

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE
CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A
TRATAMIENTO QUÍMICO**

Autor: Bach. Miguel Angel Rodriguez Sanchez

Asesor: Ing. Jorge Chavez Guivin

Registro:(...)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Rodriguez Sanchez Miguel Angel
DNI N°: 78460481
Correo electrónico: 78460481@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Chavez Guivin Jorge
DNI, Pasaporte, C.E N°: 33432495
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000 - 0002 - 8576 - 897 X

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
2.00.00-- Ingeniería, Tecnología / 2.01.00 -- Ingeniería civil / 2.01.01 -- Ingeniería Civil

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 30 / Octubre / 2023

Firma del autor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

Dedico esta investigación, en primer lugar, a Dios por guiarme y cuidarme siempre, y porque gracias a Él pude llegar hasta donde estoy ahora.

A mis abuelitos maternos, porque desde el más allá sé que ellos me cuidan y están orgullosos de lo que estoy logrando.

A mis queridos padres Susana Sánchez Vega y Percy Rojas Muñoz, porque a pesar de no contar con los suficientes recursos económicos siempre velaron por mí y me instruyeron con buenos valores a lograr mis metas.

A mis hermanos Ronaldo, Wilber y Marcos por ser mi inspiración para poder ser profesional y darles el ejemplo de superación, y en un futuro ellos puedan hacer lo mismo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor Ing. Jorge Chavez Guivin, por haberme brindado su tiempo y apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil, por compartir sus experiencias y conocimientos.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la UNTRM, y a los técnicos Freddy Luis Gallardo Meléndez y Edgar Leonardo Ordoñez Serván quienes me apoyaron e instruyeron con su experiencia para llevar a cabo los procesos experimentales de esta investigación.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la ciudad de Chachapoyas a cargo del Ing. Yvan Licera Correa, por facilitarme las probetas de concreto ensayadas, las cuales utilicé como material reciclado.

A la empresa Romanof Ingeniería & Construcción S.A.C. por facilitarme su planta chancadora para la trituración del material reciclado.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana

RECTOR

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. María Nelly Luján Espinoza

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICIAO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO.; del egresado Miguel Angel Rodriguez Sanchez de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Civil de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 27 de septiembre del 2023

Firma y nombre completo del Asesor

ING. JORGE CHAVEZ GUIXIN.
ASESOR.

JURADO EVALUADOR



PRESIDENTE

Lic. Jose Luis Quispe Osorio



SECRETARIO

Ing. Monica del Pilar Torrejón Llaja



VOCAL

MSc. Gino Alfredo Vergara Medina

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO.

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Miguel Angel Rodriguez Sanchez

de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil

con correo electrónico institucional 7846048181@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 22 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 27 de septiembre del 2023

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 12 de OCTUBRE del año 2023, siendo las 10:30 horas, el aspirante: RODRIGUEZ SANCHEZ MIGUEL ANGEL, asesorado por ING. JORGE CHAVEZ QUININ defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTEBO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO" para obtener el Título Profesional de INGENIERO CIVIL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: LIC. JOSE LUIS QUISPE OSORIO

Secretario: ING. MONICA DEL PILAR TORRESON ZLAZA

Vocal: MSC. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	20
II. MATERIAL Y MÉTODOS	26
2.1. Objetivos	26
2.1.1. Objetivo General.....	26
2.1.2. Objetivos Específicos	26
2.2. Tipo de investigación	26
2.3. Universo muestral	26
2.4. Variables de estudio.....	27
2.4.1. Variables independientes	27
2.4.2. Variables dependientes	27
2.5. Materiales	28
2.5.1. Cemento.....	28
2.5.2. Arena gruesa de concreto reciclado	29
2.5.3. Agua.....	30
2.6. Métodos.....	30
2.6.1. Ejecución del TQC del agregado reciclado	30
2.6.2. Evaluación de las propiedades físicas de los agregados	33
2.6.3. Estimación del diseño de mezcla para las muestras representativas del mortero de albañilería	40
2.6.4. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las muestras representativas del mortero de albañilería	47

2.7. Análisis de datos	52
2.7.1. Recolección de información	52
2.7.2. Procesamiento de la información.....	52
2.7.3. Análisis estadístico de varianza	52
III. RESULTADOS	54
3.1. TQC del agregado reciclado	54
3.2. Propiedades físicas de los agregados	54
3.2.1. Expresión de resultados	54
3.2.2. Análisis de resultados	62
3.3. Diseños de mezcla para las muestras representativas del mortero de albañilería	70
3.3.1. Realizado en gabinete	70
3.3.2. Realizado en laboratorio	70
3.3.3. Análisis de resultados	71
3.4. Propiedades físicas y mecánicas de las muestras representativas del mortero de albañilería	72
3.4.1. Propiedades físicas del mortero fresco	72
3.4.2. Propiedades mecánicas del mortero endurecido.....	79
IV. DISCUSIÓN	97
4.1. Asentamiento	97
4.2. Peso unitario	97
4.3. Resistencia mecánica a la compresión	98
4.4. Resistencia mecánica a la flexión	99

V. CONCLUSIONES	100
VI. RECOMENDACIONES	102
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
VIII. ANEXOS	106
8.1. Anexo 1: Panel fotográfico	106
8.2. Anexo 2: Diseños de mezcla	111
8.3. Anexo 3: Resultados de laboratorio de la caracterización física de los tres tipos de agregados estudiados	114
8.4. Anexo 4: Resultados de laboratorio de las propiedades físicas y mecánicas de los tres tipos de mortero estudiados	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de repeticiones de ensayos	26
Tabla 2. Operacionalización de variables	27
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del cemento Portland tipo I.....	28
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del DAP	30
Tabla 5. Características del agua destilada	31
Tabla 6. Metrado de materiales para TQC.....	32
Tabla 7. Cantidad mínima de muestra	36
Tabla 8. Cantidad mínima de muestra de árido	37
Tabla 9. Tipo de consistencia de mezcla	41
Tabla 10. Proporciones para mortero de cemento	41
Tabla 11. Resistencia mínima para mortero de cemento	42
Tabla 12. Resultados del ensayo de peso unitario suelto.....	54
Tabla 13. Resultados del ensayo de peso unitario compactado.....	55
Tabla 14. Resultados del ensayo de contenido de finos.....	55
Tabla 15. Resultados del ensayo de humedad	56
Tabla 16. Resultados del ensayo de peso específico y absorción.....	56
Tabla 17. Resultado del ensayo de granulometría del AN.....	57
Tabla 18. Resultado del ensayo de granulometría del ACR	58
Tabla 19. Resultado del ensayo de granulometría del ACR-T	59

Tabla 20. Resumen de resultados de ensayos preliminares	61
Tabla 21. Resumen del resultado de ensayo granulométrico.....	61
Tabla 22. Resultados de los diseños de mezcla en gabinete	70
Tabla 23. Resultado del diseño de mezcla con corrección de agua en laboratorio.....	70
Tabla 24. Resultados del ensayo de consistencia.....	72
Tabla 25. Resultados del ensayo de peso unitario	72
Tabla 26. Resumen de los resultados de las propiedades físicas	73
Tabla 27. Datos de entrada para la consistencia	76
Tabla 28. ANOVA para el asentamiento	76
Tabla 29. Datos de entrada para el peso unitario.....	77
Tabla 30. ANOVA para el peso unitario	78
Tabla 31. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días	79
Tabla 32. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días	80
Tabla 33. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días	81
Tabla 34. Resultado del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días.....	81
Tabla 35. Resultado del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días.....	82
Tabla 36. Resultado del ensayo de resistencia a la flexión del mortero a los 28 días ...	82
Tabla 37. Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	83
Tabla 38. Resumen de resultados del ensayo resistencia a la flexión de los tres tipos de mortero.....	83

Tabla 39. Datos de entrada para la $f'c$ a los 7 días de curado.....	86
Tabla 40. ANOVA para $f'c$ a los 7 días.....	86
Tabla 41. Datos de entrada para la $f'c$ a los 14 días de curado.....	87
Tabla 42. ANOVA para $f'c$ a los 14 días.....	88
Tabla 43. Datos de entrada para la $f'c$ a los 28 días de curado.....	89
Tabla 44. ANOVA para $f'c$ a los 28 días.....	90
Tabla 45. Datos de entrada para la $f't$ a los 7 días de curado	91
Tabla 46. ANOVA para $f't$ a los 7 días	91
Tabla 47. Datos de entrada para la $f't$ a los 14 días de curado por tipo de mortero	93
Tabla 48. ANOVA para $f't$ a los 14 días	93
Tabla 49. Datos de entrada para la $f't$ a los 28 días de curado	94
Tabla 50. ANOVA para $f't$ a los 28 días	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistencia a la compresión vs relación agua/cemento.....	43
Figura 2. Curva granulométrica del AN	58
Figura 3. Curva granulométrica del ACR.....	59
Figura 4. Curva granulométrica del ACR-T	60
Figura 5. Peso unitario suelto de áridos.....	62
Figura 6. Peso unitario compactado de áridos	63
Figura 7. Contenido de finos de áridos.....	64
Figura 8. Contenido de humedad de áridos	65
Figura 9. Peso específico seco de áridos	66
Figura 10. Porcentaje de absorción de áridos	67
Figura 11. Curva granulométrica de áridos	68
Figura 12. Módulo de fineza de áridos	69
Figura 13. Diseño de mezcla en peso corregido en laboratorio.....	71
Figura 14. Asentamiento de morteros.....	74
Figura 15. Peso unitario de morteros.....	75
Figura 16. Medias y 95% de Fisher LSD para el asentamiento.....	77
Figura 17. Medias y 95% de Fisher LSD para el peso unitario.....	79
Figura 18. Tiempo vs resistencia a la compresión.....	84
Figura 19. Tiempo vs resistencia a la flexión	85

Figura 20. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 7 días	87
Figura 21. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 14 días	89
Figura 22. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 28 días	90
Figura 23. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 7 días	92
Figura 24. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 14 días	94
Figura 25. Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 28 días	95
Figura 26. Obtención del árido de concreto reciclado (ACR)	106
Figura 27. Triturado manual y zarandeo del ACR obtenido de la planta chancadora.	106
Figura 28. Preparación del TQC con DAP del ACR	107
Figura 29. Ejecución del ensayo granulométrico, peso específico y absorción	107
Figura 30. Ejecución del ensayo de peso unitario, peso específico y malla #200	108
Figura 31. Ejecución del ensayo de consistencia en el cono de Abrams	108
Figura 32. Ejecución del ensayo de peso unitario compactado del mortero	109
Figura 33. Moldeo y desmoldeo de las muestras de mortero	109
Figura 34. Ejecución del ensayo de resistencia a la compresión	110
Figura 35. Ejecución del ensayo de resistencia a la flexión	110

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo analizar las propiedades físico-mecánicas de un mortero de albañilería con áridos de concreto reciclado (ACR) sometidos a un tratamiento químico de consolidación (TQC). El ACR fue obtenido de testigos de concreto residuales triturados a partículas tipo arena gruesa. Estas fueron sometidas a un TQC con Hidrógeno Fosfato Diamónico (DAP) por un periodo de 14 días. Los morteros estudiados fueron: con arena gruesa natural (AN), con arena gruesa de concreto reciclado (ACR) y con arena gruesa de concreto reciclado tratado (ACR-T). Para su elaboración se usó un diseño de mezcla en volumen (1:3.5:0.72), con una $f'c=175\text{kg/cm}^2$ (base). Los resultados obtenidos respecto a los asentamientos difieren en una cantidad despreciable; en cuanto al peso unitario el mortero de AN es el mayor con 2098.19kg/m^3 y el mortero de ACR es el menor con 2013.04kg/m^3 ; por parte de la resistencia compresión a los 28 días, el mortero de ACR es el mayor con 238.84kg/cm^2 y el mortero con AN es el menor con 176.02kg/cm^2 ; por otro lado en la resistencia a la flexión el mortero con ACR-T 57.06kg/cm^2 es el mayor y el mortero con ACR es el menor con 41.91kg/cm^2 . Se concluye que el TQC no mejoró la resistencia a la compresión del mortero de ACR-T, pero mejoró la resistencia a la flexión del mortero con ACR, e incluso supera al mortero de AN. De otra parte, el mortero con ACR sin tratamiento superó ampliamente la resistencia a la compresión del mortero con AN.

Palabras claves: Mortero, ACR, DAP, ensayos.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the physical-mechanical properties of a masonry mortar with recycled concrete aggregates (RCA) subjected to a chemical consolidation treatment (CCT). The RCA was obtained from residual concrete cores crushed to coarse sand type particles. These were subjected to a TQC with Diammonium Hydrogen Phosphate (DAP) for a period of 14 days. The mortars studied were: with natural coarse sand (AN), with recycled concrete coarse sand (ACR) and with treated recycled concrete coarse sand (ACR-T). A mix design by volume (1:3.5:0.72), with a $f'c=175\text{kg/cm}^2$ (base), was used for their elaboration. The results obtained with respect to the slump differed by a negligible amount; in terms of unit weight the AN mortar is the highest with 2098.19kg/m^3 and the ACR mortar is the lowest with 2013.04kg/m^3 ; for the compressive strength at 28 days, the mortar with ACR is the highest with 238.84kg/cm^2 and the mortar with AN is the lowest with 176.02kg/cm^2 ; on the other hand in the flexural strength the mortar with ACR-T 57.06 kg/cm^2 is the highest and the mortar with ACR is the lowest with 41.91kg/cm^2 . It is concluded that TQC did not improve the compressive strength of the ACR-T mortar, but improved the flexural strength of the mortar with ACR, and even surpasses the AN mortar. On the other hand, the mortar with ACR without treatment greatly exceeded the compressive strength of the mortar with AN.

Keywords: Mortar, ACR, DAP, tests.

I. INTRODUCCIÓN

La construcción civil es una de las industrias más significativas dentro de un país, ya que favorece al crecimiento económico y social (Li et al., 2017). Sin embargo, generan residuos de construcción y demolición (RCD), los cuales forman parte de los mayores flujos de basura y contaminación en el mundo (Islam et al., 2019). CAPECO (2017) afirmó, que solamente en la capital del Perú se produce alrededor de 19000 toneladas diarias, las cuales son depositadas en el espacio libre más cercano a la construcción. La causa de ello fue estudiada por Rondinel-Oviedo (2021) quién testificó que en el Perú los RCD no son reutilizados o gestionados de manera correcta, ya que no se han investigado a fondo, existen pocos estudios académicos y no hay normativas vigentes sobre estos. Ante ello Diotti et al. (2020) en su estudio concluyeron que la mejor alternativa es la implementación de políticas de reciclaje y el fomento de investigaciones de los RCD como materiales complementarios o sustitutos para la construcción civil.

Los residuos de concreto forman casi el 70% de los RCD, por lo que Gerges et al., (2021) afirmaron que es el recurso más favorable para ser reusado dentro de las actividades de la construcción; para lo cual se los debería convertir en áridos, mediante un proceso de selección, limpieza y trituración. Sin embargo, antes de ser implementado se debe estudiar el cumplimiento de las propiedades físico-mecánicas mínimas exigidas por las normas (Wang et al., 2019). Bajo este enfoque Diotti et al. (2020), realizaron un estudio comparativo entre las características de los áridos naturales (AN) con los áridos de concreto reciclado (ACR), y concluyeron que el segundo posee deficiencias sobresalientes, tales como mayor absorción de agua, menor resistencia al aplastamiento y menor resistencia a la abrasión. Según Morón et al. (2021) estas características conllevan a que los morteros de albañilería hechos con ACR posean un mayor coeficiente de absorción de agua, mayor retracción durante el fraguado, menor resistencia mecánica, mayor porosidad y menor durabilidad. Wang et al. (2019), en su estudio concluyeron que el motivo de las deficiencias mencionadas es la capa de lechada residual porosa y agrietada, adherida a los AN usados en la mezcla de concreto reciclado. En ese sentido, tal como lo testificó Melo et al. (2020) diversos estudios a nivel mundial buscan un método eficiente para mejorar las propiedades de los morteros elaborados con ACR y convertirlos en una alternativa viable para la construcción civil.

Algunos estudios buscan mejorar el mortero con árido reciclado mediante el uso de fibras, tal como Morón et al. (2021), quienes incorporaron porcentualmente la fibra de aramida, concluyendo que esta adición sintética mejora las prestaciones técnicas y la resistencia mecánica del mortero. Asimismo, Xiao et al. (2021), implementaron el 1% de fibras de polietileno en la mezcla de un mortero con árido reciclado, concluyendo que el producto de ello tiene mejores prestaciones mecánicas y mejor resistencia a la deformación que un mortero con árido reciclado sin adiciones. Por otro lado, también se estudió la implementación de tratamientos químicos para eliminar la capa de mortero residual incrustada en los áridos reciclados (Wang et al., 2019). Bajo este enfoque Kim et al. (2017) usaron ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, concluyendo en su estudio que este tratamiento mejora las propiedades de los áridos, tales como la absorción de agua, densidad de los áridos y el porcentaje de volumen sólido. Li et al. (2020), por su parte estudiaron la implementación de 4 métodos para mejorar la capa de mortero residual, para lo cual usaron cenizas volantes, hidróxido de sodio, alcohol polivinílico y el ácido sulfúrico, concluyendo que estos causan diferentes efectos positivos sobre las propiedades físico-mecánicas de los áridos reciclados y que a nivel general mejoran la densidad, absorción de agua, resistencia a la abrasión y compresión. En concordancia con esta metodología de tratamiento, Wang et al. (2019) plantearon un método nuevo e innovador que se incluye dentro los métodos no invasivos que buscan consolidar la capa de mortero residual presente en los ACR mediante el uso de una solución de fertilizante de suelos denominado Hidrógeno Fosfato Diamónico, sus resultados demostraron que los ACR muestran una considerable mejora de sus propiedades y que estas aumentan según la cantidad de DAP usada y el tiempo de sumergimiento de los ACR. Así, la solución de DAP se posiciona como uno de los tratamientos más factibles en la mejora de las propiedades de los ACR.

Morón et al. (2021), en su investigación sostuvieron que se debería reutilizar los materiales residuales para lograr una mayor sostenibilidad y una economía circular. Es por ello, que evaluaron las principales propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento a base de concreto reciclado y reforzado con fibra de aramida, para con ello mejorar las características de estos y así posibilitar su uso. En su metodología los autores propusieron el estudio de tres muestras representativas, una de mortero convencional, una de mortero con árido de concreto reciclado y por último una de mortero con árido de

concreto reciclado incorporado con fibra de aramida, cada una de estas con una relación cemento: arena de 1:3 y 1:4. Sus resultados mostraron que, la resistencia a la flexión de los morteros de árido reciclado es menor que los morteros convencionales, independientemente de las relaciones cemento/arena. Sin embargo, la adición de fibras mejora notablemente las características de los morteros con áridos reciclados. Por otro lado, señalaron que los ensayos de compresión al igual que los de flexión, muestran que el mortero reciclado no supera al convencional, además se constató que la adición de la fibra no contribuye significativamente en la mejora de esta propiedad. Finalmente, concluyeron que: a) En cuanto a las propiedades mecánicas, observaron que la incorporación de las fibras de aramida contribuye a la mejora de la resistencia a la flexión de los morteros de árido reciclado. Sin embargo, no mejora significativamente la resistencia a la compresión de estos. b) En cuanto a las propiedades físicas, la incorporación de fibras de aramida solo contribuye a la disminución de agua en los morteros elaborados con árido reciclado. Por otro lado, reduce su capacidad de adherencia. c) En cuanto a las propiedades de resistencia ante la intemperie, el mortero elaborado con árido reciclado demuestra mayor durabilidad. Por otro lado, la retracción disminuye notablemente. d) En cuanto a las dosificaciones, la relación cemento: arena 1:3 muestra mejores prestaciones técnicas que la relación cemento: arena 1:4. Sin embargo, ninguna de las dos supera las propiedades del mortero convencional.

Melo et al. (2020), evaluaron las principales propiedades del mortero con áridos de concreto reciclado originados de la demolición del Hospital Universitario Clementino Fraga Filho en Río de Janeiro, país Brasil. En su metodología los autores propusieron cuatro morteros diferentes a base de arena de río y arena reciclada, tomando como parámetro principal una resistencia a la compresión de 50 MPa, en cuanto a los porcentajes de sustitución emplearon 15%, 25% y 50% en volumen. Para el estudio mineralógico de los agregados usaron imágenes SEM y análisis XRD, además midieron la cantidad de mortero que rodea al árido original mediante ataques químicos. Mientras que, para las propiedades reológicas – mecánicas, usaron el reómetro husillo Vane y ensayos de laboratorio. Sus resultados mostraron que, el esfuerzo de cizallamiento aumenta hasta el fallo, independientemente del esfuerzo por tensión de fluencia. Este se produce a los 50s, teniendo como excepción el mortero con sustitución de árido al 50% el cual lo hace en 90s. En cuanto a la resistencia a la compresión estudiadas a los 28 días,

demonstraron un comportamiento lineal similar para los morteros con sustitución al 15 y al 20%, por el contrario, la sustitución al 50% muestra un mayor comportamiento elástico – lineal que asciende hasta el 52%. Finalmente, concluyeron que: a) La sustitución parcial de la arena natural por la arena reciclada menora la trabajabilidad del mortero, sin embargo, aumenta la resistencia y eficiencia de este, b) El estudio de rendimiento medioambiental demuestra que cuanto más sea la sustitución de agregados, menos perjudiciales resultarán para el medio, c) La buena agrupación entre las propiedades mecánicas y las ambientales posibilitan el desarrollo de más materiales ecológicos o reciclados.

Wang et al. (2019), en su investigación sostuvieron que los áridos de concreto reciclado presentan características deficientes con respecto a los naturales, esto debido al mortero residual adherido a los áridos originales usados en la antigua construcción, por lo que propusieron la aplicación de un nuevo método químico para consolidar dicho mortero residual utilizando una solución de fosfato. Es por ello, que en su investigación evaluaron el comportamiento del mortero usando el árido de concreto reciclado tratado en una solución acuosa de Hidrógeno Fosfato de Diamónico (DAP). Para esto los autores usaron tres tipos de concentraciones distintas, las cuales fueron 0.5 mol/L, 1 mol/L y 2 mol/L, luego realizaron un análisis XRD y SEM para cada muestra. Finalmente, sometieron al concreto a pruebas de calorimetría isotérmica y analizaron la propiedad de absorción, mediante un análisis termogravimétrico (TGA), cabe resaltar que para cada tipo de prueba usaron la misma proporción de mezcla. Sus resultados mostraron que, el valor del PH de la solución de fosfato varía según el tiempo de inmersión. Por otro lado, pudieron constatar que los áridos muestran una mayor reducción de absorción el primer día de inmersión, mientras que los demás días sigue disminuyendo, pero a un ritmo mucho menor. Asimismo, pudieron corroborar que cuanto más tiempo de inmersión y más concentración de DAP, la propiedad de absorción de los áridos disminuye ligeramente. En cuanto a la resistencia a la comprensión, pudieron constatar que el concreto con árido reciclado tratado tiene mejores propiedades que el árido reciclado sin tratar, sin embargo, no superan las propiedades del concreto con árido natural. Finalmente, concluyeron que: a) Los productos de hidratación de los áridos reciclados, pueden reaccionar con la solución de DAP, produciendo con ello precipitados con los cuales se pueden sellar las grietas y los poros de los áridos de concreto reciclado, b) La capa de mortero se logra

consolidar con el método propuesto, lo cual mejora notablemente la calidad de los áridos de concreto reciclado, es así como lo manifiesta el ensayo de absorción de agua, al demostrar una reducción notable y el ensayo de compresión, al demostrar un aumento del 19%.

