civil. SARA ELIZABETH HUAMÁN MORENO**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **Ingeniería Civil**.

Siendo las *17:30* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Asesor


.....
Dr. Wilfredo Fernández Muñoz
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. María Salome de la Torre Ramirez
Jurado Evaluador

A: mis padres Sergio Manuel Huamán Sangay y Martha Amparo Moreno de Huamán por brindarme apoyo para cumplir mis metas, además de ser un ejemplo de integridad, gracias por la confianza, gracias por todo el amor que me brindan, amor que me acompañara siempre

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su paciencia y apoyo, sin los cuales no hubiese sido posible la culminación de esta investigación, así como sus consejos de vida.

A los docentes de la Escuela de Post Grado de la Facultad de Ingeniería, que de una u otra forma dejaron huella en mi formación profesional, gracias por compartir sus conocimientos invaluable, por su dedicación

A mi jurado: Dr. Wilfredo Fernández Muñoz, Dr. José Francisco Huamán Vidaurre, M.Cs. Marco Antonio Silva Silva, por la motivación, necesarios para la realización de esta tesis.

A mis padres, que estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional, les dedico esta meta a ustedes, gracias por todo

El secreto de ir avanzando es empezar
-Mark Twain

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	xiii
GLOSARIO	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1.PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	1
1.1.1.Contextualización	1
1.1.2.DESCRIPCION DEL PROBLEMA	3
1.1.3.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.JUSTIFICACIÓN	5
1.3.DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.1.OBJETIVO GENERAL	7
1.5.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	9
2.1.ANTECEDENTES DE LA NVESTIGACIÓN	9
2.1.1.ANTECEDENTES INTERNACIONALES	9
2.1.2.ANTECEDENTES NACIONALES	13
2.1.3.ANTECEDENTES LOCALES	14

2.2.MARCO CONCEPTUAL	14
2.2.1.Normatividad referente a morteros de cal en el mundo	14
2.2.2.El mortero como material de construcción	15
2.2.3.Características de morteros de cal	16
2.2.4.Composición de los morteros de cal	16
2.2.5.Ventajas del uso de morteros de cal	17
2.2.6.Desventajas del uso de morteros de cal	18
2.2.7.Propiedades Físicas y Mecánicas	19
2.2.8.Ensayos mecánicos	20
23.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	32
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES	34
3.1.HIPÓTESIS	34
3.2.VARIABLES/CATEGORÍAS	34
3.2.1.Variable Independiente: Proporción de adición de puzolana de arcilla cocida	34
3.2.2.Variable Dependiente: Propiedades físico mecánicas de mortero de cal y arena	34
3.3.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLOGICO	36
4.1.UBICACIÓN GEOGRAFICA	36
4.2.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
4.2.1.Tipo: Aplicada	36
4.2.2.Nivel: Relacional	36
4.2.3.Diseño: Experimental	36
4.3.METODO DE INVESTIGACIÓN	36
4.3.1.Tipos de investigación según distintos criterios	37

4.4. POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN	38
4.4.1. Población	38
4.4.2. Muestra	38
4.4.3. Unidad de Análisis: espécimen de probeta de mortero cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla	39
4.4.4. Unidad de Observación: espécimen de probeta de mortero cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla	39
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	39
4.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	39
4.7. EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS	39
4.7.1. Equipo	39
4.7.2. Materiales	40
4.7.3. Insumos	40
4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA	41
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	42
5.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
5.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	66
RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS	67
REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS	68
APENDICES	68
ANEXO	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas que presentaron los morteros durante proceso de elaboración.	11
Tabla 2.Operacionalización de variables.....	35
Tabla 3. Número de especímenes por ensayo	38
Tabla 4. Matriz de consistencia metodológica	41
Tabla 5. Resultados promedio de la resistencia a la compresión, mortero D1 (mortero base), y proporciones D2, D3, D4	42
Tabla 6. Resumen promedio de resultados de la resistencia adherencia por tracción de los morteros.....	44
Tabla 7. Resumen promedio de resultados de ensayo de densidad peso seco de los morteros ...	46
Tabla 8.Resumen promedio de resultados de ensayo de absorción de los morteros	47
Tabla 9. Resumen promedio de datos de ensayos de resistencia a la compresión	49
Tabla 10. Resumen de procesamiento de datos.....	49
Tabla 11. Datos Descriptivos	50
Tabla 12. Prueba de normalidad.....	51
Tabla 13. Correlaciones.....	52
Tabla 14. Tabla Resumen de procesamiento de datos.....	53
Tabla 15.Datos Descriptivos	53
Tabla 16. Prueba de normalidad.....	54
Tabla 17. Correlaciones.....	54
Tabla 18. Resumen promedio de resultados de ensayo de densidad peso seco.....	55
Tabla 19. Resumen de procesamiento de datos.....	55
Tabla 20. Tabla. Datos Descriptivos	55
Tabla 21.Prueba de normalidad.....	56
Tabla 22.Tabla. Correlaciones	56
Tabla 23. Resumen promedio de resultados de ensayo de Absorción (%)	57
Tabla 24. Resumen de procesamiento de datos.....	57
Tabla 25. Datos Descriptivos	57
Tabla 26. Prueba de normalidad.....	58
Tabla 27. Correlaciones.....	58
Tabla 28. Comparación de resultados promedio de ensayos de resistencia a la compresión a 7,14,21 días	59
Tabla 29. Comparación de datos promedio de ensayos adherencia	61
Tabla 30.Resultados promedio de valores de ensayo densidad peso seco (g/cm^3)	62
Tabla 31. Tabla. Comparación de resultados promedio de absorción (%).....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ensayo determinación de la resistencia a compresión del mortero endurecido.....	26
Figura 2. Ensayo determinación Adherencia por tracción del mortero endurecido.	28
Figura 3. Serie de mortero Vs. Resistencia a la compresión.....	43
Figura 4. Comparación de la resistencia a la compresión de los morteros.....	43
Figura 5. Serie de mortero vs Resistencia Adherencia por Tracción (kg/cm ²).....	45
Figura 6. Comparación de la Resistencia Adherencia por Tracción de la serie de morteros	45
Figura 7. Comparación de serie de mortero vs Densidad peso seco	46
Figura 8. Densidad peso seco de los morteros	47
Figura 9. Serie de mortero vs Absorción (%).....	48
Figura 10. Comparación de Absorción (%) de la serie de morteros	48
Figura 11. Grafico. Q-Q normal de Resistencia a la compresión (kg/cm ²).....	51
Figura 12. Comparación de resultados promedio de ensayos de resistencia a la compresión a 7,14,21 días	59
Figura 13. Comparación de resultados promedio de la resistencia adherencia por tracción de los morteros adherencia (kg/cm ²)	61
Figura 14. Comparación de promedio de valores de ensayo densidad peso seco (g/cm ³).....	63
Figura 15. Gráfico de valores promedio de absorción (%) por serie de mortero	65
Figura 16. Gráfico de resultados promedio obtenidos de ensayos realizados.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

ASTM: American Society of testing Materials.

NTP: Norma Técnica Peruana.

UNE: Una Norma Española

EN: Norma Europea. ISO

AENOR: Asociación Española de Normalización.

NTG: Norma Técnica Guatemalteca

COGUANOR: Comisión Guatemalteca de Norma

GLOSARIO

- Mortero de cal:** Mezcla de cal, arena y agua utilizada como material de unión en la construcción.
- Puzolana:** La puzolana de arcilla cocida es un material utilizado en la construcción como adición al cemento o como componente en la fabricación de morteros y hormigones.
- Proporción de mezcla:** La proporción de mezcla se refiere a la cantidad relativa de cal, arena y agua que se utiliza en la preparación de un mortero de cal.
- Resistencia:** Capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros.
- Adherencia:** Capacidad de un mortero para adherirse a las unidades de albañilería, creando una unión resistente y duradera.

RESUMEN

En la presente tesis se analizó el efecto de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena, motivada por el contexto de Cajamarca, que cuenta con patrimonio cultural que incluye iglesias de estructuras líticas de valor histórico incalculable, por tanto esta tesis se vincula estrechamente con la preservación y restauración de estos monumentos únicos, ya que la cal y la arena han sido componentes fundamentales en la restauración y preservación de estos monumentos históricos. Para esta tesis se ensayaron 4 dosificaciones de morteros: la dosificación de control 1:3 de cal, arena; y las de prueba que fueron 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida, 10 probetas por cada dosificación, a los 7 días a 14 días y a los 21 días, es decir 120 probetas en total. Para el ensayo de adhesión por tracción usó testigos de albañilería de piedra de cantería cruzados, 6 ensayos por cada dosificación de morteros: 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida, a los 13 días, es decir 24 pruebas en total. Finalmente se concluyó que la combinación que presenta mejora en las características físico mecánicas es la combinación de cal, arena y puzolana (1:3:2), ya que con respecto a la muestra base, presenta una mejoría del 84.87% en el valor de resistencia a la compresión (kg/cm^2), mejoría del 79.07% en el valor de adherencia (kg/cm^2), un aumento del 1.21% en la densidad aparente en peso seco, y que el porcentaje de absorción % disminuyo a el valor de 2.47%

PALABRAS CLAVE: mortero, puzolana, propiedades físico-mecánicas

ABSTRACT

In the present thesis, the effect of the addition of fired clay pozzolan on the physical-mechanical properties of lime and sand mortars was analyzed, motivated by the context of Cajamarca, which has a cultural heritage that includes churches of lithic structures of incalculable historical value, therefore this thesis is closely linked to the preservation and restoration of these unique monuments, since lime and sand have been fundamental components in the restoration and preservation of these historical monuments.. In this thesis, the effect of adding fired clay pozzolan on the physical-mechanical properties of lime and sand mortars is analyzed. Experimental tests were conducted with different proportions of pozzolan addition, and properties such as compressive strength, adhesive strength, and water absorption were evaluated. Four mortar mixtures were tested: the control mixture with a 1:3 ratio of lime to sand, and the test mixtures with additional pozzolan in ratios of 1:3:0.5, 1:3:1, and 1:3:2 of lime, sand, and fired clay pozzolan. Each mixture was tested with 10 specimens at 7, 14, and 21 days, resulting in a total of 120 specimens. For the tensile adhesion test, stone masonry witnesses were used, with 6 tests conducted for each mortar mixture at 13 days, resulting in a total of 24 tests. Finally, it was concluded that the combination of lime, sand, and pozzolan (1:3:2) showed improved physical-mechanical characteristics. Compared to the base sample, it exhibited an 84.87% increase in compressive strength (kg/cm²), a 79.07% improvement in adhesion strength (kg/cm²), a 1.21% increase in apparent density (dry weight), and a decrease in water absorption percentage to 2.47%.

KEY WORDS: mortar, pozzolan, physical-mechanical properties

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1.1. Contextualización

El problema que plantea esta tesis de investigación, es el uso de los morteros de cal y arena de manera empírica en la provincia de Cajamarca, Perú, lo que limita determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Se sabe que la adición de puzolana de arcilla cocida puede mejorar las propiedades físico-mecánicas de los morteros, pero no se ha estudiado su efectividad en la provincia de Cajamarca. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar la influencia de la adición de puzolana en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena en la provincia de Cajamarca, con el fin de proponer una alternativa viable para mejorar las propiedades del mortero usado en algunas construcciones en la provincia de Cajamarca.

(Alison , Henry; English Heritage; Stewart , John, 2012) El uso de mortero de cal y arena en construcciones es una técnica que ha sido utilizada desde la antigüedad hasta la actualidad. En la antigüedad, por ejemplo, las culturas egipcia y griega utilizaron esta técnica para construir importantes estructuras como templos, palacios y fortificaciones, y gracias a ella muchas de estas construcciones han perdurado hasta nuestros días. Durante la Edad Media, la técnica de construcción con mortero de cal y arena se extendió por toda Europa y se utilizó para la construcción de castillos, puentes y catedrales, como la catedral de Chartres en Francia.

(Castañeda, M. A., & Melián, J. E., 2016) En América Latina, en la época colonial, se utilizó esta técnica para la construcción de iglesias y edificios públicos. En la actualidad, la técnica de construcción con mortero de cal y arena sigue siendo utilizada en todo el mundo para la construcción de edificios e intervención en monumentos históricos debido a que es recomendable usar materiales compatibles con la fábrica original.

(Usedo Vallés, 2015) nos indica que la cal fue uno de los primeros conglomerantes evidenciado por el hombre, ya que se han encontrado evidencia del uso en yacimientos de más de 10 000 años de antigüedad, y hasta inicios del siglo XX se usó como

conglomerante principal en la construcción, paso de un sistema artesanal a uno industrial automatizado, implementándose sistemas de aseguramiento de calidad.

Por lo que se explica que, históricamente los morteros de fábrica, hasta finales del siglo XIX, usan como conglomerante principal la cal. Aunque para exteriores se usaba morteros mixtos con yesos, pero siempre el conglomerante principal era la cal.

Antoni González Moreno-Navarro en mayo de (1998) en el I Congreso Europeo sobre Restauración de Catedrales Góticas, realizado en España, indica que la tendencia es hacer que el edificio funcione tal y como es tal es así que, si una pared de mampostería se agrieta, se tiene que reparar con mampostería, si es bóveda de piedra se arregla con piedra y así cada vez; cuando surgieron los problemas de agrietamiento al inicio, los arquitectos emplearon el concreto, el cual con el transcurrir del tiempo ha demostrado que en contacto con la piedra natural puede tener un efecto pernicioso sobre ella, siendo su uso desfavorable.

Por tanto, se puede optar por el uso de materiales y técnicas tradicionales, que no siempre se adecúan a las necesidades actuales o usar materiales modernos, que no siempre son compatibles con los materiales originales de los monumentos históricos.

Según Usedo Valles (2015) en los últimos 100 años, la cal ha caído en desuso como materia prima. Sin embargo, en la actualidad, existe mayor sensibilidad hacia la conservación del patrimonio, esto ha reivindicado las bondades de la cal como material de construcción, por parte de los expertos responsables del mantenimiento, conservación de nuestras fábricas y revestimientos antiguos.

“Con la llegada del cemento portland, [...] y la aparición de la pintura plástica, por otro, fueron desplazando a la cal de su posición preferente en la construcción” (Usedo Vallés, 2015)

Sin embargo, en intervenciones en las que coexisten morteros tradicionales de cal, y morteros de cemento, se presentaron problemas como daños por sulfatos, eflorescencia salina, retracción etc; siendo el motivo por lo que el uso de cemento es inadecuado para

restauración de morteros de fábrica, hechos con cal en monumentos históricos.

Actualmente el uso de morteros de cal no está extendido, y se limita principalmente a casos específicos, como la restauración de monumentos históricos, por lo tanto aquí se trata de profundizar en el entendimiento de las características físico mecánicas de los morteros de cal y la influencia de adición puzolánica (arcilla cocida) en diferentes proporciones, en las características físico mecánicas como son: resistencia mecánica a la compresión, adhesión por tracción, densidad aparente en seco del mortero endurecido, coeficiente de Absorción de agua del mortero endurecido.

1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema de la tesis de investigación se enfoca en la necesidad de mejorar las propiedades de los morteros de cal y arena, ya que se ha observado que los morteros utilizados en algunas edificaciones de Cajamarca, no son adecuados y afectan negativamente a las edificaciones.

En este sentido, se propone la adición de puzolana de arcilla cocida como un aditivo para mejorar las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena utilizados en la intervención y construcción en las edificaciones del distrito de Cajamarca.

El objetivo principal de esta tesis es investigar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena en la provincia de Cajamarca, y determinar la dosificación óptima de puzolana de arcilla cocida para lograr las mejores propiedades en los morteros.

Con respecto al uso de morteros de cal y arena en edificaciones, la primera referencia de mortero de cal y arena se obtiene del libro “De Architectura” (Vitruvio Polión, Siglo I a.C) aquí se describen las técnicas de construcción y los materiales utilizados en la arquitectura romana, como morteros de cal y arena, según Vitruvio, el mortero de cal y arena debía ser preparado con una proporción de una parte de cal por tres partes de arena, mezclados con agua en la cantidad necesaria para crear una pasta suave y fácil de trabajar, además, Vitruvio recomendaba que la mezcla de mortero fuese utilizada inmediatamente después de su preparación, para evitar que se secase y perdiera sus propiedades. En

resumen, la descripción que Vitruvio hizo de los morteros de cal y arena en su tratado "De Architectura" resalta la importancia de utilizar una correcta proporción y calidad en la mezcla, así como su correcta aplicación.

El empleo de la cal como aglutinante, tiene su origen en el Neolítico, y su uso como mortero de cal se lo atribuye a los griegos y romanos (Cazalla Vázquez, 2002) indica que la cal se utilizó en otros lugares como Bizancio, Creta y Rodas y su utilización casi en forma universal.

Según nos indica González Cortina & Villanueva Domínguez (2000), en uno de sus artículos científicos denominado "Morteros Hidráulicos De Cal y Chamota", la adición de la chamota o arcilla cocida molida (que se consigue de los desechos de cerámica), pretende infundir propiedades hidráulicas a la cal. Entonces con la finalidad de obtener morteros hidráulicos, en su investigación se experimentaron con diversas dosificaciones y condiciones aportando resultados valiosos de los cuales se resaltan para esta presente tesis: durezas superficiales, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión.

El uso de este tipo de morteros, en el distrito de Cajamarca, está orientado más a la aplicación en intervenciones en el patrimonio histórico, presentándose desafíos, en algunos casos, no se utiliza la proporción adecuada de cal y arena, la falta de capacitación y supervisión técnica puede llevar a una mala aplicación del mortero, lo que afecta las características físico mecánicas del mismo, como consecuencia del vacío que existe en estudios con respecto a la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena, se ha planteado este tema de investigación.

1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico - mecánicas de los morteros de cal y arena en Cajamarca?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En áreas con un valioso patrimonio histórico y cultural, como Cajamarca, el estudio de la mejora de los morteros de cal y arena con puzolana es aplicable en el ámbito de la conservación de estructuras antiguas y monumentos, se tiene además a Norma Técnica Guatemalteca (2014), que equivale a la Norma American Society for Testing and Materials (2000) , la Norma técnica peruana (2013), Asociación Española de Normalización. (2020), sirven de referencia e investigaciones existentes sobre morteros, entre ellos los de cal y arena, indican que la adición de puzolana de arcilla cocida puede mejorar las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena, como la resistencia a la compresión, la durabilidad y la adherencia, por tanto, realizar una investigación en el distrito de Cajamarca permitiría evaluar cómo esta adición beneficia las propiedades de los morteros, contribuyendo al conocimiento científico.

En el contexto del patrimonio Cultural de Cajamarca, una ciudad que actualmente está en la lista indicativa de la UNESCO, por su riqueza histórica y arquitectónica, los morteros de cal y arena han sido elementos esenciales en la construcción y preservación de las estructuras líticas que conforman este valioso patrimonio cultural, que representan una parte fundamental de la identidad y la historia de Cajamarca y del Perú, entonces, existe la necesidad de investigar el uso de morteros de cal y arena y la oportunidad valiosa para avanzar en el conocimiento que será útil y aplicable a la conservación de estas estructuras únicas, asegurando así que puedan ser disfrutadas por las generaciones presentes y futuras. Esta tesis también contribuye a la protección del patrimonio cultural cajamarquino y peruano.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en el distrito de Cajamarca, durante el año 2020, los especímenes se realizaron y ensayaron en el Laboratorio de Ensayo GUERSAN INGENIEROS S.R.L, con gerente general Leiner Guerrero González.

Para la elaboración de los especímenes de mortero se usaron los siguientes materiales:

- CAL: cal de obra marca TOPEX en presentación de 20 kg, la cal de obra comúnmente es cal viva
- ARENA: arena gruesa de marca TOPEX en presentación de 40 kg
- PUZOLANA: se usó arcilla cocida molida, que se obtuvo de triturar ladrillo pandereta de 6 huecos marca PIRÁMIDE
- AGUA: Agua potable de la ciudad de Cajamarca

Se realizó los siguientes ensayos para el desarrollo de la investigación, siguiendo las recomendaciones de cada normativa aplicada

- Determinación de propiedades físicas del agregado fino NTP 400 (2013)
 - Peso Unitario Suelto:
 - Peso unitario compacto:
 - Peso específico:
 - Absorción (%):
 - Contenido de Humedad (%)
- Determinación de la resistencia a compresión del mortero endurecido, según Normalización Española (UNE-EN-1015-11, 2020)
- Ensayo para densidad Aparente De Mortero Endurecido, peso seco (g/cm^3), según ASTM C642 (American Society of testing Materials, 2021)
- Ensayo para determinar la absorción (%) del Mortero Endurecido, según ASTM C642 (American Society of testing Materials, 2021)

También se creyó conveniente realizar el ensayo de tracción del mortero con unidades de cantería

- Ensayo de adhesión por tracción según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7 (Comisión Guatemalteca de Norma, 2014) equivalente a la Norma American Society for Testing and Materials (2000)

La dosificación base fue 1:3 de cal y arena, luego las variaciones de dosificación fueron: 1:3:0,5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida, también de 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida, y de 1:3:2 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida

1.4. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones que se encontraron fueron:

- Propiedades de los materiales: La calidad y las propiedades de los materiales utilizados en la preparación de los morteros, como la cal, la arena y la puzolana de arcilla cocida, se refieren a cal de obra marca TOPEX, arena gruesa de marca TOPEX, puzolana usada fue arcilla cocida molida, que se obtuvo de triturar ladrillo pandereta de 6 huecos marca PIRÁMIDE, agua potable de la ciudad de Cajamarca, por lo tanto los resultados obtenidos pueden ser extendidos para materiales que se encuentren en condiciones similares
- Limitaciones de tiempo y recursos: La tesis enfrentó limitaciones debido a la pandemia de COVID-19, como restricciones de desplazamiento y obstáculos en la obtención de materiales en Cajamarca. A pesar de esto, se desarrolló de manera satisfactoria, generando resultados valiosos sobre la mejora de los morteros tradicionales de cal y arena utilizados en edificaciones monumento del patrimonio cultural de Cajamarca. Estos avances benefician tanto al conocimiento científico como a futuras investigaciones en la región, allanando el camino para estudios más profundos sobre materiales de construcción tradicionales y conservación del patrimonio cultural en Cajamarca.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena-Cajamarca

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida (1:3:0,5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida, también de 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida, y de 1:3:2 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida) en la resistencia a compresión del mortero endurecido
- Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida (1:3:0,5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida, también de 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida, y de 1:3:2 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida) en la densidad Aparente de Mortero Endurecido, peso seco (g/cm³)
- Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida (1:3:0,5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida, también de 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida, y de 1:3:2 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida) en la absorción (%) del Mortero Endurecido
- Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida (1:3:0,5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida, también de 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida, y de 1:3:2 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida) en la adhesión por tracción de unidades de cantería con mortero

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La adición de puzolana de arcilla cocida en morteros de cal y arena ha sido objeto de diversos estudios e investigaciones. a continuación, algunos ejemplos de estudios que han abordado este tema:

Vitruvio Polion (Siglo I a.C) en su obra "*De architectura*" (Sobre la arquitectura), y aunque no es una investigación científica en el sentido moderno, proporcionó valiosos conocimientos sobre los materiales de construcción utilizados en la antigua Roma, incluyendo el uso de la cal y la arena en la fabricación de morteros. Vitruvio mencionó la puzolana como un aditivo para mejorar las propiedades del mortero de cal y arena, recomendaba el uso de puzolana en los morteros cuando la arena disponible no era de buena calidad. Señalaba que la puzolana ayudaba a aumentar la resistencia y la cohesión del mortero, especialmente en lugares donde el mortero estaba expuesto a condiciones húmedas o en la construcción de estructuras marítimas.