Clemente (2017), en su investigación sostuvo que el Perú tan solo cuenta con 12 rellenos sanitarios autorizados y en estado funcional, los cuales sirven a una población que excede los 30 millones, demostrando con ello un déficit de este tipo de estructuras. Ante ello, postuló que se debería promover las propuestas de reducir, reutilizar y reciclar, dentro del sector construcción. Es por ello, que en su investigación evaluó muestras de mortero reciclado en las cuales sustituyó de manera porcentual y total la arena natural. El autor buscó usar los residuos de construcción y demolición (RCD) con el fin de encontrar un producto viable que contribuya a la mejora de la gestión de residuos. Para esto trabajó con 3 relaciones agua: cemento, manteniendo como parámetro constante la relación arena: cemento, el cual fue 1: 2,75. En cuanto a sus muestras representativas, usó un mortero convencional y sustituciones de árido reciclado al 25%, 50%, 75% y 100%, para los 3 diseños de mezcla que propuso. Sus resultados mostraron, que a medida que se incorpora mayor porcentaje de árido reciclado, aumenta la fluidez del mortero, esto debido a la diferencia de granulometría entre la arena natural y la arena reciclada. Asimismo, demostraron que las muestras de mortero reciclado poseen características similares o mejores que las muestras de mortero convencional, por lo que la aplicación de estos sería beneficioso, ecológico y económico. Finalmente, concluyeron que: a) En cada diseño de mezcla, la sustitución parcial de arena reciclada al 50% tiene las mejores prestaciones mecánicas de compresión; y sustituciones parciales de arena reciclada al 25% y 50% tienen mejores prestaciones mecánicas de flexión. b) Los diseños de mezcla para morteros con una sustitución de 25% y 50% del agregado natural por el reciclado, muestran un comportamiento bueno en casi todas las propiedades. Por otro lado, la sustitución de arena natural por reciclada al 100% muestran valores más deficientes en casi todas las propiedades.

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar las propiedades físico-mecánicas de un mortero de cemento elaborado con áridos de concreto reciclado sometidos a un tratamiento químico de consolidación (TQC), usando solución de fosfato.

Con esto se pretende mejorar los beneficios técnicos de los morteros elaborados con ACR, ampliando su campo de aplicación y acercando sus propiedades a las alcanzadas por los morteros convencionales. Se ha desarrollado una campaña experimental en la que se ha utilizado tres muestras representativas y una sola relación cemento/arena, en la cual varía la cantidad de arena en peso, según las propiedades físicas de cada material. Los resultados obtenidos del estudio experimental indican: que los asentamientos difieren en una cantidad despreciable; en cuanto al peso unitario el mortero de AN es el mayor con 2098.19kg/m^3 y el mortero de ACR es el menor con 2013.04kg/m^3 ; por parte de la resistencia compresión a los 28 días, el mortero de ACR es el mayor con 238.84kg/cm^2 y el mortero AN el menor con 176.02kg/cm^2 ; por otro lado en la resistencia a la flexión el mortero con ACR-T es el mayor con 57.06 kg/cm^2 y el mortero con ACR es el menor con 41.91kg/cm^2 . Se concluye que el TQC no mejoró la resistencia a la compresión del mortero de ACR; pero con el lavado del material reciclado, el mortero con ACR sin tratar supera las resistencias del mortero con AN. Por otro lado, el TQC mejora la resistencia a la flexión del mortero con ACR, e incluso supera al mortero de AN en un porcentaje considerable.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo General

- ❖ Analizar las propiedades físico-mecánicas de un mortero de albañilería con áridos de concreto reciclado sometidos a tratamiento químico.

2.1.2. Objetivos Específicos

- ❖ Realizar el tratamiento químico del agregado reciclado.
- ❖ Evaluar las propiedades físicas de los agregados.
- ❖ Estimar el diseño de mezcla para las muestras representativas del mortero de albañilería.
- ❖ Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras representativas del mortero de albañilería.

2.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue experimental y el método fue mixto (inductivo – deductivo).

2.3. Universo muestral

- Las muestras que se realizaron para el estudio de las propiedades físicas del mortero (consistencia y peso unitario) y las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) del mortero, siguieron los procedimientos normados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- El muestreo fue no probabilístico, es decir a juicio del investigador.
- El número de muestras y repeticiones se realizó según la tabla 1.

Tabla 1

Número de repeticiones de ensayos

Mortero Fresco		Mortero Endurecido	
<i>Consistencia</i>	<i>Peso Unitario</i>	<i>Compresión</i>	<i>Flexión</i>

Mortero con AN	3	3	9	9
Mortero con ACR	3	3	9	9
Mortero con ACR tratado	3	3	9	9
TOTAL	9	9	27	27

2.4. Variables de estudio

2.4.1. Variables independientes

- ❖ Mortero convencional
- ❖ Mortero con áridos de concreto reciclado.
- ❖ Mortero con áridos de concreto reciclado sometidos a TQC.

2.4.2. Variables dependientes

- ❖ Propiedades físico-mecánicas del mortero.

Tabla 2

Operacionalización de variables

	Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores	Und
INDEPENDIENTES	Mortero convencional	Es una mezcla de cemento, áridos finos y agua, en proporciones adecuadas (RNE, 2019).	Materiales	Cemento	kg
				Agua	l
				Arena gruesa natural	kg
	Mortero con áridos de concreto reciclado	Es una mezcla de cemento, áridos de concreto reciclado y agua, en proporciones adecuadas (Clemente, 2017).		Cemento	kg
				Agua	l
				Arena gruesa de concreto reciclado	kg
	Mortero con áridos de concreto reciclado tratados en solución de fosfato	Es una mezcla de cemento, áridos de concreto reciclado tratados en solución de fosfato y agua, en proporciones adecuadas (Wang et al., 2019).		Cemento	kg
				Agua	l
				Arena gruesa de concreto reciclado	kg
DEPE	Propiedades físico-mecánicas	Consiste del estudio de las características observables en	Propiedades físicas	Consistencia	g/10m

un mortero fresco o endurecido, cuando este interactúa con otros materiales o se somete a cargas (Huamani & Solis, 2020).		Peso unitario	kg/m ³
	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	kg/cm ²
		Resistencia a la flexión	kg/cm ²

2.5. Materiales

2.5.1. Cemento

Se usó cemento Portland Ordinario tipo I, el cual fue adquirido de un distribuidor local de la ciudad de Chachapoyas. Sus principales características fisicoquímicas se especifican en la tabla 3.

Tabla 3

Propiedades físicas y químicas del cemento Portland tipo I

PROPIEDADES QUÍMICAS		
	Cemento Portland Tipo I Pacasmayo	Norma Técnica NTP 334.009 / ASTM C-150
Óxido de Magnesio, MgO (%)	2.2	Máximo 6.0
Trióxido de Azufre, SO₃ (%)	2.7	Máximo 3.0
Pérdida de Ignición o al Fuego (%)	3.1	Máximo 3.5
Residuo insoluble, R.I. (%)	0.7	Máximo 1.5
PROPIEDADES FÍSICAS		
Finura, Superficie Específica (cm²/g)	3810	Mínimo 2600
Expansión en Autoclave (%)	0.12	Máximo 0.80
Contenido de Aire del mortero (%)	6	Máximo 12.00
Resistencia a la Compresión		
1 día (kgf/cm²)	161.12	-
3 día (kgf/cm²)	308.97	122.37
7 día (kgf/cm²)	377.30	193.75
28 día (kgf/cm²)	429.30	285.52

Tiempo de Fraguado (min)		
Inicial	110	Mínimo 45
Final	238	Máximo 420

Nota: Adaptado de “Ficha técnica de Cemento tipo I”, por Pacasmayo.

2.5.2. Arena gruesa de concreto reciclado

El ACR es un material no convencional por lo que para su obtención se siguió los siguientes pasos:

Paso 1.- Adquisición de RCD de concreto

Como RCD de concreto se usó testigos de concreto ya ensayados, indiferentes de su resistencia para las que fueron elaborados, estos fueron adquiridos de manera gratuita del laboratorio privado de Mecánica de Suelos y Concreto de la ciudad de Chachapoyas a cargo del Ing. Yvan Licera Correa; y del laboratorio de Mecánica de Suelos y Estructuras de la UNTRM.

Paso 2.- Trituración de RCD de concreto

La trituración de los testigos de concreto se realizó en la chancadora de la empresa Romanof Ingeniería & Construcción S.A.C.

Paso 3.- Selección del árido reciclado

La selección del material se realizó mediante un proceso de zarandeo en una malla de N°4, el cual es el diámetro máximo para ser considerado arena gruesa según el RNE (2019). El material obtenido del zarandeo se almacenó en sacos (quintales) incluyendo los muy finos, por otro lado, el material que no cumplió el diámetro reglamentario fue chancado de manera manual con el uso de combas de diversos tamaños y también se almacenó.

2.5.3. Agua

El agua que se utilizó fue agua potable de grifo, proveniente de la planta potabilizadora de la ciudad de Chachapoyas, la cual cuenta con certificado de calidad.

2.6. Métodos

2.6.1. Ejecución del TQC del agregado reciclado

El TQC realizado fue de consolidación. El cual consistió en homogenizar una mezcla de DAP, ACR y agua destilada; para que en un lapso de 14 días se consolide la reacción del DAP en las partículas de ACR. Con este tratamiento se buscó reducir el porcentaje de absorción del árido reciclado.

2.6.1.1. Características de los materiales

a. Fosfato Diamónico ((NH₄)₂ HPO₄, DAP)

Este fue obtenido de un distribuidor local de fertilizantes, llamado AGROVEN E.I.R.L. ubicado en Av. La Libertad Nro. 573 en la ciudad de Chachapoyas. Las características fisicoquímicas de este material se especifican la tabla 4.

Tabla 4

Propiedades físicas y químicas del DAP

PROPIEDADES QUÍMICAS	
Nombre comercial	Fosfato Diamónico
Fórmula comercial	18-46-0
Nitrógeno, N (%)	18,0 mínimo (+/-1%)
Fósforo, P₂O₅ (%)	46,0 mínimo (+/-1%)
Humedad (%)	1,5 máximo
PROPIEDADES FÍSICAS	
Características	Fertilizante agrícola fosfatado
Forma	Granulada
Color	Marrón/Negro

Nota: Adaptado de “Ficha técnica de DAP”, por INTI fertilizantes.

b. Agua Destilada

Esta fue obtenida de un distribuidor autorizado, llamado Aqua Global S.A.C. – Eliacon S.A.C. ubicado en el Jr. Bélgica Nro. 933 en la ciudad de Lima, distrito la Victoria, región Lima. Las características de este material se especifican tabla 5.

Tabla 5

Características del agua destilada

ANÁLISIS	SÍMBOLO	UNIDAD	RESULTADO
Aspecto	-	-	Líquido incoloro, inodoro, insípido y microfiltrado
Potencial de hidrógeno	pH	-	5.5-7.5
Densidad	δ	g/cc	1
Dureza Total (Ca y Mg)	CaCO ₃	mg/L	<3 ppm CaCO
Conductividad (25°C)	CE	μ S/cm	<1.00
Sólidos Totales Disueltos	TDS	mg/L	<2.00
Sulfatos	SO ₄	mg/L	0.00
Cloruros	Cl	mg/L	<2.00
Sodio	Na	mg/L	0.00
Fosfatos	PO ₄	mg/L	0.00
Sílice	SiO ₂	mg/L	0.00
Dióxido de carbono	CO ₂	mg/L	Ausencia

Nota: Adaptado de “Certificado de calidad de agua destilada”, por AQUA GLOBAL.

2.6.1.2. Metrado de materiales

El metrado de los materiales dependió básicamente de la cantidad de muestra de árido reciclado a tratar, pero antes de ello se tuvo que convertir la proporción

DAP/Agua planteada como 2mol a una unidad más medible, es este caso a gramos, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$m = PM((NH_4)_2 HPO_4) * n \dots (1)$$

Donde:

m: Masa (g)

PM: Peso Molecular (g/mol)

n: Número de moles (mol)

Para hallar el PM se usó las siguientes masas atómicas de los elementos presentes en la fórmula de Fosfato Diamónico ((NH₄)₂ HPO₄): *N=14, H=1, P=31 y O=16*; con estos datos y la ecuación 1 se procedió a calcular la masa de DAP.

$$m = \{[2*(14 + 4*1)] + (1 + 31 + 4*16)\} g / mol * 2mol$$

$$m = 132g / mol * 2mol$$

$$m = 264g$$

El resultado obtenido es una relación de 264g de DAP por cada litro de agua (264g:1l). Por otro lado, para la cantidad de solución y ACR, se usó una de relación de un litro de solución por cada kilogramo de ACR (1l:1kg).

A partir de las relaciones planteadas se calculó la cantidad de materiales que se utilizó, los cuales se especifican en la tabla 6.

Tabla 6

Medrado de materiales para TQC

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Árido de Concreto Reciclado	40	kg
Agua Destilada	40	l
Fosfato Diamónico	10.56	kg

2.6.1.3. Proceso

El tratado de áridos de concreto reciclado se desarrolló de acuerdo a lo planteado por Wang et al. (2019):

Paso 1.- Con la ayuda de una balanza con precisión de 0.1 g se metro una cantidad de 10 litros de agua destilada y luego se vertió la misma en un recipiente de plástico con capacidad de 80 l.

Paso 2.- Se pesó una cantidad 2.64 kg de DAP correspondientes a 10 l de agua y se vertió en el recipiente de plástico, luego se removió con una varilla de madera.

Paso 3.- Se pesó y sumergió una muestra de 10 kg de ACR en el recipiente que contenía la solución.

Paso 4.- Se repitió los pasos 1, 2 y 3 hasta lograr la cantidad metrada y luego se dejó reposar la mezcla durante 14 días calendarios.

Paso 5.- Pasado los 14 días se eliminó el agua con DAP y se realizó un lavado del material con el uso de la malla #200, con el fin de reducir el olor emitido del DAP fermentado y los residuos del mismo.

Paso 6.- Se extendió la muestra en un piso previamente limpiado y se dejó secar por 4 días calendarios a temperatura ambiente.

Paso 7.- Luego se recogió en un costal para posteriormente ser usado.

2.6.2. Evaluación de las propiedades físicas de los agregados

La determinación de las propiedades físicas de los tres tipos de áridos a utilizar en la presente tesis se realizó mediante procedimientos experimentales convencionales normados. Cada uno de estos se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Estructuras de la UNTRM.

2.6.2.1. Peso unitario

a. *Peso unitario suelto*

El ensayo de peso unitario suelto se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 400.017 (2020):

Paso 1.- Se secó la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Paso 2.- Se procedió al cuarteo de la arena con el fin de homogenizarla y obtener una muestra representativa del conjunto.

Paso 3.- Se limpió y secó la vasija de metal para luego proceder a pesarla.

Paso 4.- Se llenó la vasija con el badilejo, dejando caer la arena de una altura de 5cm por encima del recipiente; cabe mencionar que para este procedimiento se usó una sola capa de agregado y no se compacto. Finalmente, se quitó el exceso con la varilla metálica, dejando el material completamente nivelado a la altura del recipiente.

Paso 5.- Se determinó la masa de la vasija con la arena y luego se calculó el peso unitario suelto con la siguiente fórmula:

$$P.U.S. = \frac{W_{A.S.}(g)}{V_{Vasija}(cm^3)} * 1000 \dots (2)$$

Donde:

$P.U.S.$: Peso Unitario Suelto (kg/m^3)

$W_{A.S.}$: Peso del árido suelto (g)

V_{Vasija} : Volumen de la vasija (cm^3)

b. *Peso unitario en estado compactado (PUC)*

El ensayo de peso unitario compactado se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 400.017 (2020):

Paso 1.- Se secó la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Paso 2.- Se procedió al cuarteo de la arena con el fin de homogenizarla y obtener una muestra representativa del conjunto.

Paso 3.- Se limpió y secó la vasija de metal para luego proceder a pesarla.

Paso 4.- Se llenó la vasija con la arena hasta un tercio de su capacidad y se niveló con las manos. Seguidamente, se compactó la capa de la muestra con la varilla metálica mediante 25 golpes uniformes en forma de caracol.

Paso 5.- Se continuó el llenado de la vasija en los siguientes 2/3 de su aforo y se procedió al compactado mediante 25 golpes con la varilla metálica. Cabe resaltar que no se sobrepasó a la capa anterior ya compactada.

Paso 6.- Se llenó la parte faltante de la vasija y se compactó con 25 golpes mediante el uso de la varilla metálica, con la misma se niveló el material dejando todo a la altura del borde del recipiente. Cabe resaltar que en el compactado no se sobrepasó a la capa anterior ya compactada.

Paso 7.- Se pesó la vasija más el material compactado y se procedió a calcular el peso unitario compactado con la siguiente fórmula:

$$P. U. C. = \frac{W_{A.C.}(g)}{V_{Vasija}(cm^3)} * 1000 \dots (3)$$

Donde:

$P. U. C.$: Peso Unitario Compactado (kg/m³)

$W_{A.C.}$: Peso del árido compactado (g)

V_{Vasija} : Volumen de la vasija (cm³)

2.6.2.2. Contenido de finos

El ensayo de contenido de finos se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 400.018 (2020):

Paso 1.- Se tomó una muestra de arena seca, que cumpla con la cantidad mínima (CM) que se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Cantidad mínima de muestra

TMN (in)	CM (g)
N°4	300
3/8"	1000
3/4"	2500
1 1/2" o más	5000

Nota: Adaptado de “Cantidad Mínima de Muestra”, por MTC, 2017, *Manual de ensayo de materiales*, p. 296. MTC.

Paso 2.- Se colocó la muestra en un recipiente y se agregó agua hasta llenarlo completamente.

Paso 3.- Se lavó la muestra con los dedos, teniendo especial cuidado de no romper los granos de áridos.

Paso 4.- Se colocó el tamiz N°16 encima del N°200.

Paso 5.- Se vertió el agua con la que se lavó la muestra en los tamices teniendo especial cuidado de no perder partículas de áridos.

Paso 6.- Se repitió el paso 5 hasta lograr que el agua que pasa por los tamices quede cristalina.

Paso 7.- Se reincorporó los áridos retenidos en las mallas a la muestra lavada.

Paso 8.- Se dejó reposar durante 20 minutos el material de muestra y con una pipeta se eliminó el agua que queda por encima del material.

Paso 9.- Se secó la muestra por un tiempo de 24 horas en el horno.

Paso 10.- Se pesó la muestra teniendo una exactitud de 0.1 g.

Paso 11.- Para calcular el porcentaje de finos se usó la siguiente fórmula:

$$F = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \dots (4)$$

Donde:

F : Porcentaje de finos (%)

W_1 : Peso del árido seco original (g)

W_2 : Peso del árido seco después de ser lavado (g)

2.6.2.3. Humedad

El ensayo de porcentaje de humedad se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 339.185 (2021):

Paso 1.- Se cuarteó la arena con el fin de homogenizarla y obtener una muestra representativa del conjunto.

Paso 2.- Se procedió a tomar 1kg de muestra, respetando lo indicado en la tabla 8.

Tabla 8

Cantidad mínima de muestra de árido

TMN (in)	CM (kg)
N°4	0.5
3/8"	1.5
1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	6

Nota: Adaptado de “Cantidad Mínima de Muestra de Árido”, por MTC, 2017, *Manual de ensayo de materiales*, p. 362. MTC.

Paso 3.- Se colocó la muestra en un recipiente y se secó en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas. Cabe resaltar que antes de poner la muestra al horno se revolvió para evitar el sobrecalentamiento localizado.

Paso 4.- Se sacó la muestra del horno y por una hora se dejó al aire. Pasado ello se pesó la muestra y con la siguiente fórmula se calculó la humedad:

$$H = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} * 100 \dots (5)$$

Donde:

H : Porcentaje de humedad (%)

W_h : Peso del árido húmedo (g)

W_s : Peso del árido seco (g)

2.6.2.4. Peso específico y absorción

El ensayo de peso específico y absorción se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 400.022 (2021):

Paso 1.- Se cuarteó una muestra de árido con el fin de homogenizarlo y obtener una muestra representativa del conjunto.

Paso 2.- Se colocó la muestra en un balde mediano, luego se llenó con agua hasta el borde, y se lo dejó por 24 ± 4 horas.

Paso 3.- Se procedió a retirar el exceso de agua sin eliminar ningún grano y luego se colocó la muestra en un recipiente metálico para secarla en el sol, hasta lograr que se encuentre seco superficialmente. Cabe resaltar, que el control del secado se realizó con el cono de absorción.

Paso 4.- Se pesó y se introdujo un espécimen de 500 g en una fiola, luego se llenó con agua hasta que este alcance el 90% de su capacidad. Finalmente, se rodó el frasco sobre una mesa plana por 15 minutos, con el propósito de eliminar las burbujas de aire.

Paso 5.- Se dejó reposar el frasco y luego se redujo el agua con una pipeta hasta la señal delimitada en la fiola.

Paso 6.- Se extrajo el material de la fiola y se colocó en la vasija. Luego, se dejó en el horno por 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y finalmente se pesó.

Paso 7.- Para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico se usó las siguientes fórmulas planteadas por el MTC (2017):

$$\diamond P.E._M = \frac{W_S}{(V_{Fiola} - W_{Ag})} \dots (6)$$

$$\diamond P.E._{M\ SSS} = \frac{500}{(V_{Fiola} - W_{Ag})} \dots (7)$$

$$\diamond P.E._A = \frac{W_S}{[(V_{Fiola} - W_{Ag}) - (500 - W_S)]} \dots (8)$$

$$\diamond Abs = \frac{(500 - W_S)}{W_S} * 100 \dots (9)$$

Donde:

$P.E._M$: Peso específico de la muestra

$P.E._{M\ SSS}$: Peso específico de la muestra saturada superficialmente seca

$P.E._A$: Peso específico aparente

Abs : Porcentaje de absorción (%)

W_S : Peso del árido seco (g)

V_{Fiola} : Volumen de la fiola (cm^3)

W_{Ag} : Peso del agua (g)

2.6.2.5. Ensayo anulométrico y módulo de finura

El ensayo granulométrico y módulo de finura se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 400.012 (2021):

Paso 1.- Se dejó secar al horno ($110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) una muestra de 3 kg.

Paso 2.- Se sacó la muestra totalmente seca del horno, y se dejó enfriar por 15 minutos, luego se procedió a cuartear para obtener una muestra homogénea.

Paso 3.- Se realizó la pila de tamices ASTM en orden decreciente, se vertió la muestra en el primer tamiz, y luego se colocó la pila en la máquina de vibrado.

Paso 4.- Se pesó con una balanza lo retenido en cada malla y se anotó los valores en la libreta. Para el cálculo de módulo de finura se empleó la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% RA [N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100]}{100} \dots (10)$$

Donde:

MF : Módulo de finura

$\% RA$: Porcentaje retenido acumulado

Es importante resaltar que los resultados de este ensayo deben cumplir las especificaciones de la norma E-070 (Albañilería) (RNE, 2019).

2.6.3. Estimación del diseño de mezcla para las muestras representativas del mortero de albañilería

Se realizó tres tipos de muestras representativas de mortero de albañilería, las cuales son: mortero con AN (muestra patrón), mortero con ACR sin tratar y mortero con ACR tratado en DAP (Martinez-García et al., 2021).

2.6.3.1. Procedimiento

a. *Diseño para muestras patrón*

Paso 1.- Se eligió una consistencia plástica de la tabla 9, cuyos valores se encuentran entre 3 y 5 cm.

Tabla 9

Tipo de consistencia de mezcla

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

Nota: Adaptado de “Consistencia/asentamiento”, por A. Torre, 2004, *Curso básico de tecnología del concreto, mayo del 2004*, p. 82. UNI.

Paso 2.- Se eligió la proporción en volumen 1:3.5 de la tabla 10, dado que la presente investigación se inclina al uso del mortero en muros portantes de albañilería confinada.

Tabla 10

Proporciones para mortero de cemento

Tipo	Cemento	Arena	Usos
<i>PI</i>	<i>1</i>	<i>3 a 3.5</i>	<i>Muro Portante</i>
P2	1	4 a 5	Muro Portante
NP	1	Hasta 6	Muro no Portante

Nota: Adaptado de “Tipos de mortero”, por RNE, 2019, *E.070 Albañilería*, p. 1153. RNE.

Paso 3.- Se eligió una resistencia mínima de 17.5 MPa de la tabla 11, esto por tratarse de un mortero para uso de pega de unidades de ladrillo en un sistema de albañilería confinada.

Tabla 11

Resistencia mínima para mortero de cemento

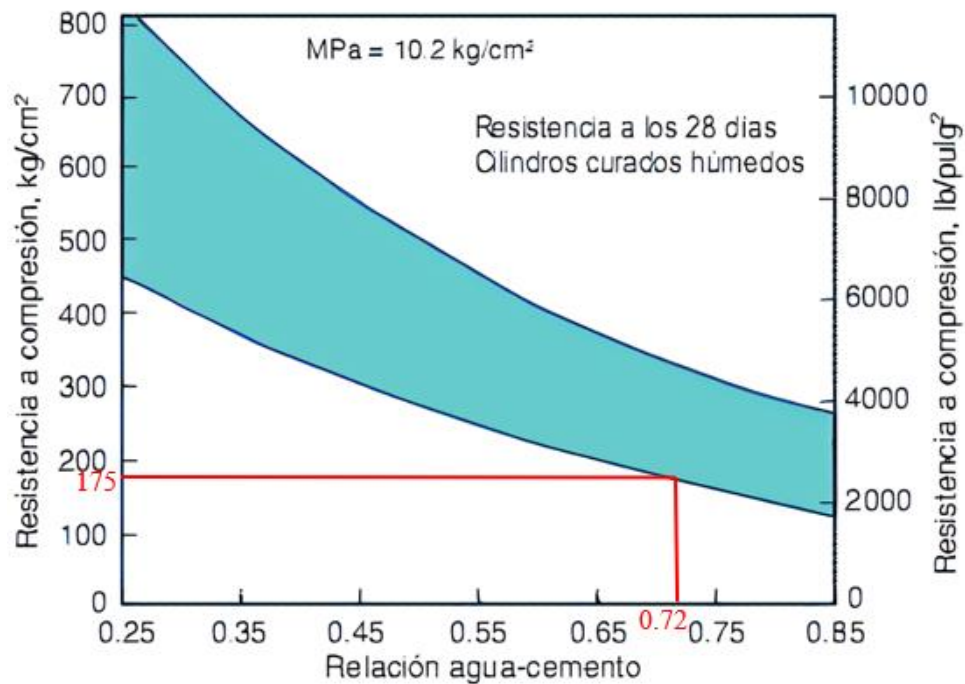
Mortero	Tipo	f'c (MPa)
	<i>M</i>	<i>17.5</i>
Mortero de cemento	S	12.4
	N	5.2
	O	2.4

Nota: Adaptado de “Especificación por propiedades. Requisitos”, por INACAL, 2003, *NTP 399.610 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada para morteros*, p. 08. INACAL.

Paso 4.- Se cálculo la relación en volumen agua/cemento de la figura 1, para lo cual se convirtió 17.5 MPa a 175 kg/cm² y luego se trazó una línea horizontal hasta cortar la curva, con lo cual resultó un valor de 0.72.

Figura 1

Resistencia a la compresión vs relación agua/cemento



Nota: Adaptado de “Resistencia a la compresión del mortero versus A/C.”, por M. A. Huamani & S. Solis, 2020, *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio - diciembre 2020*, p. 59. Repositorio UPC..

Paso 5.- Se realizó el cálculo de la cantidad de cemento, agua y arena, todos estos en kg y teniendo como base una bolsa de cemento de 42,5 kg.

Paso 6.- Se realizó el cálculo del rendimiento de la mezcla por bolsa de cemento con las fórmulas planteadas por Huamani & Solis (2020, p60):

$$\diamond C = \frac{W_C}{P.E._C} \dots (11)$$

$$\diamond Ar = \frac{W_{Ar}}{P.E._{Ar}} \dots (12)$$

$$\diamond A = \frac{W_C * (a/c)}{P.E._A} \dots (13)$$

Donde:

- C : Rendimiento del cemento (m^3)
- W_C : Peso del cemento (kg)
- $P.E._C$: Peso específico del cemento (kg/ m^3)
- Ar : Rendimiento del árido (m^3)
- W_{Ar} : Peso del árido (kg)
- $P.E._{Ar}$: Peso específico del árido (kg/ m^3)
- A : Rendimiento del agua (m^3)
- (a/c) : Relación de agua/cemento
- $P.E._A$: Peso específico del agua (kg/ m^3)

Paso 7.- Se realizó el cálculo del total de rendimiento de la mezcla por bolsa de cemento incorporando el porcentaje de aire atrapado, para ello se usó las fórmulas planteadas por Huamani & Solis (2020):

$$\diamond ST = C + Ar + A \dots (14)$$

$$\diamond Ai = ST * (\%Ai) \dots (15)$$

$$\diamond T = ST + Ai \dots (16)$$

Donde:

- ST : Subtotal del rendimiento de materiales (m^3)
- C : Rendimiento del cemento (m^3)
- Ar : Rendimiento del árido (m^3)
- Ai : Rendimiento del aire (m^3)
- $\%Ai$: Porcentaje de aire incorporado (%)
- A : Rendimiento del agua (m^3)
- T : Total del rendimiento de materiales (m^3)

Paso 8.- Se calculó las proporciones iniciales por metro cúbico usando las fórmulas planteadas por Huamani & Solis (2020, p60):

$$\diamond C_{bls} = \frac{1}{T} \dots (17)$$

$$C = 42,5 * C_{bls}$$

$$\diamond Ar = C * W_{Ar} \dots (18)$$

$$\diamond A = C * (a/c) \dots (19)$$

$$\diamond Ai = \% Ai \dots (20)$$

Donde:

C_{bls} : Cantidad de bolsas de cemento a usar (bolsas)

C : Proporción del cemento para un m³ de mezcla (kg)

Ar : Proporción de árido para un m³ de mezcla (kg)

Ai : Proporción de aire para un m³ de mezcla (%)

$\%Ai$: Porcentaje de aire incorporado

A : Proporción de agua para un m³ de mezcla (litros)

W_{Ar} : Peso del árido (kg)

(a/c) : Relación de agua/cemento

Paso 9.- Se realizó el ajuste por humedad y absorción al agregado natural usando las fórmulas planteadas por Huamani & Solis (2020, p61):

$$\diamond Ar = Ar_s * \left(1 + \frac{H}{100}\right) \dots (21)$$

$$\diamond A_E = A - \left(\frac{H - Abs}{100} * A_{Ar}\right) \dots (22)$$

Donde:

Ar : Proporción de árido ajustada por humedad (kg)

A_{r_s} : Proporción de árido seco (kg)

A_E : Cantidad de agua efectiva o ajustada por humedad y absorción (kg)

A : Proporción de agua para un m³ de mezcla (litros)

H : Porcentaje de humedad (%)

Abs : Porcentaje de absorción (%)

Paso 10.- Se estableció las proporciones según la siguiente nomenclatura:

Cemento: arena: agua.

b. *Corrección de cantidad de agua en el laboratorio*

Para lograr una consistencia trabajable se corroboró esta propiedad en laboratorio. Para ello se usó el ensayo de cono de Abrams, siguiendo una graduación de agua, se empezó con una cantidad de agua equivalente a lo especificado en el cálculo menos un litro. Luego de homogenizar bien toda la mezcla se procedió a aumentar la cantidad de agua de 100, 50 y 30 ml según la forma física de la mezcla. Se hizo varias pruebas del ensayo, en caso de que la mezcla resultase muy seca se regresó de nuevo al trompo y se siguió graduando el agua hasta alcanzar la consistencia plástica buscada.

Finalmente se cambió el valor de la proporción de agua en el diseño de las tres muestras representativas usadas.

c. *Nomenclatura para ensayos*

La nomenclatura nos ayudó a identificar cada muestra representativa durante todo el tramo de realización y el programa experimental (Diotti et al., 2020). Por lo que para este proyecto se usó la siguiente nomenclatura:

Agregado: Tratamiento

Donde “Agregado” hace referencia al agregado natural (AN) o agregado de concreto reciclado (ACR), y “Tratamiento” hace referencia al uso de DAP: con tratamiento (T) y sin tratamiento (-) (Morón et al., 2021).

2.6.4. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las muestras representativas del mortero de albañilería

2.6.4.1. Preparación de materiales, equipos y herramientas

Tanto el cemento, arena gruesa natural, arena gruesa reciclada fueron preparadas en pesos según lo indicado por las dosificaciones, haciendo uso de una balanza manual electrónica (Martinez-García et al., 2021). En cuanto a los equipos y herramientas se preparó según el requerimiento para el tipo de ensayo a realizar.

2.6.4.2. Metrado de materiales

El metrado de materiales se realizó de acuerdo con lo planteado por Huamani & Solis (2020, p61):

a. *Ensayos de mortero fresco*

La cantidad de materiales por tanda para estos ensayos se determinó en laboratorio según lo procedimientos normados que se utilizó.

b. *Ensayos de mortero endurecido*

Paso 1.- Se calculó el volumen necesario por tanda para cada ensayo según la siguiente fórmula planteada por Huamani & Solis (2020, p61):

$$\diamond V = \#P * V_p * F_D \dots (23)$$

Donde:

V : Volumen de mortero a usar (m³)

$\#P$: Cantidad de probetas (und)

V_p : Volumen de la probeta (m³)

F_D : Factor desperdicio

Paso 2.- Se calculó la cantidad de materiales según las siguientes fórmulas planteadas por Huamani & Solis (2020, p61):

$$\diamond \text{ Cemento} = V * C \dots (24)$$

$$\diamond \text{ Arena} = V * Ar \dots (25)$$

$$\diamond \text{ Agua} = V * A \dots (26)$$

Donde:

C : Proporción de cemento para un m^3 de mezcla (kg)

Ar : Proporción de árido para un m^3 de mezcla (kg)

A : Proporción de agua para un m^3 de mezcla (litros)

V : Volumen de mortero a usar (m^3)

2.6.4.3. Mezclado de materiales

El mezclado se realizó con una mezcladora de concreto eléctrica de 5P3 marca CEMAP:

Paso 1.- Se depositó primero el agua en la mezcladora, luego la arena y se removió por 1 min, finalmente se vertió el cemento, todo ello según las dosificaciones planteadas.

Paso 2.- Se inició el batido durante 5min hasta lograr una mezcla totalmente homogénea.

2.6.4.4. Curado de probetas

El curado del mortero se realizó de acuerdo con lo planteado por Clemente (2017):

Paso 1.- Se curó primero cuando las muestras estuvieron en sus moldes.

Paso 2.- Se sumergió las probetas o testigos en un balde con de agua y cal. La cantidad de cal que se usó fue 3g/l.

Paso 3.- Se colocó los baldes en un ambiente a temperatura estándar.

2.6.4.5. Análisis de propiedades físicas del mortero fresco

a. Ensayo de Consistencia

El ensayo de consistencia se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 339.035 (1999):

Paso 1.- Se humedeció el molde y se colocó sobre una plancha metálica.

Paso 2.- Se inmovilizó el cono pisando firmemente en las aletas y se vació el mortero en un tercio de la capacidad.

Paso 3.- Se compactó la primera capa dando 25 golpes con la barra compactadora, esta compactación se realizó de manera uniforme y en forma de caracol.

Paso 4.- Se hizo el vaciado de la segunda capa de mortero hasta dos tercios de la capacidad del cono y se compactó de manera uniforme en forma de caracol con 25 golpes usando la barra compactadora, pero evitando que la barra sobrepase la primera capa.

Paso 5.- Se hizo el vaciado de la tercera capa de mortero hasta la totalidad de la capacidad del cono y se compactó de manera uniforme en forma de caracol con 25 golpes usando la barra compactadora, pero evitando que la barra sobrepase la segunda capa.

Paso 6.- Si luego de compactar la última capa, faltó material para que el molde quede lleno, se añadió material y se enrasó el cono con la barra compactadora.

Paso 7.- Se levantó cuidadosamente el cono en dirección vertical, inmediatamente se midió el asentamiento, el cual es la diferencia de altura entre el molde y el morro de mezcla. Para verificar en qué tipo de consistencia se encontraba la mezcla, se usó la tabla 9.

b. Ensayo de Peso Unitario

El ensayo de peso unitario se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 334.005 (2018):

Paso 1.- Se colocó la muestra en 3 capas continuas en el interior de la vasija. Cabe resaltar que por cada capa se compactó mediante 25 golpes con la varilla metálica.

Paso 2.- Se suavizó la parte superior con la ayuda de la plancha.

Paso 3.- Se midió los pesos con la balanza.

Paso 4.- Para calcular el peso unitario se usó la siguiente fórmula:

$$P. U. = \frac{Wm}{Vv} * 1000 \dots (27)$$

Donde:

P. U. : Peso unitario (kg/m³)

Wm : Peso de la muestra (g)

Vv : Volumen de la vasija (cm³)

2.6.4.6. Análisis de propiedades mecánicas del mortero endurecido

a. Ensayo de Resistencia a la Compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 334.051 (2021):

Paso 1.- Se ensayó tres probetas para cada muestra representativa, con las siguientes edades: 7, 14 y 28 días.

Paso 2.- Se usó moldes cúbicos de 5 cm de arista, los cuales se engrasó para evitar que la mezcla se pegue.

Paso 3.- Se colocó la muestra en el molde y se compactó con un pequeño chuceador rectangular.

Paso 4.- Luego se curó según lo especificado en el ítem de 5.4.4.

Paso 5.- Luego del curado se midió las dimensiones de sus lados con regla vernier.

Paso 6.- Se ensayó cada probeta con la máquina de compresión.

Paso 7.- Para el cálculo del $f'c$ se usó la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots (28)$$

Donde:

$f'c$: Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P : Peso de falla de la probeta (kg)

A : Área axial de la probeta (cm²)

Los resultados se obtuvieron promediando las probetas de una misma edad.

b. *Ensayo de Resistencia a la Flexión*

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó de acuerdo con lo planteado por el INACAL NTP 334.120 (2018):

Paso 1.- Se ensayó tres probetas para cada muestra representativa, con las siguientes edades: 7, 14 y 28 días.

Paso 2.- Se usó moldes prismáticos de 4 x 5 x 16 cm, los cuales se engrasaron para evitar que la mezcla se pegue.

Paso 3.- Se colocó la muestra por capas en el molde y se compactó con un pequeño chuceador rectangular.

Paso 4.- Luego se curó según lo especificado en el ítem de 5.4.4.

Paso 5.- Se marcó la línea media de la probeta en una de sus caras y también se hizo dos líneas de 3 cm en las caras opuestas, con el fin de ubicar de manera correcta los apoyos durante el ensayo.

Paso 6.- Se ensayó cada probeta con la máquina de compresión.

Paso 7.- Para el cálculo del $f't$ se usó la siguiente fórmula:

$$f't = \frac{3PL}{2bh^2} \dots (29)$$

Donde:

$f't$: Resistencia a la flexión (kg/cm²)

P : Peso de falla de la probeta (kg)

L : Longitud de la probeta (cm)

b : Ancho de la probeta (cm)

h : Altura de la probeta (cm)

Los resultados se obtuvieron promediando las probetas de una misma edad.

2.7. Análisis de datos

2.7.1. Recolección de información

Dado que esta investigación fue de tipo experimental, la recolección de datos se realizó en el laboratorio. Para esto se usó hojas de Excel y en ellas se colocó los resultados de las pruebas realizadas para cada tipo de ensayo acorde a las normativas peruanas.

2.7.2. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se realizó en el software Microsoft Excel, el cual nos sirvió para elaborar tablas y gráficos estadísticos correspondientes a los resultados obtenidos en laboratorio.

2.7.3. Análisis estadístico de varianza

Con el fin de analizar los efectos producidos en el mortero por la incorporación de áridos de concreto reciclado tratados con solución de fosfato, se realizó análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor de acuerdo con lo planteado por Morón

et al. (2021). Para ello se usó el software especializado StatGraphies Centurion v16.

2.7.3.1. ANOVA de propiedades físicas del mortero fresco

En esta sección se hizo el ANOVA de los resultados obtenidos en el ensayo de peso unitario del mortero, para los tres tipos de muestras representativas a estudiar.

2.7.3.2. ANOVA de propiedades mecánicas del mortero endurecido

En esta sección se hizo el ANOVA de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y flexión del mortero, para los tres tipos de muestras representativas a estudiar.

III. RESULTADOS

3.1. TQC del agregado reciclado

Luego del periodo de TQC se pudo apreciar que el DAP no es completamente soluble al agua, ya que después de mezclar los materiales homogéneamente y dejar reposar por 24 horas una fracción del DAP se observaba sobre la capa superior del árido, ello producto de la decantación. Por otro lado, el TQC produce un re - fraguado de las partículas de cemento desprendidas del material reciclado, dando como consecuencia un material adherido entre sí el cual había tomado forma del recipiente, pero con una resistencia de adherencia bastante baja. Finalmente, se destaca que el TQC produce un olor a putrefacto producto de la fermentación que desprende durante el periodo de tratamiento empezando a ser más fuerte el tercer día y prevaleciendo incluso luego de que el material fue lavado y secado, pero en este caso en muy bajo porcentaje, casi imperceptible.

3.2. Propiedades físicas de los agregados

3.2.1. Expresión de resultados

3.2.1.1. Peso unitario suelto (PUS)

Tabla 12

Resultados del ensayo de peso unitario suelto

Tipo de material	N° de Muestra	W_{AS} (kg)	V_{Vasija} (cm^3)	$P.U.S.$ (g/cm^3)	$P.U.S.$ (kg/m^3)	P.U.S. promedio (kg/m^3)
AN	1	3148	2095	1.50	1502.63	1502.15
	2	3147	2095	1.50	1502.15	
	3	3146	2095	1.50	1501.67	
ACR	1	2825	2095	1.35	1348.45	1356.40
	2	2842	2095	1.36	1356.56	
	3	2858	2095	1.36	1364.20	
ACR-T	1	2686	2095	1.28	1282.10	1282.10
	2	2690	2095	1.28	1284.01	
	3	2682	2095	1.28	1280.19	

La tabla 12 muestra los resultados del ensayo de peso unitario suelto para los tres tipos de áridos estudiados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así

como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del peso unitario suelto.

3.2.1.2. Peso unitario compactado (PUC)

Tabla 13

Resultados del ensayo de peso unitario compactado

Tipo de material	N° de Muestra	W_{AS} (kg)	V_{Vasija} (cm ³)	P.U.C. (g/cm ³)	P.U.C. (kg/m ³)	P.U.C. promedio (kg/m ³)
AN	1	3396	2095	1.62	1621.00	1621.80
	2	3402	2095	1.62	1623.87	
	3	3395	2095	1.62	1620.53	
ACR	1	3038	2095	1.45	1450.12	1442.64
	2	3041	2095	1.45	1451.55	
	3	2988	2095	1.43	1426.25	
ACR-T	1	2942	2095	1.40	1404.30	1394.27
	2	2933	2095	1.40	1400.00	
	3	2888	2095	1.38	1378.52	

La tabla 13 muestra los resultados del ensayo de peso unitario compactado para los tres tipos de áridos estudiados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del peso unitario compactado.

3.2.1.3. Contenido de finos

Tabla 14

Resultados del ensayo de contenido de finos

Tipo de material	N° de Muestra	W_1 (g)	W_2 (g)	F (%)	F promedio (%)
AN	1	2996.30	2986.00	0.34	0.35
	2	2832.00	2821.70	0.36	
ACR	1	2566.60	2563.42	0.12	0.14
	2	2337.40	2333.60	0.16	
ACR-T	1	2837.87	2810.93	0.95	0.95

La tabla 14 muestra los resultados del ensayo de contenido de finos para los tres tipos de áridos estudiados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención contenido de finos.

3.2.1.4. Humedad

Tabla 15

Resultados del ensayo de humedad

Tipo de material	N° de Muestra	W_h (g)	W_s (g)	H (%)	H promedio (%)
AN	1	1527.63	1524.63	0.20	0.19
	2	1431.62	1429.12	0.17	
ACR	1	1000.00	952.39	5.00	4.99
	2	837.07	797.37	4.98	
ACR-T	1	1000.00	938.32	6.57	6.55
	2	931.00	873.90	6.53	

La tabla 15 muestra los resultados del ensayo de humedad para los tres tipos de áridos estudiados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención de la humedad.

3.2.1.5. Peso específico y absorción

Tabla 16

Resultados del ensayo de peso específico y absorción

Tipo de mat.	N° de Mues.	W_s (g)	W_{Ag} (g)	V_{Fiola} (cm ³)	$P.E.M$ (g/cm ³)	P.E.M prom. (g/cm ³)	$P.E.MSSS$ (g/cm ³)	P.E.MSSS prom. (g/cm ³)	$P.E.A$ (g/cm ³)	P.E.A prom. (g/cm ³)	Abs (%)	Abs prom. (%)
AN	1	491.93	302.80	500	2.49	2.51	2.54	2.55	2.60	2.62	1.64	1.62
	2	492.15	304.99	500	2.52		2.56		2.63		1.60	
ACR	1	463.81	286.88	500	2.18	2.18	2.35	2.34	2.62	2.60	7.80	7.44

	2	466.99	285.64	500	2.18		2.33		2.58		7.07
ACR-T	1	451.17	280.90	500	2.06	2.06	2.28	2.28	2.65	2.65	10.82
	2	452.41	281.44	500	2.07		2.29		2.65		10.52

La tabla 16 muestra los resultados del ensayo de peso específico y absorción para los tres tipos de áridos estudiados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención específico y absorción.

3.2.1.6. Ensayo granulométrico y módulo de finura

Tabla 17

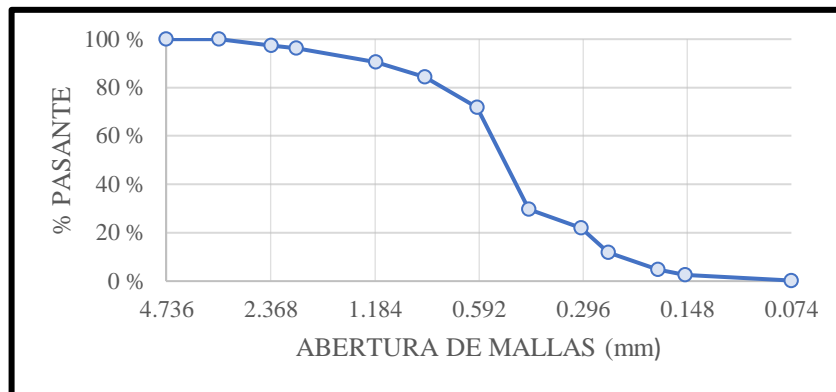
Resultado del ensayo de granulometría del AN

Tamiz Malla N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
N°4	4.760	0	0.00	0.00	100.00
N°6	3.350	0	0.00	0.00	100.00
N°8	2.360	79.50	2.65	2.65	97.35
N°10	2.000	33.00	1.10	3.75	96.25
N°16	1.180	169.60	5.65	9.40	90.60
N°20	0.850	188.90	6.30	15.70	84.30
N°30	0.600	373.20	12.44	28.14	71.86
N°40	0.425	1265.60	42.19	70.33	29.67
N°50	0.300	229.50	7.65	77.98	22.02
N°60	0.250	307.30	10.24	88.22	11.78
N°80	0.180	213.10	7.10	95.32	4.68
N°100	0.150	62.40	2.08	97.40	2.60
N°200	0.074	70.70	2.36	99.76	0.24
Fondo		7.20	0.24	100.00	0.00
Total		3000.00	100.00		

La tabla 17 muestra los resultados del ensayo granulométrico de la arena natural. Se muestra los diferentes tamices usados, el peso retenido en cada uno de estos (obtenido en laboratorio) y los valores porcentuales calculados a partir del parámetro anteriormente mencionado.

Figura 2

Curva granulométrica del AN



La figura 2 muestra la curva granulométrica de la arena natural, esta gráfica logarítmica relaciona el porcentaje pasante con cada uno de los tamices usados, formando una curva que describe el comportamiento granulométrico del material.

$$MF = \frac{0.00 + 2.65 + 9.40 + 28.14 + 77.98 + 97.40}{100} = 2.16$$

Tabla 18

Resultado del ensayo de granulometría del ACR

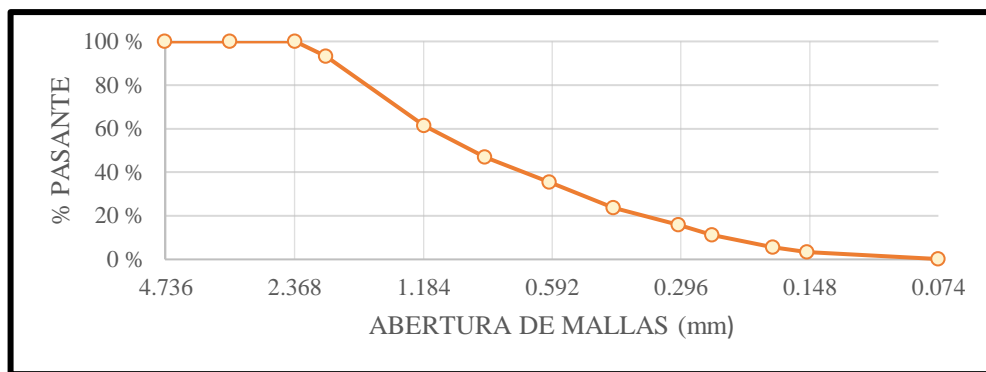
Tamiz Malla N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
N°4	4.760	0	0.00	0.00	100.00
N°6	3.350	0	0.00	0.00	100.00
N°8	2.360	2.36	0.09	0.09	99.91
N°10	2.000	174.41	6.80	6.89	93.11
N°16	1.180	816.19	31.80	38.69	61.31
N°20	0.850	367.01	14.30	52.99	47.01
N°30	0.600	299.26	11.66	64.65	35.35
N°40	0.425	297.07	11.57	76.22	23.78
N°50	0.300	202.75	7.90	84.12	15.88
N°60	0.250	123.15	4.80	88.92	11.08
N°80	0.180	141.82	5.53	94.44	5.56
N°100	0.150	56.89	2.22	96.66	3.34

N°200	0.074	81.55	3.18	99.84	0.16
Fondo		4.18	0.16	100.00	0.00
Total		2566.60	100.00		

La tabla 18 muestra los resultados del ensayo granulométrico de la arena reciclada. Se muestra los diferentes tamices usados, el peso retenido en cada uno de estos (obtenido en laboratorio) y los valores porcentuales calculados a partir del parámetro anteriormente mencionado.