González Cotrina & Villanueva Domínguez (2000) , en el estudio llamado "*Morteros hidráulicos de cal y chamota*", obtuvieron las siguientes conclusiones y resultados:

- a) Se puede alterar y mejorar las propiedades mecánicas y físicas de los morteros de cal mediante la adición de chamota (arcilla cocida triturada).
- b) Para chamotas (arcilla cocida triturada) cocidas a 1300 °C, pertinentes a técnicas de gresificación, en donde no se toma en cuenta la granulometría, no proporciona atributos hidráulicos al mortero, y las resistencias mecánicas obtenidas no son válidas para producir morteros de agarre de edificaciones de ladrillo.
- c) Para temperaturas de cocción de chamota (arcilla cocida triturada) de 1000 °C, propio a restos de ladrillo, cerámicos y tejas, en general, a menor tamaño en la granulometría usada se consiguen mejores resultados, con respecto a las resistencias mecánicas. La granulometría fina en este tipo de chamota (arcilla cocida triturada) concede características hidráulicas al mortero.

- d) La arena, para la producción de mortero de agarre para edificios de ladrillo, no confiere mejoras en los atributos del mortero. De acuerdo a los resultados logrados se puede usar arena en pequeñas proporciones, 1:1 en relación en peso con respecto a la cal.
- e) A edades tempranas, se observa un mejor comportamiento mecánico y físico, y valores de resistencia de las probetas almacenadas al aire. No obstante, a mayor edad se va equiparando los resultados adquiridos de las probetas inmersas en agua, superando a las almacenadas al aire.
- f) La mejor dosificación para morteros de agarre de edificios de ladrillo, para uso en restauración y uso en obra nueva, es el que tiene una proporción en peso, respecto a la cal, de entre 1,5 y 2 de chamota (arcilla cocida triturada en este caso de granulometría fina y temperatura de cocción en torno a los 1.000 ° C), y entre 1 y 1,5 de agua. Además, se puede agregar arena en una proporción de 1 en peso en relación con la cal
- g) Los análisis micro estructurales comprueban la manifestación de compuestos hidráulicos en los morteros de cal y chamota (arcilla cocida triturada).

Díaz Calderón, M. G. (2016) "Aditivos orgánicos e inorgánicos en morteros de cal: revisión histórica para su aplicación en intervenciones actuales".

Esta tesis informa sobre los diferentes aditivos indicados en la literatura histórica, su efecto sobre las propiedades de los morteros y los resultados de la evaluación de la trabajabilidad al recrear morteros con una serie de materiales orgánicos e inorgánicos en condiciones de laboratorio. El objetivo principal de esta tesis es verificar el efecto físico que el material aporta al mortero por medio de la experimentación y la observación

A continuación, se presenta una tabla con un resumen de las ventajas y desventajas que presentaron los morteros durante su proceso de elaboración

Tabla 1. Ventajas y desventajas que presentaron los morteros durante proceso de elaboración

ADITIVO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SANGRE	Resistencia a edades tempranas Disminución en de contenido de agua	Coagulación de la sangre Modifica de manera significativa el color de la mezcla
Mucilago de nopal	Trabajabilidad Fluidez Sin olor Mejora la adhesividad Poca aparición de grietas	Tiempo de extracción de la baba Variación de tonalidades debido a impurezas de la pasta
Miel	Adhesividad Impermeabilidad	Costo Poco sangrado Poca trabajabilidad Poca fluidez
Huevo (yema y clara)	Aditivo abrillanta la mezcla	Requiere alta cantidad de agua sangrado alto costo
yema	adherencia	Poca trabajabilidad olor fuerte y desagradable desmoronamiento
Clara	sin olor	Poca trabajabilidad requerimiento de agua en exceso sangrado color desigual en las capas alta retracción
leche	adherencia	Separación de áridos y líquidos sangrado variación de texturas y color
fécula de maiz	Trabajabilidad textura uniforme dureza inodora incolora	
pelo de cabra	manejable presencia de cohesión no presenta grietas	obtención y preparación del material
Algodón	manejable poco sangrado color	complicaciones al momento de mezclar
plumas	manejable poca cantidad de agua inodora e incolora	Se observan las fibras en los especímenes
Lana	inodora e incolora textura uniforme pocas grietas	Poca manejabilidad
polvo de ladrillo	manejabilidad color gris oscuro textura rugosa	Se crean grietas notables
arcilla	Manejable alta adhesividad pocas grietas poco sangrado	color oscuro
Polvo de cantera	Manejable Mezcla fluida Color parecido a la cantera	Agrietamiento

Fuente: Elaboración por MGDC

(Ortiz Wolford, 2019) *“Diseño y evaluación de mortero de cemento y cal con adición de polvo de barro cocido” (Tesis Doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala).*

Investigación que muestra el análisis del uso de polvo de barro cocido como adición y sustitución de la cantidad de cemento en mezclas de mortero de cemento y cal en pequeñas cantidades, con el fin de determinar si el uso del barro cocido en la mezcla tiene un efecto favorable o desfavorable en la resistencia y trabajabilidad, para establecer un método que mitigue la contaminación generada por la producción de elementos de arcilla cocida, promoviendo el reúso de los desechos como alternativa viable que favorezca al sector de la construcción, en esta investigación Ortiz concluyo:

- El uso del polvo de barro cocido en la mezcla de mortero otorga beneficios, como una medida de adición y sustitución del cemento, mejorando las propiedades mecánicas de este. De acuerdo a los criterios por propiedades de la Norma NTG 41050, todas las mezclas en adición y sustitución cumplen con la resistencia requerida.
- El mortero experimental que se ajusta al patrón será la mezcla en adición al 10%, satisfaciendo únicamente los valores de resistencia a compresión. Sin embargo, la mezcla en sustitución al 10 % cumple con las características físicas y mecánicas; con una proporción en peso respecto al cemento de 1 (cemento) : 0.10 (polvo de barro cocido) : 0.5(cal) : 2,5 (arena) : 0.8 (agua). La mezcla en sustitución al 5 % supera en 3,8 % y 11,1 % los valores de resistencia a compresión y tensión de la mezcla patrón, respectivamente.
- Al evaluar cómo afecta el polvo de barro cocido al adicionarlo a la mezcla o sustituirlo por el cemento en diferentes proporciones, se determina que es factible la sustitución hasta un 10 %, mejorando significativamente las características mecánicas de un mortero de cemento y cal, características que se presentan en el apartado de resultados. Los resultados obtenidos con adición de polvo de barro cocido no satisfacen los estándares de resistencias de acuerdo a un mortero sin el uso de polvo de barro cocido

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Con respecto al tema de investigación elegido, no se encontraron investigaciones relacionadas directamente a la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico - mecánicas de los morteros de cal y arena, en el ámbito nacional, se encontraron memorias de procedimientos de restauración efectuadas con morteros de cal y arena y ladrillo cocido molido, en algunas edificaciones históricas, pero no investigaciones como tal.

Se encontraron tesis desarrolladas con respecto morteros de cal y arena, pero con adición de mucilago de nopal, que es un aditivo orgánico

Giraldo Villar (2022) “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del mortero de cal adicionando mucilago de nopal (Opuntia ficus-indica), Ayacucho- 2022”

Investigación cuyo objetivo es la evaluación de las propiedades físico-mecánicas del mortero de cal con la adición de mucilago de nopal, se aplicó el tipo de investigación aplicada y el diseño de investigación fue cuasiexperimental. El mortero patrón que se preparó fue en proporción 1:2, con 20% de agua según el peso de la cal más la arena gruesa, se adicionó el mucilago en cantidades de 5, 10 y 15%. La muestra estuvo constituida por 132 en total, de las cuales 36 muestras fueron para determinar las propiedades físicas: asentamiento, peso unitario y contenido de aire y 96 muestras para la determinación de las características mecánicas, se planteó la hipótesis que la adición del mucilago de nopal contribuye de manera positiva en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cal. De igual manera, se registraron los resultados del mortero de cal con adición de mucilago de nopal, observándose que en todos los diseños se presentan un incremento en la resistencia de compresión y flexión en comparación con el mortero patrón, tal es el caso que a los 28 días el mortero de cal con adición del 15% de mucilago de nopal obtuvo 25.59 kg/cm² en los cubos prismáticos, en la resistencia a la flexión se alcanzó 7.66 kg/cm², la compresión en pilas alcanzó los 18.11 kg/cm² y la compresión axial en muretes llegó a 1.86 kg/cm², con estos resultados se llegó a la conclusión que los diseños estudiados y adicionados al mortero de cal, contribuyen positivamente en la resistencia a la compresión y flexión.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

No se encontraron antecedentes locales sobre el tema de investigación de morteros de cal y arena con adición de puzolana de arcilla cocida; siendo este hecho un incentivo más para desarrollar el tema de tesis elegido

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Normatividad referente a morteros de cal en el mundo

La normatividad relacionada con el mortero de cal y arena puede variar en diferentes países y regiones. A continuación, mencionaré algunas normas internacionales y normas nacionales de diferentes países que abordan el mortero de cal y arena:

Normas internacionales:

- ASTM C270: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry
- EN 998-1: Specification for Mortar for Masonry - Part 1: Rendering and Plastering Mortar
- ISO 679: Building Construction - Lime Specifications
- ISO 281: Building Construction - Test Methods for Lime

Normas en países específicos:

Argentina:

- IRAM 1668: Morteros de Cal para Albañilería. Especificaciones.

Brasil:

- NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.
- NBR 13282: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação das resistências de aderência e à compressão.

Chile:

- NCh1411: Hormigón - Mortero de albañilería.

Colombia:

- NTC 5480: Mortero de cal hidratada para albañilería - Requisitos.

México:

- NMX-C-147: Mortero de Cal para Albañilería - Especificaciones y Métodos de

Prueba.

Guatemala

- NTG 25018: Materiales de Construcción. Requisitos Generales para Morteros de Construcción.
- NTG 25038: Materiales de Construcción. Especificaciones para Morteros de Cal.

2.2.2. El mortero como material de construcción

El mortero es un material de construcción ampliamente utilizado en la industria de la construcción. Consiste en una mezcla de aglomerante, agregados finos (como la arena) y agua, que se utiliza para unir elementos de construcción, como ladrillos, bloques, piedras u otros materiales de mampostería.

El aglomerante más comúnmente utilizado en el mortero es la cal o el cemento, aunque también se pueden utilizar otros materiales como la arcilla. El mortero de cal, en particular, ha sido utilizado desde tiempos antiguos y es conocido por su resistencia, durabilidad y capacidad de transpiración.

Algunas aplicaciones comunes del mortero incluyen:

- Unión de elementos de construcción: El mortero se utiliza para unir ladrillos, bloques u otros elementos de construcción en estructuras de mampostería, como muros, columnas y paredes.
- Revestimientos y enlucidos: El mortero también se utiliza como revestimiento exterior o interior de paredes, proporcionando una superficie lisa y protegiendo los elementos de construcción subyacentes.
- Reparación y restauración: El mortero se utiliza para reparar y restaurar estructuras de mampostería dañadas, como la reparación de grietas o la sustitución de elementos deteriorados.
- Acabados decorativos: El mortero puede ser utilizado como un elemento decorativo en la construcción, mediante técnicas como el enlucido con diferentes texturas y colores.

Según González Cortina & de Villanueva Domínguez (2000) Un mortero es una mezcla de materiales aglomerantes y agregados finos, que al añadirles agua forman masas plásticas especiales para unión de unidades de mampostería, o para revestimiento de las mismas.

2.2.3. Características de morteros de cal

Los morteros de cal tienen propiedades beneficiosas en comparación con otros tipos de morteros, como los de cemento, ya que son más flexibles y menos propensos a agrietarse. También tienen una apariencia más cálida y natural que los morteros de cemento, lo que los hace ideales para proyectos de restauración y conservación de edificios históricos (Sarachu, E, 2023,)

Según Malinowski, además, elevada permeabilidad al agua líquida y al vapor de agua, lo que permite el elevado grado de transpiración de estos morteros cuando revisten a los muros de una edificación; ausencia de sales solubles y álcalis, culpables de lesiones tales como eflorescencias, criptoeflorescencias, etc. y también baja resistencia a las bajas temperaturas como heladas (1981)

2.2.4. Composición de los morteros de cal

Según Gutiérrez, R., García-Navarro, J., & Rodríguez-Núñez, A. (2014) comentan que la composición de los morteros de cal puede variar según el tipo de cal utilizado, la proporción de ingredientes y el tipo de aplicación. Sin embargo, en general, los morteros de cal suelen contener los siguientes componentes:

- Cal: La cal es el aglomerante principal en los morteros de cal. Se utilizan diferentes tipos de cal, como la cal hidráulica, la cal aérea y la cal apagada. La cal hidráulica y la cal aérea son las más comunes en la construcción. La cal apagada se utiliza como un componente para preparar las otras calizas.
- Agregados finos: Los agregados finos, como la arena, se utilizan para proporcionar resistencia, volumen y trabajar la mezcla del mortero. La arena debe ser limpia y libre de impurezas para asegurar una buena calidad del mortero.

- Agua: El agua es necesaria para activar la cal y lograr la reacción química de hidratación que permite que el mortero endurezca y se adhiera a los materiales de construcción.
- Puzolana: La puzolana de arcilla cocida es un tipo de puzolana artificial que se obtiene mediante la calcinación de arcillas a altas temperaturas. Este proceso provoca una transformación química en la arcilla, generando nuevas propiedades que la hacen adecuada para su uso como aditivo en morteros y hormigones.

2.2.5. Ventajas del uso de morteros de cal

Los morteros de cal presentan varias ventajas en comparación con otros tipos de morteros. Algunas de las ventajas más destacadas son:

- Transpirabilidad: Los morteros de cal permiten la transpiración de la humedad, lo que ayuda a prevenir problemas de condensación y daños por humedad en las estructuras. Según Faria, P., Nunes, S., & de Brito, J. (2016) la cal proporciona una excelente permeabilidad al vapor de agua, lo que contribuye a la durabilidad de los materiales de construcción.
- Flexibilidad y adaptabilidad: Los morteros de cal presentan mayor flexibilidad que otros tipos de morteros, lo que les permite acomodarse a los movimientos y asentamientos naturales de los materiales de construcción. Según Febrero, L., López-Arce, P., & García-Heras, M (2009), los morteros de cal tienen mayor capacidad de deformación y mejor capacidad de absorber tensiones.
- Mejora de la adhesión: La cal tiene propiedades adhesivas que mejoran la unión entre los materiales de construcción. Según Gutiérrez, R., García-Navarro, J., & Rodríguez-Núñez, A (2014), los morteros de cal tienen buena adherencia a diferentes sustratos, lo que se traduce en una mayor resistencia de la unión.
- Menor retracción: Los morteros de cal presentan menor retracción que otros tipos de morteros, lo que reduce el riesgo de agrietamiento y mejora la estabilidad de la estructura. Según Febrero, L., López-Arce, P., & García-Heras, M (2009) , la cal hidráulica natural tiene una menor retracción que el cemento Portland.

- **Sostenibilidad:** La producción de morteros de cal requiere menos energía y emite menos CO₂ en comparación con el cemento. Además, la cal es un material natural y renovable. Según Moncada, G., Klemm, S., & Tirado, C, (2017), los morteros de cal tienen un menor impacto ambiental y contribuyen a la sostenibilidad de la construcción.
- **Estética:** Los morteros de cal proporcionan una apariencia estética distintiva y tradicional, especialmente en estructuras históricas o en proyectos de restauración. Según Febrero, L., López-Arce, P., & García-Heras, M (2009), los morteros de cal permiten obtener acabados de alta calidad y se adaptan bien a los estilos arquitectónicos tradicionales.

2.2.6. Desventajas del uso de morteros de cal

Si bien los morteros de cal tienen muchas ventajas, también presentan algunas desventajas que se han discutido en la literatura, algunas desventajas comunes:

- **Tiempo de fraguado y endurecimiento:** Los morteros de cal pueden requerir más tiempo de fraguado y endurecimiento en comparación con otros tipos de morteros. Según Febrero, L., López-Arce, P., & García-Heras, M (2009), los morteros de cal pueden tener un tiempo de fraguado más largo, lo que puede aumentar la duración del proceso de construcción.
- **Resistencia inicial más baja:** Los morteros de cal pueden tener una resistencia inicial más baja en comparación con los morteros de cemento. Según Faria, P., Nunes, S., & de Brito, J. (2016), los morteros de cal generalmente tienen una resistencia inicial menor, pero pueden ganar resistencia con el tiempo debido a la carbonatación.
- **Menor resistencia mecánica:** Los morteros de cal pueden tener una resistencia mecánica inferior en comparación con los morteros de cemento. Moncada, G., Klemm, S., & Tirado, C, (2017), los morteros de cal hidráulica tienen una resistencia mecánica menor en comparación con los morteros de cemento Portland.
- **Mayor sensibilidad a la humedad:** Los morteros de cal pueden ser más sensibles a la humedad durante el proceso de curado. Según Gutiérrez, R., García-Navarro, J., &

Rodríguez-Núñez, A (2014), los morteros de cal pueden requerir condiciones de curado más cuidadosas para evitar la formación de fisuras debido a la contracción y la expansión asociadas con la humedad.

2.2.7. Propiedades Físicas y Mecánicas

Las propiedades físicas de los morteros se refieren a las características que se pueden observar o medir directamente sin alterar su composición química. Estas propiedades son fundamentales para determinar la calidad y la idoneidad de los morteros en diferentes aplicaciones.

Las propiedades mecánicas de los morteros se refieren a las características relacionadas con la respuesta del material ante las fuerzas o cargas aplicadas. Estas propiedades son fundamentales para evaluar la capacidad de un mortero para soportar cargas, resistir deformaciones y proporcionar estabilidad estructural.

A continuación, se describen algunas de las propiedades físicas y mecánicas más importantes de los morteros:

- **Densidad:** La densidad de un mortero se refiere a la masa por unidad de volumen. Puede variar en función de los materiales utilizados y las proporciones de la mezcla. La densidad afecta la resistencia y la durabilidad del mortero.
- **Absorción de agua:** La absorción de agua es la capacidad del mortero para retener o absorber agua. La cantidad de agua absorbida puede afectar la resistencia y la capacidad de impermeabilización del mortero.
- **Adherencia:** La adherencia se refiere a la capacidad del mortero para adherirse a otros materiales, como ladrillos, bloques o superficies de hormigón. Una buena adherencia es esencial para proporcionar una unión resistente y duradera.
- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad del mortero para resistir fuerzas de compresión. Se evalúa mediante ensayos

de compresión en probetas de mortero curadas y se expresa en unidades de presión, como megapascales (MPa) o psi. La resistencia a la compresión es una propiedad crítica para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras construidas con mortero.

2.2.8. Ensayos mecánicos

A. Determinación de propiedades del agregado fino NTP 400 (2013)

Peso Unitario Suelto:

Se utiliza para determinar la densidad o peso unitario de un agregado en estado suelto. Este ensayo es aplicable a agregados gruesos y finos utilizados en la construcción, como la arena, la grava o la piedra triturada. La NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013) nos indica que el valor se determina colocando el material seco en un recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla de 5/8”.

- Muestra representativa: Se toma una muestra representativa del agregado suelto que se va a analizar. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados confiables.
- Preparación del recipiente: Se selecciona un recipiente de volumen conocido, como una lata cilíndrica o un cubo, y se limpia y seca adecuadamente. El recipiente se pesa y se registra su masa.
- Llenado del recipiente: El recipiente se llena con el agregado suelto mediante capas sucesivas de aproximadamente 5 cm de espesor. Cada capa se distribuye uniformemente y se compacta ligeramente con una herramienta de compactación estándar, como una varilla.
- Nivelación y pesaje: Después de llenar el recipiente con el agregado, se realiza la nivelación de la superficie del agregado en el recipiente. Se retira cualquier exceso de material cuidadosamente, de modo que el agregado esté al ras del borde superior del recipiente. Luego, el recipiente lleno se pesa y se registra su masa.
- Cálculo del peso unitario suelto: El peso unitario suelto se calcula dividiendo la masa del agregado suelto en el recipiente por el volumen del recipiente. El volumen se

determina restando la masa del recipiente vacío de la masa del recipiente lleno con el agregado.

El resultado del ensayo es el peso unitario suelto del agregado, expresado en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o en otras unidades adecuadas.

Peso unitario compacto:

El ensayo de Peso Unitario Compacto, se utiliza para determinar la densidad o peso unitario de un agregado en estado compacto. Este ensayo es aplicable a agregados gruesos y finos utilizados en la construcción, como la arena, la grava o la piedra triturada. La NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013) menciona que se consigue cuando los granos se someten a compactación incrementando el grado de acomodo de las partículas de agregado y así también el valor de la masa unitaria.

A continuación, se describe el procedimiento:

- Muestra representativa: Se toma una muestra representativa del agregado que se va a analizar. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados confiables.
- Preparación del recipiente: Se selecciona un recipiente de volumen conocido, como una lata cilíndrica o un cubo, y se limpia y seca adecuadamente. El recipiente se pesa y se registra su masa.
- Llenado del recipiente: El recipiente se llena con el agregado en capas sucesivas, con cada capa compactada adecuadamente. Se utiliza un equipo de compactación estándar, como una vibradora de mesa o una máquina de compactación, para aplicar una presión controlada y compactar el agregado en cada capa.
- Nivelación y pesaje: Después de compactar todas las capas, se realiza la nivelación de la superficie del agregado en el recipiente. Se retira cualquier exceso de material cuidadosamente, de modo que el agregado esté al ras del borde superior del recipiente. Luego, el recipiente lleno y compactado se pesa y se registra su masa.
- Cálculo del peso unitario compacto: El peso unitario compacto se calcula dividiendo la masa del agregado compactado en el recipiente por el volumen del recipiente. El volumen se determina restando la masa del recipiente vacío de la masa del recipiente lleno y compactado con el agregado.

El resultado del ensayo es el peso unitario compacto del agregado, expresado en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) u otras unidades adecuadas.

Peso específico:

El ensayo de Peso Específico, se utiliza para determinar el peso específico o densidad de un agregado, es decir, la relación entre el peso del agregado y su volumen. Este ensayo es aplicable a agregados gruesos y finos utilizados en la construcción, como la arena, la grava o la piedra triturada.

Según NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013) el peso específico de un agregado es la relación que existe entre su peso y el peso de un volumen igual de agua, se usa en los cálculos para el control y diseño de mezclas

A continuación, se describe el procedimiento:

- **Muestra representativa:** Se toma una muestra representativa del agregado que se va a analizar. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados confiables.
- **Preparación del recipiente:** Se selecciona un recipiente de volumen conocido, como un frasco de picnómetro, una botella de volumen determinado o un recipiente de desplazamiento de agua, y se limpia y seca adecuadamente. El recipiente se pesa y se registra su masa.
- **Llenado del recipiente:** Se introduce el agregado en el recipiente hasta que esté completamente lleno. Se puede utilizar un embudo para asegurar que el agregado se introduzca sin derrames ni fugas. Se evita la compactación del agregado durante el llenado.
- **Eliminación de aire:** Se eliminan las burbujas de aire atrapadas en el agregado dentro del recipiente, agitándolo suavemente o utilizando técnicas de vibración suave. Esto asegura que no haya espacios vacíos de aire que afecten la medición.
- **Pesaje del recipiente lleno:** El recipiente lleno con el agregado se pesa y se registra su masa. Es importante tener en cuenta que se debe considerar la masa del recipiente vacío en la medición.
- **Cálculo del peso específico:** El peso específico se calcula dividiendo la masa del agregado en el recipiente por el volumen del recipiente. El volumen se determina utilizando el principio del desplazamiento de agua, es decir, midiendo el volumen de

agua desplazada cuando se introduce el recipiente lleno de agregado.