Figura 3

Curva granulométrica del ACR



La figura 3 muestra la curva granulométrica de la arena reciclada, esta gráfica logarítmica relaciona el porcentaje pasante con cada uno de los tamices usados, formando una curva que describe el comportamiento granulométrico del material.

$$MF = \frac{0.00 + 0.09 + 38.69 + 64.65 + 84.12 + 96.66}{100} = 2.84$$

Tabla 19

Resultado del ensayo de granulometría del ACR-T

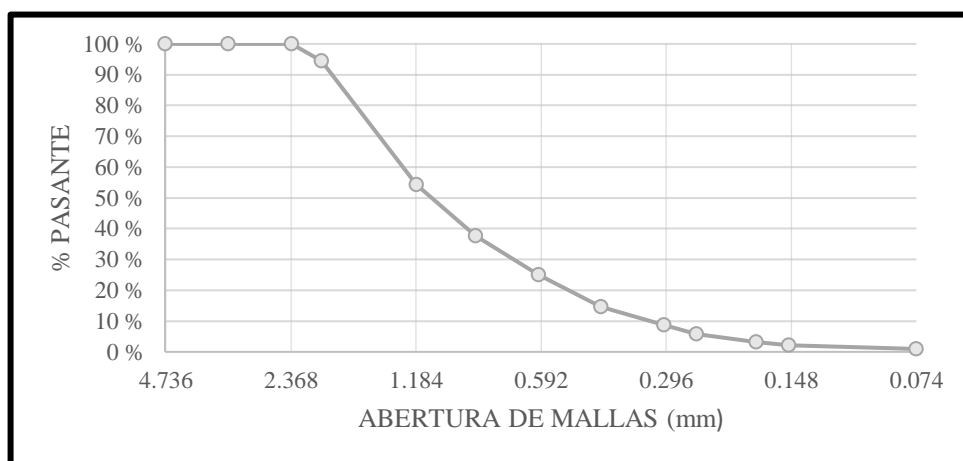
Tamiz Malla N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
N°4	4.760	0	0.00	0.00	100.00
N°6	3.350	0	0.00	0.00	100.00
N°8	2.360	0.10	0.00	0.00	100.00
N°10	2.000	157.53	5.55	5.55	94.45

N°16	1.180	1140.10	40.17	45.73	54.27
N°20	0.850	472.64	16.65	62.38	37.62
N°30	0.600	360.04	12.69	75.07	24.93
N°40	0.425	292.89	10.32	85.39	14.61
N°50	0.300	168.58	5.94	91.33	8.67
N°60	0.250	80.35	2.83	94.16	5.84
N°80	0.180	76.98	2.71	96.88	3.12
N°100	0.150	27.11	0.96	97.83	2.17
N°200	0.074	34.49	1.22	99.05	0.95
Fondo		27.06	0.95	100.00	0.00
Total		2837.87	100.00		

La tabla 18 muestra los resultados del ensayo granulométrico de la arena gruesa reciclada tratada. Se muestra los diferentes tamices usados, el peso retenido en cada uno de estos (obtenido en laboratorio) y los valores porcentuales calculados a partir del parámetro anteriormente mencionado.

Figura 4

Curva granulométrica del ACR-T



La figura 4 muestra la curva granulométrica de la arena reciclada tratada, esta gráfica logarítmica relaciona el porcentaje pasante con cada uno de los tamices usados, formando una curva que describe el comportamiento granulométrico del material.

$$MF = \frac{0.00 + 0.00 + 45.73 + 75.07 + 91.33 + 97.83}{100} = 3.10$$

3.2.1.7. Resumen de resultados

Tabla 20

Resumen de resultados de ensayos preliminares

	Arena Natural	Arena Reciclada	Arena Reciclada Tratada
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1502.15	1356.40	1282.10
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1621.80	1442.64	1394.27
Contenido de Finos (%)	0.35	0.14	0.95
Humedad (%)	0.19	4.99	6.55
Peso Específico Seco (g/cm³)	2.62	2.60	2.65
Absorción (%)	1.62	7.44	10.67
Módulo de Finura	2.16	2.84	3.10

La tabla 20 muestra el resumen de los ensayos realizados a los tres tipos de áridos, estos valores corresponden al valor promedio final de cada ensayo, calculado en las tablas anteriormente anexadas.

Tabla 21

Resumen del resultado de ensayo granulométrico

Tamiz Malla N°	Abertura (mm)	Arena Natural	Arena Reciclada	Arena Reciclada Tratada
N°4	4.760	100.00	100.00	100.00
N°6	3.350	100.00	100.00	100.00
N°8	2.360	97.35	99.91	100.00
N°10	2.000	96.25	93.11	94.45
N°16	1.180	90.60	61.31	54.27
N°20	0.850	84.30	47.01	37.62
N°30	0.600	71.86	35.35	24.93
N°40	0.425	29.67	23.78	14.61
N°50	0.300	22.02	15.88	8.67
N°60	0.250	11.78	11.08	5.84
N°80	0.180	4.68	5.56	3.12

N°100	0.150	2.60	3.34	2.17
N°200	0.074	0.24	0.16	0.95
Fondo		0.00	0.00	0.00

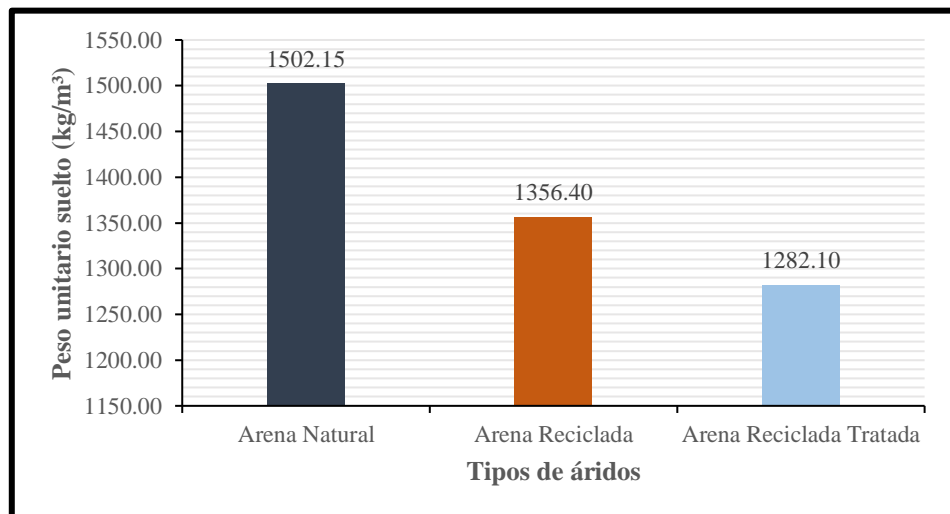
La tabla 21 muestra el resumen del ensayo granulométrico de los tres tipos de áridos, estos valores corresponden al porcentaje pasante final por cada uno de los tamices usados en laboratorio.

3.2.2. Análisis de resultados

3.2.2.1. Peso unitario suelto

Figura 5

Peso unitario suelto de áridos



La figura 5 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de peso unitario suelto aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

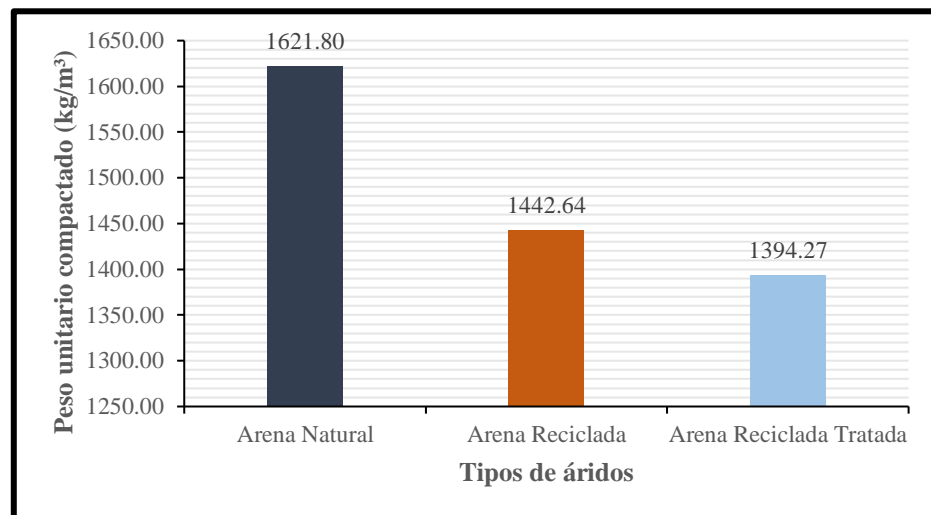
En este gráfico se puede visualizar que la arena natural tiene el mayor valor de peso unitario suelto con 1502kg/m³, mientras que el árido reciclado tratado tiene el menor valor con 1282.10kg/m³. Esto se debe a que la distribución granulométrica de los áridos reciclados (tratado y sin tratar) no es uniforme, esto hace que las partículas no se acomoden y dejen un alto porcentaje de vacíos.

En cuanto a los dos tipos de áridos reciclados (tratado y sin tratar), la gráfica muestra que la arena reciclada con tratamiento tiene un menor peso unitario suelto, teniendo un valor de 94.52% con respecto a la arena reciclada.

3.2.2.2. Peso unitario compactado

Figura 6

Peso unitario compactado de áridos



La figura 6 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de peso unitario compactado aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

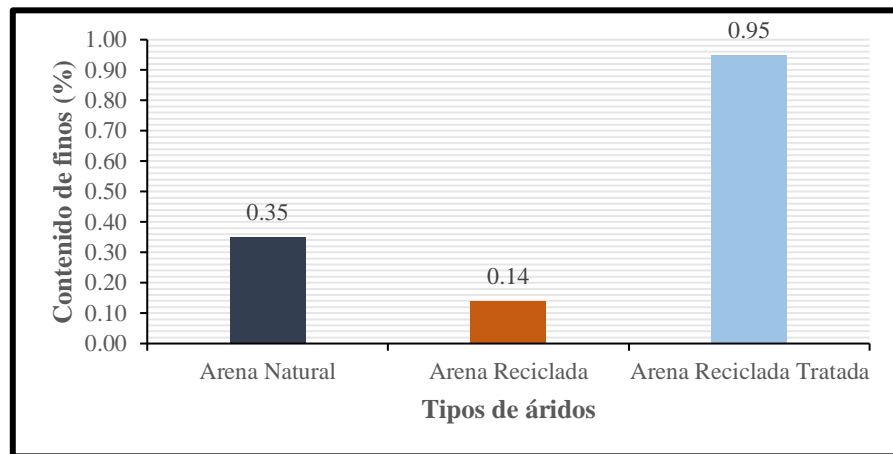
En este gráfico se puede visualizar que la arena natural tiene el mayor valor de peso unitario compactado con 1621.80 kg/m^3 , mientras que el árido reciclado tratado tiene el menor valor con 1394.27 kg/m^3 . Esto se debe a que la distribución granulométrica de los áridos reciclados (tratado y sin tratar) no es uniforme, esto hace que las partículas no se acomoden y dejen un alto porcentaje de vacíos, a pesar de que se haya compactado.

En cuanto a los dos tipos de áridos reciclados, la gráfica muestra que la arena reciclada con tratamiento tiene un menor peso unitario compactado, teniendo un valor de 96.65% con respecto a la arena reciclada.

3.2.2.3. Contenido de finos

Figura 7

Contenido de finos de áridos



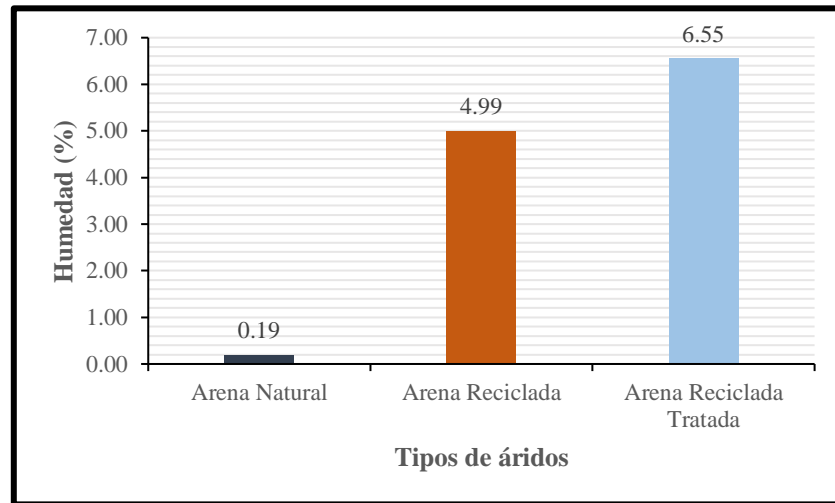
La figura 7 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de contenido de finos aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

En este gráfico se puede visualizar los valores en porcentaje del contenido de finos, los cuales no podemos evaluarlos ya que todos los áridos fueron lavados, lo cual alteró esta característica.

3.2.2.4. Contenido de humedad

Figura 8

Contenido de humedad de áridos



La figura 8 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de contenido de humedad aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

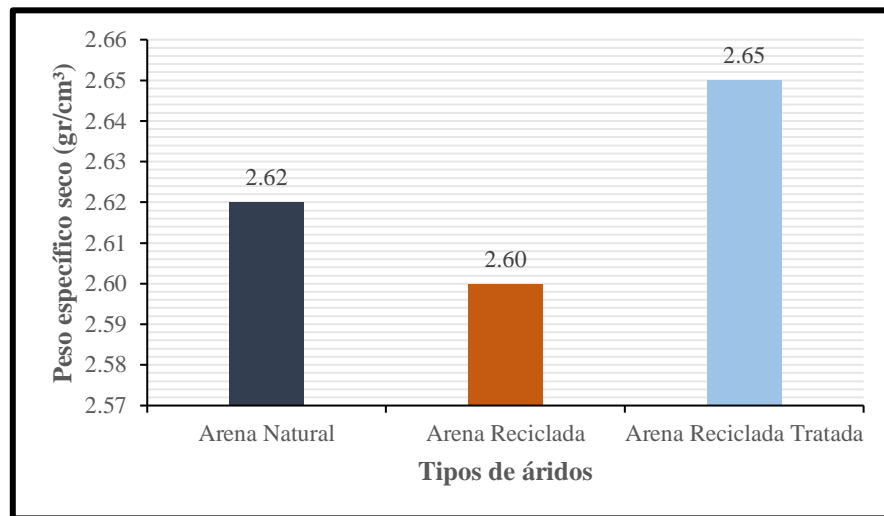
El porcentaje del contenido de humedad de los tres tipos de áridos estudiados, resultaron de un periodo de secado a temperatura ambiente de 4 días, hasta lograr que el material se encuentre seco superficialmente.

Tal como se aprecia en la figura 8 la arena natural seca más rápido, mientras que la arena reciclada tratada es la que demora más en secar, esto se debe al porcentaje de finos y al porcentaje de absorción que tiene cada material.

3.2.2.5. Peso específico seco

Figura 9

Peso específico seco de áridos



La figura 9 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de peso específico seco aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

En este gráfico se puede visualizar que la arena reciclada sin tratamiento tiene el menor valor de peso específico seco con 2.60g/cm^3 , mientras que la arena reciclada tratada tiene el mayor valor con 2.65g/cm^3 .

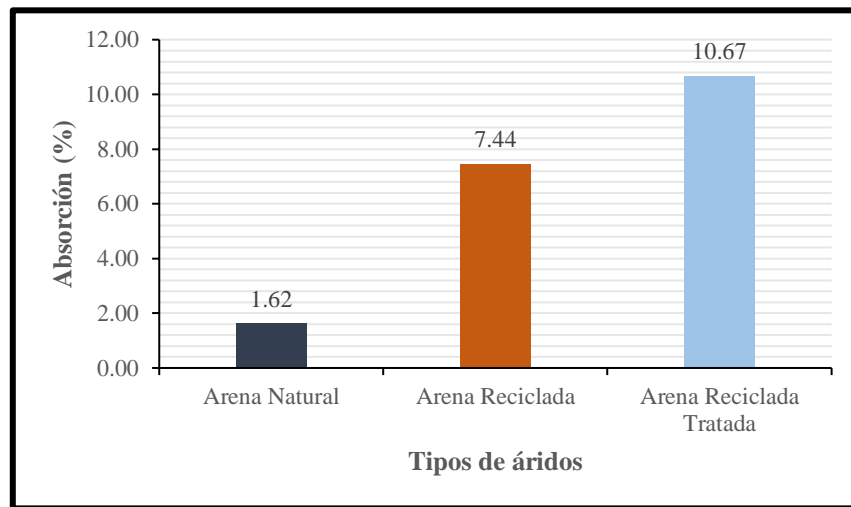
En cuanto a los áridos reciclados (tratado y sin tratar), se observa que la tratada muestra un mayor valor, ello se debe principalmente a que sus partículas o granos, son mucho más pesados. Lo que significa que el tratamiento aumenta el peso de los granos de árido reciclado.

Mientras que al árido natural muestra un comportamiento intermedio.

3.2.2.6. Porcentaje de absorción

Figura 10

Porcentaje de absorción de áridos



La figura 10 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del ensayo de absorción aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

En este gráfico se puede visualizar que la arena natural tiene el menor valor de porcentaje de absorción con 1.62%, mientras que la arena reciclada tratada tiene el mayor valor con 10.67%.

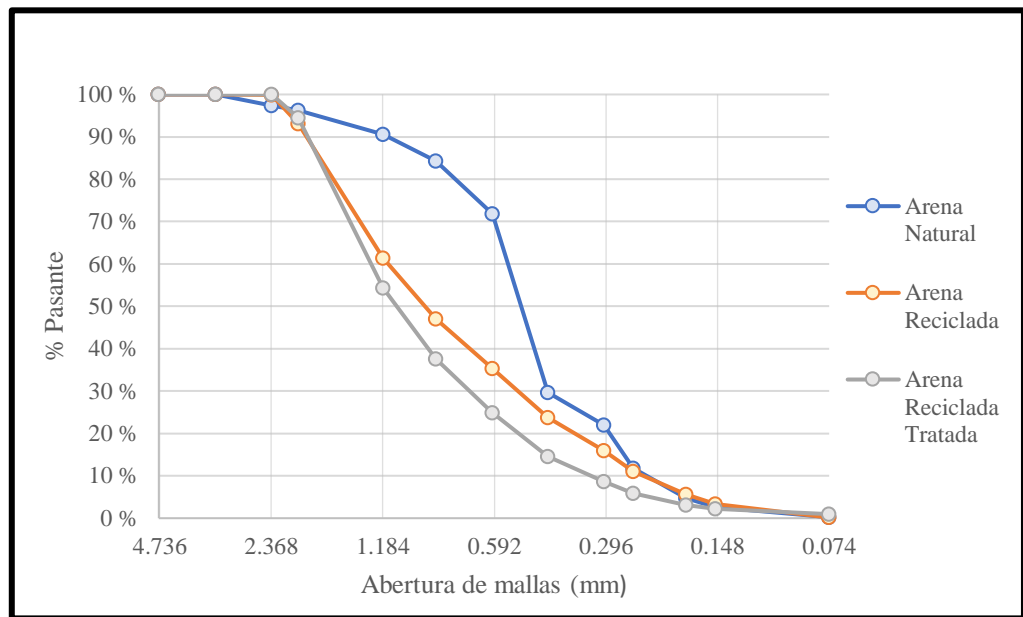
En cuanto a los áridos reciclados (tratado y sin tratar), se puede notar claramente que el tratamiento aumenta la absorción del material. Esto debido principalmente a la distribución desigual de las partículas, ocasionando con ello bastantes vacíos, lo anterior mencionado también se puede corroborar con un módulo de finura alto, lo que significa deficiencia de partículas balanceadas que se acomoden uniformemente.

El porcentaje de finos también influye en la absorción, pero en un porcentaje casi despreciable, ya que las muestras han sido lavadas. Por otro lado, los residuos de DAP también contribuyen en el porcentaje de absorción ya que sus partículas son altamente absorbentes.

3.2.2.7. Granulometría

Figura 11

Curva granulométrica de áridos



La figura 11 corresponde a la curva granulométrica que relaciona el porcentaje pasante y los tamices, obtenido a partir del ensayo granulométrico aplicado a los tres tipos de áridos estudiados.

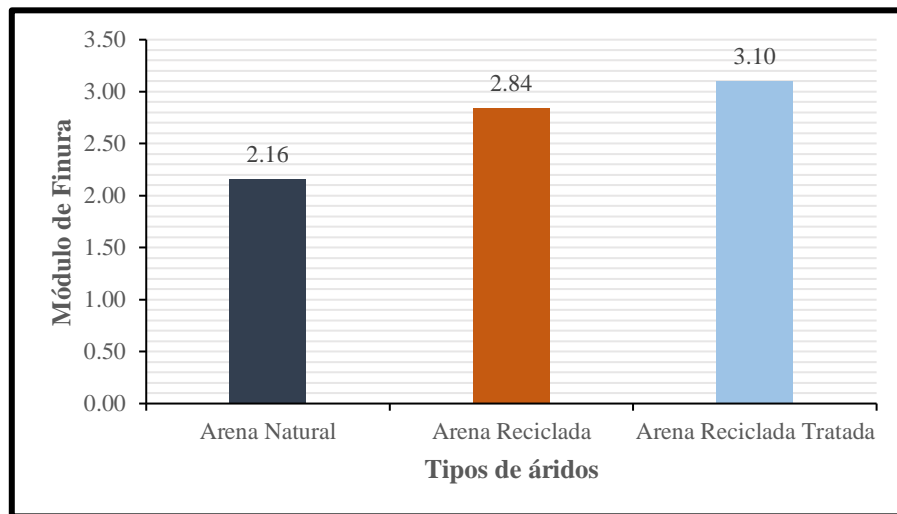
Del gráfico se puede determinar que el árido natural cumple con lo impuesto por la norma E.070 de albañilería del RNE, en el cual se muestra los rangos de porcentaje pasante que la arena debe tener y además indica que no debe quedar retenido más del 50% del material en dos mallas consecutivas.

En cuanto a los áridos reciclados (tratado y sin tratar), no cumple con las restricciones impuestas por la normativa. Esto debido a que lo que se indica en dicha norma corresponde a un material natural modificado por procesos naturales de sedimentación o erosión, mientras que el material reciclado es transformado mediante intervención humana con fuerzas de desgaste y rotura.

3.2.2.8. Módulo de fineza

Figura 12

Módulo de fineza de áridos



La figura 12 corresponde a un gráfico de barras comparativo de los resultados del módulo de fineza de los tres tipos de áridos estudiados.

Este gráfico muestra que el único material que cumple con lo impuesto por la norma E.070 de albañilería del RNE, es el natural.

En cuanto a los áridos reciclados (tratado y sin tratar), sobrepasan el límite máximo que es 2.5, impuesto por la norma, siendo el árido tratado el más desfavorable con 3.10. Esto se debe a que prevalecen las partículas gruesas sobre las finas, dado principalmente porque el material reciclado es resultante de un chancado y no de un proceso natural. Por otro lado, se puede notar que entre el material reciclado sin tratar y el tratado, el mayor es el con tratamiento, ello significa que este produce una reacción de adherencia del material fino y el DAP (producido de la desintegración del mortero presente en los residuos de concreto) a las partículas más gruesas, lo cual aumenta el tamaño de las mismas.