El resultado del ensayo es el peso específico del agregado, expresado en unidades de peso por unidad de volumen (generalmente en kilogramos por metro cúbico, kg/m^3 , o gramos por centímetro cúbico, g/cm^3).

Absorción (%):

El ensayo de Absorción, se utiliza para determinar la cantidad de agua que un agregado es capaz de absorber en relación a su peso seco. Este ensayo es aplicable a agregados gruesos y finos utilizados en la construcción, como la arena, la grava o la piedra triturada.

Según NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013) es la capacidad de los agregados de colmar los vacíos con agua el interior de las partículas, aunque siempre queda aire atrapado, esta característica influye en propiedades como la resistencia y la trabajabilidad.

A continuación, se describe el procedimiento general del ensayo de Absorción:

- **Muestra representativa:** Se toma una muestra representativa del agregado que se va a analizar. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados confiables.
- **Secado de la muestra:** La muestra se seca en un horno a una temperatura específica, generalmente entre 100°C y 110°C , hasta que se alcance un peso constante. Esto asegura que el agregado esté completamente seco y no haya contenido de humedad residual.
- **Peso seco de la muestra:** Se pesa la muestra seca y se registra su masa.
- **Sumersión en agua:** La muestra se sumerge completamente en agua durante un período de tiempo específico, generalmente de 24 a 72 horas. Esto permite que el agregado absorba la mayor cantidad de agua posible.
- **Eliminación del agua superficial:** Después del período de sumersión, se retira la muestra del agua y se eliminan suavemente los excesos de agua superficial utilizando toallas o papel absorbente. Es importante no eliminar agua que esté absorbida dentro de los poros del agregado.
- **Peso húmedo de la muestra:** La muestra se pesa inmediatamente después de eliminar el agua superficial y se registra su masa.

- Cálculo de la absorción: La absorción se calcula dividiendo la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de la muestra por el peso seco de la muestra, y luego multiplicando el resultado por 100 para obtener el porcentaje de absorción.

$$\text{Absorción (\%)} = ((\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) * 100$$

El resultado del ensayo es el porcentaje de absorción del agregado, que indica la cantidad de agua que puede ser absorbida por el agregado en relación a su peso seco.

Contenido de Humedad (%)

La NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013) menciona que es la cantidad de agua que contiene la muestra de agregado, al momento de determinar su masa. Es la relación del peso del agua y peso seco de la muestra.

- El ensayo de Contenido de Humedad, según la NTP 400 (Comité Técnico de Normalización de Agregados, 2013), se utiliza para determinar la cantidad de humedad presente en un agregado en relación a su peso seco. Este ensayo es aplicable a agregados gruesos y finos utilizados en la construcción, como la arena, la grava o la piedra triturada.
- A continuación, se describe el procedimiento general del ensayo de Contenido de Humedad:
- Muestra representativa: Se toma una muestra representativa del agregado que se va a analizar. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados confiables.
- Peso inicial de la muestra: Se pesa la muestra tal como se recibe, antes de cualquier proceso de secado o tratamiento adicional, y se registra su masa como peso inicial.
- Secado de la muestra: La muestra se seca en un horno a una temperatura específica, generalmente entre 100°C y 110°C, hasta que se alcance un peso constante. Esto asegura que toda la humedad presente en la muestra se haya evaporado y el agregado esté completamente seco.
- Peso seco de la muestra: Una vez que se ha alcanzado el peso constante, se pesa la muestra seca y se registra su masa como peso seco.
- Cálculo del contenido de humedad: El contenido de humedad se calcula dividiendo la diferencia entre el peso inicial y el peso seco de la muestra por el peso seco de la

muestra, y luego multiplicando el resultado por 100 para obtener el porcentaje de contenido de humedad.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = ((\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) * 100$$

El resultado del ensayo es el porcentaje de contenido de humedad del agregado, que indica la cantidad de humedad presente en relación a su peso seco.

B. Determinación de propiedades del mortero

Determinación de la resistencia a compresión del mortero endurecido, según UNE-EN 1015-11 (2020)

El ensayo de Determinación de la resistencia a compresión del mortero endurecido, se utiliza para evaluar la capacidad del mortero de resistir fuerzas de compresión una vez que ha alcanzado su estado endurecido. Este ensayo es aplicable a morteros utilizados en la construcción y proporciona información importante sobre su resistencia.

A continuación, se describe el procedimiento:

- Preparación de las muestras: Se preparan muestras cilíndricas de mortero endurecido con un diámetro específico, generalmente de 40 mm o 50 mm, y una altura determinada. Estas muestras se obtienen mediante el llenado de moldes con mortero fresco y compactándolo adecuadamente. Se deben seguir las instrucciones de la norma UNE-EN 1015-11 (2020) para garantizar la correcta preparación de las muestras.
- Cura de las muestras: Una vez preparadas, las muestras se someten a un proceso de curado en condiciones específicas de temperatura y humedad durante un período determinado. Esto permite que el mortero alcance su estado endurecido y desarrolle su resistencia.
- Preparación de las probetas para el ensayo: Después del período de curado, se retiran las muestras de los moldes y se realizan preparaciones adicionales según las indicaciones de la norma UNE-EN 1015-11. Esto puede incluir el recorte o rectificación de las muestras para asegurar su forma y dimensiones correctas.
- Ensayo de resistencia a compresión: Las probetas preparadas se colocan en una máquina de ensayo de compresión, que aplica una carga gradual y controlada en dirección vertical sobre las muestras. La carga se aplica de manera continua hasta que se alcanza la ruptura de la muestra. Durante el ensayo, se registran la carga aplicada y

la deformación de las probetas.

- Cálculo de la resistencia a compresión: La resistencia a compresión del mortero se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal de las probetas. El resultado se expresa en unidades de presión, como megapascales (MPa) o Newton por milímetro cuadrado (N/mm²).

Para la presente investigación se prepararon probetas prismáticas de 4cm x 4cm x 16cm, según indica la UNE-EN-1015-11 (Asociación Española de Normalización, 2020). El ensayo se realiza en la máquina universal, y solo tienen el fin de controlar la calidad del mortero, medida a través de la dispersión de resultados, ya que la adherencia unidad – mortero es más importante, el valor será expresado en kg/cm²

Figura 1. Ensayo determinación de la resistencia a compresión del mortero endurecido



Ensayo de adhesión por tracción según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7 (Comisión Guatemalteca de Norma, 2014)

El ensayo de adhesión por tracción para morteros se utiliza para evaluar la resistencia de la adhesión entre un mortero y otro material al que está adherido, como un sustrato o un revestimiento. Este ensayo es importante para determinar la calidad y la durabilidad de las uniones entre el mortero y otros elementos de construcción.

Esta metodología de ensayo nos permite realizar el cálculo de la resistencia de adherencia por tracción del mortero de pega y las unidades de mampostería, utilizando un espécimen de unidades cruzadas.

A continuación, se describe el procedimiento:

- Preparación de las muestras: Se preparan dos muestras de mortero representativas que serán sometidas al ensayo. Estas muestras se pueden obtener mediante la colocación y el curado del mortero aplicando directa del mortero sobre las unidades
- Preparación de las probetas: Una vez que el mortero ha alcanzado el estado de curado deseado, se preparan probetas de acuerdo con los requisitos de la norma. Estas probetas pueden tener una forma y dimensiones específicas para el ensayo de tracción.
- Ensayo de tracción: Las probetas se sujetan en una máquina de ensayo de tracción y se aplica una carga gradual y controlada en dirección opuesta a la unión mortero-sustrato. La velocidad de carga y el método de aplicación de la fuerza pueden variar según la norma o el estándar aplicable.

Según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca (2014), la probeta debe ser colocada y centrada entre los aplicadores de carga superior e inferior, luego este conjunto se posiciona centrado con respecto al eje vertical de los cabezales de la máquina, luego la probeta se carga a una velocidad de 2.7 KN (60lb) por minuto o una velocidad suficiente para lograr la falla del mismo en 1 o 2 minutos. Luego se anotan la carga máxima aplicada y el tipo de falla generada.

- Registro de la carga y la deformación: Durante el ensayo, se registra la carga aplicada, para obtener datos precisos sobre la resistencia y el comportamiento de la adhesión mortero-unidad

- Análisis de los resultados: Se calculan parámetros como la carga máxima, la resistencia a la tracción y la resistencia de la adhesión del mortero. Tener en cuenta que otros factores, como la preparación de la superficie, las condiciones ambientales y las propiedades del mortero, también pueden influir en los resultados del ensayo de adhesión por tracción para morteros.

Equipo: Consiste en una máquina de ensayos de compresión, con espacio para alojar el conjunto de ladrillos cruzados, y un conjunto de aplicadores de carga para el espécimen de unidades cruzados [...] que deben tener medidas compatibles con el tamaño de los ladrillos [...] que van para ser ensayado (Norma Técnica Guatemalteca, 2014)

Cálculos:

$$\text{Resistencia de adherencia por tracción} = \frac{A}{B}; \text{ TN/m}^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

A = Carga total aplicada, N (lbf),

B = Área de la sección transversal de adherencia, m² (pulg²)

Figura 2 Ensayo determinación Adherencia por tracción del mortero endurecido.



Ensayo para densidad Aparente De Mortero Endurecido, peso seco(g/cm^3). Según ASTM C642 (American Society of testing Materials, 2013)

El ensayo para determinar la densidad aparente de mortero endurecido en peso seco, según la norma ASTM C642, se utiliza para medir la masa y el volumen de un mortero endurecido, y así calcular su densidad aparente en unidades de gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Este ensayo proporciona información importante sobre la calidad y las propiedades físicas del mortero.

A continuación, se describe el procedimiento, según ASTM C642:

- Preparación de las muestras: Se preparan muestras de mortero endurecido con una forma y dimensiones adecuadas para el ensayo. Estas muestras se obtienen mediante el curado del mortero en moldes específicos.
- Secado de las muestras: Una vez obtenidas las muestras de mortero endurecido, se deben secar completamente para eliminar cualquier contenido de humedad residual. Esto se puede lograr mediante el uso de una estufa por 24 horas.
- Peso seco de las muestras: Se pesan las muestras de mortero endurecido secas utilizando una balanza de precisión. El peso se registra con suficiente precisión para calcular la masa del mortero en gramos.
- Medición del volumen: La medición del volumen se realiza utilizando un recipiente, se llena el dispositivo con agua y se registra su volumen inicial. luego se mide el desplazamiento de agua causado por la introducción de la muestra.
- Inmersión de la muestra: Se sumerge completamente la muestra de mortero seco en el agua contenida en recipiente, teniendo cuidado de eliminar cualquier burbuja de aire. Se registra el volumen final del agua desplazada.
- Cálculo de la densidad aparente: La densidad aparente en peso seco se calcula dividiendo la masa del mortero (en gramos) por el volumen desplazado de agua (en centímetros cúbicos). El resultado se expresa en g/cm^3 .

Las muestras (probetas de 5cm x 5cm) se pesan secos (secado al horno por 24 horas), se toman las medidas correspondientes a fin de obtener el volumen de cada muestra, entonces el valor se obtiene:

$$\frac{\text{PESO SECO (g)}}{\text{VOLUMEN (cm}^3\text{)}} = \text{DENSIDAD (g/cm}^3\text{)}$$

Ensayo para determinar la absorción (%) del Mortero Endurecido, según la norma ASTM C642

El ensayo para determinar la absorción de mortero endurecido, según la norma ASTM C642, se utiliza para medir la cantidad de agua absorbida por el mortero después de un período de inmersión. La absorción es un parámetro importante para evaluar la porosidad y la capacidad de retención de agua del mortero endurecido.

A continuación, se describe paso a paso el procedimiento, según ASTM C642:

- **Preparación de las muestras:** Se deben preparar muestras de mortero endurecido en forma de cilindros o cubos, utilizando moldes adecuados. Las muestras deben ser representativas del mortero utilizado en la aplicación.
- **Secado de las muestras:** Las muestras de mortero endurecido deben estar completamente secas antes de realizar el ensayo. Se recomienda utilizar una estufa o un horno a una temperatura controlada para eliminar toda la humedad. El tiempo y la temperatura de secado pueden variar según la norma ASTM específica utilizada.
- **Peso seco inicial:** Una vez que las muestras estén secas, se deben pesar utilizando una balanza de precisión. El peso se registra en gramos y se anota como el peso seco inicial de la muestra.
- **Inmersión en agua:** Según ASTM C642 (American Society of testing Materials, 2013), se sumerge completamente la muestra seca en agua a una temperatura específica durante un período de tiempo determinado, generalmente de 24 a 72 horas. La temperatura del agua y el tiempo de inmersión se especifican en la norma ASTM correspondiente, se colocan las muestras en un recipiente de curado luego de 48 horas, de tal manera el agua los cubra por completo, luego de 24 horas, se los retira y se procede a realizar el secado superficial con una toalla o trapo y se pesan, posteriormente se lo colocan en la estufa por 24 horas, se los deja enfriar por 15min y se los vuelve a pesar, se obtiene el valor.

- Retiro del exceso de agua superficial: Después del período de inmersión, se retira el exceso de agua superficial de la muestra utilizando una toalla o papel absorbente sin presionar la muestra. El objetivo es eliminar el agua superficial sin afectar la cantidad de agua absorbida por la muestra.
- Peso saturado: Una vez que se haya eliminado el exceso de agua superficial, se pesa la muestra saturada utilizando la misma balanza de precisión. El peso se registra en gramos y se anota como el peso saturado de la muestra.
- Cálculo de la absorción: La absorción de mortero se calcula dividiendo la diferencia entre el peso saturado y el peso seco inicial de la muestra por el peso seco inicial, y luego multiplicando por 100 para obtener el resultado en porcentaje. La fórmula sería la siguiente:

$$\text{Absorción (\%)} = [(\text{Peso saturado} - \text{Peso seco inicial}) / \text{Peso seco inicial}] \times 100$$

- Registro de resultados: Se registra la absorción calculada para cada muestra de mortero y se toman en cuenta para el análisis de los resultados y la evaluación de la porosidad y la capacidad de retención de agua del mortero.

23 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- Mortero de cal: Mezcla de cal, arena y agua utilizada como material de unión en la construcción. La cal actúa como aglutinante, mientras que la arena proporciona resistencia y estabilidad al mortero (González Cortina & de Villanueva Domínguez, 2000).
- Cal: Material inorgánico obtenido mediante la cocción de rocas de caliza. Se utiliza como aglutinante en morteros y como componente en otros materiales, como el estuco. La cal hidratada es una forma común de cal utilizada en la fabricación de morteros. (Riddick, J. C., & Rapson, W. S, 2009)
- Cal hidratada: También conocida como cal apagada, es el producto resultante de la reacción química entre la cal viva (óxido de calcio) y el agua. Se utiliza como componente principal en los morteros de cal. (ASTM C207-07)
- Agregados: Materiales granulares utilizados en la mezcla de mortero de cal. La arena es el agregado más común en los morteros de cal y puede variar en tamaño y composición según las necesidades de la aplicación específica. (Aitcin, P. C., & Mindess, S. , 2011)
- Puzolana La puzolana de arcilla cocida es un material utilizado en la construcción como adición al cemento o como componente en la fabricación de morteros y hormigones.

La puzolana de arcilla cocida es un material de origen volcánico o sedimentario que se obtiene mediante la calcinación de arcilla a temperaturas elevadas. Durante este proceso, la arcilla experimenta cambios químicos y físicos, lo que le confiere propiedades puzolánicas. La puzolana de arcilla cocida puede utilizarse como adición al cemento Portland para mejorar sus propiedades, o bien como componente en la fabricación de morteros y hormigones. (Neville, A. M., 2011)

- Proporción de mezcla: La proporción de mezcla se refiere a la cantidad relativa de cal, arena y agua que se utiliza en la preparación de un mortero de cal. La proporción puede variar según el tipo de mortero requerido y las características específicas del proyecto de construcción. Por ejemplo, una proporción común es de 1 parte de cal por 3 partes de arena, aunque puede haber variaciones según las necesidades. (Young, 2021)

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPOTESIS

La influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida es positiva puesto que mejora las propiedades físico mecánicas de los morteros de cal y arena en más del 5% - Cajamarca

3.2. VARIABLES/CATEGORIAS

3.2.1. Variable Independiente: Proporción de adición de puzolana de arcilla cocida

3.2.2. Variable Dependiente: Propiedades físico mecánicas de mortero de cal y arena

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2. Operacionalización de variables

TITULO: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE CAL Y ARENA- CAJAMARCA					
Hipótesis	Definición conceptual de las variables/categorías	Definición Operacional			
		Variables/Categorías	Dimensiones	Indicadores	Fuente de recolección de datos
La influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida es positiva puesto que mejora las propiedades físico mecánicas de los morteros de cal y arena en más del 5% - Cajamarca	Proporción de adición de puzolana de arcilla cocida La proporción de adición de puzolana de arcilla cocida se refiere a la cantidad de puzolana de arcilla cocida que se agrega como componente adicional en la mezcla de mortero. La puzolana de arcilla cocida es un material que se utiliza como adición en los morteros para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas	Variable Independiente: Proporción de adición de puzolana de arcilla cocida	Proporción	El indicador de proporción de mortero de cal, proporción en volumen Dosificaciones de morteros: control 1:3 de cal, arena prueba 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida Para la adhesión por tracción testigos de albañilería de piedra de cantería cruzados morteros: 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla	Fichas de apuntes de la proporción de puzolana de arcilla cocida
	Propiedades físico mecánicas de mortero de cal y arena Las propiedades físico-mecánicas de un mortero de cal y arena se refieren a las características y comportamiento del mortero en términos de su resistencia, absorción y otras propiedades relacionadas.	Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de un mortero de cal y arena	<ul style="list-style-type: none"> resistencia a compresión del mortero endurecido (kg/cm²) resistencia de la adhesión(kg/cm²) densidad aparente de mortero endurecido (g/cm³) absorción (%) del mortero endurecido 	resistencia a compresión del mortero endurecido (kg/cm ²), resistencia de la adhesión(kg/cm ²), densidad aparente de mortero endurecido (g/cm ³), absorción (%) del mortero endurecido	Fichas de datos de las pruebas de los experimentos efectuados en los especímenes

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Cajamarca

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayo GUERSAN INGENIEROS S.R.L, con., en la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú, ubicado en las coordenadas UTM: 775845.28 m E y 9206977.82 m N y una altitud de 2687 msnm

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1. Tipo: Aplicada

4.2.2. Nivel: Correlacional, cuantitativa

4.2.3. Diseño: Experimental

4.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método hipotético-deductivo es aplicado en esta investigación, es un enfoque de investigación científica que se basa en la formulación de hipótesis y la deducción de consecuencias lógicas a partir de ellas. Este método implica un proceso de razonamiento lógico en el que se plantean suposiciones iniciales (hipótesis) y se derivan implicaciones lógicas que luego se someten a prueba empírica.

Entonces el método hipotético-deductivo implica la formulación de hipótesis, la deducción de implicaciones, la recopilación y análisis de datos para probar o refutar estas implicaciones, y la formulación de conclusiones basadas en los resultados obtenidos. Es un enfoque ampliamente utilizado en la investigación científica para generar conocimientos y comprensión en diversos campos.

A continuación, se describe el método aplicado:

- **Formulación de la hipótesis:** Se parte de una hipótesis o suposición inicial que establece una relación entre variables o una explicación tentativa para un fenómeno. La hipótesis se basa en conocimientos previos, teorías existentes o observaciones previas.
- **Deducción de implicaciones:** A partir de la hipótesis formulada, se derivan consecuencias lógicas o implicaciones específicas que pueden ser probadas o refutadas. Estas implicaciones pueden ser en forma de predicciones sobre cómo se

comportarán las variables o qué resultados se esperan.

- **Diseño de la investigación:** Se desarrolla un diseño de investigación que permita poner a prueba las implicaciones derivadas de la hipótesis. Esto implica decidir qué variables se medirán, cómo se recopilarán los datos y qué métodos y técnicas se utilizarán.
- **Recopilación de datos:** Se lleva a cabo la recopilación de datos utilizando los métodos y técnicas seleccionadas en el diseño de investigación. Esto puede implicar la realización de experimentos, la recopilación de datos observacionales, la administración de cuestionarios u otras estrategias de recolección de datos.
- **Análisis de datos:** Los datos recopilados se analizan utilizando técnicas estadísticas o cualitativas apropiadas. Se comparan los resultados obtenidos con las implicaciones derivadas de la hipótesis para evaluar su validez.
- **Confirmación o refutación de la hipótesis:** Los resultados del análisis de datos permiten evaluar si las implicaciones derivadas de la hipótesis son confirmadas o refutadas. Si los resultados son consistentes con las implicaciones, la hipótesis se considera respaldada. Si los resultados contradicen las implicaciones, se considera que la hipótesis no es válida y se requiere una revisión o formulación de nuevas hipótesis.
- **Conclusiones y generalizaciones:** Se presentan las conclusiones del estudio, considerando las implicaciones de los resultados obtenidos para la comprensión del fenómeno investigado. También se discute la validez y las limitaciones del estudio, y se plantean recomendaciones para futuras investigaciones.

4.3.1. Tipos de investigación según distintos criterios

Existen varios criterios que se pueden utilizar para clasificar los diferentes tipos de investigación.

- **Finalidad:** Aplicada
- **Estrategia o enfoque teórico metodológico:** Cuantitativa
- **Objetivos (alcances):** Correlacional
- **Fuente de datos:** Primaria
- **Control en el diseño de la prueba:** Experimental

4.4. POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN

4.4.1. Población

Todos los especímenes de probetas de mortero de cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla sometidos a ensayos físico mecánicos de resistencia a compresión del mortero endurecido (kg/cm^2), resistencia de la adhesión (kg/cm^2), densidad aparente de mortero endurecido (g/cm^3), absorción (%) del mortero endurecido

4.4.2. Muestra

Muestreo no probabilístico, de tipo intencional para el cual el número de especímenes de probetas de mortero cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla, se determinaron siguiendo las recomendaciones de la UNE-EN 1015-11 (2020), la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7 (Comisión Guatemalteca de Norma, 2014), ASTM C642 ((American Society of testing Materials, 2013).

Se tiene 4 dosificaciones de morteros: la dosificación de control 1:3 de cal, arena; y las de prueba que serán 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida, se ensayarán 10 probetas por cada dosificación, a los 7 días a 14 días y a los 21 días, es decir 120 probetas en total

Para la adhesión por tracción se realizaría con testigos de albañilería de piedra de cantería cruzados, 6 ensayos por cada dosificación de morteros: 1:3:0.5 de cal, arena, puzolana de arcilla cocida; 1:3:1, cal, arena y puzolana de arcilla cocida; 1:3:2 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida, a los 13 días, es decir 24 pruebas en total.

Tabla 3. Número de especímenes por ensayo

Tipo de ensayo	N° ensayos, cantidad de especímenes				total
	1 : 3 cal:arena	1 : 3 :0.5 cal:arena:puzolana	1 : 3 :1 cal:arena:puzolana	1 : 3 :2 cal:arena:puzolana	
Resistencia mecánica a la compresión	30	30	30	30	120
Adherencia por tracción	6	6	6	6	24
Densidad Aparente	30	30	30	30	120
Absorción	30	30	30	30	120

4.4.3. Unidad de Análisis: espécimen de probeta de mortero cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla

4.4.4. Unidad de Observación: espécimen de probeta de mortero cal y arena con distintas proporciones de puzolana de arcilla

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para recopilar la información se usarán el método cuantitativo y la observación directa. El método cuantitativo se usará para medir las variables cuantitativas de estudio de la proporción de adición de puzolana de arcilla cocida en los morteros de cal y arena; para lo cual se emplearán equipos e instrumentos del Laboratorio de Ensayo GUERSAN INGENIEROS S.R.L: Máquina de ensayo a compresión universal, moldes adecuados para la elaboración, horno, etc.

4.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Técnicas:

- Elaboración de fichas.

Análisis de información:

El análisis de la información consistirá en procesar los datos cuantitativos obtenidos de las variables de estudio de las diferentes proporciones usados en la elaboración de los especímenes de mortero, específicamente en las pruebas de resistencia mecánica a la compresión, adherencia por tracción, densidad aparente, absorción. Este análisis se llevará a cabo mediante el uso de métodos estadísticos, tales como el cálculo de promedios, y pruebas de hipótesis. Para realizar estos cálculos, se utilizarán programas informáticos como Microsoft Excel.

4.7. EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS

4.7.1. Equipo

- a) Personal
 - Ingeniero civil investigador.
 - Operario (01)
 - Peón (01)

b) Equipo de laboratorio

- Máquina de compresión universal.
- Pórtico de compresión.
- Aplicadores de carga para el espécimen de unidades cruzados

4.7.2. Materiales

- Computadora portátil
- Herramientas manuales
- Moldes metálicos

4.7.3. Insumos

- Cal
- Arena
- Puzolana de arcilla cocida
- Agua

4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA

Tabla 4. Matriz de consistencia metodológica

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE CAL Y ARENA- CAJAMARCA								
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTE O INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál es la influencia de la adición de la puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena en Cajamarca ?	Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena- Cajamarca	La influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida es positiva puesto que mejora las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena en más del 5%- Cajamarca	Independiente: Proporción de adición de puzolana de arcilla cocida	Proporción	cantidad de puzolana de arcilla cocida(Kg), con respecto a los otros componentes utilizados en la mezcla de mortero. Dosificaciones de morteros: control:1:3 cal y arena prueba: 1:3:0.5 cal arena puzolana de arcilla cocida;1:3:1 cal arena puzolana de arcilla cocida;1:3:2 cal arena puzolana de arcilla cocida Para la adhesión por tracción directa: testigos de albañilería de piedra de cantería cruzados morteros: 1:3:0.5 cal arena puzolana de arcilla cocida;1:3:1 cal arena puzolana de arcilla cocida;1:3:2 cal arena puzolana de arcilla cocida	proporción en peso de puzolana de arcilla cocida	Usar puzolana de arcilla cocida en diversas proporciones para la elaboración de especímenes de mortero	Población: puzolana de arcilla cocida Muestra: 2.0406 kg puzolana de arcilla cocida
			Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de mortero de cal y arena		-resistencia a la compresión del mortero endurecido (kg/cm ²) -resistencia de la adhesión(kg/cm ²) -densidad aparente del mortero endurecido (g/cm ³) -absorción(%) del mortero endurecido			Mejora de la resistencia a compresión del mortero endurecido (kg/cm ²), resistencia de la adhesión (kg/cm ²), densidad aparente de mortero endurecido (g/cm ³), absorción(%) del mortero endurecido

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos después de llevar a cabo los ensayos pertinentes, así como el análisis, la discusión y la interpretación de los mismos. Además, se realiza la comparación de los resultados con la hipótesis planteada inicialmente.

5.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1.1. Determinación de la resistencia mecánica a la compresión de especímenes con mortero base (1:3) de cal y arena D1, y los morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5) D2; mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1) D3; cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2) D4

La resistencia a la compresión de los morteros se determinó a los 7, 14 y 21 días; en la tabla siguientes se presentan los resultados de las resistencias compresión obtenidos para cada tipo de mortero

Tabla 5. Resultados promedio de la resistencia a la compresión, mortero D1 (mortero base), y proporciones D2, D3, D4

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	21 días
D1	1:3	0.85	1.13	1.52
D2	1:3:0.5	0.93	1.25	1.87
D3	1:3:1	1.58	1.92	2.18
D4	1:3:2	2.01	2.29	2.81

Comparación del comportamiento de la resistencia a la compresión para el mortero base de cal, arena (1:3), y de los morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2), para 7,14 y 21 días

Figura 3. Serie de mortero vs. Valores promedio de la resistencia a la compresión

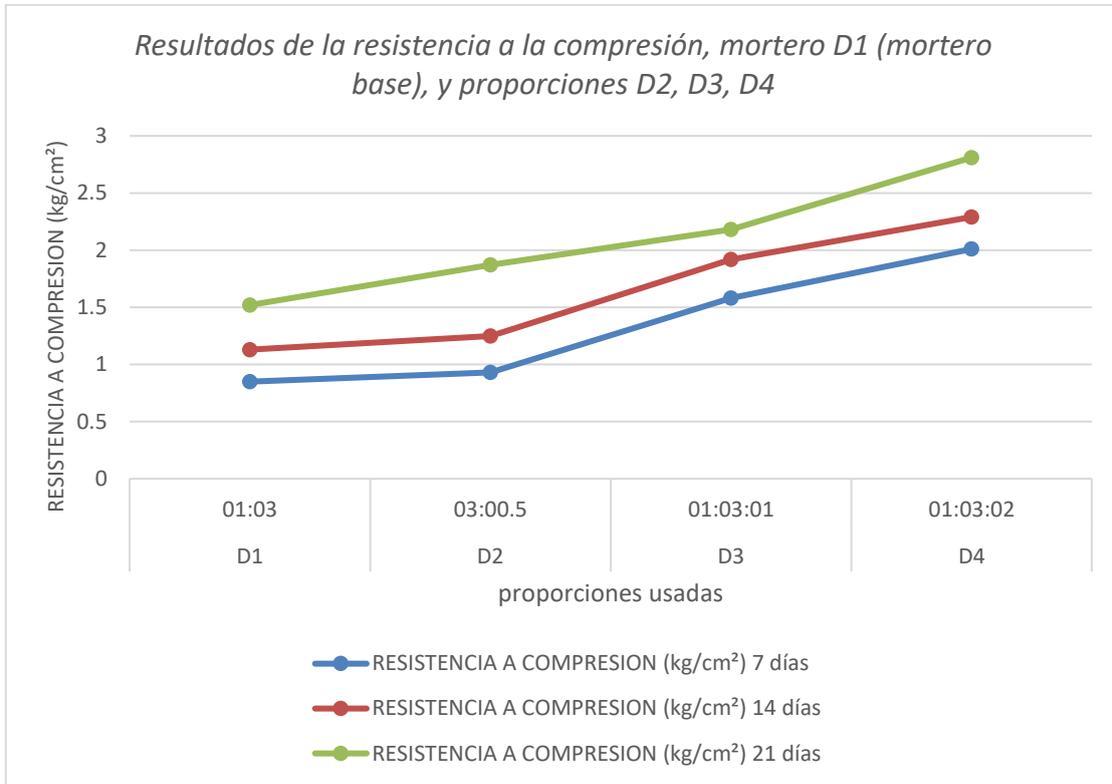
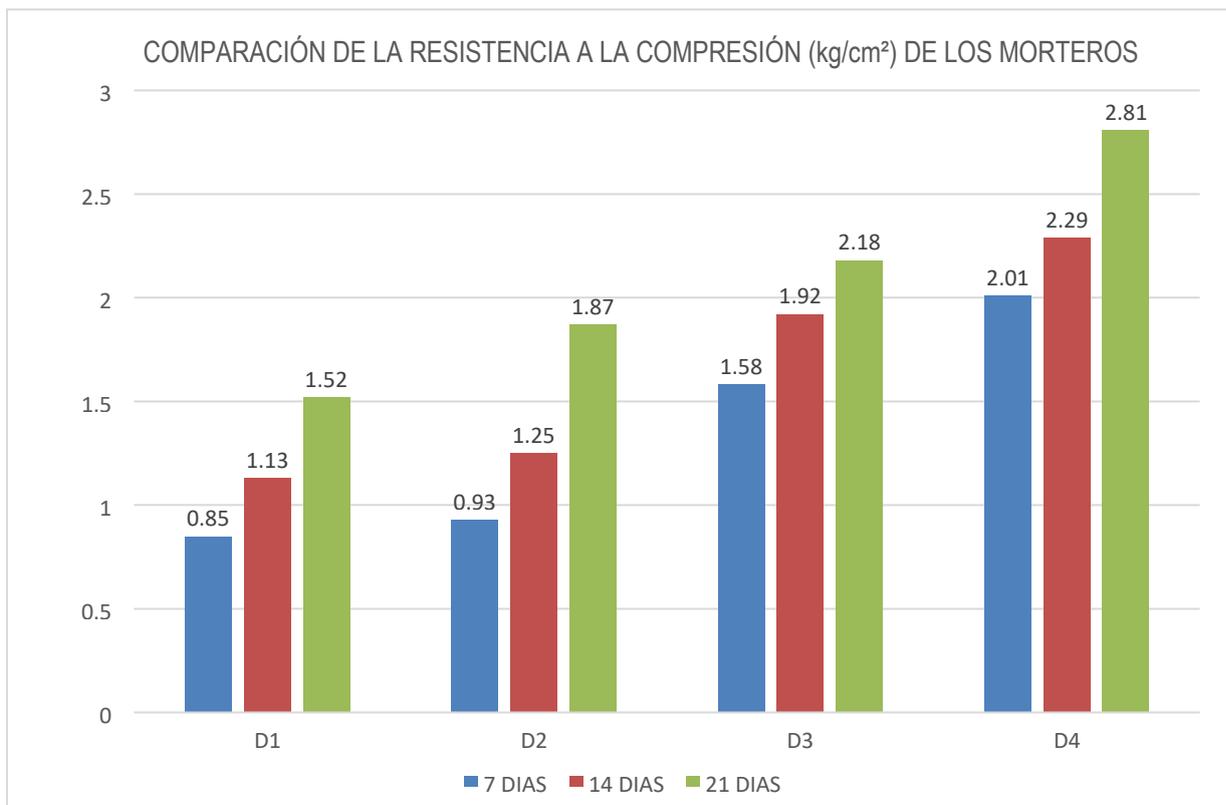


Figura 4. Comparación de la resistencia a la compresión de los morteros.



5.1.2. Determinación de resultados de adherencia por tracción para el mortero D1 de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de D2 cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero D3 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); mortero D4 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

La adherencia por tracción de los morteros se determinó a los 13 días, además se considera el área de la sección transversal de adherencia como 13 cm por 1cm de altura de la junta, que da un total de 13 cm².

Se determina el comportamiento de resistencia adherencia por tracción para D1 el mortero base de cal, arena (1:3), y de los morteros con adición de puzolana con las combinaciones: D2 que es mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); D3 que es mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); D4 que es mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla 6. Resumen promedio de resultados de la resistencia adherencia por tracción de los morteros

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	Resistencia Adherencia por Tracción (kg /cm ²)
D1	01:03	0.129
D2	01:03:0.5	0.159
D3	01:03:01	0.181
D4	01:03:02	0.231

Figura 5. Serie de mortero vs Resistencia Adherencia por Tracción (kg/cm²)

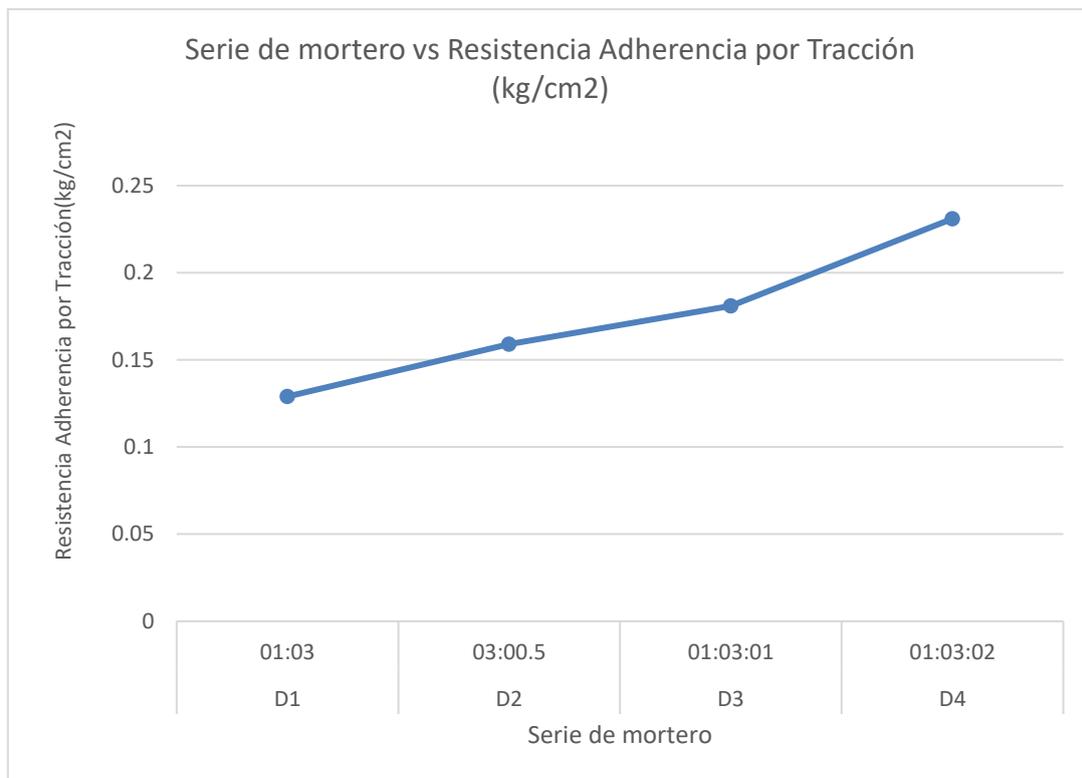
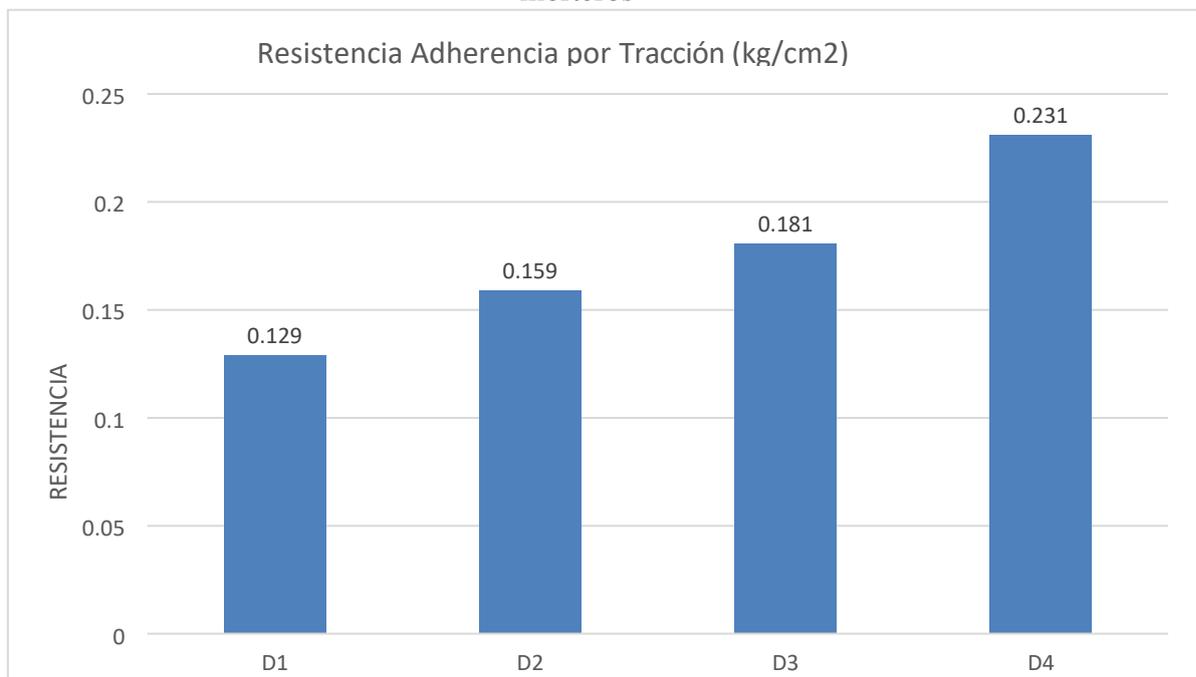


Figura 6. Comparación de la Resistencia Adherencia por Tracción de la serie de morteros



5.1.3. Determinación de la Densidad Aparente para el mortero de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla 7. Resumen promedio de resultados de ensayo de densidad peso seco de los morteros

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)
D1	cal, arena (1:3)	1.822
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)	1.783
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)	1.840
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)	1.844

Figura 7. Comparación de serie de mortero vs Densidad peso seco

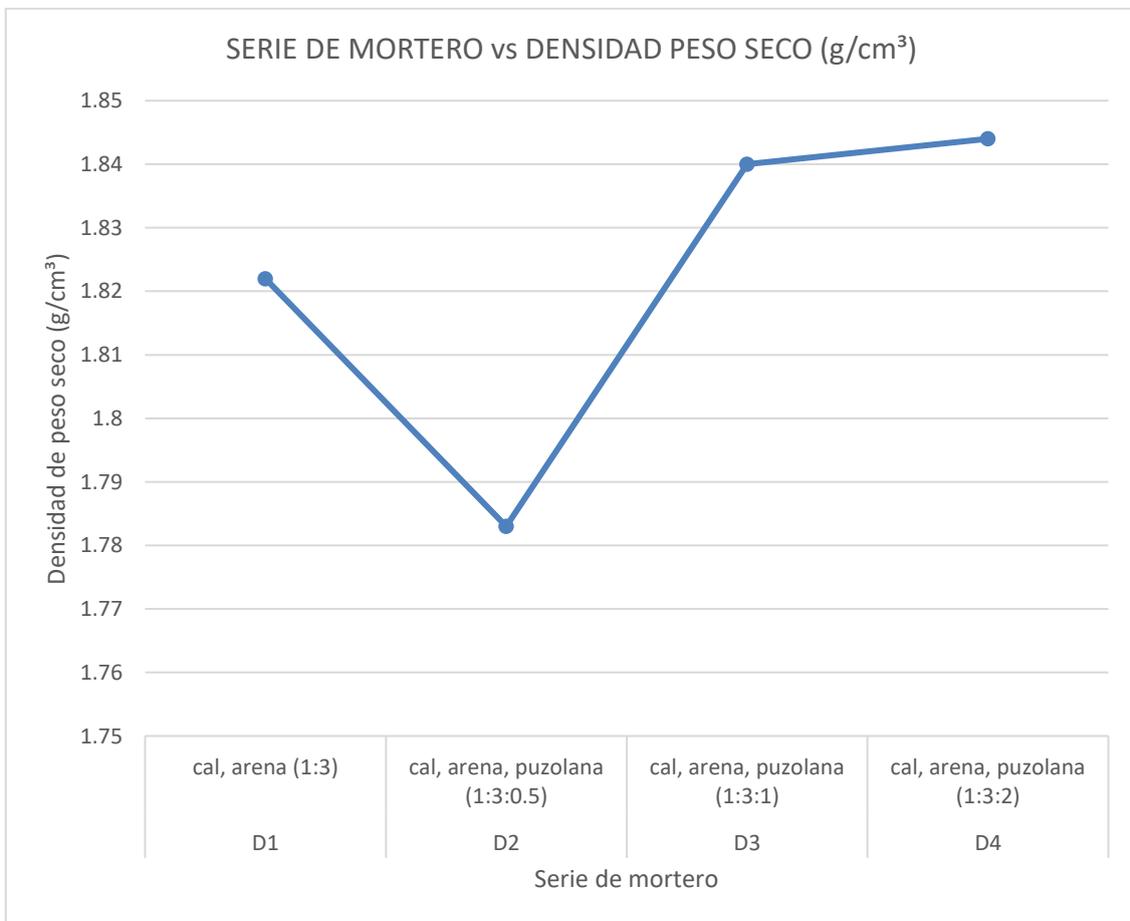
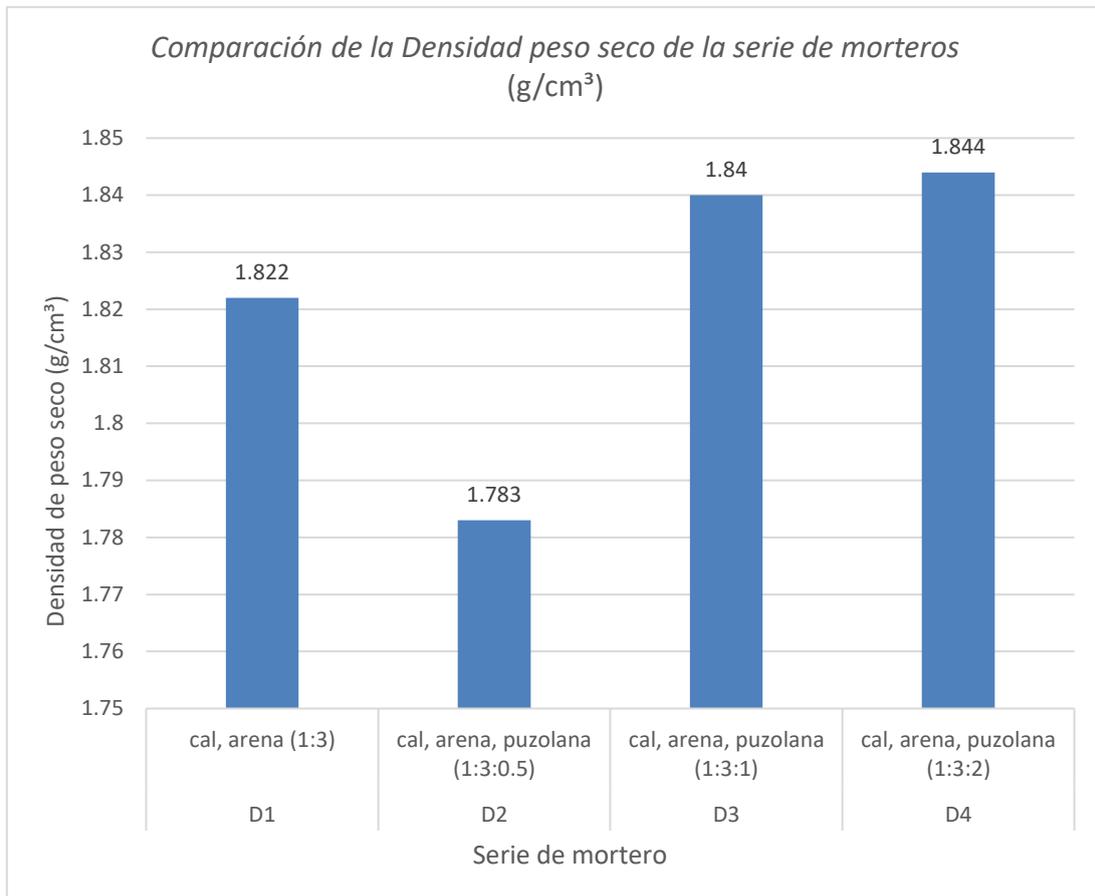


Figura 8. Densidad peso seco de los morteros



5.1.4. Determinación de Absorción (%) para el mortero de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla 8. Resumen promedio de resultados de ensayo de absorción de los morteros

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	ABSORCIÓN (%)
D1	cal, arena (1:3)	3.13
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)	4.33
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)	3.48
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)	2.47

Figura 9. Serie de mortero vs Absorción (%)