3.3. Diseños de mezcla para las muestras representativas del mortero de albañilería

3.3.1. Realizado en gabinete

Tabla 22

Resultados de los diseños de mezcla en gabinete

Material	Mortero de AN	Mortero de ACR	Mortero de ACR-T
Cemento	1.00	1.00	1.00
Arena	3.51	3.32	3.20
Agua	0.77	0.80	0.84

La tabla 22 muestra el resumen de los resultados de diseño de mezcla en peso realizados en gabinete según las propiedades físicas de cada árido. Para todos los casos se usó como datos el peso unitario suelto, porcentaje de humedad, porcentaje de absorción y peso específico seco de los áridos; en cuanto a las características del cemento solo se usó su peso específico.

3.3.2. Realizado en laboratorio

Tabla 23

Resultado del diseño de mezcla con corrección de agua en laboratorio

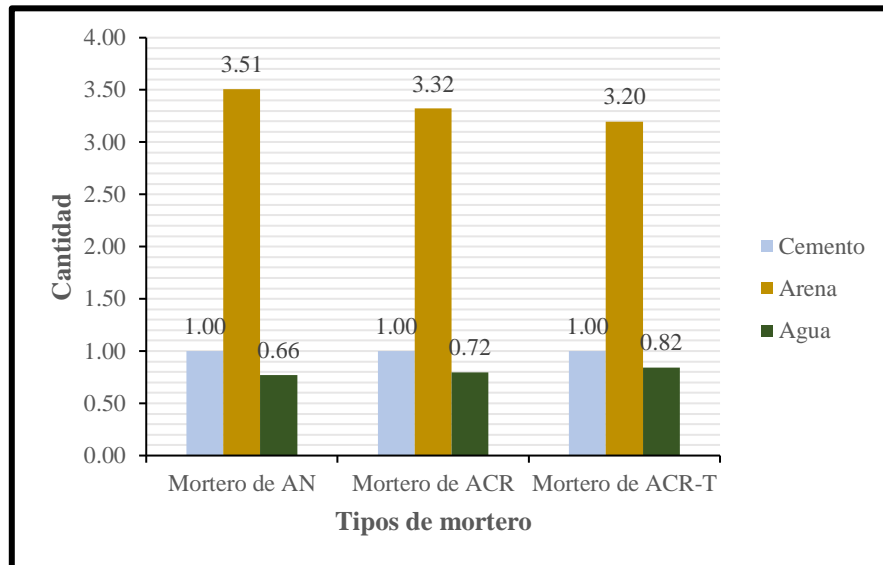
Material	Mortero de AN	Mortero de ACR	Mortero de ACR-T
Cemento	1.00	1.00	1.00
Arena	3.51	3.32	3.20
Agua	0.66	0.72	0.82

La tabla 23 muestra los resultados obtenidos producto de la corrección de agua en laboratorio, con el fin de conseguir una mezcla trabajable de tipo plástica. Para esto se usó el ensayo de cono de Abrams y la tabla 9, que especifica el rango de asentamiento necesario. Como se puede apreciar los valores de la proporción de agua disminuyen en laboratorio, pero conservando la diferencia de valor que existe entre tipos de mortero.

3.3.3. Análisis de resultados

Figura 13

Diseño de mezcla en peso corregido en laboratorio



La figura 13 muestra las cantidades en peso usadas para la elaboración de los tres tipos de mortero analizados.

Tal como se aprecia en este gráfico, el diseño para mortero natural contiene mayor cantidad de arena en peso con 3,51 y el mortero con TQC tiene la menor cantidad con 3,20. En cuanto a la cantidad de agua sucede algo parecido siendo el mortero con árido natural el que tiene la menor cantidad de agua con 0,66 y el mortero con árido tratado el que tiene la mayor cantidad 0,82.

En cuanto a la variación de las proporciones en peso se debe a que las propiedades físicas de los áridos difieren unas de otras. Por un lado, se tiene las diferencias de cantidades de agua que se deben principalmente a las propiedades de absorción y humedad; y por otro lado se tiene la diferencia de cantidades de arena que se debe principalmente a las propiedades de peso específico y peso unitario suelto.

3.4. Propiedades físicas y mecánicas de las muestras representativas del mortero de albañilería

3.4.1. Propiedades físicas del mortero fresco

3.4.1.1. Expresión de resultados

a. Ensayo de consistencia

Tabla 24

Resultados del ensayo de consistencia

Tipo de Mortero	N° de Muestra	Asentamiento (cm)	Promedio	Consistencia
AN	1	4.60	4.71	Plástica
	2	4.78		
	3	4.75		
ACR	1	4.66	4.69	Plástica
	2	4.70		
	3	4.72		
ACR-T	1	4.70	4.70	Plástica
	2	4.60		
	3	4.80		

La tabla 24 muestra los resultados del ensayo de consistencia para los tres tipos mortero analizados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos asentamientos (obtenidos en laboratorio) que definen el tipo de consistencia.

b. Ensayo de Peso Unitario

Tabla 25

Resultados del ensayo de peso unitario

Tipo de Mortero	N° de Muestra	W_m (g)	V_{Vasija} (cm^3)	$P.U.$ (g/cm^3)	$P.U.$ (kg/m^3)	$P.U.$ promedio (kg/m^3)
AN	1	1923	920	2.09	2090.22	2098.19
	2	1936	920	2.10	2104.35	

	3	1932	920	2.10	2100.00	
ACR	1	1865	920	2.03	2027.17	
	2	1841	920	2.00	2001.09	2013.04
	3	1850	920	2.01	2010.87	
ACR-T	1	1901	920	2.07	2066.30	
	2	1909	920	2.08	2075.00	2072.46
	3	1910	920	2.08	2076.09	

La tabla 25 muestra los resultados del ensayo de peso unitario para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del peso unitario.

c. Resumen de resultados

Tabla 26

Resumen de los resultados de las propiedades físicas

	Mortero de AN	Mortero de ACR	Mortero de ACR-T
Asentamiento (cm)	4.71	4.69	4.70
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica
Peso Unitario (kg/m³)	2098.19	2013.04	2072.46

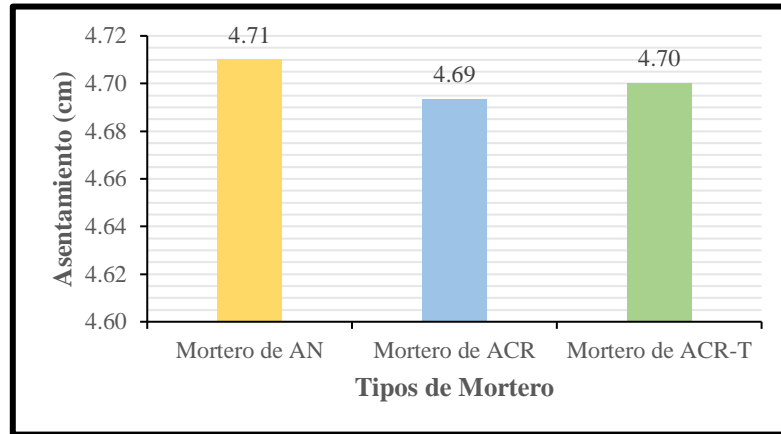
La tabla 26 muestra el resumen del ensayo de las propiedades físicas de los tres tipos de mortero ensayados. Estos valores corresponden al valor promedio final de cada ensayo, calculado en las tablas anteriormente anexadas.

3.4.1.2. Análisis de resultados

a. Asentamiento

Figura 14

Asentamiento de morteros



La figura 14 muestra un gráfico de barras comparativo con los resultados del ensayo de asentamiento aplicado a los tres tipos de mortero.

Según el gráfico el mayor valor de asentamiento lo tiene la mezcla de mortero de árido natural con 4.71cm y el menor valor lo tiene la mezcla de mortero de árido reciclado con 4.69cm.

También se puede notar que las diferencias de asentamiento que tienen las mezclas entre sí son casi despreciables, siendo la mayor de 0.02 cm entre el mortero con árido natural y el mortero con árido reciclado, esto debido a que luego de verter el 70% del agua de diseño, se procedió a graduarla de 50 en 50 ml, para obtener una mezcla plástica de igual similitud para los tres tipos de mortero. Ello supone que su influencia fue mínima en los resultados de ensayos de compresión y flexión, posteriormente estudiados.

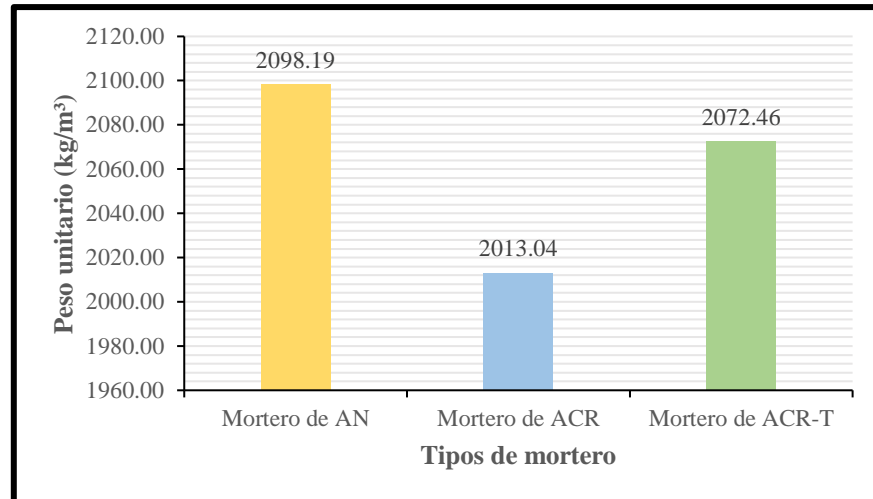
En laboratorio se pudo observar que el material más trabajable con el asentamiento plástico es el mortero con arena natural y caso contrario sucede con el mortero con arena reciclada tratada, el cual posee baja trabajabilidad con este tipo de

asentamiento. En cuanto al mortero con arena reciclada sin tratamiento, se pudo notar un comportamiento intermedio entre los otros dos tipos estudiados.

b. Peso unitario

Figura 15

Peso unitario de morteros



La figura 15 muestra un gráfico de barras comparativo con los resultados del ensayo de peso unitario aplicado a los tres tipos de mortero.

Según el gráfico el mortero de árido natural tiene el mayor peso unitario con 2098.19kg/m³ y el mortero de árido de concreto reciclado tiene el menor valor con 2013.04kg/m³. En el caso de la mezcla con árido natural se debe a que tiene un mayor acomodo de sus elementos, lo cual permite que haya mayor cantidad de mortero dentro de un determinado volumen. Caso contrario sucede con el mortero de árido reciclado, debido a que este no tiene un buen acomodo de sus materiales, principalmente los granos de arena, lo que repercute a que la mezcla tenga una mayor cantidad de vacíos o poros.

En cuanto a la mezcla de mortero con árido reciclado tratado, se puede apreciar que se encuentra en un valor casi intermedio con respecto a los otros dos morteros, lo que significa que su porosidad es menor que el mortero con árido reciclado sin tratar.

3.4.1.3. Análisis estadístico ANOVA

Se realizó a partir de los resultados de las propiedades físicas del mortero fresco.

a. Asentamiento

Tabla 27

Datos de entrada para la consistencia

Tipo de mortero	Consistencia
AN	4.60
AN	4.78
AN	4.75
ACR	4.66
ACR	4.70
ACR	4.72
ACR-T	4.70
ACR-T	4.60
ACR-T	4.80

La tabla 27 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de asentamiento agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 28

ANOVA para el asentamiento

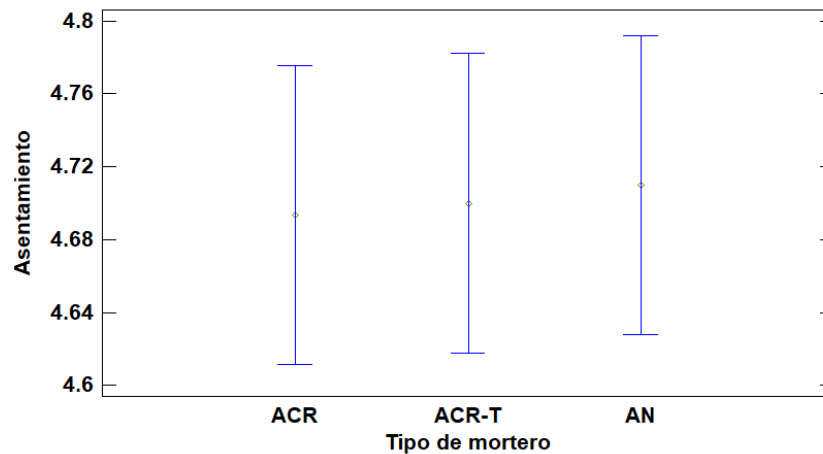
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000422222	2	0.0002111	0.03	0.9693
Intra grupos	0.0404667	6	0.0067444		
Total (Corr.)	0.0408889	8			

La tabla 28 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada del asentamiento mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza del asentamiento en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 0.03, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es mayor o igual a 0.05, no concurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media de asentamiento por nivel de tipo de mortero.

Figura 16

Medias y 95% de Fisher LSD para el asentamiento



La figura 16 muestra la comparación de los valores de asentamiento de los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que no existe variación significativa en el asentamiento de los tipos de mortero esto debido a que se buscó que todos tengan el mismo valor para lograr un análisis comparativo más eficiente, de las propiedades mecánicas.

b. Peso unitario

Tabla 29

Datos de entrada para el peso unitario

Tipo de mortero	P.U. (kg/m ³)
AN	2090.22
AN	2104.35
AN	2100.00

ACR	2027.17
ACR	2001.09
ACR	2010.87
ACR-T	2066.30
ACR-T	2075.00
ACR-T	2076.09

La tabla 29 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de peso unitario agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 30

ANOVA para el peso unitario

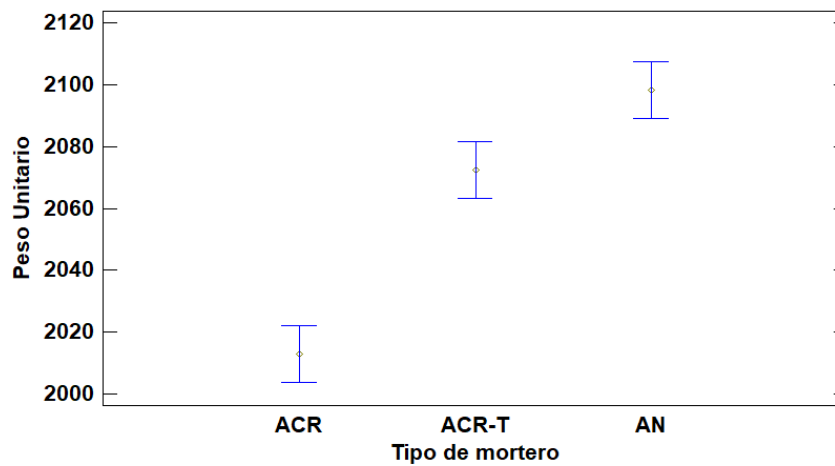
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11442.6	2	5721.28	67.38	0.0001
Intra grupos	509.485	6	84.9142		
Total (Corr.)	11952	8			

La tabla 30 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada del peso unitario mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza del peso unitario en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 67.38, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media de peso unitario por nivel de tipo de mortero.

Figura 17

Medias y 95% de Fisher LSD para el peso unitario



La figura 17 muestra la comparación de los valores de peso unitario de los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con AN tuvo el mayor peso unitario, teniendo una diferencia bastante notable con respecto al mortero con ACR-T, quien a su vez difiere en gran cantidad del ACR, siendo este último el de menor peso unitario.

3.4.2. Propiedades mecánicas del mortero endurecido

3.4.2.1. Expresión de resultados

a. *Ensayo de Resistencia a la Compresión*

❖ Edad = 7 días

Tabla 31

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

Tipo de Mortero	Nº de Muestra	L (cm)	A (cm ²)	P (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)
AN	1	5.02	25.20	3011.20	119.49	119.21
	2	5.01	25.10	2937.00	117.01	
	3	5.02	25.20	3052.50	121.13	
ACR	1	5.02	25.20	3836.00	152.22	151.94
	2	5.05	25.50	3818.70	149.74	

	3	5.03	25.30	3892.80	153.86	
ACR-T	1	5.02	25.20	3151.10	125.04	
	2	5.01	25.10	3076.30	122.56	124.76
	3	5.04	25.40	3217.90	126.68	

La tabla 31 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del $f'c$ final.

❖ **Edad = 14 días**

Tabla 32

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días

Tipo de Mortero	Nº de Muestra	L (cm)	A (cm ²)	P (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)	$f'c$ promedio (kg/cm ²)
AN	1	5.01	25.10	3988.20	158.89	
	2	4.99	24.90	3894.60	156.41	158.61
	3	5.03	25.30	4061.60	160.53	
ACR	1	5.04	25.40	5282.80	207.97	
	2	5.01	25.10	5157.80	205.49	207.69
	3	5.02	25.20	5282.30	209.61	
ACR-T	1	5.02	25.20	5186.20	205.80	
	2	5.01	25.10	5103.40	203.32	205.52
	3	5.04	25.40	5269.30	207.44	

La tabla 32 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del $f'c$ final.

❖ **Edad = 28 días**

Tabla 33*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días*

Tipo de Mortero	N° de Muestra	L (cm)	A (cm ²)	P (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)
AN	1	5.01	25.10	4425.10	176.30	176.02
	2	5.04	25.40	4415.30	173.82	
	3	5.02	25.20	4484.20	177.94	
ACR	1	5.02	25.20	6025.90	239.12	238.84
	2	5.01	25.10	5939.70	236.64	
	3	5.01	25.10	6043.10	240.76	
ACR-T	1	5.03	25.30	5645.60	223.14	222.86
	2	5.03	25.30	5582.90	220.66	
	3	5.04	25.40	5709.80	224.78	

La tabla 33 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del f'c final.

b. Ensayo de Resistencia a la Flexión

❖ Edad = 7 días

Tabla 34*Resultado del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días*

Tipo de Mortero	N° de Muestra	b (cm)	h (cm)	L (cm)	P (kg)	f't (kg/cm ²)	f't promedio (kg/cm ²)
AN	1	4.01	3.99	10.00	102.60	24.11	24.45
	2	4.01	3.98	10.00	98.40	23.24	
	3	4.02	4.04	10.00	113.70	25.99	
ACR	1	4.04	4.03	10.00	172.10	39.34	39.69
	2	4.01	4.02	10.00	166.30	38.49	
	3	4.03	4.01	10.00	178.10	41.23	
ACR-T	1	4.03	4.01	10.00	148.20	34.30	34.64
	2	4.02	4.04	10.00	146.30	33.45	
	3	4.03	4.01	10.00	156.30	36.18	

La tabla 34 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del $f't$ final.

❖ **Edad = 14 días**

Tabla 35

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días

Tipo de Mortero	N° de Muestra	b (cm)	h (cm)	L (cm)	P (kg)	$f't$ (kg/cm ²)	$f't$ promedio (kg/cm ²)
AN	1	4.03	4.01	10.00	185.90	43.03	43.37
	2	3.98	4.02	10.00	180.80	42.17	
	3	4.02	4.04	10.00	196.40	44.90	
ACR	1	4.02	4.04	10.00	176.80	40.42	40.76
	2	4.01	4.01	10.00	170.10	39.57	
	3	4.05	4.03	10.00	185.50	42.30	
ACR-T	1	4.02	4.04	10.00	189.90	43.41	43.76
	2	4.02	4.01	10.00	183.40	42.56	
	3	4.01	4.03	10.00	196.70	45.30	

La tabla 35 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del $f't$ final.

❖ **Edad = 28 días**

Tabla 36

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión del mortero a los 28 días

Tipo de Mortero	N° de Muestra	b (cm)	h (cm)	L (cm)	P (kg)	$f't$ (kg/cm ²)	$f't$ promedio (kg/cm ²)
AN	1	4.02	4.02	10.00	192.60	44.47	44.82
	2	3.99	4.01	10.00	186.60	43.63	
	3	4.03	3.98	10.00	197.30	46.36	
ACR	1	4.00	4.05	10.00	181.80	41.56	41.91

	2	4.04	4.02	10.00	177.20	40.71	
	3	4.04	4.03	10.00	190.10	43.46	
	1	4.02	4.04	10.00	248.10	56.72	
ACR-T	2	4.02	4.01	10.00	240.70	55.85	57.06
	3	4.01	4.03	10.00	254.40	58.59	

La tabla 36 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados. En esta se puede visualizar la cantidad de muestras realizadas, así como también los valores de los diversos parámetros (obtenidos en laboratorio) que definen la fórmula para la obtención del f'_{t} final

c. Resumen de resultados

Tabla 37

Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Edades	Mortero de AN (kg/cm ²)	Mortero de ACR (kg/cm ²)	Mortero de ACR- T (kg/cm ²)
7 días	119.21	151.94	124.76
14 días	158.61	207.69	205.52
28 días	176.02	238.84	222.86

La tabla 37 muestra el resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los tres tipos de mortero ensayados. Estos valores corresponden al valor promedio final de cada muestra, para los tres periodos de curado analizados.

Tabla 38

Resumen de resultados del ensayo resistencia a la flexión de los tres tipos de mortero

Edades	Mortero de AN (kg/cm ²)	Mortero de ACR (kg/cm ²)	Mortero de ACR- T (kg/cm ²)
7 días	24.45	39.69	34.64
14 días	43.37	40.76	43.76
28 días	44.82	41.91	57.06

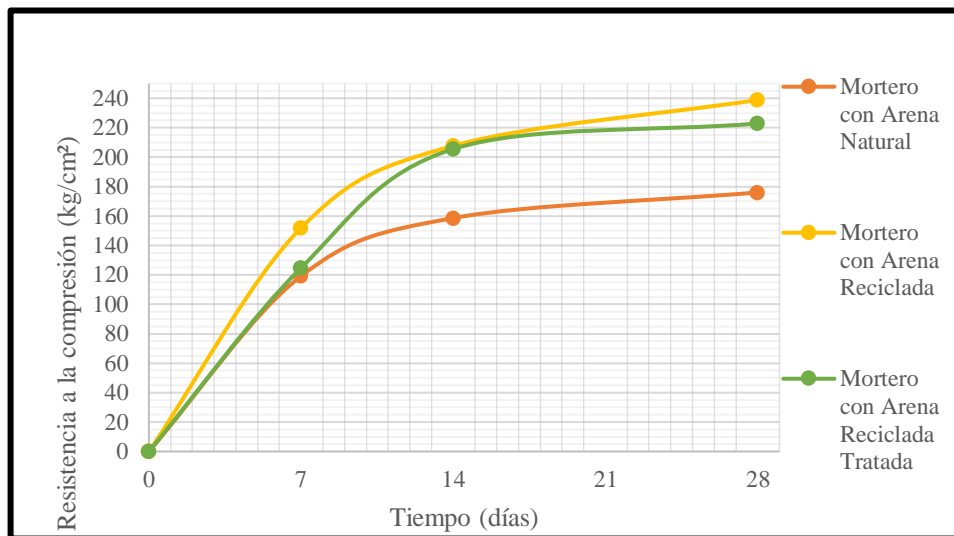
La tabla 38 muestra el resumen de resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los tres tipos de mortero ensayados. Estos valores corresponden al valor promedio final de cada muestra, para los tres periodos de curado analizados.

3.4.2.2. Análisis de resultados

a. Resistencia mecánica a la compresión

Figura 18

Tiempo vs resistencia a la compresión



La figura 18 corresponde a la curva de resistencia a la compresión vs los días de curado analizados, en este se puede visualizar el comportamiento de esta propiedad mecánica para los tres tipos de mortero.

El gráfico muestra que el mortero de arena reciclada sin tratamiento es la que alcanza la mayor resistencia a la compresión en los tres periodos estudiados (7,14 y 28 días) con 151.94kg/cm², 207.69kg/cm² y 238.64kg/cm² respectivamente; incluso superando al mortero con arena natural. Esto debido a que el árido usado fue lavado y los granos provienen de piedra chancada con mayor resistencia que los granos naturales lo cual contribuye a que el material sea más resistente.