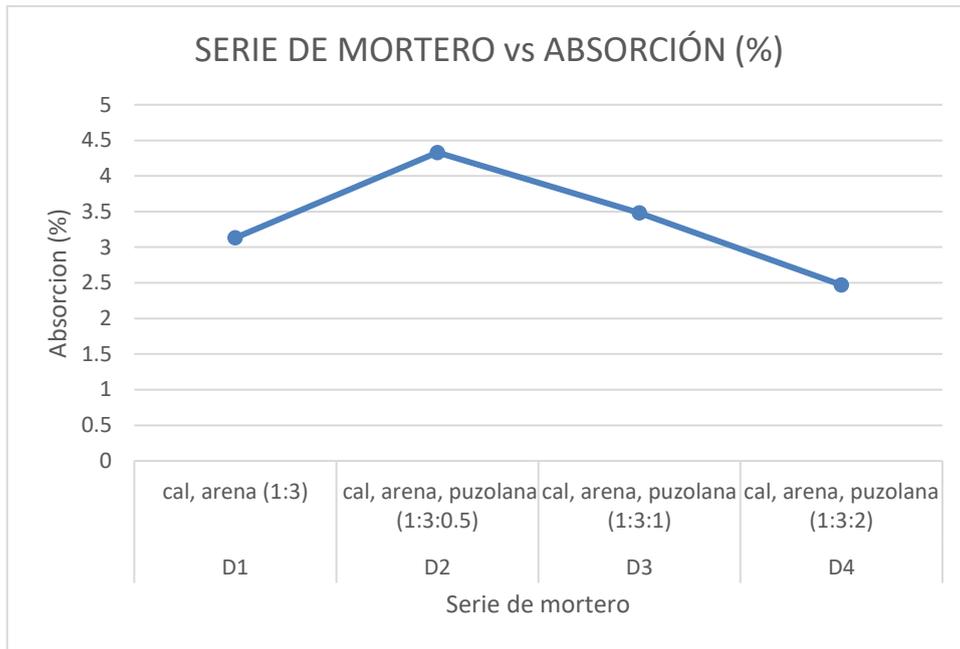
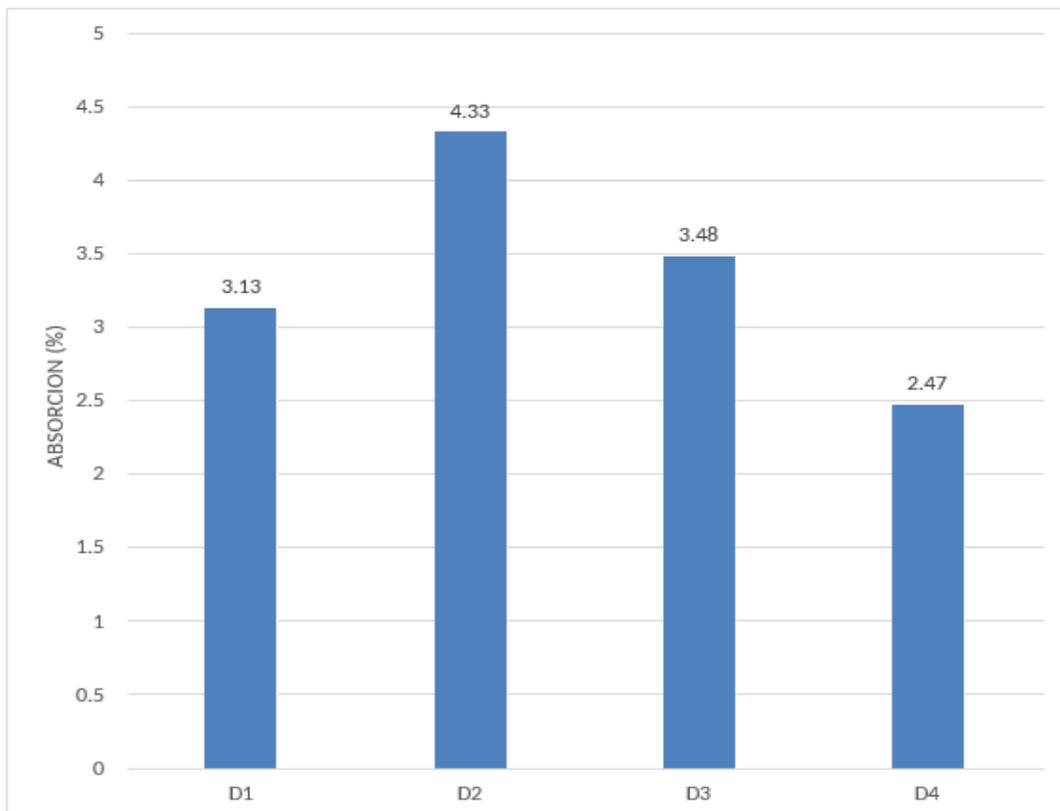


Figura 10. Comparación de Absorción (%) de la serie de morteros



5.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal de la investigación consistió en determinar cómo la adición de puzolana de arcilla cocida afecta las propiedades físico mecánicas de los morteros de cal y arena en más del 5% - Cajamarca. En esta sección, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando excel y se realizó la interpretación y discusión de los resultados a través de figuras que representan los ensayos realizados en los especímenes de mortero. Estas figuras proporcionarán una visión clara, concreta y adecuada de los resultados obtenidos.

5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de los resultados de los ensayos realizados a los especímenes de mortero

5.2.1.1. Análisis estadístico en Excel de los resultados de la resistencia mecánica a la compresión de especímenes de mortero de la resistencia mecánica a la compresión de especímenes con mortero base (1:3) de cal y arena D1, y los morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5) D2; mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1) D3; cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2) D4.

Se trabajó el análisis con la siguiente tabla

Tabla 9. Resumen promedio de datos de ensayos de resistencia a la compresión

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	21 días
D1	1:3	0.85	1.13	1.52
D2	1:3:0.5	0.93	1.25	1.87
D3	1:3:1	1.58	1.92	2.18
D4	1:3:2	2.01	2.29	2.81

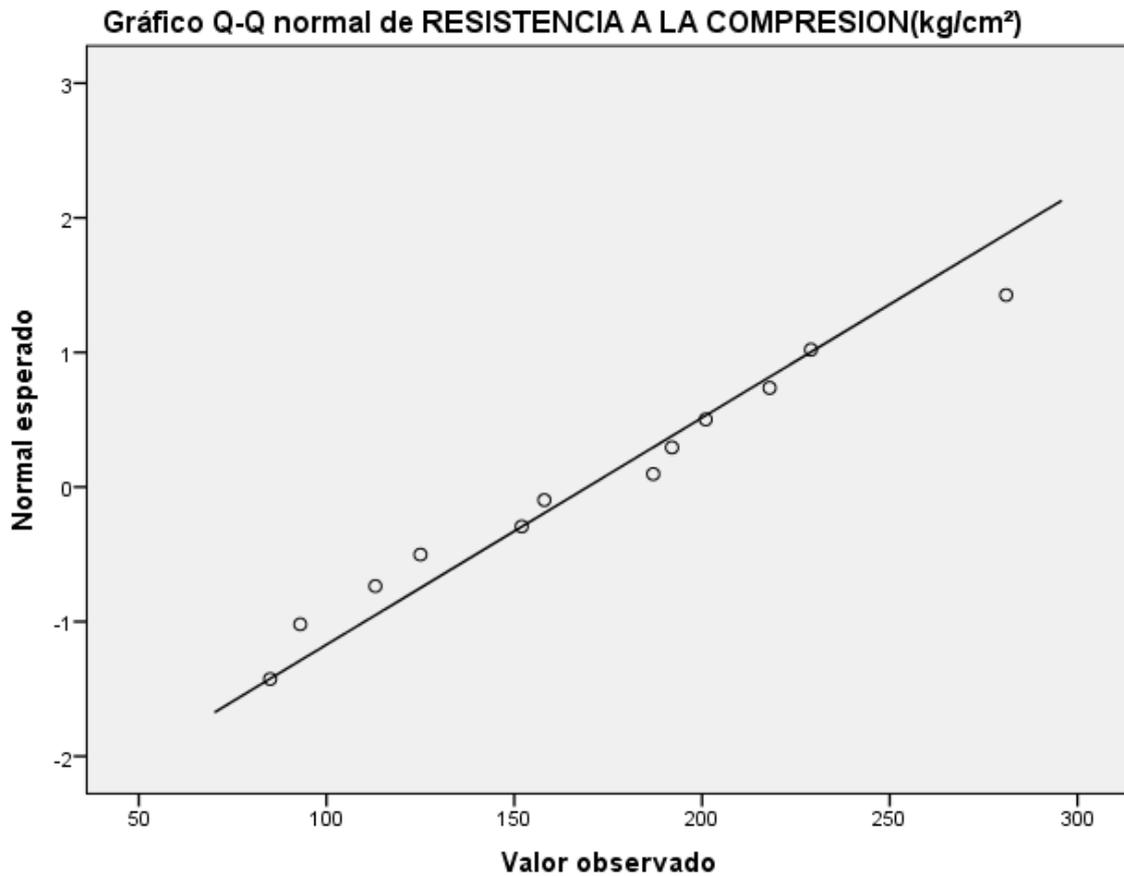
Tabla 10. Resumen de procesamiento de datos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%
PROPORCIÓN DE PUZONALA	12	100,0%	0	0,0%	12	100,0%

Tabla 11. Datos Descriptivos

		Estadístico	Error estándar	
SERIE DE MORTERO	Media	,88	,223	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,38	
		Límite superior	1,37	
	Media recortada al 5%	,86		
	Mediana	,75		
	Varianza	,597		
	Desviación estándar	,772		
	Mínimo	0		
	Máximo	2		
	Rango	2		
	Rango intercuartil	2		
	Asimetría	,499	,637	
	Curtosis	-1,101	1,232	
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)	Media	169,5000	17,12985	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	131,7975	
		Límite superior	207,2025	
	Media recortada al 5%	168,0000		
	Mediana	172,5000		
	Varianza	3521,182		
	Desviación estándar	59,33955		
	Mínimo	85,00		
	Máximo	281,00		
	Rango	196,00		
	Rango intercuartil	97,75		
	Asimetría	,226	,637	
	Curtosis	-,558	1,232	

Figura 11. Grafico. Q-Q normal de Resistencia a la compresión (kg/cm^2)



Fuente. Elaboración propia

Tabla 12. Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
SERIE DE MORTERO	.856	12	.043
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm^2)	.970	12	.908

Valor de significancia es mayor a 0.05, por tanto, los datos son normales. Se aplicará entonces el análisis correlación de Pearson

Tabla 13. Correlaciones

		SERIE DE MORTERO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
SERIE DE MORTERO	Correlación de Pearson	1	,819**
	Sig. (unilateral)		,001
	N	12	12
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	Correlación de Pearson	,819**	1
	Sig. (unilateral)	,001	
	N	12	12

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (1 cola).

La correlación de coeficiente de correlación de Pearson con valor 0.819 indica una relación fuerte entre las variables, donde valores más altos indican una correlación positiva y valores más bajos indican una correlación negativa.

En este caso, el valor de 0.819 sugiere que las variables están positivamente correlacionadas y que la relación entre ellas es significativa.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el nivel de 0.819 no se refiere a un nivel de confianza, sino al valor del coeficiente de correlación de Pearson. El nivel de confianza generalmente se establece antes del análisis y puede variar entre diferentes estudios. Indica el grado de certeza con el que se puede afirmar que la correlación encontrada no es el resultado del azar.

5.2.1.2. Análisis estadístico en Excel de los resultados de adherencia por tracción para el mortero D1 de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de D2 cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero D3 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); mortero D4 de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla. Resumen resultados de adherencia por tracción directa

SERIE DE MORTERO	TIPO DE MORTERO	ADHERENCIA (kg/cm ²)
		13 días
D1	1:3	0.129
D2	1:3:0.5	0.159
D3	1:3:1	0.181
D4	1:3:2	0.231

Tabla 14. Tabla Resumen de procesamiento de datos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SERIE DE MORTERO	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
ADHERENCIA (kg/cm ²)	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

Tabla 15. Datos Descriptivos

		Estadístico	Error estándar
		SERIE DE MORTERO	Media
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,4838	
	Límite superior	2,2338	
	Media recortada al 5%	,8611	
	Mediana	,7500	
	Varianza	,729	
	Desviación estándar	,85391	
	Mínimo	,00	
	Máximo	2,00	
	Rango	2,00	
	Rango intercuartil	1,63	
	Asimetría	,753	1,014
	Curtosis	,343	2,619
ADHERENCIA (kg/cm ²)	Media	175,0000	21,49419
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	106,5959	
	Límite superior	243,4041	
	Media recortada al 5%	174,4444	
	Mediana	170,0000	
	Varianza	1848,000	
	Desviación estándar	42,98837	
	Mínimo	129,00	
	Máximo	231,00	
	Rango	102,00	
	Rango intercuartil	82,00	
	Asimetría	,624	1,014
	Curtosis	,535	2,619

Tabla 16. Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
SERIE DE MORTERO	,971	4	,850
ADHERENCIA (kg/cm ²)	,981	4	,910

Valor de significancia es mayor a 0.05, por tanto, los datos son normales. Se aplicará entonces el análisis correlación de Pearson

Tabla 17. Correlaciones

		SERIE DE MORTERO	ADHERENCIA (kg/cm ²)
SERIE DE MORTERO	Correlación de Pearson	1	,999**
	Sig. (unilateral)		,001
	N	4	4
ADHERENCIA (kg/cm ²)	Correlación de Pearson	,999**	1
	Sig. (unilateral)	,001	
	N	4	4

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (1 cola).

La correlación de coeficiente de correlación de Pearson con valor 0.999 en la prueba de correlación de Pearson, significa que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables que se están correlacionando con un alto grado de certeza. Hay una alta certeza de que la correlación encontrada entre las variables no es el resultado de una casualidad o fluctuaciones aleatorias. Indica que la relación entre las variables es muy fuerte y confiable. Se concluye que existe una relación estadísticamente significativa y altamente confiable entre las variables analizadas.

5.2.1.3. Análisis estadístico en Excel de los resultados de Densidad Aparente para el mortero de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla 18. Resumen promedio de resultados de ensayo de densidad peso seco

SERIE DE MORTERO	TIPO DE MORTERO	DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)
D1	cal, arena (1:3)	1.822
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)	1.783
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)	1.84
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)	1.844

Tabla 19. Resumen de procesamiento de datos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SERIE DE MORTERO	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

Tabla 20. Tabla. Datos Descriptivos

		Estadístico	Error estándar	
SERIE DE MORTERO	Media	,8750	,42696	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,4838	
		Límite superior	2,2338	
	Media recortada al 5%	,8611		
	Mediana	,7500		
	Varianza	,729		
	Desviación estándar	,85391		
	Mínimo	,00		
	Máximo	2,00		
	Rango	2,00		

	Rango intercuartil		1,63
	Asimetría		,753 1,014
	Curtosis		,343 2,619
DENSIDAD	Media		1408,25000 408,278168
PESO SECO (g/cm ³)	95% de intervalo de	Límite inferior	108,92665
	confianza para la media	Límite superior	2707,57335
	Media recortada al 5%		1452,05556
	Mediana		1802,50000
	Varianza		666764,250
	Desviación estándar		816,556336
	Mínimo		184,000
	Máximo		1844,000
	Rango		1660,000
	Rango intercuartil		1254,750
	Asimetría		-1,994 1,014
	Curtosis		3,981 2,619

Tabla 21. Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
SERIE DE MORTERO	,971	4	,850
DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)	,658	4	,003

Valor de significancia es mayor a 0.05, por tanto, los datos son normales. Se aplicará entonces el análisis correlación de Pearson

Tabla 22. Tabla. Correlaciones

		SERIE DE MORTERO	DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)
SERIE DE MORTERO	Correlación de Pearson	1	-,079
	Sig. (unilateral)		,460
	N	4	4
DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)	Correlación de Pearson	-,079	1
	Sig. (unilateral)	,460	
	N	4	4

La correlación es significativa a un nivel de -0.079 en la prueba de correlación de Pearson, el signo negativo indica una correlación negativa o inversa, es decir que a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

5.2.1.4. Análisis estadístico de los resultados de Absorción (%) para el mortero de cal, arena (1:3), y morteros con adición de puzolana con las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:0.5); mortero de cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:1); cal, arena y puzolana de arcilla cocida (1:3:2).

Tabla 23. Resumen promedio de resultados de ensayo de Absorción (%)

SERIE DE MORTERO	TIPO DE MORTERO	ABSORCIÓN (%)
D1	cal, arena (1:3)	3.13
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)	4.33
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)	3.48
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)	2.47

Tabla 24. Resumen de procesamiento de datos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SERIE DE MORTERO	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
ABSORCIÓN (%)	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%

Tabla 25. Datos Descriptivos

SERIE DE MORTERO		Estadístico	Error estándar
		Media	,8750
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,4838	
	Límite superior	2,2338	
	Media recortada al 5%	,8611	
	Mediana	,7500	
	Varianza	,729	
	Desviación estándar	,85391	
	Mínimo	,00	

	Máximo	2,00	
	Rango	2,00	
	Rango intercuartil	1,63	
	Asimetría	,753	1,014
	Curtosis	,343	2,619
ABSORCIÓN (%)	Media	335,25000	38,730640
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	211,99182
		Límite superior	458,50818
	Media recortada al 5%	334,72222	
	Mediana	330,50000	
	Varianza	6000,250	
	Desviación estándar	77,461281	
	Mínimo	247,000	
	Máximo	433,000	
	Rango	186,000	
	Rango intercuartil	148,250	
	Asimetría	,341	1,014
	Curtosis	,594	2,619

Tabla 26. Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
SERIE DE MORTERO	.971	4	.850
ABSORCIÓN (%)	.992	4	.969

Valor de significancia es mayor a 0.05, por tanto, los datos son normales. Se aplicará entonces el análisis correlación de Pearson

Tabla 27. Correlaciones

		SERIE DE MORTERO	ABSORCIÓN (%)
SERIE DE MORTERO	Correlación de Pearson	1	-,579
	Sig. (unilateral)		,211
	N	4	4
ABSORCIÓN (%)	Correlación de Pearson	-,579	1
	Sig. (unilateral)	,211	
	N	4	4

La correlación es significativa a un nivel de $-0,579$ en la prueba de correlación de Pearson, el signo negativo indica una correlación negativa o inversa, es decir que a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

5.2.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de los ensayos efectuados en los especímenes de mortero

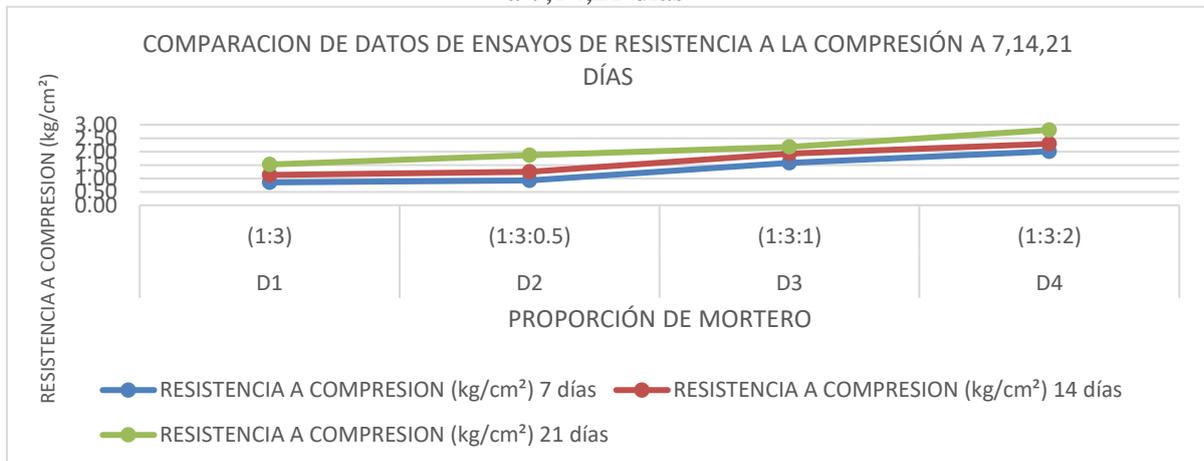
5.2.2.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia mecánica a la compresión de especímenes de mortero

Se evaluó la resistencia a la compresión de los morteros en diferentes intervalos de tiempo: a los 7, 14 y 21 días. Se consideraron diferentes tipos de mortero, incluyendo el de cal y arena en proporción 1:3, así como los morteros que contenían puzolana. Estos últimos se prepararon utilizando combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida en proporciones específicas: 1:3:0.5, 1:3:1 y 1:3:2. A continuación, se presenta las tablas y gráficos de los ensayos a flexión del adobe, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada de los resultados obtenidos de resistencia mecánica a la compresión de especímenes de mortero

Tabla 28. Comparación de resultados promedio de ensayos de resistencia a la compresión a 7,14,21 días

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	21 días
D1	1:3	0.85	1.13	1.52
D2	1:3:0.5	0.93	1.25	1.87
D3	1:3:1	1.58	1.92	2.18
D4	1:3:2	2.01	2.29	2.81

Figura 12. Comparación de resultados promedio de ensayos de resistencia a la compresión a 7,14,21 días



Cada serie de mortero se identifica con una etiqueta (D1, D2, D3, D4). La proporción de mortero se muestra en formato de relación de componentes, donde los números separados por dos puntos (:) indican la cantidad de cada componente utilizado. Por ejemplo, en la serie D1, la proporción de mortero es 1:3, lo que significa que se utiliza 1 parte de cemento y 3 partes de arena.

La resistencia a compresión se muestra en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) y se registra para tres intervalos de tiempo: 7 días, 14 días y 21 días después de la mezcla del mortero.

Aquí está la interpretación de los datos del cuadro:

- Serie D1 (1:3): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento y 3 partes de arena tiene una resistencia a compresión de 0.85 kg/cm² después de 7 días, 1.13 kg/cm² después de 14 días y 1.52 kg/cm² después de 21 días.
- Serie D2 (1:3:0.5): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 0.5 partes de otro componente (posiblemente algún aditivo) tiene una resistencia a compresión de 0.93 kg/cm² después de 7 días, 1.25 kg/cm² después de 14 días y 1.87 kg/cm² después de 21 días.
- Serie D3 (1:3:1): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 1 parte de otro componente tiene una resistencia a compresión de 1.58 kg/cm² después de 7 días, 1.92 kg/cm² después de 14 días y 2.18 kg/cm² después de 21 días.
- Serie D4 (1:3:2): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 2 partes de otro componente tiene una resistencia a compresión de 2.01 kg/cm² después de 7 días, 2.29 kg/cm² después de 14 días y 2.81 kg/cm² después de 21 días.

Los datos muestran cómo la proporción de puzolana de arcilla cocida usada en el mortero afecta a su resistencia a compresión a lo largo del tiempo. Se observa que a medida que aumenta la proporción de puzolana de arcilla cocida, la resistencia a compresión del mortero también aumenta.

5.2.2.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de adherencia por tracción de especímenes de mortero

Se evaluó la capacidad de adherencia por tracción de diferentes tipos de morteros a los 13 días. Los morteros examinados incluyeron una mezcla de cal y arena en proporción 1:3, así como morteros con adición de puzolana. Las combinaciones de cal, arena y

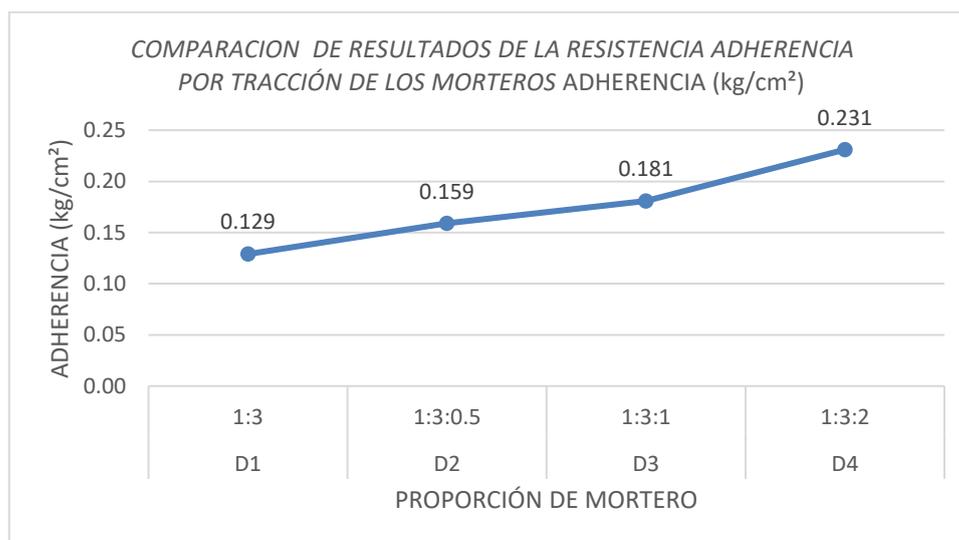
puzolana de arcilla cocida evaluadas fueron las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida evaluadas fueron 1:3 (mortero base) Serie D1, 1:3:0.5 serie D2, 1:3:1 serie D3 y 1:3:2 serie D4. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de mortero.

Se debe considerar el área de la sección transversal de adherencia como 13 cm por 1cm de altura de la junta, que da un total de 13 cm².

Tabla 29. Comparación de datos promedio de ensayos adherencia

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	ADHERENCIA (kg/cm ²)
		13 días
D1	1:3	0.129
D2	1:3:0.5	0.159
D3	1:3:1	0.181
D4	1:3:2	0.231

Figura 13. Comparación de resultados promedio de la resistencia adherencia por tracción de los morteros adherencia (kg/cm²)



Se presenta información sobre diferentes series de mortero y su capacidad de adherencia medida en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) después de 13 días.

Cada serie de mortero se identifica con una etiqueta (D1, D2, D3, D4). La proporción de mortero se muestra en formato de relación de componentes, donde los números separados por dos puntos (:) indican la cantidad de cada componente utilizado.

Aquí está la interpretación de los datos del cuadro:

- Serie D1 (1:3): El mortero con una proporción de 1 parte de cal y 3 partes de arena tiene una capacidad de adherencia de 0.129 kg/cm² después de 13 días.
- Serie D2 (1:3:0.5): El mortero con una proporción de 1 parte de cal, 3 partes de arena y 0.5 partes de puzolana de arcilla cocida tiene una capacidad de adherencia de 0.159 kg/cm² después de 13 días.
- Serie D3 (1:3:1): El mortero con una proporción de 1 parte de cal, 3 partes de arena y 1 parte de puzolana de arcilla cocida tiene una capacidad de adherencia de 0.181 kg/cm² después de 13 días.
- Serie D4 (1:3:2): El mortero con una proporción de 1 parte de cal, 3 partes de arena y 2 partes de puzolana de arcilla cocida tiene una capacidad de adherencia de 0.231 kg/cm² después de 13 días.

Los datos muestran cómo la proporción de puzolana de arcilla cocida utilizado en los diferentes morteros afecta a su capacidad de adherencia después de 13 días. Se observa que a medida que se incrementa la proporción de puzolana de arcilla cocida en los morteros, se obtiene una mayor capacidad de adherencia.

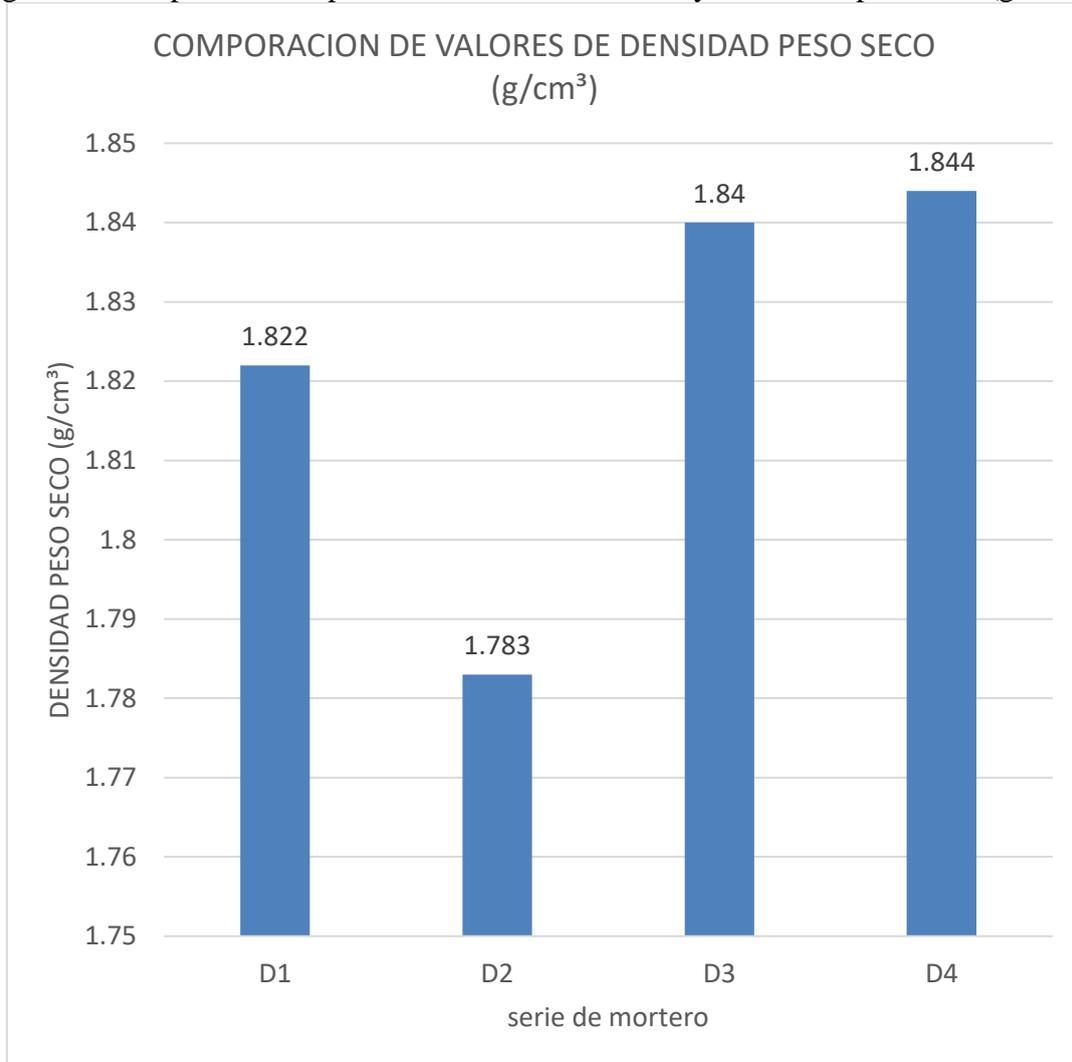
5.2.2.3. Análisis, interpretación y discusión de resultados de Densidad Aparente de especímenes de mortero

Se evaluó densidad de diferentes tipos de morteros. Los morteros examinados incluyeron una mezcla de cal y arena en proporción 1:3, mortero base, Serie D1, así como morteros con adición de puzolana, las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida son 1:3:0.5 serie D2, 1:3:1 serie D3 y 1:3:2 serie D4. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de mortero.

Tabla 30. Resultados promedio de valores de ensayo densidad peso seco (g/cm³)

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	DENSIDAD PESO SECO (g/cm ³)
D1	1:3	1.822
D2	1:3:0.5	1.783
D3	1:3:1	1.84
D4	1:3:2	1.844

Figura 14. Comparación de promedio de valores de ensayo densidad peso seco (g/cm^3)



Los datos nos dan información sobre diferentes series de mortero y su densidad en peso seco, medida en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

Cada serie de mortero se identifica con una etiqueta (D1, D2, D3, D4). La proporción de mortero se muestra en formato de relación de componentes, donde los números separados por dos puntos (:) indican la cantidad de cada componente utilizado.

Aquí está la interpretación de los datos del cuadro:

- Serie D1 (1:3): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento y 3 partes de arena tiene una densidad en peso seco de 1.822 g/cm^3 .
- Serie D2 (1:3:0.5): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 0.5 partes de otro componente (posiblemente algún aditivo) tiene una densidad en peso seco de 1.783 g/cm^3 .

- Serie D3 (1:3:1): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 1 parte de otro componente tiene una densidad en peso seco de 1.840 g/cm³.
- Serie D4 (1:3:2): El mortero con una proporción de 1 parte de cemento, 3 partes de arena y 2 partes de otro componente tiene una densidad en peso seco de 1.844 g/cm³.

Los datos muestran cómo la proporción de puzolana de arcilla cocida usada en los diferentes morteros afecta a su densidad en peso seco. Sin embargo, no se puede establecer una tendencia clara basada en estos datos, ya que los valores de densidad varían ligeramente entre las diferentes series de mortero.

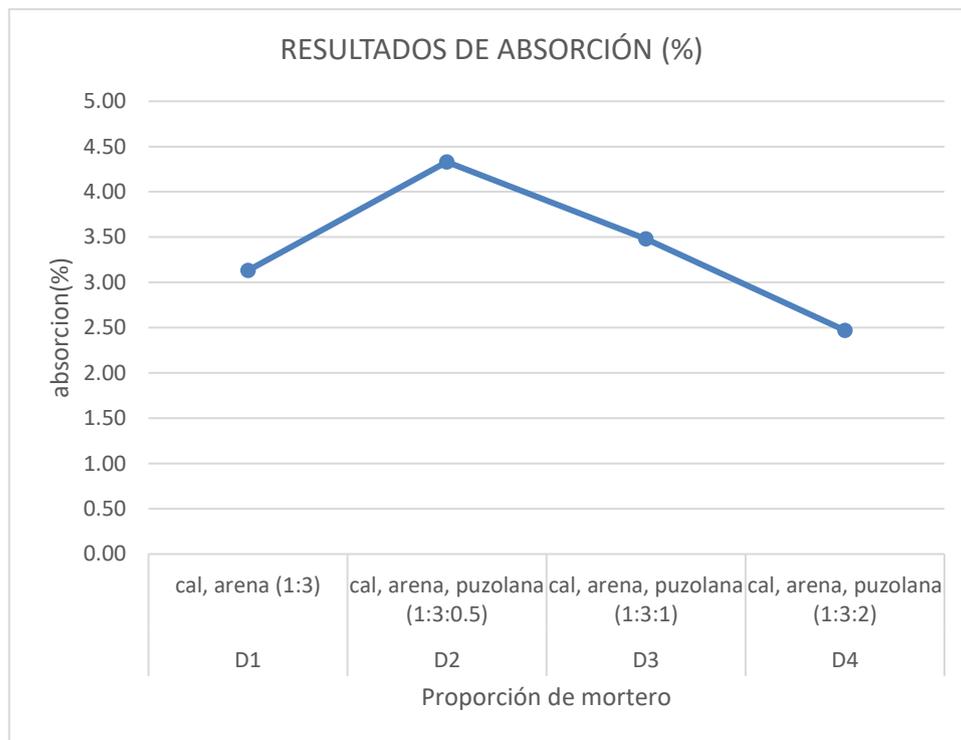
5.2.2.4. Análisis, interpretación y discusión de resultados de Absorción (%) de especímenes de mortero

Los resultados de absorción en especímenes de mortero es una parte fundamental para comprender el comportamiento de diferentes mezclas y adiciones en la resistencia y permeabilidad del material. En este caso, se examinaron varias combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida en proporciones específicas, incluyendo una mezcla de cal y arena en proporción 1:3, así como morteros con adición de puzolana. Las combinaciones de cal, arena y puzolana de arcilla cocida fueron 1:3 (mortero base) Serie D1, 1:3:0.5 serie D2, 1:3:1 serie D3 y 1:3:2 serie D4. Para el análisis de los resultados de absorción, se deben comparar los valores obtenidos en cada serie

Tabla 31. Tabla. Comparación de resultados promedio de absorción (%)

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO	ABSORCIÓN (%)
D1	cal, arena (1:3)	3.13
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)	4.33
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)	3.48
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)	2.47

Figura 15. Gráfico de valores promedio de absorción (%) por serie de mortero



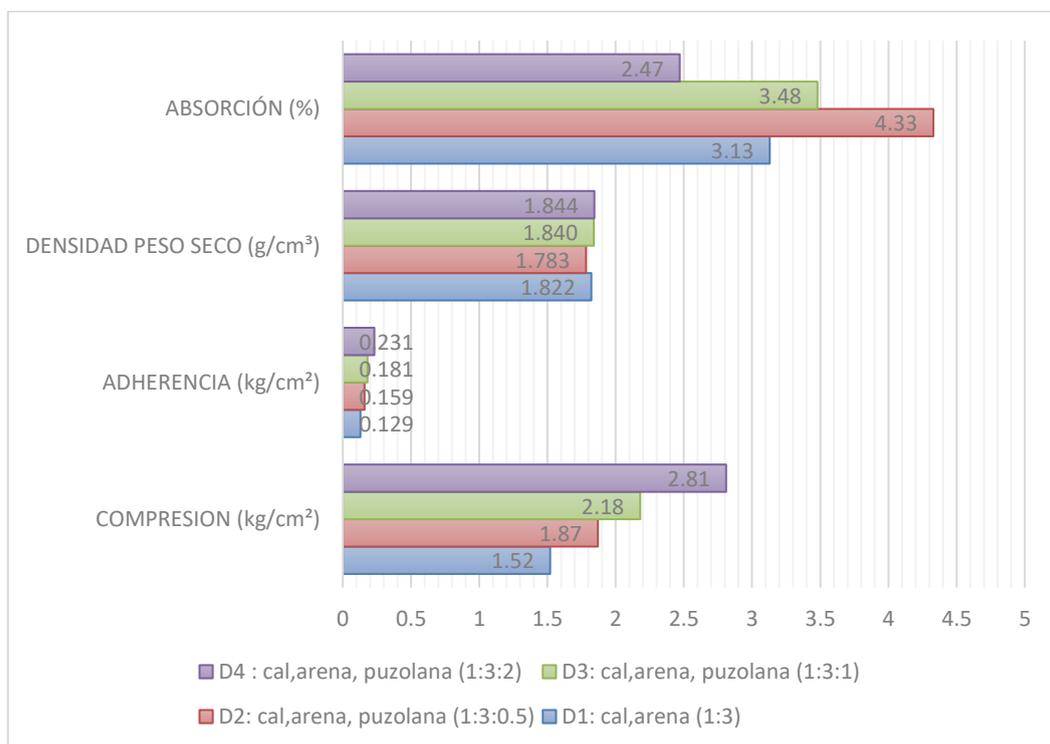
El cuadro de datos proporciona información sobre las diferentes series de mortero y sus respectivas proporciones, así como los valores de absorción (%) obtenidos en cada serie. Veamos la interpretación de estos datos:

- Serie D1: En esta serie, la proporción de mortero consiste en cal y arena en una relación de 1:3. El valor de absorción obtenido es del 3.13%. Esto significa que el mortero en esta serie tiene una capacidad de retener el agua relativamente baja.
- Serie D2: En esta serie, se agrega puzolana en una proporción de 0.5 a la mezcla de cal y arena (1:3). El valor de absorción obtenido es del 4.33%. Comparado con la Serie D1, se observa un ligero aumento en la absorción. Esto sugiere que la adición de puzolana en esta proporción puede afectar ligeramente la capacidad del mortero para resistir la penetración de agua.
- Serie D3: En esta serie, se incrementa la proporción de puzolana a 1 en la mezcla de cal y arena (1:3). El valor de absorción obtenido es del 3.48%. En comparación con la Serie D2, se observa una disminución en la absorción. Esto indica que el aumento de la proporción de puzolana puede tener un efecto positivo en la reducción de la absorción de agua.
- Serie D4: En esta serie, se aumenta aún más la proporción de puzolana a 2 en la mezcla de cal y arena (1:3). El valor de absorción obtenido es del 2.47%. Se

observa una disminución significativa en la absorción en comparación con las series anteriores. Esto sugiere que una mayor proporción de puzolana puede tener un impacto más significativo en la reducción de la absorción de agua.

Entonces, a medida que se aumenta la proporción de puzolana en las mezclas de mortero, se observa una tendencia general hacia una disminución en la absorción de agua. Esto indica que la adición de puzolana puede ser beneficiosa para mejorar la resistencia a la humedad del mortero.

Figura 16. Gráfico de resultados promedio obtenidos de ensayos realizados



5.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis se cumple, ya que, de la Figura, se observa que la combinación que presenta mejora en las características físico mecánicas es la combinación D4 de cal, arena y puzolana (1:3:2), ya que con respecto a la muestra base D1, presenta una mejoría del 84.87% en el valor de resistencia la compresión (kg/cm²), mejoría del 79.07% en el valor de adherencia (kg/cm²), un aumento del 1.21% en la densidad aparente en peso seco, y que el porcentaje de absorción % disminuyo a 2.47%

CONCLUSIONES

- En términos de resistencia a la compresión, la combinación D4 presenta una mejora del 84.87% en comparación con la muestra base D1.
- En cuanto a la adherencia, la combinación D4 muestra una mejora del 79.07% en comparación con la muestra base D1.
- La densidad aparente en peso seco experimenta un aumento del 1.21% en la combinación D4 en comparación con la muestra base D1.
- El porcentaje de absorción disminuye significativamente en la combinación D4, alcanzando un valor de 2.47%, en comparación con la muestra base D1.
- Se puede concluir que la combinación que la combinación D4 de cal, arena y puzolana (1:3:2), muestra una mejora en las características físico-mecánicas: resistencia a la compresión, adherencia, densidad aparente y absorción de agua en comparación con la muestra base D1 de cal y arena (1:3). Por lo tanto, se cumple la hipótesis planteada de que la adición de puzolana de arcilla cocida es positiva puesto que mejora las propiedades físico mecánicas de los morteros de cal y arena.

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

- Se recomienda usar la combinación D4 de cal, arena y puzolana (1:3:2) en la construcción de morteros en Cajamarca. Los resultados indican mejoras significativas en la resistencia a la compresión, adherencia, densidad aparente y absorción de agua, lo cual puede resultar beneficioso en términos de durabilidad y desempeño estructural.
- Se recomienda evaluar la durabilidad a largo plazo de la combinación D4, realizando estudios de durabilidad para evaluar se comporta a largo plazo en condiciones ambientales reales de Cajamarca. Esto incluye exposición a la humedad, ciclos de congelación y descongelación, y otros factores climáticos relevantes. Estos estudios permitirán verificar la estabilidad y la resistencia a la degradación de los morteros en el tiempo.
- Se sugiere ampliar la investigación para evaluar otras adiciones de puzolana disponibles en Cajamarca. Se puede explorar diferentes tipos de puzolana de arcilla cocida o incluso explorar otras fuentes de puzolana, como cenizas volantes u otros materiales locales. Esto permitirá obtener una visión más amplia de las posibilidades de mejora en las propiedades de los morteros.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- Aitcin, P. C., & Mindess, S. . (2011). *Modern concrete materials: Binders, additives and admixtures*. Routledge.
- Alejandro Sánchez, F. J. (2002). *HISTORIA, CARACTERIZACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MORTEROS*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Alison , Henry; English Heritage; Stewart , John. (2012). *Practical building conservation: Mortars, plasters, and renders*. Inglaterra: Ashgate.
- American Society for Testing and Materials. (2000). ASTM C476. The Standard Specification for Grout for Masonry.
- American Society of testing Materials. (2013). American Society of testing Materials.
- Asociación Española de Normalización. (2020). Una Norma Española . España.
- ASTM C207-07. (s.f.). Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes.
- Castañeda, M. A., & Melián, J. E. (2016). técnicas constructivas y materiales tradicionales en la restauración de monumentos históricos en América Latina. *Anales de Construcción*, 537.
- Cazalla Vázquez, O. (2002). Morteros de cal aplicación en el patrimonio histórico. Granada, España: Universidad de Granada.
- Comisión Guatemalteca de Norma. (2014). Norma Técnica Guatemalteca. Guatemala.
- Comité Técnico de Normalización de Agregados. (2013). Norma Tecnica Peruana. Peru.
- Díaz Calderón, M. G. (2016). Aditivos orgánicos e inorgánicos en morteros de cal: revisión histórica para su aplicación en intervenciones actuales. Morelia, Michoacan, Mexico.
- Faria, P., de Brito, J., & S. N. (2016). Lime mortars: a comprehensive characterization approach. *Construction and Building Materials* (114), 376-390.
- Febrero, L., López-Arce, P., & García-Heras, M. (2009). The performance of mortars made with air lime. . *Cement and Concrete Research*, 147-156.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- García de Miguel, J. M. (2009). *Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y en contrucciones*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Giraldo Villar , R. (2022). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del mortero de cal adicionando mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), Ayacucho- 2022. Ayacucho, Peru.
- González Cortina, M., & de Villanueva Domínguez, L. (2000). Morteros hidráulicos de cal y chamota. *Materiales de Construcción Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 65-76.
- González Moreno-Navarro, A. (1998). *Primer Congreso Europeo de Restauración de Catedrales Góticas*. Vitoria, España: Antoni ; Álava. Diputación Foral. , Departamento de Obras Públicas y Urbanismo;.
- Gutiérrez, R., García-Navarro, J., & Rodríguez-Núñez, A. (2014). Study of the adhesion capacity of historic lime mortars. *Construction and Building Materials*(64), 48-56.
- Lozano, E. (4 de Abril de 2014). Promueven defensa y protección del patrimonio cultural en Cajamarca. *Agencia Andina de Noticias*.
- Malinowski, R. (1981). Ancient Mortars and Concretes- Durability Aspects. *Symposium of Mortars, Cements and grouts used In the Conservation of Historic Buildings*. Roma.
- Moncada, G., Klemm, S., & Tirado, C. (2017). Environmental assessment of lime and cement mortars for sustainability goals in building restoration. *Journal of Cleaner Production*(143), 206-217.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Pearson Education.
- Ortiz Wolford, D. E. (2019). Diseño y evaluación de mortero de cemento y cal con adición de polvo de barro cocido. Guatemala.
- Real Academia Española. (s.f.).
- Riddick, J. C., & Rapson, W. S. (2009). *Building with lime: A practical introduction*. Routledge.
- Sarachu, E. (12 de abril de 2023,). *Morteros de cal: ¿Qué ventajas tienen? TodoRehabilitación*.