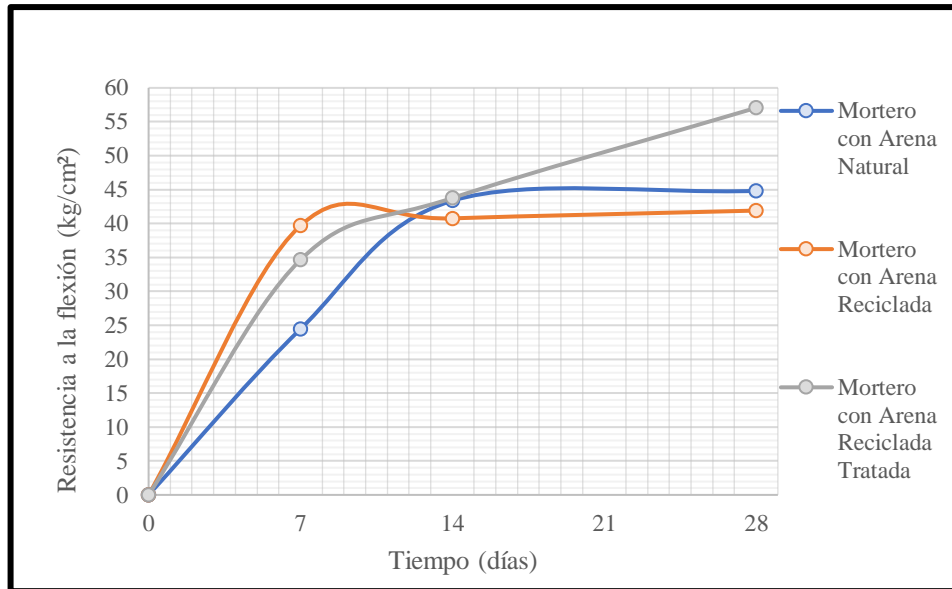
Por otro lado, el mortero con arena reciclada tratada muestra un comportamiento de resistencia menor con respecto al ACR, esto debido principalmente a que existe

presencia de partículas del DAP adheridas a los granos incluso después de ser lavadas, lo cual disminuye la resistencia de los mismos.

b. Resistencia mecánica a la flexión

Figura 19

Tiempo vs resistencia a la flexión



La figura 19 corresponde a la curva de resistencia a la flexión vs los días de curado analizados, en este se puede visualizar el comportamiento de esta propiedad mecánica para los tres tipos de mortero.

El gráfico muestra que el mortero de arena reciclada sin tratamiento es la que alcanza la mayor resistencia a la flexión en dos de los tres periodos estudiados (14 y 28 días) con 43.76kg/cm² y 57.06kg/cm², incluso superando al mortero con arena natural. Lo cual significa que el DAP contribuye a mejorar esta propiedad a pesar de que es ineficiente en la resistencia a la compresión.

Por otro lado, el mortero de arena reciclada tratada muestra un comportamiento de resistencia menor que el árido reciclado sin tratamiento en los tres periodos (7,14 y 28 días) con 39.69kg/cm²,40.76kg/cm² y 41.91kg/cm² respectivamente, pero mayor que la arena natural a los 14 y 28 días. La diferencia entre el mortero de ACR sin tratar y el tratado, se debe principalmente a que este último mortero

tiene menos vacíos y un mayor acomodo de sus elementos, ello se puede corroborar con el ensayo de peso unitario del mortero. Esta propiedad, proporciona un material más compacto y con ello mayor resistencia a la flexión.

3.4.2.3. Análisis estadístico ANOVA

Se realizó a partir del estudio en laboratorio de las propiedades mecánicas del mortero.

a. Resistencia a la compresión

✓ *Procesamiento de datos a los 7 días de curado*

Tabla 39

Datos de entrada para la $f'c$ a los 7 días de curado

Tipo de mortero	$f'c$ (kg/cm ²)
AN	119.49
AN	117.01
AN	121.13
ACR	152.22
ACR	149.74
ACR	153.86
ACR-T	125.04
ACR-T	122.56
ACR-T	126.68

La tabla 39 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 40

ANOVA para $f'c$ a los 7 días

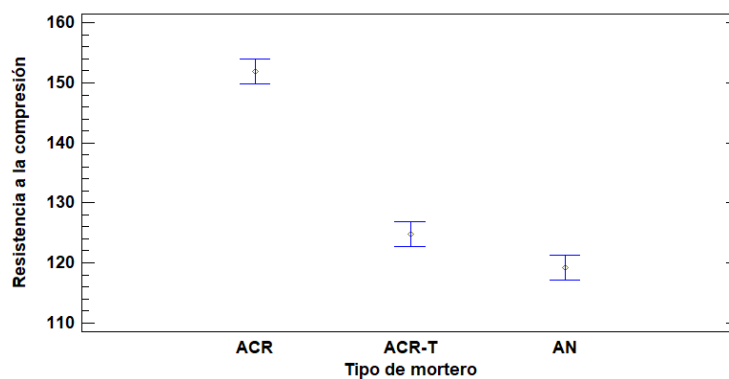
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1840.81	2	920.404	213.93	0.0000
Intra grupos	25.8144	6	4.3024		
Total (Corr.)	1866.62	8			

La tabla 40 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la $f'c$ a los 7 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 213.93, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media de $f'c$ por nivel de tipo de mortero.

Figura 20

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 7 días



La figura 20 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la compresión a los 7 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR tuvo la mayor resistencia a la compresión, teniendo una diferencia bastante notable con respecto al mortero con AN y el mortero con ACR-T, los cuales tienen valores de resistencia que difieren en mínima cantidad, siendo el mortero de AN el de menor resistencia a la compresión.

✓ *Procesamiento de datos a los 14 días de curado*

Tabla 41

Datos de entrada para la $f'c$ a los 14 días de curado

Tipo de mortero	$f'c$ (kg/cm ²)
-----------------	-----------------------------

AN	158.89
AN	156.41
AN	160.53
ACR	207.97
ACR	205.49
ACR	209.61
ACR-T	205.80
ACR-T	203.32
ACR-T	207.44

La tabla 41 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 42

ANOVA para f'c a los 14 días

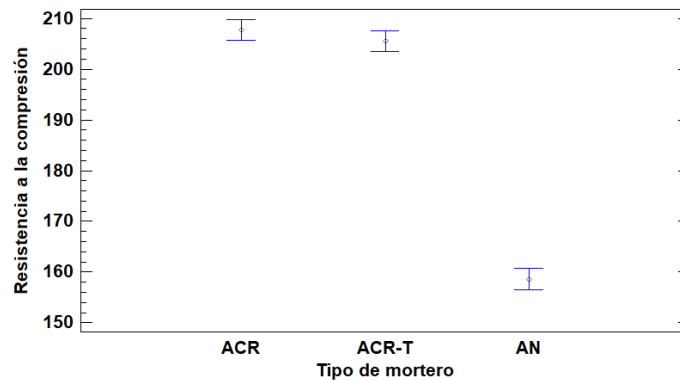
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4614.1	2	2307.05	536.22	0.0000
Intra grupos	25.8144	6	4.3024		
Total (Corr.)	4639.92	8			

La tabla 42 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la f'c a los 14 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 536.22, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media del f'c por nivel de tipo de mortero.

Figura 21

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 14 días



La figura 21 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la compresión a los 14 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR tuvo la mayor resistencia a la compresión, teniendo una diferencia mínima con respecto al mortero con ACR-T, ambos morteros difieren en una cantidad considerable con respecto al AN, quien posee la menor resistencia a la compresión.

✓ *Procesamiento de datos a los 28 días de curado*

Tabla 43

Datos de entrada para la $f'c$ a los 28 días de curado

Tipo de mortero	$f'c$ (kg/cm ²)
AN	176.30
AN	173.82
AN	177.94
ACR	239.12
ACR	236.64
ACR	240.76
ACR-T	223.14
ACR-T	220.66
ACR-T	224.78

La tabla 43 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 44

ANOVA para $f'c$ a los 28 días

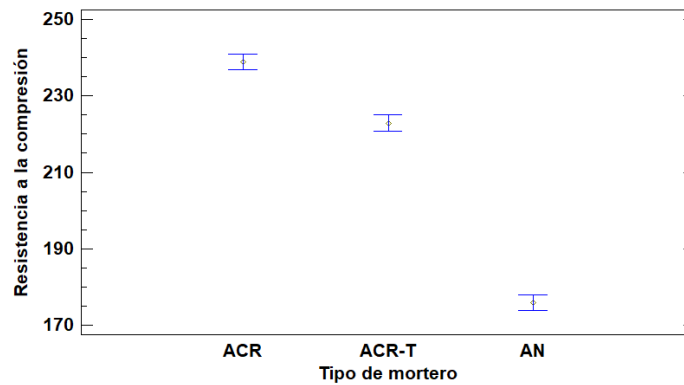
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6395.7	2	3197.85	743.27	0.0000
Intra grupos	25.8144	6	4.3024		
Total (Corr.)	6421.51	8			

La tabla 44 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la $f'c$ a los 28 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 743.27, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media del $f'c$ por nivel de tipo de mortero.

Figura 22

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f'c$ a los 28 días



La figura 22 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR tuvo la mayor resistencia a la compresión, teniendo una diferencia notable con respecto al mortero con ACR-T, quien a su vez difiere en gran cantidad con el mortero con AN, siendo este último el que posee la menor resistencia a la compresión.

b. Resistencia a la flexión

✓ *Procesamiento de datos a los 7 días de curado*

Tabla 45

Datos de entrada para la $f't$ a los 7 días de curado

Tipo de mortero	$f't$ (kg/cm²)
AN	24.11
AN	23.24
AN	25.99
ACR	39.34
ACR	38.49
ACR	41.23
ACR-T	34.30
ACR-T	33.45
ACR-T	36.18

La tabla 45 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 46

ANOVA para $f't$ a los 7 días

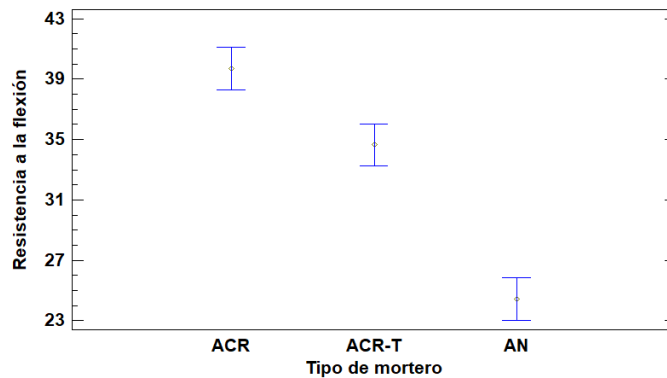
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	361.665	2	180.832	92.04	0.0000
Intra grupos	11.7886	6	1.96477		

La tabla 46 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la flexión a los 7 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la $f't$ a los 7 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 92.04, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media del $f't$ por nivel de tipo de mortero.

Figura 23

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 7 días



La figura 23 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la flexión a los 7 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR tuvo la mayor resistencia a la flexión, teniendo una diferencia notable con respecto al mortero con ACR-T, quien a su vez difiere en gran cantidad con el mortero de AN, siendo este último el que posee la menor resistencia a la flexión.

✓ *Procesamiento de datos a los 14 días de curado*

Tabla 47*Datos de entrada para la $f't$ a los 14 días de curado por tipo de mortero*

Tipo de mortero	$f't$ (kg/cm²)
AN	43.03
AN	42.17
AN	44.90
ACR	40.42
ACR	39.57
ACR	42.30
ACR-T	43.41
ACR-T	42.56
ACR-T	45.30

La tabla 47 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 48*ANOVA para $f't$ a los 14 días*

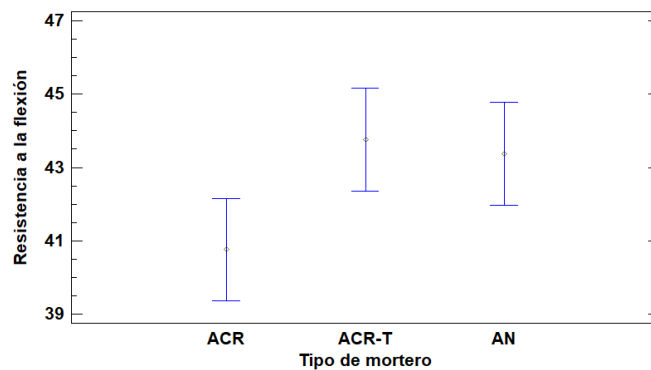
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15.8895	2	7.94474	4.06	0.0766
Intra grupos	11.7338	6	1.95563		
Total (Corr.)	27.6233	8			

La tabla 48 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la flexión a los 14 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la $f't$ a los 14 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 4.06, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es mayor a 0.05, no ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media del $f't$ por nivel de tipo de mortero.

Figura 24

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 14 días



La figura 24 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la flexión a los 14 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR-T tuvo la mayor resistencia a la flexión, teniendo una diferencia mínima con respecto al mortero de AN, quien a su vez difiere en mínima cantidad con el mortero de ACR, siendo este último quien posee la menor resistencia a la flexión.

✓ *Procesamiento de datos a los 28 días de curado*

Tabla 49

Datos de entrada para la $f't$ a los 28 días de curado

Tipo de mortero	$f't$ (kg/cm ²)
AN	44.47
AN	43.63
AN	46.36
ACR	41.56
ACR	40.71
ACR	43.46
ACR-T	56.72
ACR-T	55.85
ACR-T	58.59

La tabla 49 describe los valores resultantes de cada muestra del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días de curado; agrupados por tipo de mortero, los cuales fueron usados como datos de entrada para el ANOVA.

Tabla 50

ANOVA para $f't$ a los 28 días

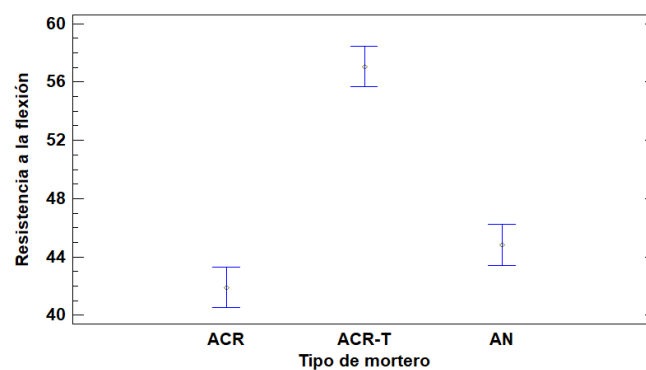
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	387.443	2	193.722	98.54	0.0000
Intra grupos	11.7957	6	1.96594		
Total (Corr.)	399.239	8			

La tabla 50 contiene los resultados del ANOVA para los datos de entrada de la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, mostrados en la tabla anterior.

La tabla indica la disipación de la varianza de la $f't$ a los 28 días en dos fuentes: una entre los grupos y otra dentro de los mismos. La razón-F, que es igual a 98.54, es el cociente de la suma entre los grupos en cuestión. Debido a que la diferencia de valor-P de la prueba-F es mayor a 0.05, no ocurre una diferencia estadísticamente simbólica entre la media del $f't$ por nivel de tipo de mortero.

Figura 25

Medias y 95% de Fisher LSD para la $f't$ a los 28 días



La figura 25 muestra la comparación de los valores promedio de resistencia a la flexión a los 14 días de curado, para los tres tipos de mortero ensayados.

En el gráfico, se observa que el mortero con ACR-T tuvo la mayor resistencia a la flexión, teniendo una diferencia notable con respecto al mortero con ACR y al mortero con AN, estos últimos difieren en mínima cantidad y dentro de ambos el mortero de ACR posee la menor resistencia a la flexión.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Asentamiento

Según el ensayo de asentamiento por el cono de Abrams realizado a los tres tipos de morteros estudiados, se observó que el mortero con ACR-T necesita mayor cantidad de agua para adquirir una consistencia plástica, mientras que el mortero con AN requiere menor cantidad, esto debido principalmente al alto porcentaje de absorción que posee los áridos reciclados, los cuales incluso aumentan más con el TQC. Con esto se difiere de la investigación de Wang et al. (2019), quienes concluyeron que el tratamiento con DAP disminuye significativamente el porcentaje de absorción de los ACR, ya que las partículas de mortero adheridas a los agregados se ven reforzadas por el TQC, menorando con ello la porosidad del material. Por lo estudiado en laboratorio, la razón de la diferencia de resultados entre el antecedente anteriormente citado y la presente investigación, es el tipo de material estudiado; dado que Wang et al. (2019) estudiaron el tratamiento en un agregado grueso para concreto, mientras que la presente investigación lo estudia en agregado fino para mortero. Como bien se sabe ambos tipos de materiales tienen una diferencia marcada de diámetro, lo cual causó que en el agregado grueso luego del chancado quede partículas adheridas de mortero reciclado, mientras que en el agregado fino este porcentaje de partículas adheridas fueron bastantes bajas, menorando incluso más luego del lavado post tratamiento.

4.2. Peso unitario

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario se observó que el mortero con ACR-T tiene un valor de 2072.46 kg/m^3 , el cual es mucho mayor que el mortero con ACR que tiene un valor de 2013.04 kg/m^3 , pero a su vez menor que el mortero con AN el cual tiene un valor de 2098.19 kg/m^3 ; de los siguientes resultados se puede afirmar que el TQC del árido reciclado mejora la uniformidad de la mezcla de mortero por lo que permite mayor cantidad de masa dentro de un determinado volumen. Por lo expuesto, se concuerda con la investigación realizada por Melo et al. (2020), quienes en su investigación demostraron que el mortero con árido de concreto reciclado tiene una menor homogeneidad entre sus componentes, ya que el árido no cumplen los parámetros granulométricos, produciendo con ello mayor porcentaje de vacíos y por ende un peso unitario mucho menor que un árido natural.

4.3. Resistencia mecánica a la compresión

Según los resultados obtenidos del ensayo en laboratorio se puede afirmar que la resistencia mecánica a la compresión del mortero con ACR-T es 6.69% menor que el mortero con ACR. Con esto se difiere de lo planteado por Wang et al. (2019), quienes son los únicos que al día de hoy han investigado el efecto del DAP en los agregados reciclados, concluyendo en su investigación que con una cantidad de 2mol/l de DAP y un periodo de tratado de 14 días, la resistencia a compresión es 19% mayor con respecto al árido reciclado sin tratar. Esta diferencia de resultados entre las investigaciones citadas, se debe principalmente al diámetro de material utilizado, ya que ellos utilizaron este método en agregados reciclados gruesos (grava), los cuales por su tamaño son más fáciles de tratar y al momento de lavado no se pierde material porque los mismos tienen un diámetro mucho más trabajable; caso contrario sucede en los áridos reciclados finos (arena) ya que tienen diámetros inferiores a la malla N°4, ello dificulta el TQC y el posterior lavado.

Por otro lado, el lavado del material reciclado fino, elimina toda la parte de mortero viejo adherido a las partículas de piedra utilizada y además reduce la gran cantidad de finos pasantes de la malla N°200, produciendo con ello un efecto bastante favorable para la propiedad a la que se encuentra sometida toda su vida útil el mortero de albañilería, la cual es la resistencia a la compresión. Los resultados de laboratorio demuestran que el mortero con ACR alcanza una resistencia de 21.02% mayor que la del mortero con AN, este resultado difiere del estudio realizado por Clemente (2017) quien en su investigación concluye que la sustitución de un 50% de árido natural por árido de concreto reciclado dentro de la mezcla, produce un mortero con resistencias mayores a las de un mortero convencional y que la sustitución total (que es la que hemos realizado) no supera las resistencias alcanzadas por mortero convencional. A partir de lo anterior mencionado queda demostrado con la presente investigación que el lavado del árido es la clave para producir un mortero 100% de ACR, el cual supera la resistencia a la compresión que alcanza el mortero de arena natural.

4.4. Resistencia mecánica a la flexión

Según los ensayos obtenidos de laboratorio se puede testificar que la resistencia a flexión del mortero con ACR-T es 26.55% mayor que la resistencia alcanzada por el mortero con ACR, demostrando con ello que el TQC funciona para esta propiedad, sin embargo, en el caso de albañilería los esfuerzos producidos en los muros son principalmente de compresión, claro sin dejar de lado una parte de flexión. Sin embargo, al no cumplir en la parte de compresión, el mortero con ACR-T no se podría usar en muros de albañilería, ya que no garantizaría la seguridad de la edificación. Por otro lado, los resultados demostraron que el mortero con ACR tiene un valor de 6.49% menor que las resistencias alcanzadas por el mortero convencional, concordando con lo planteado por Clemente (2017) quien en su estudio concluyó que con una sustitución de 25% y 50% del agregado natural por el reciclado, el mortero con ACR adquiere las resistencias a la flexión más altas, mientras que con una sustitución total (que es lo que hemos estudiado) las resistencias alcanzadas por este mortero son mucho menores que las del convencional.

V. CONCLUSIONES

- ✓ En el TQC del ACR, se observó que el Fosfato Diamónico (DAP) no es completamente soluble al agua. También se pudo apreciar que el tratamiento produjo un re - fraguado de las partículas de cemento desprendidas del material reciclado, pudiéndose observar adherencia de casi todas las partículas. En el tercer día del TQC del ACR, ocasionó un olor a putrefacto, prevaleciendo incluso luego de que el material fue lavado y secado.
- ✓ Las propiedades de peso unitario suelto y peso unitario compactado del ACR es menor que el AN y menora aún más con el TQC. En cuanto al peso específico el AN tiene un valor promedio en relación con el ACR y ACR-T, siendo un 1.89% mayor el ACR-T sobre el ACR. Con respecto al porcentaje de absorción, se evidenció en el ACR-T un valor de 3.03% mayor que el ACR. Finalmente, en cuanto al análisis granulométrico el AN es el único que cumple las restricciones (porcentaje pasante y módulo de finura) impuestas por la norma E.070 de albañilería, mientras que los áridos reciclados no lo cumplen; sin embargo, pese a ello se obtuvo características mecánicas óptimas.
- ✓ Se realizó un solo diseño de mezcla cuyas proporciones en volumen fueron 1:3.5:0.72, para una resistencia a los 28 días de 175kg/cm². Por otro lado, durante la corrección de agua en laboratorio se apreció que el mortero con ACR-T, necesitó una mayor cantidad de agua para adquirir una mezcla plástica con respecto al mortero con ACR; mientras que el mortero con AN necesitó la menor cantidad de agua, mostrando con ello un comportamiento convencional.
- ✓ Los asentamientos de los morteros estudiados fueron bastantes similares. En cuanto al peso unitario, el mortero con AN tuvo un mayor acomodo de sus partículas con un valor 4.06% mayor que el mortero con ACR y 1.23% mayor que el mortero con ACR-T. Con respecto a la resistencia a la compresión, el mortero de ACR tuvo mayor resistencia en todas las edades; a los 28 días alcanzó los 238.84 kg/cm², siendo un 6.69% mayor que el mortero de ACR-T e incluso superando al mortero de AN en un 21.02%, lo que significa que el TQC no mejoró la resistencia a la compresión del mortero de ACR, sin embargo ambos tipos de mortero de material reciclado superan las resistencias alcanzadas por el mortero con AN. Finalmente, en la resistencia a la flexión se tuvo un comportamiento

discontinuo, ya que a los 7 días el mayor valor lo tenía el mortero de ACR, pero a los 28 días el ACR-T lo superó con un valor de 57.06 kg/cm², siendo 26.55% mayor que el mortero de ACR y 21.45% mayor que el mortero de AN; concluyendo que el TQC mejora la resistencia a la flexión del mortero con ACR, e incluso supera al mortero de AN en un porcentaje considerable.

VI. RECOMENDACIONES

- Ejecutar los ensayos con las medidas de calidad y seguridad apropiados, para poder obtener resultados confiables.
- Para futuras investigaciones se recomienda analizar el DAP en el tratamiento del agregado grueso usado para la elaboración del grout o concreto líquido, debido a que es mucho más fácil la trabajabilidad con un ACR de mayor diámetro.
- Se recomienda estudiar más el uso del ACR lavado (sin partículas de finos) como árido alternativo para el mortero, grout o concreto. Debido a los resultados obtenidos en la presente investigación.
- Usar los equipos de protección personal correspondientes dentro del laboratorio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Clemente, J. (2017). *Estudio de mortero reciclado*. Lima: UNI.