- Obtenido de <https://todorehabilitacion.com/morteros-de-cal-que-ventajas-tienen/>
- Sepulcre Aguilar, A. (2005). Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés.
- UNE-EN-1015-11. (2020). Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. Norma Española .
- Usedo Vallés, R. M. (2015). *Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Vitruvio Polión, M. (Siglo I a.C). De Architectura.
- Young, D. (2021). TECHNICAL GUIDE. Mortars: materials, mixes and method. A guide to repointing mortar joints. Melbourne, Australia: Heritage Conservation Consultant.
Obtenido de <https://heritagecouncil.vic.gov.au/wp-content/uploads/2021/11/MortarsTechnicalGuide-online.pdf>

APÉNDICES

Determinación de propiedades físicas de agregado fino NTP 400 (2013)

CANTERA ARENA GRUESA TOPEX

FECHA 2020

MATERIAL : AGREGADO FINO

A) CALCULO DEL PESO ESPECIFICO DEL AGUA

Peso de la fiola en (g) =	191.6
Peso de la fiola + agua en (g) =	689.5
Volumen de la fiola (cm ³) =	500
Peso especifico (g/cm ³) =	0.9958
P.e en (Kg/m ³) =	995.8

B) CALCULO DEL Factor f

Peso del Molde (g) =	1995.4
Peso del Molde +Agua (g) =	4855
Peso Agua (Kg) =	2.8596
f (1/m ³) =	348.23

1.00 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
1.03	Peso de muestra suelta + recipiente	g	6522.00	6533.00	6528.00	
1.04	Peso de la muestra suelta	g	4526.60	4537.60	4532.60	
1.05	Factor (f)		348.231	348.231	348.231	
1.06	Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.576	1.580	1.578	1.578
Peso Unitario Suelto		Kg/m³	1576	1580	1578	1578

2.00 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
2.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
2.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	7005.00	7008.00	7015.00	
2.03	Peso de la muestra suelta	g	5009.60	5012.60	5019.60	
2.04	Factor (f)	1/m ³	348.231	348.231	348.231	
2.05	Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.744	1.746	1.748	1.746
Peso Unitario Compactado		Kg/m³	1744	1746	1748	1746

3.00 Peso Especifico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de fiola	g	191.6	191.6	191.6	
3.02	Peso de la fiola +agua hasta menizco	g	689.5	689.5	689.5	
3.03	peso de la fiola +agua + muestra	g	1003.3	1003.1	1002.4	
3.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
3.05	Peso de la muestra secada al horno	g	493.80	494.00	494.10	
3.06	volumen de agua añadida al frasco (g)	g	311.70	311.50	310.80	
	Peso Especifico de Masa	g/m³	2.622	2.621	2.612	2.620
	Peso Especifico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	2.655	2.653	2.643	2.650
	Peso Especifico de Aparente	g/m³	2.712	2.707	2.696	2.700

4.00 Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	493.80	494.00	494.10	
	Absorción (%)	%	1.256	1.215	1.194	1.200

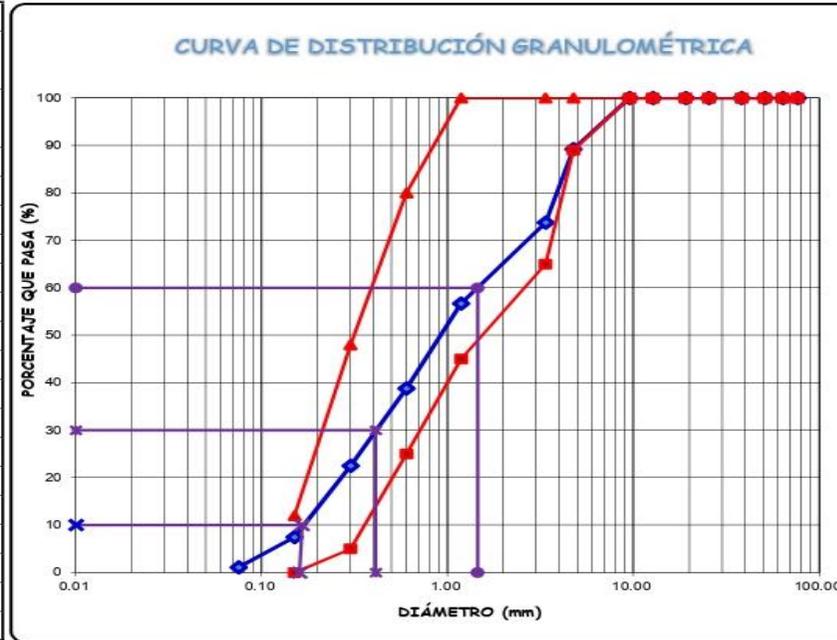
5.00 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
5.01	Peso del Recipiente	g	132.30	128.50	136.20	
5.02	Peso del Recipiente + muestra Humeda	g	877.20	1033.20	974.40	
5.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	875.50	1031.20	972.50	
	Contenido de Humedad	W %	0.23	0.22	0.23	0.23

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO: A.S.T.M. C 136 / NTP 400.012/AASHTO T- 27/ MTC E 202

CANTERA ARENA GRUESA TOPEX
FECHA 2020

Peso Seco Inicial =					1500.00
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =					17.00
N°	Tamiz	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	162.00	10.80	10.80	89.20
N°8	3.36	232.00	15.47	26.27	73.73
N 16	1.18	256.00	17.07	43.33	56.67
N 30	0.60	268.00	17.87	61.20	38.80
N 50	0.30	245.00	16.33	77.53	22.47
N 100	0.15	225.00	15.00	92.53	7.47
N 200	0.075	95.00	6.33	98.87	1.13
Cazoleta	--	17	1.13	100.00	0.00
TOTAL		1500.0			
MÓDULO DE FINURA =			3.117		



D60 =	1.45	D30 =	0.41	D10 =	0.165
Cu =	8.79	Cc =	0.70		

OBSERVACIONES:

LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO CUMPLE EL HUSO GRANULOMÉTRICO "M" DE LA NORMA N.T.P. 400.037.

EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO ESTUDIADO ES DE 3.117.

MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200 (ASTM.C -117 / NTP 400.018)

CANTERA ARENA GRUESA TOPEX

FECHA 2020

MATERIAL : AGREGADO FINO

1.00 Ensayo Partículas < N° 200 para el Agregado Fino

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
1.02	Peso de la muestra Lavada	g	485.10	485.00	485.30	
1.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	14.90	15.00	14.70	
Material que Pasa el Tamiz N° 200		%	2.98%	3.00%	2.94%	3.00%

CANTERA CAL TOPEX

FECHA 2020

MATERIAL : CAL

A) CALCULO DEL PESO ESPECIFICO DEL ALCOHOL

Peso de la fiola en (g) =	70.23
Peso de la fiola + agua en (g) =	150.79
Volumen de la fiola (cm ³) =	100
Peso especifico (g/cm ³) =	0.8056
P.e en (Kg/m ³) =	805.6

B) CALCULO DEL Factor f

Peso del Molde (g) =	1995.4
Peso del Molde + Agua (g) =	4855
Peso Agua (Kg) =	2.8596
f (1/m ³) =	348.23

1.00 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
1.03	Peso de muestra suelta + recipiente	g	4797.00	4815.00	4808.00	
1.04	Peso de la muestra suelta	g	2801.60	2819.60	2812.60	
1.05	Factor (f)		348.231	348.231	348.231	
1.06	Peso Unitario Suelto	g/cm ³	0.976	0.982	0.979	0.979
Peso Unitario Suelto		Kg/m³	976	982	979	979

2.00 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
2.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
2.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	5233.00	5242.00	5251.00	
2.03	Peso de la muestra suelta	g	3237.60	3246.60	3255.60	
2.04	Factor (f)	1/m ³	348.231	348.231	348.231	
2.05	Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.127	1.131	1.134	1.131
Peso Unitario Compactado		Kg/m³	1127	1131	1134	1131

3.00 **Peso Específico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de fiola	g	70.23	70.23	70.23	
3.02	Peso de la fiola +alcohol hasta menizco	g	150.79	150.79	150.79	
3.03	peso de la fiola +alcohol + muestra	g	117.7	117.7	117.6	
3.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	30.00	30.00	30.00	
3.05	Peso de la muestra secada al horno	g	29.24	29.26	29.21	
3.06	volumen de alcohol añadido al frasco (g)	g	17.43	17.43	17.37	
	Peso Específico de Masa	g/m³	2.326	2.328	2.313	2.320
	Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	2.387	2.387	2.375	2.380
	Peso Específico de Aparente	g/m³	2.476	2.473	2.467	2.470

4.00 **Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	30.00	30.00	30.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	29.24	29.26	29.21	
	Absorción (%)	%	2.599	2.529	2.705	2.600

5.00 **Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185**

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
5.01	Peso del Recipiente	g	58.50	58.60	59.10	
5.02	Peso del Recipiente + muestra Humeda	g	425.40	355.20	374.40	
5.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	424.90	354.70	373.90	
	Contenido de Humedad	W%	0.14	0.17	0.16	0.15

CANTERA PUZOLANA obtenida de triturar ladrillo pandereta de 6 huecos marca pirámide

FECHA 2020

MATERIAL : PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA

A) CALCULO DEL PESO ESPECIFICO DEL AGUA

Peso de la fiola en (g) =	191.6
Peso de la fiola + agua en (g) =	689.5
Volumen de la fiola (cm ³) =	500
Peso especifico (g/cm ³) =	0.9958
P.e en (Kg/m ³) =	995.8

B) CALCULO DEL Factor f

Peso del Molde (g) =	1995.4
Peso del Molde +Agua (g) =	4855
Peso Agua (Kg) =	2.8596
f (1/m ³) =	348.23

1.00 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
1.03	Peso de muestra suelta + recipiente	g	5588.00	5598.00	5567.00	
1.04	Peso de la muestra suelta	g	3592.60	3602.60	3571.60	
1.05	Factor (f)		348.231	348.231	348.231	
1.06	Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.251	1.255	1.244	1.250
Peso Unitario Suelto		Kg/m³	1251	1255	1244	1250

2.00 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
2.01	Peso del recipiente	g	1995.40	1995.40	1995.40	
2.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	5895.00	5888.00	5877.00	
2.03	Peso de la muestra suelta	g	3899.60	3892.60	3881.60	
2.04	Factor (f)	1/m ³	348.231	348.231	348.231	
2.05	Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.358	1.356	1.352	1.355
Peso Unitario Compactado		Kg/m³	1358	1356	1352	1355

MATERIAL : PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA

3.00 Peso Especifico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de fiola	g	191.6	191.6	191.6	
3.02	Peso de la fiola +agua hasta menizco	g	689.5	689.5	689.5	
3.03	peso de la fiola +agua + muestra	g	815.5	815.6	816.1	
3.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
3.05	Peso de la muestra secada al horno	g	493.80	494.00	494.10	
3.06	volumen de agua añadida al frasco (g)	g	123.90	124.00	124.50	
	Peso Especifico de Masa	g/m³	1.313	1.314	1.316	1.310
	Peso Especifico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	1.329	1.330	1.332	1.330
	Peso Especifico de Aparente	g/m³	1.335	1.335	1.337	1.340

4.00 Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	493.80	494.00	494.10	
	Absorción (%)	%	1.256	1.215	1.194	1.200

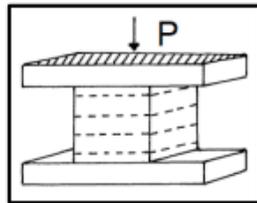
5.00 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
5.01	Peso del Recipiente	g	58.10	55.70	56.70	
5.02	Peso del Recipiente + muestra Humeda	g	511.00	663.20	721.10	
5.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	509.60	661.50	719.30	
	Contenido de Humedad	W %	0.31	0.28	0.27	0.29

Datos de campo para determinar de la resistencia a compresión del mortero endurecido, según UNE-EN 1015-11 (2020)

N°	Lectura de Maquina (kg-f)				Área (cm ²)				Esfuerzo (kg/cm ²)			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
1	12.50	14.60	36.70	48.40	16.69	16.67	16.54	16.61	0.75	0.88	2.22	2.91
2	13.40	14.30	36.40	48.70	16.71	16.67	16.65	16.75	0.80	0.86	2.19	2.91
3	12.70	15.20	35.40	46.20	16.69	16.67	16.65	16.71	0.76	0.91	2.13	2.77
4	14.60	15.40	34.90	47.50	16.59	16.46	16.61	16.75	0.88	0.94	2.10	2.84
5	15.80	15.60	36.70	43.10	16.67	16.67	16.67	16.69	0.95	0.94	2.20	2.58
6	13.90	16.80	36.50	45.20	16.65	16.69	16.75	16.67	0.84	1.01	2.18	2.71
7	13.70	15.90	36.20	46.80	16.63	16.73	16.75	16.61	0.82	0.95	2.16	2.82
8	14.60	15.30	35.80	46.70	16.71	16.69	16.69	16.71	0.87	0.92	2.15	2.80
9	14.80	14.70	37.90	47.50	16.67	16.63	16.54	16.65	0.89	0.88	2.29	2.85
10	15.20	16.40	36.80	48.00	16.69	16.73	16.67	16.67	0.91	0.98	2.21	2.88

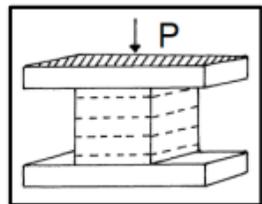
EDAD
7 DIAS



SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

N°	Lectura de Maquina (kg-f)				Área (cm ²)				Esfuerzo (kg/cm ²)			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
1	18.60	19.40	32.50	39.20	16.71	16.67	16.67	16.65	1.11	1.16	1.95	2.35
2	19.20	22.70	31.60	39.00	16.63	16.56	16.61	16.63	1.15	1.37	1.90	2.35
3	20.40	18.50	31.80	38.60	16.67	16.71	16.71	16.71	1.22	1.11	1.90	2.31
4	17.30	19.30	31.70	39.10	16.61	16.67	16.65	16.67	1.04	1.16	1.90	2.35
5	18.30	20.20	30.80	38.40	16.71	16.61	16.67	16.75	1.10	1.22	1.85	2.29
6	17.50	21.40	32.70	37.60	16.65	16.75	16.67	16.67	1.05	1.28	1.96	2.26
7	17.90	21.80	33.10	37.70	16.67	16.71	16.56	16.56	1.07	1.30	2.00	2.28
8	18.60	22.00	32.60	37.40	16.75	16.75	16.67	16.67	1.11	1.31	1.96	2.24
9	20.60	21.70	31.80	36.30	16.67	16.69	16.61	16.61	1.24	1.30	1.92	2.19
10	19.40	20.80	31.50	38.50	16.67	16.77	16.75	16.75	1.16	1.24	1.88	2.30

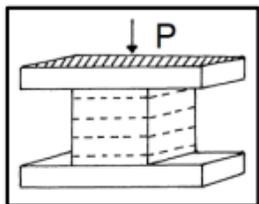
EDAD
14 DIAS



SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

N°	Lectura de Maquina (kg-f)				Área (cm ²)				Esfuerzo (kg/cm ²)			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
1	25.40	30.40	36.70	48.40	16.65	16.69	16.54	16.61	1.53	1.82	2.22	2.91
2	27.20	28.30	36.40	48.70	16.73	16.59	16.65	16.75	1.63	1.71	2.19	2.91
3	25.80	29.60	35.40	46.20	16.67	16.71	16.65	16.71	1.55	1.77	2.13	2.77
4	24.30	28.70	34.90	47.50	16.56	16.63	16.61	16.75	1.47	1.73	2.10	2.84
5	27.50	29.40	36.70	43.10	16.67	16.67	16.67	16.69	1.65	1.76	2.20	2.58
6	25.60	31.80	36.50	45.20	16.61	16.59	16.75	16.67	1.54	1.92	2.18	2.71
7	24.80	34.70	36.20	46.80	16.75	16.63	16.75	16.61	1.48	2.09	2.16	2.82
8	23.20	33.70	35.80	46.70	16.71	16.71	16.69	16.71	1.39	2.02	2.15	2.80
9	25.40	33.00	37.90	47.50	16.59	16.73	16.54	16.65	1.53	1.97	2.29	2.85
10	24.60	32.40	36.80	48.00	16.65	16.69	16.67	16.67	1.48	1.94	2.21	2.88

EDAD
21 DIAS



SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

MEDIDAS

DISEÑO 1											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D1-1	28/04/2020	5/05/2020	7	16.00	4.11	4.06	4.09	4.08	16.69	526.30	12.50
D1-2	28/04/2020	5/05/2020	7	15.88	4.10	4.11	4.07	4.07	16.71	524.70	13.40
D1-3	28/04/2020	5/05/2020	7	16.15	4.09	4.09	4.07	4.09	16.69	126.40	12.70
D1-4	28/04/2020	5/05/2020	7	15.90	4.06	4.07	4.05	4.11	16.59	126.00	14.60
D1-5	28/04/2020	5/05/2020	7	16.05	4.09	4.07	4.08	4.09	16.67	125.40	15.80
D1-6	28/04/2020	5/05/2020	7	15.90	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	124.90	13.90
D1-7	28/04/2020	5/05/2020	7	16.05	4.07	4.05	4.09	4.10	16.63	123.80	13.70
D1-8	28/04/2020	5/05/2020	7	15.85	4.09	4.09	4.08	4.09	16.71	125.10	14.60
D1-9	28/04/2020	5/05/2020	7	15.80	4.09	4.08	4.07	4.09	16.67	126.50	14.80
D1-10	28/04/2020	5/05/2020	7	15.95	4.10	4.07	4.09	4.08	16.69	123.80	15.20

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)

DISEÑO 1											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D1-1	28/04/2020	12/05/2020	14	15.90	4.09	4.08	4.10	4.08	16.71	518.30	18.60
D1-2	28/04/2020	12/05/2020	14	16.05	4.07	4.07	4.10	4.07	16.63	519.40	19.20
D1-3	28/04/2020	12/05/2020	14	15.85	4.07	4.09	4.09	4.08	16.67	531.60	20.40
D1-4	28/04/2020	12/05/2020	14	15.80	4.05	4.11	4.06	4.08	16.61	524.00	17.30
D1-5	28/04/2020	12/05/2020	14	15.95	4.09	4.10	4.05	4.11	16.71	526.30	18.30
D1-6	28/04/2020	12/05/2020	14	15.85	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	523.80	17.50
D1-7	28/04/2020	12/05/2020	14	16.10	4.05	4.09	4.09	4.10	16.67	524.10	17.90
D1-8	28/04/2020	12/05/2020	14	16.00	4.11	4.09	4.08	4.09	16.75	525.40	18.60
D1-9	28/04/2020	12/05/2020	14	15.90	4.10	4.07	4.07	4.09	16.67	526.30	20.60
D1-10	28/04/2020	12/05/2020	14	15.85	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	524.80	19.40

DISEÑO 1											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D1-1	28/04/2020	19/05/2020	21	15.85	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	517.80	25.40
D1-2	28/04/2020	19/05/2020	21	16.10	4.08	4.09	4.09	4.10	16.73	521.60	27.20
D1-3	28/04/2020	19/05/2020	21	15.95	4.07	4.09	4.08	4.09	16.67	518.30	25.80
D1-4	28/04/2020	19/05/2020	21	16.00	4.05	4.07	4.07	4.09	16.56	519.40	24.30
D1-5	28/04/2020	19/05/2020	21	15.88	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	531.60	27.50
D1-6	28/04/2020	19/05/2020	21	16.15	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	524.00	25.60
D1-7	28/04/2020	19/05/2020	21	15.90	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	521.00	24.80
D1-8	28/04/2020	19/05/2020	21	16.05	4.09	4.08	4.09	4.09	16.71	523.10	23.20
D1-9	28/04/2020	19/05/2020	21	15.85	4.09	4.07	4.06	4.07	16.59	524.30	25.40
D1-10	28/04/2020	19/05/2020	21	16.00	4.07	4.09	4.09	4.07	16.65	520.80	24.60

DISEÑO 2											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D2-1	29/04/2020	6/05/2020	7	16.00	4.09	4.11	4.06	4.07	16.67	513.20	14.60
D2-2	29/04/2020	6/05/2020	7	15.88	4.07	4.10	4.11	4.05	16.67	513.80	14.30
D2-3	29/04/2020	6/05/2020	7	16.15	4.07	4.09	4.09	4.08	16.67	510.40	15.20
D2-4	29/04/2020	6/05/2020	7	15.90	4.05	4.06	4.07	4.05	16.46	514.80	15.40
D2-5	29/04/2020	6/05/2020	7	16.05	4.08	4.09	4.07	4.09	16.67	513.70	15.60
D2-6	29/04/2020	6/05/2020	7	15.85	4.09	4.09	4.08	4.08	16.69	512.90	16.80
D2-7	29/04/2020	6/05/2020	7	15.95	4.11	4.06	4.08	4.11	16.73	511.70	15.90
D2-8	29/04/2020	6/05/2020	7	15.85	4.10	4.05	4.11	4.08	16.69	512.60	15.30
D2-9	29/04/2020	6/05/2020	7	16.10	4.07	4.05	4.12	4.07	16.63	515.00	14.70
D2-10	29/04/2020	6/05/2020	7	16.00	4.09	4.09	4.10	4.08	16.73	514.70	16.40

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)

DISEÑO 2											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D2-1	29/04/2020	13/05/2020	14	16.05	4.09	4.09	4.08	4.07	16.67	513.70	19.40
D2-2	29/04/2020	13/05/2020	14	15.90	4.06	4.07	4.06	4.09	16.56	512.90	22.70
D2-3	29/04/2020	13/05/2020	14	16.05	4.09	4.07	4.12	4.07	16.71	511.70	18.50
D2-4	29/04/2020	13/05/2020	14	15.85	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	512.60	19.30
D2-5	29/04/2020	13/05/2020	14	15.80	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	515.00	20.20
D2-6	29/04/2020	13/05/2020	14	15.95	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	514.30	21.40
D2-7	29/04/2020	13/05/2020	14	15.85	4.09	4.08	4.09	4.09	16.71	513.80	21.80
D2-8	29/04/2020	13/05/2020	14	16.10	4.09	4.09	4.10	4.09	16.75	513.70	22.00
D2-9	29/04/2020	13/05/2020	14	15.95	4.10	4.07	4.09	4.08	16.69	514.20	21.70
D2-10	29/04/2020	13/05/2020	14	16.00	4.08	4.09	4.10	4.11	16.77	512.80	20.80

DISEÑO 2											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D2-1	29/04/2020	20/05/2020	21	15.90	4.09	4.08	4.09	4.08	16.69	515.00	30.40
D2-2	29/04/2020	20/05/2020	21	16.05	4.07	4.07	4.09	4.06	16.59	514.30	28.30
D2-3	29/04/2020	20/05/2020	21	15.85	4.07	4.09	4.08	4.11	16.71	513.80	29.60
D2-4	29/04/2020	20/05/2020	21	15.95	4.05	4.11	4.06	4.09	16.63	513.70	28.70
D2-5	29/04/2020	20/05/2020	21	15.85	4.09	4.08	4.09	4.07	16.67	514.20	29.40
D2-6	29/04/2020	20/05/2020	21	16.10	4.09	4.07	4.06	4.07	16.59	513.40	31.80
D2-7	29/04/2020	20/05/2020	21	15.85	4.07	4.09	4.09	4.06	16.63	515.30	34.70
D2-8	29/04/2020	20/05/2020	21	15.80	4.05	4.09	4.10	4.11	16.71	514.70	33.70
D2-9	29/04/2020	20/05/2020	21	15.95	4.09	4.08	4.09	4.10	16.73	515.60	33.00
D2-10	29/04/2020	20/05/2020	21	15.85	4.08	4.07	4.09	4.10	16.69	513.90	32.40

DISEÑO 3											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm ²)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D3-1	30/04/2020	7/05/2020	7	16.15	4.09	4.11	4.06	4.07	16.67	524.70	25.60
D3-2	30/04/2020	7/05/2020	7	15.90	4.07	4.10	4.11	4.05	16.67	525.00	26.40
D3-3	30/04/2020	7/05/2020	7	16.05	4.07	4.09	4.09	4.08	16.67	523.70	25.30
D3-4	30/04/2020	7/05/2020	7	15.85	4.09	4.07	4.12	4.07	16.71	523.40	25.70
D3-5	30/04/2020	7/05/2020	7	15.95	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	526.30	28.30
D3-6	30/04/2020	7/05/2020	7	16.10	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	526.10	26.20
D3-7	30/04/2020	7/05/2020	7	15.85	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	525.40	27.00
D3-8	30/04/2020	7/05/2020	7	15.80	4.09	4.08	4.09	4.09	16.71	525.30	28.00
D3-9	30/04/2020	7/05/2020	7	15.95	4.09	4.09	4.10	4.09	16.75	524.80	26.70
D3-10	30/04/2020	7/05/2020	7	16.10	4.11	4.06	4.07	4.11	16.71	526.20	24.90

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)

DISEÑO 3											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D3-1	30/04/2020	14/05/2020	14	16.05	4.07	4.09	4.09	4.08	16.67	525.60	32.50
D3-2	30/04/2020	14/05/2020	14	15.85	4.05	4.11	4.06	4.08	16.61	526.40	31.60
D3-3	30/04/2020	14/05/2020	14	15.80	4.09	4.10	4.05	4.11	16.71	523.80	31.80
D3-4	30/04/2020	14/05/2020	14	15.95	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	524.60	31.70
D3-5	30/04/2020	14/05/2020	14	15.88	4.06	4.08	4.09	4.10	16.67	524.30	30.80
D3-6	30/04/2020	14/05/2020	14	16.15	4.07	4.09	4.08	4.09	16.67	525.90	32.70
D3-7	30/04/2020	14/05/2020	14	15.90	4.05	4.07	4.07	4.09	16.56	523.80	33.10
D3-8	30/04/2020	14/05/2020	14	16.05	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	524.70	32.60
D3-9	30/04/2020	14/05/2020	14	15.90	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	524.40	31.80
D3-10	30/04/2020	14/05/2020	14	16.07	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	526.80	31.50

DISEÑO 3											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D3-1	30/04/2020	21/05/2020	21	16.05	4.06	4.07	4.05	4.09	16.54	525.30	36.70
D3-2	30/04/2020	21/05/2020	21	15.85	4.09	4.07	4.09	4.07	16.65	524.80	36.40
D3-3	30/04/2020	21/05/2020	21	15.95	4.09	4.08	4.08	4.07	16.65	525.40	35.40
D3-4	30/04/2020	21/05/2020	21	15.85	4.06	4.08	4.11	4.05	16.61	525.70	34.90
D3-5	30/04/2020	21/05/2020	21	16.10	4.05	4.11	4.08	4.09	16.67	526.30	36.70
D3-6	30/04/2020	21/05/2020	21	15.90	4.09	4.09	4.08	4.11	16.75	524.90	36.50
D3-7	30/04/2020	21/05/2020	21	16.05	4.11	4.11	4.06	4.09	16.75	524.70	36.20
D3-8	30/04/2020	21/05/2020	21	15.85	4.10	4.08	4.09	4.07	16.69	524.30	35.80
D3-9	30/04/2020	21/05/2020	21	15.95	4.07	4.07	4.06	4.07	16.54	525.90	37.90
D3-10	30/04/2020	21/05/2020	21	15.85	4.09	4.09	4.09	4.06	16.67	526.40	36.80

DISEÑO 4											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D4-1	1/05/2020	8/05/2020	7	16.05	4.06	4.07	4.05	4.08	16.52	534.30	32.40
D4-2	1/05/2020	8/05/2020	7	15.85	4.09	4.07	4.09	4.11	16.73	537.90	32.10
D4-3	1/05/2020	8/05/2020	7	15.80	4.09	4.08	4.08	4.09	16.69	536.00	33.50
D4-4	1/05/2020	8/05/2020	7	15.95	4.06	4.08	4.11	4.06	16.63	537.20	34.20
D4-5	1/05/2020	8/05/2020	7	15.85	4.05	4.11	4.08	4.05	16.59	535.80	32.60
D4-6	1/05/2020	8/05/2020	7	16.10	4.08	4.11	4.06	4.09	16.69	534.90	33.10
D4-7	1/05/2020	8/05/2020	7	16.05	4.06	4.08	4.09	4.07	16.61	536.20	33.80
D4-8	1/05/2020	8/05/2020	7	15.85	4.11	4.07	4.06	4.07	16.63	533.60	34.60
D4-9	1/05/2020	8/05/2020	7	15.95	4.09	4.09	4.09	4.06	16.67	534.70	34.20
D4-10	1/05/2020	8/05/2020	7	15.85	4.09	4.09	4.10	4.11	16.79	535.10	33.40

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

DISEÑO 4											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACION	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm2)	PESO (gr)	CARGA (KN)
D4-1	1/05/2020	15/05/2020	14	15.88	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	537.30	39.20
D4-2	1/05/2020	15/05/2020	14	16.15	4.07	4.05	4.09	4.10	16.63	536.60	39.00
D4-3	1/05/2020	15/05/2020	14	15.90	4.09	4.09	4.08	4.09	16.71	537.40	38.60
D4-4	1/05/2020	15/05/2020	14	16.05	4.09	4.08	4.07	4.09	16.67	534.80	39.10
D4-5	1/05/2020	15/05/2020	14	16.10	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	536.20	38.40
D4-6	1/05/2020	15/05/2020	14	15.95	4.07	4.09	4.08	4.09	16.67	536.90	37.60
D4-7	1/05/2020	15/05/2020	14	15.85	4.05	4.07	4.07	4.09	16.56	535.90	37.70
D4-8	1/05/2020	15/05/2020	14	15.80	4.09	4.07	4.09	4.08	16.67	537.40	37.40
D4-9	1/05/2020	15/05/2020	14	15.95	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	536.10	36.30
D4-10	1/05/2020	15/05/2020	14	15.85	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	537.60	38.50

DISEÑO 4											
MUESTRA	FECHA DE ELBORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	h(cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L4(cm)	AREA (cm²)	PESO (gr)	CARGA (KG)
D4-1	1/05/2020	22/05/2020	21	15.85	4.08	4.05	4.11	4.06	16.61	534.60	48.40
D4-2	1/05/2020	22/05/2020	21	16.10	4.07	4.09	4.10	4.11	16.75	535.30	48.70
D4-3	1/05/2020	22/05/2020	21	15.95	4.09	4.08	4.09	4.09	16.71	534.80	46.20
D4-4	1/05/2020	22/05/2020	21	16.00	4.09	4.09	4.10	4.09	16.75	537.60	47.50
D4-5	1/05/2020	22/05/2020	21	15.88	4.10	4.07	4.09	4.08	16.69	536.10	43.10
D4-6	1/05/2020	22/05/2020	21	16.15	4.07	4.09	4.09	4.08	16.67	535.20	45.20
D4-7	1/05/2020	22/05/2020	21	15.90	4.05	4.11	4.06	4.08	16.61	535.20	46.80
D4-8	1/05/2020	22/05/2020	21	16.05	4.09	4.10	4.05	4.11	16.71	537.10	46.70
D4-9	1/05/2020	22/05/2020	21	15.90	4.08	4.07	4.05	4.12	16.65	534.20	47.50
D4-10	1/05/2020	22/05/2020	21	15.95	4.05	4.09	4.09	4.10	16.67	537.40	48.00

Datos de campo para hallar la resistencia a la adhesión por tracción según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7
(Comisión Guatemalteca de Norma, 2014)

N°	Lectura de Máquina (kg-f)				Esfuerzo (kg/ cm ²)			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
1	1.768	1.924	2.386	3.166	0.136	0.148	0.244	0.244
2	1.677	2.013	2.366	3.003	0.129	0.155	0.231	0.231
3	1.580	1.952	2.301	3.088	0.122	0.150	0.238	0.238
4	1.788	1.999	2.269	2.802	0.138	0.154	0.216	0.216
5	1.664	2.162	2.386	2.938	0.128	0.166	0.226	0.226
6	1.612	2.360	2.373	3.042	0.124	0.182	0.234	0.234

EDAD
13 DÍAS

Área de contacto: 13 cm²

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

MEDIDAS

DISEÑO 1				
Mortero base de cal, arena (1:3)				
MUESTRA	F ELAB	F ENSAYO	EDAD	CARGA (Kg)
D1-1	4/10/2020	17/10/2020	13	1.768
D1-2	4/10/2020	17/10/2020	13	1.677
D1-3	4/10/2020	17/10/2020	13	1.580
D1-4	4/10/2020	17/10/2020	13	1.788
D1-5	4/10/2020	17/10/2020	13	1.664
D1-6	4/10/2020	17/10/2020	13	1.612

DISEÑO 2				
Mortero de cal, arena, puzolana (1:3:0.5)				
MUESTRA	F ELAB	F ENSAYO	EDAD	CARGA (Kg)
D2-1	4/10/2020	17/10/2020	13	1.924
D2-2	4/10/2020	17/10/2020	13	2.013
D2-3	4/10/2020	17/10/2020	13	1.952
D2-4	4/10/2020	17/10/2020	13	1.999
D2-5	4/10/2020	17/10/2020	13	2.162
D2-6	4/10/2020	17/10/2020	13	2.360

DISEÑO 3				
Mortero de cal, arena, puzolana (1:3:1)				
MUESTRA	F ELAB	F ENSAYO	EDAD	CARGA (Kg)
D3-1	4/10/2020	17/10/2020	13	2.386
D3-2	4/10/2020	17/10/2020	13	2.366
D3-3	4/10/2020	17/10/2020	13	2.301
D3-4	4/10/2020	17/10/2020	13	2.269
D3-5	4/10/2020	17/10/2020	13	2.386
D3-6	4/10/2020	17/10/2020	13	2.373

DISEÑO 4				
Mortero de cal, arena, puzolana (1:3:2)				
MUESTRA	F ELAB	F ENSAYO	EDAD	CARGA (Kg)
D4-1	4/10/2020	17/10/2020	13	3.166
D4-2	4/10/2020	17/10/2020	13	3.003
D4-3	4/10/2020	17/10/2020	13	3.088
D4-4	4/10/2020	17/10/2020	13	2.802
D4-5	4/10/2020	17/10/2020	13	2.938
D4-6	4/10/2020	17/10/2020	13	3.042

Datos de campo para hallar la densidad Aparente de Mortero Endurecido, peso seco(g/cm^3). Según ASTM C642 (2013)

N°	D1				D2				D3				D4				Peso Seco (gr)				Densidad Peso seco (gr/cm3)			
	dimensiones(cm)			volumen(cm3)	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4												
1	5.11	4.99	5.01	127.75	5.11	5.02	5.03	129.03	5.02	5.02	5.06	127.51	5.04	5.03	5.02	127.51	232.20	227.40	236.50	236.50	1.82	1.76	1.85	1.85
2	5.02	5.01	5.00	125.75	5.06	5.03	5.07	129.04	5.10	5.03	5.02	128.78	5.03	5.04	5.04	128.78	231.10	226.60	235.50	235.50	1.84	1.76	1.83	1.83
3	5.01	5.02	5.02	126.25	5.03	5.02	5.02	126.76	5.11	5.04	5.01	129.03	5.04	5.06	5.04	129.03	230.50	225.50	237.20	237.20	1.83	1.78	1.84	1.84
4	5.03	5.01	4.98	125.50	5.04	5.04	5.04	128.02	5.08	5.02	5.03	128.27	5.06	5.04	5.04	128.27	229.60	228.90	234.40	234.40	1.83	1.79	1.83	1.83
5	5.02	5.01	5.02	126.25	5.03	5.03	5.02	127.01	5.06	5.04	5.04	128.53	5.07	5.04	5.04	128.53	228.10	231.20	239.50	239.50	1.81	1.82	1.86	1.86
6	5.01	5.02	4.99	125.42	5.07	4.99	5.09	128.84	5.10	4.96	5.05	127.65	5.00	5.05	5.03	127.02	229.17	227.06	236.40	239.19	1.83	1.76	1.85	1.88
7	5.04	4.99	5.02	126.20	5.02	5.04	5.05	127.70	5.09	5.02	5.03	128.40	5.01	5.08	5.02	127.65	230.56	225.95	235.80	237.56	1.83	1.77	1.84	1.86
8	4.99	5.04	5.03	126.60	5.00	5.05	5.04	127.19	5.00	5.08	5.05	128.15	5.03	5.10	5.02	128.66	230.90	226.66	233.95	234.85	1.82	1.78	1.83	1.83
9	5.04	5.04	5.01	127.20	5.08	5.01	5.00	127.32	5.05	5.06	5.01	127.90	5.00	5.12	5.03	128.66	230.70	230.50	236.19	234.25	1.81	1.81	1.85	1.82
10	5.01	5.05	5.04	127.40	5.01	5.06	5.04	127.73	5.04	5.10	5.00	128.58	5.02	5.07	5.03	128.15	230.63	229.32	235.30	235.70	1.81	1.80	1.83	1.84

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

Datos de campo para determinar la absorción (%) del Mortero Endurecido, Según ASTM C642 (2013)

N°	Peso Seco (gr)				Peso Saturado (gr)				Absorción (%)			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
MUESTRA	E	E2	E3	E4	E	E2	E3	E4	E	E2	E3	E4
1	232.20	227.40	236.50	236.50	236.40	236.40	241.10	242.20	1.81	3.96	1.95	2.41
2	231.10	226.60	235.50	235.50	238.50	238.50	243.30	243.30	3.20	5.25	3.31	3.31
3	230.50	225.50	237.20	237.20	235.50	235.50	245.50	242.20	2.17	4.43	3.50	2.11
4	229.60	228.90	234.40	234.40	239.60	239.60	246.60	242.30	4.36	4.67	5.20	3.37
5	228.10	231.20	239.50	239.50	238.50	238.50	241.20	239.60	4.56	3.16	0.71	0.04
6	229.17	227.06	236.40	239.19	239.28	237.30	241.33	239.77	4.41	4.51	2.09	0.24
7	230.56	225.95	235.80	237.56	235.22	236.74	246.05	242.19	2.02	4.77	4.35	1.95
8	230.90	226.66	233.95	234.85	237.48	238.33	247.08	244.02	2.85	5.15	5.61	3.90
9	230.70	230.50	236.19	234.25	239.27	238.83	244.20	244.11	3.71	3.61	3.39	4.21
10	230.63	229.32	235.30	235.70	235.71	237.96	246.33	243.17	2.20	3.76	4.69	3.17

SERIE DE MORTERO	PROPORCIÓN DE MORTERO
D1	cal, arena (1:3)
D2	cal, arena, puzolana (1:3:0.5)
D3	cal, arena, puzolana (1:3:1)
D4	cal, arena, puzolana (1:3:2)

PANEL FOTOGRAFICO

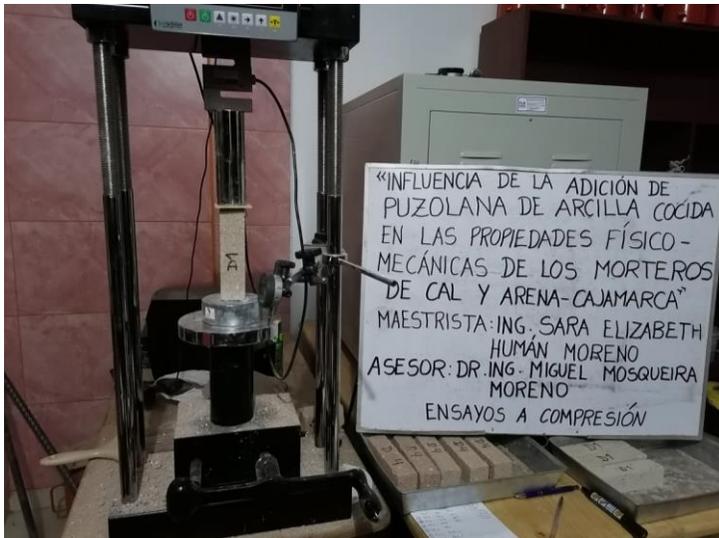


Foto 1. Ensayo para determinar de la resistencia a compresión del mortero endurecido, según UNE-EN 1015-11 (2020)

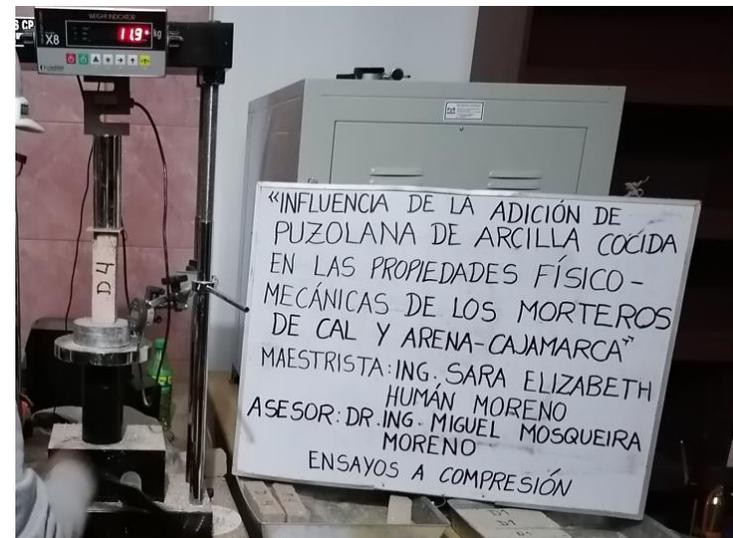


Foto 2. Ensayo para determinar de la resistencia a compresión del mortero endurecido, según UNE-EN 1015-11 (2020)

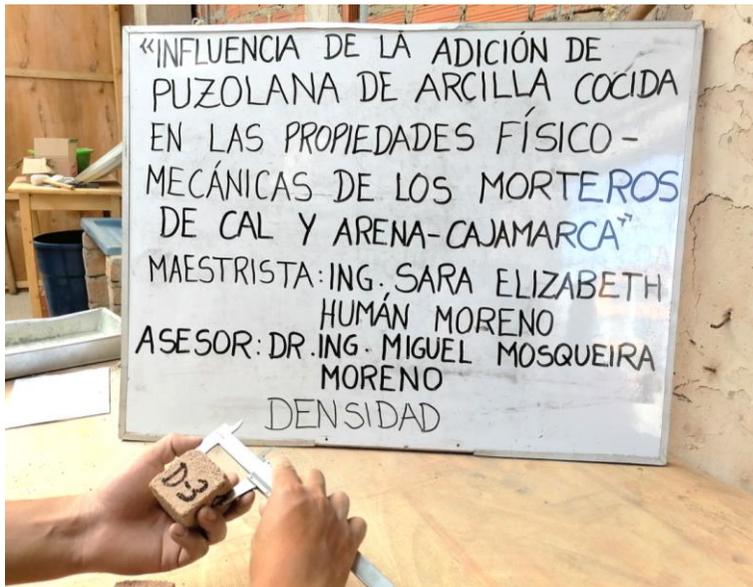


Foto 3. Ensayo para hallar la densidad Aparente de Mortero Endurecido, peso seco(g/cm^3). Según ASTM C642 (2013)

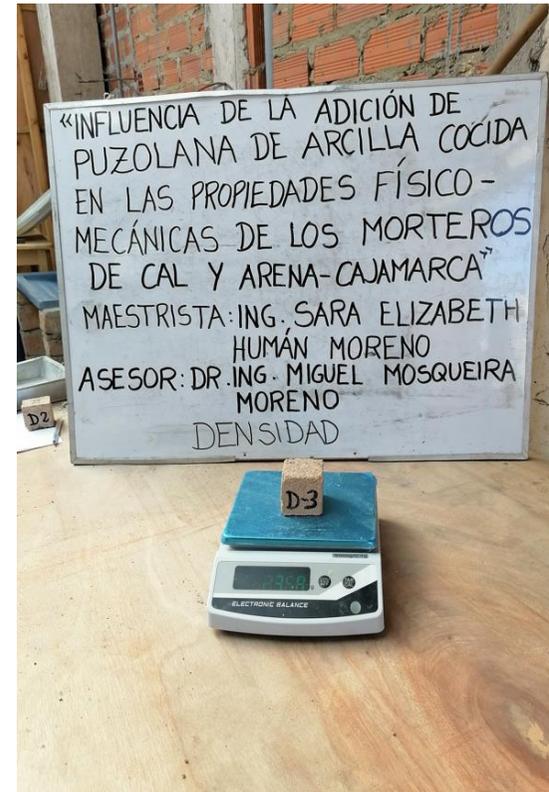


Foto 4. Ensayo para hallar la densidad Aparente de Mortero Endurecido, peso seco(g/cm^3). Según ASTM C642 (2013)

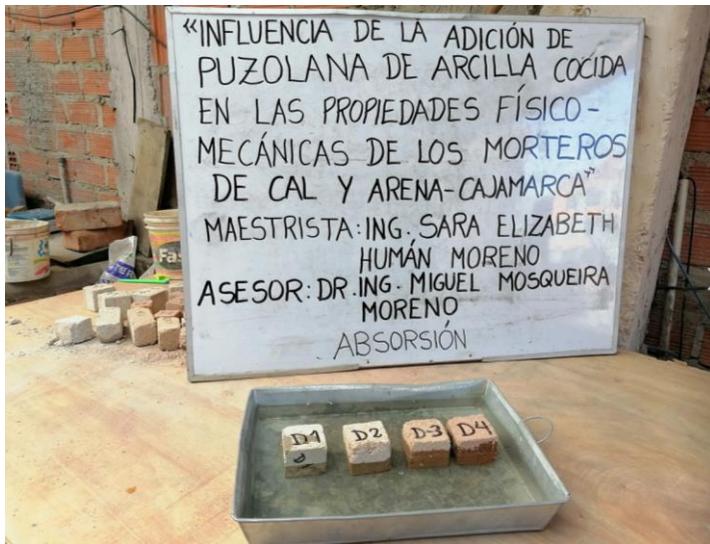


Foto 5. Ensayo para determinar la absorción (%) del Mortero Endurecido, Según ASTM C642 (2013)

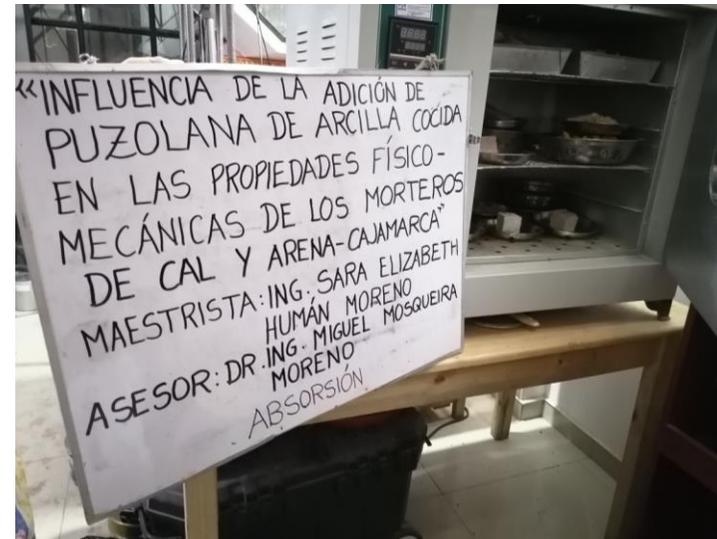


Foto 6. Ensayo para determinar la absorción (%) del Mortero Endurecido, Según ASTM C642 (2013)



Foto 7. Ensayo para hallar la resistencia a la adhesión por tracción según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7 (Comisión Guatemalteca de Norma, 2014) traducción de ASTM C476 (American Society for Testing and Materials, 2000)



Foto 8. Durante el ensayo para hallar la resistencia a la adhesión por tracción según nos indica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41051 h7 (Comisión Guatemalteca de Norma, 2014) traducción de ASTM C476 (American Society for Testing and Materials, 2000)

ANEXO

a. Constancia de uso del laboratorio



SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA
ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
SERVICIO DE TOPOGRAFÍA Y ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS
CEL. 939291809 / TEL. 076 633319

CONSTANCIA

EL JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS de GUERSAN INGENIEROS S.R.L deja en constancia:

Que la Srta. SARA ELIZABETH HUAMÁN MORENO, Ex alumna de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca de la Maestría en Ciencias, Mención en Ingeniería Civil; ha realizado ensayos en el laboratorio: GUERSAN INGENIEROS S.R.L, para la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE PUZOLANA DE ARCILLA COCIDA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE CAL Y ARENA-CAJAMARCA"

Dichos ensayos se realizaron entre abril del 2020 a octubre del 2020, en nuestras instalaciones ubicadas en P.J. DIEGO FERRE NRO. 295 BAR. SAN MARTIN DE PORRES

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 26 de junio del 2023.

Atentamente,

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

.....
Jenny Vásquez Torres
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 268746