Diotti, A., Perez, A., Piccinali, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2020). Chemical and Leaching Behavior of Construction and Demolition Wastes and Recycled Aggregates. *Sustainability*, 12(24), 10326. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/su122410326>

Gerges, N., Issa, C. A., Antoun, M., Sleiman, E., Hallal, F., & Shamoun, P. (2021). Eco-friendly mortar: Optimum combination of wood ash, crumb rubber, and fine crushed glass. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00588. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00588>

Huamani, M. A., & Solis, S. (2020). Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio - diciembre 2020. *Repositorio Universidad Continental*.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2017). *CEMENTOS. Cemento para mortero. Requisitos (NTP 334.147)*. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). *CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento Pórtland (NTP 334.005)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). *CEMENTOS. Método de ensayo para exudación de pastas de cemento y morteros (NTP 334.121)*. (Segunda ed.). Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Agregados para mortero de albañilería. Requisitos (NTP 399.607)*. (Segunda ed.). Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2019). *CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la contracción por secado del mortero que contiene cemento Pórtland (NTP 334.115)*. (Tercera ed.). Lima.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2019). *CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland (NTP 334.057)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.

- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo (NTP 400.012)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo (NTP 400.022)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 78 um (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo (NTP 400.037)*. (Cuarta ed.). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo (NTP 339.185)*. (Tercera ed.). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *CEMENTOS. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado. Método de ensayo (NTP 334.051)*. (Séptima ed.). Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL); UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. (2003). *Especificación normalizada para morteros (NTP 399.610)* (1 ed.). Lima, Perú.
- Islam, R., Hassan, T., Yuniarto, A., Shanawaz, A. S., Salmiati, S., & Shaid, S. (2019). An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, 95, 10-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>
- Kim, H.-S., Kim, B., Kim, K.-S., & Kim, J.-M. (2017). Quality improvement of recycled aggregates using the acid treatment method and the strength characteristics of the resulting mortar. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(2), 968-976. doi:[10.1007/s10163-016-0497-9](https://doi.org/10.1007/s10163-016-0497-9)
- Li, P., Zhang, D., Wei, D., Xiong, J., & Li, J. (2020). Effect of Chemical Enhancing-Technology on the Properties of Recycled Aggregate. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 8875348. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/8875348>
- Li, Y., Zhou, H., Su, L., Hou, H., & Dang, L. (2017). Investigation into the Application of Construction and Demolition Waste in Urban Roads. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 9510212. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/9510212>
- Martinez-García, R., Sánchez, M. I., Morán-del Pozo, J. M., Fraile-Fernández, F. J., & Juan-Valdés, A. (2021). Evaluation of Mechanical Characteristics of Cement Mortar with Fine Recycled Concrete Aggregates (FRCA). *sustainability*, 13(1), 414. doi:<https://doi.org/10.3390/su13010414>

- Melo, T., Rosse, L., Rodrigues, N., & Toledo, R. D. (2020). An Experimental and Environmental Evaluation of Mortars with Recycled Demolition Waste from a Hospital Implosion in Rio de Janeiro. *sustainability*, *12*(21), 8945. doi:<https://doi.org/10.3390/su12218945>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2017). *Manual de ensayos de materiales (MTC/14)*. Lima, Perú.
- Morón, A., Ferrández, D., Saiz, P., & Morón, C. (2021). Experimental Study with Cement Mortars Made with Recycled Concrete Aggregate and Reinforced with Aramid Fibers. *applied sciences*, *11*(17), 7791. doi:<https://doi.org/10.3390/app11177791>
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)* (Décima ed.). (2019). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rondinel-Oviedo, D. R. (2021). Construction and demolition waste management in developing countries: a diagnosis from 265 construction sites in the Lima Metropolitan Area. *International Journal of Construction Management*, *15*(62), 3599. doi:<https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1874677>
- Wang, L., Wang, J., Xu, Y., Cui, L., Qian, X., Chen, P., & Fang, Y. (2019). Consolidating recycled concrete aggregates using phosphate solution. *Construction and Building Materials*, *200*, 703-712. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.129>

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo 1: Panel fotográfico

Figura 26

Obtención del árido de concreto reciclado (ACR)



Nota: La imagen de la izquierda muestra el transporte de los testigos de concreto reciclado hacia la chancadora para su posterior triturado. La imagen de la derecha muestra el recojo del material resultante de la trituración de los testigos o probetas de concreto.

Figura 27

Triturado manual y zarandeo del ACR obtenido de la planta chancadora



Nota: La imagen de la izquierda muestra el triturado manual de los granos gruesos del material obtenido de la chancadora. La imagen de la derecha muestra el zarandeo del material por un tamiz N°4 perteneciente a una arena gruesa según la RNE (2019).

Figura 28

Preparación del TQC con DAP del ACR



Nota: La imagen de la izquierda muestra el vertido del DAP en un recipiente de plástico para el TQC del ACR. La imagen de la derecha muestra vertido del ACR dentro del recipiente, que contiene una mezcla homogénea de DAP y agua destilada para su posterior tratamiento.

Figura 29

Ejecución del ensayo granulométrico, peso específico y absorción



Nota: La imagen de la izquierda muestra el movimiento manual de los tamices para la ejecución del ensayo de granulometría. La imagen de la derecha muestra el pesaje de la fiola, con ACR y agua para la ejecución del ensayo de peso específico y absorción.

Figura 30

Ejecución del ensayo de peso unitario, peso específico y malla #200



Nota: La imagen de la izquierda muestra el varillado del ACR en la primera capa para la ejecución del ensayo de peso unitario compactado. La imagen de la derecha muestra la colocación del ACR lavado al horno para la ejecución del ensayo de humedad y malla #200.

Figura 31

Ejecución del ensayo de consistencia en el cono de Abrams



Nota: La imagen de la izquierda muestra la compactación con la varilla metálica de la última capa de mortero mediante 25 golpes dentro del cono de abrams, también se puede

apreciar la fijación del cono con los pies. La imagen de la derecha muestra la medición del asentamiento de la muestra.

Figura 32

Ejecución del ensayo de peso unitario compactado del mortero



Nota: La imagen de la izquierda muestra la compactación con varilla metálica de la segunda capa de mortero mediante 25 golpes dentro de un molde metálico de 920 cm³. La imagen de la derecha muestra el pesaje de la muestra más el recipiente en una balanza con aproximación de 0.1gr.

Figura 33

Moldeo y desmoldeo de las muestras de mortero



Nota: La imagen de la izquierda muestra el mortero ya compactado y enrasado dentro de los moldes de madera con las medidas especificadas en los procedimientos respectivos. La imagen de la derecha muestra el desmoldeo de los testigos de mortero, luego de las 24 horas de fraguado.

Figura 34

Ejecución del ensayo de resistencia a la compresión



Nota: La imagen de la izquierda muestra el acomodo del testigo cúbico de mortero antes de realizar el ensayo en la máquina de compresión Forney TA-0101. La imagen de la derecha muestra la falla producida en el testigo cúbico de mortero, luego de realizado el ensayo.

Figura 35

Ejecución del ensayo de resistencia a la flexión



Nota: La imagen de la izquierda muestra el acomodo del testigo prismático de mortero antes de realizar el ensayo en la máquina de compresión Forney TA-0101. La imagen de la derecha muestra la falla producida en el testigo prismático de mortero, luego de realizado el ensayo.

8.2. Anexo 2: Diseños de mezcla

DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON ÁRIDO NATURAL

1. Parámetros de Entrada

	Arena	Cemento
P.U.S. (gr/cm ³)	1502.15	-
P.E.A. (gr/cm ³)	2615.29	3120
Humedad (%)	0.19	-
Absorción (%)	1.62	-

2. Relación Agua/Cemento (Figura 2)

A/C 0.72

3. Proporciones en volumen (Tabla 13)

Cemento 1
Arena 3.5

4. Pesos para una bolsa de cemento

P bolsa = 42.5
Arena = 148.88 kg
Agua = 30.60 lt
Aire = 2.00%

5. Rendimiento de mezcla

Cemento = 0.01362179 m³
Arena = 0.05692538 m³
Agua = 0.0306 m³
Sub Total = 0.10114718 m³
Aire = 0.00202294 m³
Total = 0.10317012 m³

6. Cantidades en peso

Cemento = 411.94 kg
Arena = 1443.02 kg
Agua = 296.60 lt
Aire = 2.00%

7. Corrección por humedad y absorción

Arena = 1445.76 kg
Agua = 317.23 lt

8. Proporciones finales

Material	Volumen	Peso
Cemento	1	1
Arena	3.5	3.51
Agua	0.720	0.770

DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON ÁRIDO RECICLADO SIN TRATAMIENTO

1. Parámetros de Entrada

	Arena	Cemento
P.U.S. (gr/cm ³)	1356.4	-
P.E.A. (gr/cm ³)	2598.25	3120
Humedad (%)	4.99	-
Absorción (%)	7.44	-

2. Relación Agua/Cemento (Figura 2)

A/C 0.72

3. Proporciones en volumen (Tabla 13)

Cemento 1
Arena 3.5

4. Pesos para una bolsa de cemento

P bolsa = 42.5
Arena = 134.43 kg
Agua = 30.60 lt
Aire = 2.00%

5. Rendimiento de mezcla

Cemento = 0.01362179 m³
Arena = 0.05173916 m³
Agua = 0.0306 m³

Sub Total = 0.09596095 m³
Aire = 0.00191922 m³

Total = 0.09788017 m³

6. Cantidades en peso

Cemento = 434.20 kg
Arena = 1373.43 kg
Agua = 312.63 lt
Aire = 2.00%

7. Corrección por humedad y absorción

Arena = 1441.96 kg
Agua = 346.28 lt

8. Proporciones finales

Material	Volumen	Peso
Cemento	1	1
Arena	3.5	3.32
Agua	0.720	0.797

DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON ÁRIDO RECICLADO CON TRATAMIENTO

1. Parámetros de Entrada

	Arena	Cemento
P.U.S. (gr/cm ³)	1286.87	-
P.E.A. (gr/cm ³)	2620.95	3120
Humedad (%)	6.55	-
Absorción (%)	10.67	-

2. Relación Agua/Cemento (Figura 2)

A/C 0.72

3. Proporciones en volumen (Tabla 13)

Cemento 1
Arena 3.5

4. Pesos para una bolsa de cemento

P bolsa = 42.5
Arena = 127.54 kg
Agua = 30.60 lt
Aire = 2.00%

5. Rendimiento de mezcla

Cemento = 0.01362179 m³
Arena = 0.04866183 m³
Agua = 0.0306 m³

Sub Total = 0.09288363 m³
Aire = 0.00185767 m³

Total = 0.0947413 m³

6. Cantidades en peso

Cemento = 448.59 kg
Arena = 1346.19 kg
Agua = 322.98 lt
Aire = 2.00%

7. Corrección por humedad y absorción

Arena = 1434.37 kg
Agua = 378.45 lt

8. Proporciones finales

Material	Volumen	Peso
Cemento	1	1
Arena	3.5	3.20
Agua	0.720	0.844

8.3. Anexo 3: Resultados de laboratorio de la caracterización física de los tres tipos de agregados estudiados



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**

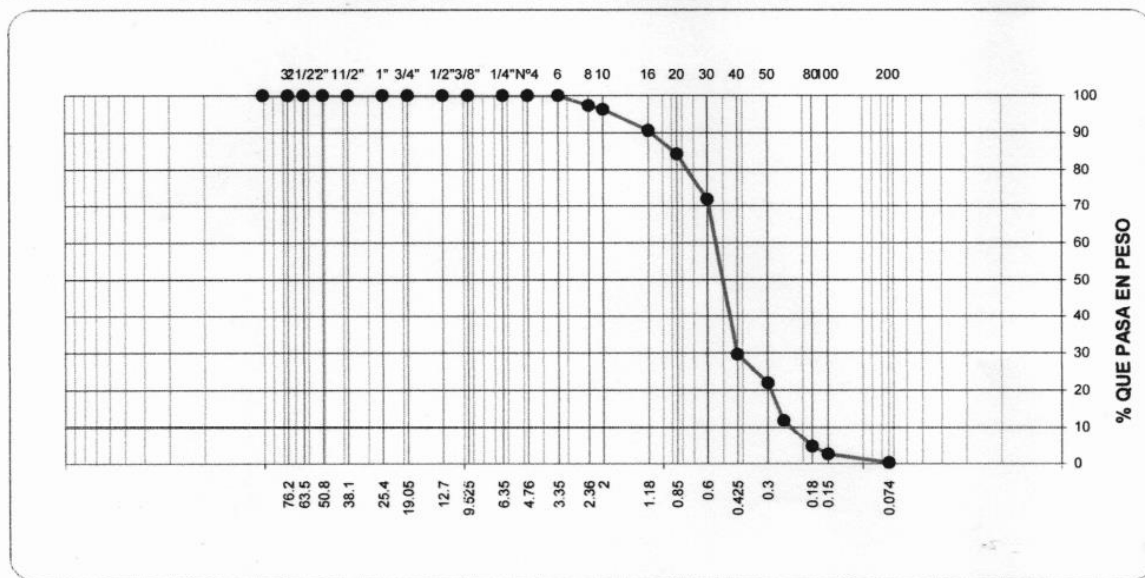


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E-204 / NTP 400.012 - 2021

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa Natural	FECHA:	20/09/2022

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Material sin Especificación	Descripción	
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00	-	1. Peso de Material	
3"	76.200	0	0.00	0.00	100.00	-		Peso inicial Total (gr) <u>3000.00</u>
2 1/2"	63.500	0	0.00	0.00	100.00	-	Peso de Muestra Lavada <u>2992.80</u>	
2"	50.800	0	0.00	0.00	100.00	-	2. Características	
1 1/2"	381.000	0	0.00	0.00	100.00	-		Tamaño Máximo <u>N°6</u>
1"	25.400	0	0.00	0.00	100.00	-		Tamaño Máximo Nominal <u>N°16</u>
3/4"	19.050	0	0.00	0.00	100.00	-		Grava (%) <u>0</u>
1/2"	12.700	0	0.00	0.00	100.00	-		Arena (%) <u>99.76</u>
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00	-		Finos (%) <u>0.24</u>
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00	-		Módulo de Fineza (%) <u>2.16</u>
N°4	4.760	0	0.00	0.00	100.00	-		
N°6	3.350	0	0.00	0.00	100.00	-		
N°8	2.360	79.50	2.65	2.65	97.35	-		3. Clasificación
N°10	2.000	33.00	1.10	3.75	96.25	-	Límite Líquido (%) <u>-</u>	
N°16	1.180	169.60	5.65	9.40	90.60	-	Límite Plástico (%) <u>-</u>	
N°20	0.850	188.90	6.30	15.70	84.30	-	Índice de Plasticidad (%) <u>-</u>	
N°30	0.600	373.20	12.44	28.14	71.86	-	Clasificación SUCS <u>-</u>	
N°40	0.425	1265.60	42.19	70.33	29.67	-	Clasificación AASHTO <u>-</u>	
N°50	0.300	229.50	7.65	77.98	22.02	-		
N°60	0.250	307.30	10.24	88.22	11.78	-		
N°80	0.180	213.10	7.10	95.32	4.68	-	4. Observaciones (Fuente de Normalización)	
N°100	0.150	62.40	2.08	97.40	2.60	-		
N°200	0.074	70.70	2.36	99.76	0.24	-		Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013)
Pasante		7.20	0.24	100.00	0.00	-		



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

MTC E 206			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa Natural	FECHA:	21/09/2022

Ensayo N°:	DATOS		Ensayos	01		02	
	1	2		#Fiola	1	2	1
Frasco N°:	1	2					
Peso de la Fiola Seca y Limpia (gr)	200.94	205.37	A Peso de la muestra SSS	500	500		
(A) Peso de Arena en Condición SSS (gr)	500	500	b Peso de la Fiola Seca y Limpia	200.94	205.37		
Peso de la Fiola + Arena + El Agua (gr)	1003.7	1010.4	R Peso Fiola + Material + H2O	1003.74	1010.36		
(B) Peso Seco de la Arena	491.93	492.15	C Peso Material Seco + Tara (A)	722.13	712.80		
Gravedad Específica de la Arena	2.60	2.63	D Peso Tara - Metal	230.20	220.65		
Gravedad Específica Promedio	2.62		(F) H2O Añadida al Frasco (W)	302.80	304.99		
Porcentaje de Absorción	1.64	1.60	W = R - (A + b)				
Porcentaje de Absorción Promedio	1.62		(G) Volumen de la Fiola (V)	500	500		

1. **GEC** : Gravedad Específica Corriente
 2. **GESSS** : Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca
 3. **GEA** : Gravedad Específica Aparente

CÁLCULO		ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
1. $GEC = B / (G - F)$	=	2.49	2.52
2. $GESSS = A / (G - F)$	=	2.54	2.56
3. $GEA = B / [(G - F) - (A - B)]$	=	2.60	2.63
4. $Absorción\% = [(A - B) / B] * 100$	=	1.64	1.60

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa Natural	FECHA	22/09/2022
PESO UNITARIO SIN COMPACTAR			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	9187	9186	9185
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	3148	3147	3146
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.50	1.50	1.50
Peso Unitario en kg/m ³	1502.63	1502.15	1501.67
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1502.15		
$\text{PROMEDIO P.U.S.} = \frac{\text{P.U.S. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{4506.44}{3} = 1502.15$			
A CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	DATOS		
1 DIÁMETRO DEL MOLDE	15		
2 ALTURA DE MOLDE	11.86		
3 PESO DEL MOLDE	6039		
4 ÁREA DEL MOLDE	176.71		
5 VOLUMEN DEL MOLDE	2095		
PESO UNITARIO APESINODADO DEL AGREGADO			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	9435	9441	9434
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	3396	3402	3395
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.62	1.62	1.62
Peso Unitario en kg/m ³	1621.00	1623.87	1620.53
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1621.80		
$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{4865.39}{3} = 1621.80$			

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 399.185 - 2021 / ASTM D-2216

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"	
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez	
MATERIAL :	Arena Gruesa Natural	FECHA 23/09/2022

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		75	75
Peso de la Muestra Húmeda + Peso Tara (A)	gr	2196.63	2100.62
Peso de la Muestra Seca + Peso Tara (B)	gr	2193.63	2098.12
Peso de Agua (C)	gr	3	2.5
Peso de Recipiente (D)	gr	669	669
Peso de Suelo Seco (E)	gr	1524.63	1429.12
Contenido de Humedad (F)	%	0.20	0.17
PROMEDIO		0.19	

FÓRMULA

- 1.- A - B = C
- 2.- B - D = E
- 3.- $\frac{C \times 100}{E} = F$

MATERIAL :	Arena Gruesa Natural	FECHA 23/09/2022
-------------------	----------------------	-------------------------

MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ (N° 200)

(MTC E - 202 / ASTM C - 117 / AASHTO T - 11 / NTP 400.018 - 2020

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		73	73
(B) Peso Original de la Muestra Seca + Tara (gr)		3664.3	3500.0
(C) Peso de la Muestra Seca, después del Lavado + Tara (gr)		3654.0	3489.7000
Peso del Material Pasante		10.3	10.3
Peso del Recipiente		668	668
(D) Peso Original de la Muestra Seca		2996.3	2832.0
(A) % de la Malla 200		0.34	0.36
PROMEDIO		0.35	

FÓRMULA

- 1.- $A = \frac{B - C}{D} \times 100$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**

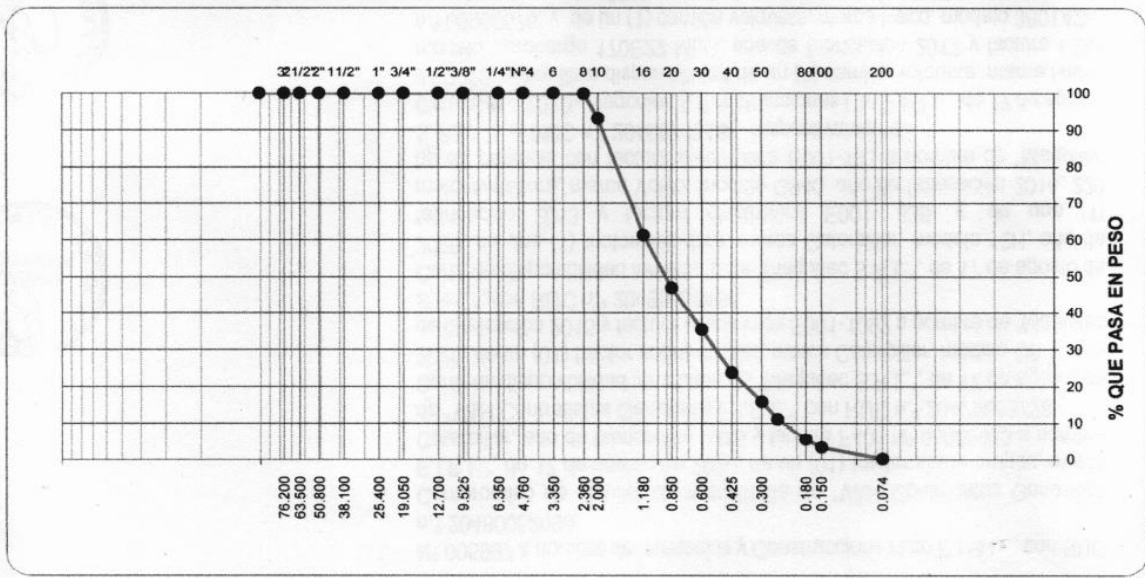


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E-204 / NTP 400.012 - 2021

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado sin Tratamiento	FECHA:	20/09/2022

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Material sin Especificación	Descripción		
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00	-	1. Peso de Material		
3"	76.200	0	0.00	0.00	100.00	-		Peso inicial Total (gr) 2566.60	
2 1/2"	63.500	0	0.00	0.00	100.00	-	Peso de Muestra Lavada 2562.42		
2"	50.800	0	0.00	0.00	100.00	-	2. Características		
1 1/2"	381.000	0	0.00	0.00	100.00	-		Tamaño Máximo N°6	
1"	25.400	0	0.00	0.00	100.00	-		Tamaño Máximo Nominal N°10	
3/4"	19.050	0	0.00	0.00	100.00	-		Grava (%) 0	
1/2"	12.700	0	0.00	0.00	100.00	-		Arena (%) 99.84	
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00	-		Finos (%) 0.16	
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00	-		Módulo de Fineza (%) 2.84	
N°4	4.760	0	0.00	0.00	100.00	-		3. Clasificación	
N°6	3.350	0	0.00	0.00	100.00	-			Límite Líquido (%) -
N°8	2.360	2.36	0.09	0.09	99.91	-			Límite Plástico (%) -
N°10	2.000	174.41	6.80	6.89	93.11	-	Índice de Plasticidad (%) -		
N°16	1.180	816.19	31.80	38.69	61.31	-	Clasificación SUCS -		
N°20	0.850	367.01	14.30	52.99	47.01	-	Clasificación AASHTO -		
N°30	0.600	299.26	11.66	64.65	35.35	-	4. Observaciones (Fuente de Normalización)		
N°40	0.425	297.07	11.57	76.22	23.78	-			Manual de carreteras "Especificaciones
N°50	0.300	202.75	7.90	84.12	15.88	-			Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013)
N°60	0.250	123.15	4.80	88.92	11.08	-			
N°80	0.180	141.82	5.53	94.44	5.56	-			
N°100	0.150	56.89	2.22	96.66	3.34	-			
N°200	0.074	81.55	3.18	99.84	0.16	-			
Pasante		4.18	0.16	100.00	0.00	-			



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM
 Edgar Leonardo Ordoñez-Serván
 Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM
 Freddy Luis Gallardo Mejía
 Técnico en Laboratorio



DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

MTC E 206			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado sin Tratamiento	FECHA:	21/09/2022

Ensayo N°:	1		2		DATOS	Ensayos	01		02	
	1	2	1	2			#Fiola	1	2	1
Frasco N°:	1	2					1	2		
Peso de la Fiola Seca y Limpia (gr)	200.94	205.37			A Peso de la muestra SSS		500	500		
(A) Peso de Arena en Condición SSS (gr)	500	500			b Peso de la Fiola Seca y Limpia		200.94	205.37		
Peso de la Fiola + Arena + El Agua (gr)	987.82	991.01			R Peso Fiola + Material + H2O Añadida		987.82	991.01		
(B) Peso Seco de la Arena	463.81	466.99			C Peso Material Seco + Tara (A)		692.69	1134.7		
Gravedad Específica de la Arena	2.62	2.58			D Peso Tara - Metal		228.88	667.71		
Gravedad Específica Promedio	2.60				(F) H2O Añadida al Frasco (W)		286.88	285.64		
Porcentaje de Absorción	7.80	7.07			W = R - (A + b)					
Porcentaje de Absorción Promedio	7.44				(G) Volumen de la Fiola (V)		500	500		

- 1. GEC** : Gravedad Específica Corriente
- 2. GESSS** : Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca
- 3. GEA** : Gravedad Específica Aparente

CÁLCULO		ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
1. $GEC = B / (G - F)$	=	2.18	2.18
2. $GESSS = A / (G - F)$	=	2.35	2.33
3. $GEA = B / [(G - F) - (A - B)]$	=	2.62	2.58
4. $Absorción\% = [(A - B) / B] * 100$	=	7.80	7.07

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Edgar Leonardo Ordoñez Serván
 Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Freddy Luis Gallardo Meléndez
 Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado sin Tratamiento	FECHA	22/09/2022
PESO UNITARIO SIN COMPACTAR			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	8864	8881	8897
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	2825	2842	2858
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.35	1.36	1.36
Peso Unitario en kg/m ³	1348.45	1356.56	1364.20
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1356.40		
$\text{PROMEDIO P.U.S.} = \frac{\text{P.U.S. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{4069.21}{3} = 1356.40$			
A CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	DATOS		
1 DIÁMETRO DEL MOLDE	15		
2 ALTURA DE MOLDE	11.86		
3 PESO DEL MOLDE	6039		
4 ÁREA DEL MOLDE	176.71		
5 VOLUMEN DEL MOLDE	2095		
PESO UNITARIO APESINODADO DEL AGREGADO			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	9077	9080	9027
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	3038	3041	2988
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.45	1.45	1.43
Peso Unitario en kg/m ³	1450.12	1451.55	1426.25
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1442.64		
$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{4327.92}{3} = 1442.64$			

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 399.185 - 2021 / ASTM D-2216

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado sin Tratamiento	FECHA	23/09/2022

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		73	73
Peso de la Muestra Húmeda + Peso Tara (A)	gr	1662.93	1500
Peso de la Muestra Seca + Peso Tara (B)	gr	1615.32	1460.3
Peso de Agua (C)	gr	47.61	39.7
Peso de Recipiente (D)	gr	662.93	662.93
Peso de Suelo Seco (E)	gr	952.39	797.37
Contenido de Humedad (F)	%	5.00	4.98
PROMEDIO		4.99	

FÓRMULA

- 1.- A - B = C
- 2.- B - D = E
- 3.-
$$\frac{C \times 100}{E} = F$$

MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado sin Tratamiento	FECHA	23/09/2022
-------------------	--	--------------	------------

MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ (N° 200)

(MTC E - 202 / ASTM C - 117 / AASHTO T - 11 / NTP 400.018 - 2020)

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		19	19
(B) Peso Original de la Muestra Seca + Tara (gr)		3228.2	3000
(C) Peso de la Muestra Seca, después del Lavado + Tara (gr)		3225.02	2996.2
Peso del Material Pasante		3.18	3.8
Peso del Recipiente		661.6	662.6
(D) Peso Original de la Muestra Seca		2566.6	2337.4
(A) % de la Malla 200		0.12	0.16
PROMEDIO		0.14	

FÓRMULA

- 1.-
$$A = \frac{B - C}{D} \times 100$$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**

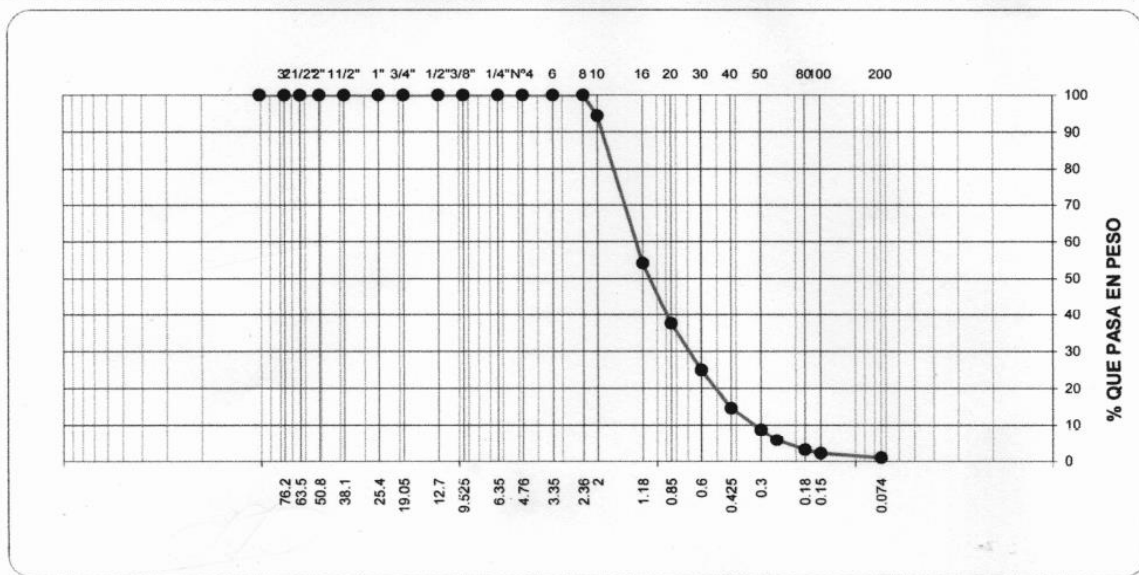


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E-204 / NTP 400.012 - 2021

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado con Tratamiento DAP	FECHA:	20/09/2022

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Material sin Especificación	Descripción
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00	-	1. Peso de Material
3"	76.200	0	0.00	0.00	100.00	-	Peso inicial Total (gr) <u>2837.87</u>
2 1/2"	63.500	0	0.00	0.00	100.00	-	Peso de Muestra Lavada <u>2810.81</u>
2"	50.800	0	0.00	0.00	100.00	-	
1 1/2"	381.000	0	0.00	0.00	100.00	-	2. Características
1"	25.400	0	0.00	0.00	100.00	-	Tamaño Máximo <u>Nº6</u>
3/4"	19.050	0	0.00	0.00	100.00	-	Tamaño Máximo Nominal <u>Nº10</u>
1/2"	12.700	0	0.00	0.00	100.00	-	Grava (%) <u>0</u>
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00	-	Arena (%) <u>99.05</u>
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00	-	Finos (%) <u>0.95</u>
Nº4	4.760	0	0.00	0.00	100.00	-	Módulo de Fineza (%) <u>3.10</u>
Nº6	3.350	0	0.00	0.00	100.00	-	
Nº8	2.360	0.10	0.00	0.00	100.00	-	3. Clasificación
Nº10	2.000	157.53	5.55	5.55	94.45	-	Limite Líquido (%) <u>-</u>
Nº16	1.180	1140.10	40.17	45.73	54.27	-	Limite Plástico (%) <u>-</u>
Nº20	0.850	472.64	16.65	62.38	37.62	-	Índice de Plasticidad (%) <u>-</u>
Nº30	0.600	360.04	12.69	75.07	24.93	-	Clasificación SUCS <u>-</u>
Nº40	0.425	292.89	10.32	85.39	14.61	-	Clasificación AASHTO <u>-</u>
Nº50	0.300	168.58	5.94	91.33	8.67	-	
Nº60	0.250	80.35	2.83	94.16	5.84	-	4. Observaciones (Fuente de Normalización)
Nº80	0.180	76.98	2.71	96.88	3.12	-	Manual de carreteras "Especificaciones
Nº100	0.150	27.11	0.96	97.83	2.17	-	Técnicas Generales para Construcción" (EG-
Nº200	0.074	34.49	1.22	99.05	0.95	-	2013)
Pasante		27.06	0.95	100.00	0.00	-	



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Edgar Leonardo Ordoñez Serván
 Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Freddy Luis Gallardo Meléndez
 Técnico en Laboratorio



DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

MTC E 206			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado con Tratamiento DAP	FECHA:	21/09/2022

	1		2		DATOS	Ensayos	01		02	
	1	2	1	2			#Fiola	1	2	
Ensayo N°:										
Frasco N°:	1	2								
Peso de la Fiola Seca y Limpia (gr)	195.08	219.99			A Peso de la muestra SSS		500	500		
(A) Peso de Arena en Condición SSS (gr)	500	500			b Peso de la Fiola Seca y Limpia		195.08	219.99		
Peso de la Fiola + Arena + El Agua (gr)	976.0	1001.4			R Peso Fiola + Material + H2O		975.98	1001.43		
(B) Peso Seco de la Arena	451.17	452.41			C Peso Material Seco + Tara (A)		673.19	675.41		
Gravedad Específica de la Arena	2.65	2.65			D Peso Tara - Metal		222.02	223.00		
Gravedad Específica Promedio	2.65				(F) H2O Añadida al Frasco (W)		280.90	281.44		
Porcentaje de Absorción	10.82	10.52			W = R - (A + b)					
Porcentaje de Absorción Promedio	10.67				(G) Volumen de la Fiola (V)		500	500		

1. **GEC** : Gravedad Específica Corriente
2. **GESSS** : Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca
3. **GEA** : Gravedad Específica Aparente

CÁLCULO		ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
1. GEC : $B / (G - F)$	=	2.06	2.07
2. GESSS : $A / (G - F)$	=	2.28	2.29
3. GEA : $B / [(G - F) - (A - B)]$	=	2.65	2.65
4. Absorción% $[(A - B) / B] * 100$	=	10.82	10.52

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017			
PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado con Tratamiento DAP	FECHA	22/09/2022
PESO UNITARIO SIN COMPACTAR			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	8725	8729	8721
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	2686	2690	2682
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.28	1.28	1.28
Peso Unitario en kg/m ³	1282.10	1284.01	1280.19
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1282.10		
$\text{PROMEDIO P.U.S.} = \frac{\text{P.U.S. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{3846.30}{3} = 1282.10$			
A CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	DATOS		
1 DIÁMETRO DEL MOLDE	15		
2 ALTURA DE MOLDE	11.86		
3 PESO DEL MOLDE	6039		
4 ÁREA DEL MOLDE	176.71		
5 VOLUMEN DEL MOLDE	2095		
PESO UNITARIO APESINODADO DEL AGREGADO			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde	8981	8972	8927
Peso del Molde	6039	6039	6039
Peso Neto del Material	2942	2933	2888
Volumen del Molde	2095	2095	2095
Peso Unitario en gr/cm ³	1.40	1.40	1.38
Peso Unitario en kg/m ³	1404.30	1400.00	1378.52
Promedio Peso Unitario en kg/m ³	1394.27		
$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{4182.82}{3} = 1394.27$			

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



CONTENIDO DE HUMEDAD

N.T.P. 399.185 - 2021 / ASTM D-2216

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"	
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez	
MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado con Tratamiento DAP	FECHA 23/09/2022

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		19	19
Peso de la Muestra Húmeda + Peso Tara (A)	gr	1660.63	1600
Peso de la Muestra Seca + Peso Tara (B)	gr	1598.95	1542.9
Peso de Agua (C)	gr	61.68	57.1
Peso de Recipiente (D)	gr	660.63	669
Peso de Suelo Seco (E)	gr	938.32	873.9
Contenido de Humedad (F)	%	6.57	6.53
PROMEDIO		6.55	

FÓRMULA

- 1.- $A - B = C$
- 2.- $B - D = E$
- 3.- $\frac{C \times 100}{E} = F$

MATERIAL :	Arena Gruesa de Concreto Reciclado con Tratamiento DAP	FECHA 23/09/2022
-------------------	--	-------------------------

MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ (N° 200)

(MTC E - 202 / ASTM C - 117 / AASHTO T - 11 / NTP 400.018 - 2020)

ENSAYO N°		1	2
N° Recipiente		27	27
(B) Peso Original de la Muestra Seca + Tara (gr)		3496.5	3000.0
(C) Peso de la Muestra Seca, después del Lavado + Tara (gr)		3469.6	2977.62
Peso del Material Pasante		26.94	22.38
Peso del Recipiente		658.63	668
Peso de la Muestra Seca Lavada		2810.9	2309.62
(A) % de la Malla 200		0.96	0.97
PROMEDIO		0.96	

FÓRMULA

- 1.- $A = \frac{B - C}{B} \times 100$

8.4. Anexo 4: Resultados de laboratorio de las propiedades físicas y mecánicas de los tres tipos de mortero estudiados



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



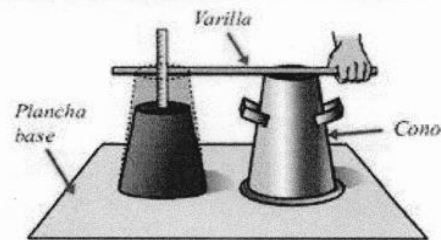
ENSAYOS DE MORTERO FRESCO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido Natural	FECHA	03/10/2022

ENSAYO DE ASENTAMIENTO - CONO DE ABRAMS

NTP 339.035 - 1999

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 5
Blanda	6 a 9
Fluida	10 a 15
Líquida	> 16



ENSAYO N°	1	2	3
Asentamiento (in)	1.81	1.88	1.87
Asentamiento (cm)	4.60	4.78	4.75
Promedio de Asentamiento (cm)	4.71		
Condición de mezcla	Plástica		

PESO UNITARIO COMPACTADO

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017

1	Diámetro del Molde	10
2	Altura del Molde	11.71
3	Peso del Molde	4109
4	Área del Molde	78.54
5	Volumen del Molde	920

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde (gr)	6032	6045	6041
Peso del Molde (gr)	4109	4109	4109
Peso Neto del Material (gr)	1923	1936	1932
Volumen del Molde (cm³)	920	920	920
Peso Unitario (gr/cm³)	2.09	2.10	2.10
Peso Unitario (kg/m³)	2090.22	2104.35	2100.00
Promedio Peso Unitario (kg/m³)	2098.19		

$$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{6294.57}{3} = 2098.19$$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Meléndez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido Natural	FECHA	03/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
NTP 334.051 - 2021			

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$f'c$: Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P : Peso de falla de la probeta (kg)

A : Área axial de la probeta (cm²)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	12/10/2022		
Lado (cm)	5.02	5.01	5.02
Área (cm ²)	25.20	25.10	25.20
Fuerza de falla (kg)	3011.2	2937	3052.5
Resistencia (kg/cm ²)	119.49	117.01	121.13
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	119.21		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	19/10/2022		
Lado (cm)	5.01	4.99	5.03
Área (cm ²)	25.10	24.90	25.30
Fuerza de falla (kg)	3988.2	3894.6	4061.6
Resistencia (kg/cm ²)	158.89	156.41	160.53
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	158.61		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	26/10/2022		
Lado (cm)	5.01	5.04	5.02
Área (cm ²)	25.10	25.40	25.20
Fuerza de falla (kg)	4425.1	4415.3	4484.2
Resistencia (kg/cm ²)	176.30	173.82	177.94
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	176.02		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leopardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido Natural	FECHA	03/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN NTP 334.051 - 2021			

$$f't = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$f't$: Resistencia a la flexión (kg/cm²) b : Ancho de la probeta (cm)
 P : Peso de falla de la probeta (kg) h : Altura de la probeta (cm)
 L : Longitud de la probeta (cm)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	12/10/2022		
Ancho (cm)	4.01	4.01	4.02
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	3.99	3.98	4.04
Fuerza de falla (kg)	102.6	98.4	113.7
Resistencia (kg/cm ²)	24.11	23.24	25.99
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	24.45		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	19/10/2022		
Ancho (cm)	4.03	3.98	4.02
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.01	4.02	4.04
Fuerza de falla (kg)	185.9	180.8	196.4
Resistencia (kg/cm ²)	43.03	42.17	44.90
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	43.37		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	26/10/2022		
Ancho (cm)	4.02	3.99	4.03
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.02	4.01	3.98
Fuerza de falla (kg)	192.6	186.6	197.3
Resistencia (kg/cm ²)	44.47	43.63	46.36
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	44.82		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Edgar Leopardo Ordoñez Serván
 Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Freddy Luis Gallardo Melendez
 Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



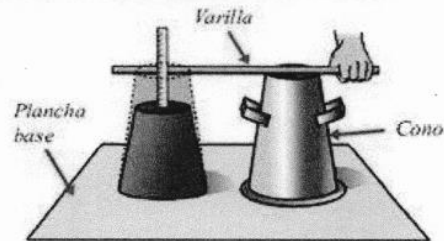
ENSAYOS DE MORTERO FRESCO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado	FECHA	04/10/2022

ENSAYO DE ASENTAMIENTO - CONO DE ABRAMS

NTP 339.035 - 1999

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 5
Blanda	6 a 9
Fluida	10 a 15
Líquida	> 16



ENSAYO N°	1	2	3
Asentamiento (in)	1.83	1.85	1.86
Asentamiento (cm)	4.66	4.70	4.72
Promedio de Asentamiento (cm)	4.69		
Condición de mezcla	Plástica		

PESO UNITARIO COMPACTADO

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017

1	Diámetro del Molde	10
2	Altura del Molde	11.71
3	Peso del Molde	4109
4	Área del Molde	78.54
5	Volumen del Molde	920

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde (gr)	5974	5950	5959
Peso del Molde (gr)	4109	4109	4109
Peso Neto del Material (gr)	1865	1841	1850
Volumen del Molde (cm³)	920	920	920
Peso Unitario (gr/cm³)	2.03	2.00	2.01
Peso Unitario (kg/m³)	2027.17	2001.09	2010.87
Promedio Peso Unitario (kg/m³)	2013.04		

$$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{6039.13}{3} = 2013.04$$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado	FECHA	04/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
NTP 334.051 - 2021			

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$f'c$: Resistencia a la compresión (kg/cm²)
 P : Peso de falla de la probeta (kg)
 A : Area axial de la probeta (cm²)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	13/10/2022		
Lado (cm)	5.02	5.05	5.03
Área (cm ²)	25.20	25.50	25.30
Fuerza de falla (kg)	3836	3818.7	3892.8
Resistencia (kg/cm ²)	152.22	149.74	153.86
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	151.94		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	20/10/2022		
Lado (cm)	5.04	5.01	5.02
Área (cm ²)	25.40	25.10	25.20
Fuerza de falla (kg)	5282.8	5157.8	5282.3
Resistencia (kg/cm ²)	207.97	205.49	209.61
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	207.69		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	27/10/2022		
Lado (cm)	5.02	5.01	5.01
Área (cm ²)	25.20	25.10	25.10
Fuerza de falla (kg)	6025.9	5939.7	6043.1
Resistencia (kg/cm ²)	239.12	236.64	240.76
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	238.84		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Meléndez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado	FECHA	04/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
NTP 334.051 - 2021			

$$f't = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$f't$: Resistencia a la flexión (kg/cm²) b : Ancho de la probeta (cm)
 P : Peso de falla de la probeta (kg) h : Altura de la probeta (cm)
 L : Longitud de la probeta (cm)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	13/10/2022		
Ancho (cm)	4.04	4.01	4.03
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.03	4.02	4.01
Fuerza de falla (kg)	172.1	166.3	178.1
Resistencia (kg/cm ²)	39.34	38.49	41.23
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	39.69		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	20/10/2022		
Ancho (cm)	4.02	4.01	4.05
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.04	4.01	4.03
Fuerza de falla (kg)	176.8	170.1	185.5
Resistencia (kg/cm ²)	40.42	39.57	42.30
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	40.76		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	27/10/2022		
Ancho (cm)	4.00	4.04	4.04
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.05	4.02	4.03
Fuerza de falla (kg)	181.8	177.2	190.1
Resistencia (kg/cm ²)	41.56	40.71	43.46
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	41.91		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
 SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Edgar Leonardo Ordoñez Serván
 Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
 SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA)
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

 Freddy Luis Gallardo Melende
 Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



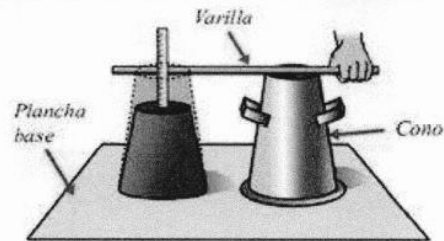
ENSAYOS DE MORTERO FRESCO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado Tratado con DAP	FECHA	05/10/2022

ENSAYO DE ASENTAMIENTO - CONO DE ABRAMS

NTP 339.035 - 1999

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 5
Blanda	6 a 9
Fluida	10 a 15
Líquida	> 16



ENSAYO N°	1	2	3
Asentamiento (in)	1.85	1.81	1.89
Asentamiento (cm)	4.70	4.60	4.80
Promedio de Asentamiento (cm)	4.70		
Condición de mezcla	Plástica		

PESO UNITARIO COMPACTADO

MTC E 203 - 2000 / NTP 400.017

1	Diámetro del Molde	10
2	Altura del Molde	11.71
3	Peso del Molde	4109
4	Área del Molde	78.54
5	Volumen del Molde	920

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del Material + Molde (gr)	6010	6018	6019
Peso del Molde (gr)	4109	4109	4109
Peso Neto del Material (gr)	1901	1909	1910
Volumen del Molde (cm³)	920	920	920
Peso Unitario (gr/cm³)	2.07	2.08	2.08
Peso Unitario (kg/m³)	2066.30	2075.00	2076.09
Promedio Peso Unitario (kg/m³)	2072.46		

$$\text{PROMEDIO P.U.A.} = \frac{\text{P.U.A. kg/m}^3}{\text{N}^\circ \text{ de Ensayo}} = \frac{6217.39}{3} = 2072.46$$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA) ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado Tratado con DAP	FECHA	05/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
NTP 334.051 - 2021			

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$f'c$: Resistencia a la compresión (kg/cm²)
 P : Peso de falla de la probeta (kg)
 A : Área axial de la probeta (cm²)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	14/10/2022		
Lado (cm)	5.02	5.01	5.04
Área (cm ²)	25.20	25.10	25.40
Fuerza de falla (kg)	3151.1	3076.3	3217.9
Resistencia (kg/cm ²)	125.04	122.56	126.68
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	124.76		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	21/10/2022		
Lado (cm)	5.02	5.01	5.04
Área (cm ²)	25.20	25.10	25.40
Fuerza de falla (kg)	5186.2	5103.4	5269.3
Resistencia (kg/cm ²)	205.80	203.32	207.44
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	205.52		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	28/10/2022		
Lado (cm)	5.03	5.03	5.04
Área (cm ²)	25.30	25.30	25.40
Fuerza de falla (kg)	5645.6	5582.9	5709.8
Resistencia (kg/cm ²)	223.14	220.66	224.78
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	222.86		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gillardo Melendez
Técnico en Laboratorio



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNTRM**



ENSAYOS DE MORTERO ENDURECIDO

PROYECTO :	"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO DE ALBAÑILERÍA CON ÁRIDOS DE CONCRETO RECICLADO SOMETIDOS A TRATAMIENTO QUÍMICO"		
TESISTA :	Miguel Angel Rodriguez Sanchez		
MATERIAL :	Mortero con Árido de Concreto Reciclado Tratado con DAP	FECHA	05/10/2022
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
NTP 334.051 - 2021			

$$f't = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$f't$: Resistencia a la flexión (kg/cm²) b : Ancho de la probeta (cm)
 P : Peso de falla de la probeta (kg) h : Altura de la probeta (cm)
 L : Longitud de la probeta (cm)

EDAD - 7 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	14/10/2022		
Ancho (cm)	4.03	4.02	4.03
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.01	4.04	4.01
Fuerza de falla (kg)	148.2	146.3	156.3
Resistencia (kg/cm ²)	34.30	33.45	36.18
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	34.64		

EDAD - 14 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	21/10/2022		
Ancho (cm)	4.02	4.02	4.01
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.04	4.01	4.03
Fuerza de falla (kg)	189.9	183.4	196.7
Resistencia (kg/cm ²)	43.41	42.56	45.30
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	43.76		

EDAD - 28 DÍAS			
ENSAYO N°	1	2	3
Fecha de prueba	28/10/2022		
Ancho (cm)	4.02	4.02	4.01
Largo (cm ²)	10.00	10.00	10.00
Altura (cm)	4.04	4.01	4.03
Fuerza de falla (kg)	248.1	240.7	254.4
Resistencia (kg/cm ²)	56.72	55.85	58.59
Promedio de Resistencia (kg/cm ²)	57.06		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Edgar Leonardo Ordoñez Serván
Asistente Técnico Académico del Laboratorio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO (LAMECA), ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL - UNTRM

Freddy Luis Gallardo Melende
Técnico en Laboratorio