UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Influencia en las propiedades físicas y mecánicas de bloquetas portantes de concreto adicionadas con residuos de mecanizado ferroso, Cusco - 2025

Asesor:

Mgt. Ing. Mendoza Morales, German

Autor:

Cordova Olivares, Alexander Eder

Perez Condori, Enma Valentina

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Civil

Cusco - Cusco – Perú

2026

Acta de sustentación

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 005

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, , a los 16 días del mes de Enero del 2026, siendo las 8:30 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 026-2026-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Laime Calvo Edixon
Dictaminante:	Mba. Mendoza Nina Renato Héctor
Replicante :	Mg. Canal Apaza Jaime

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:
Influencia en las propiedades físicas y mecánicas de bloquetas portantes de concreto adicionadas con residuos de mecanizado ferroso, Cusco - 2025

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):
Br.: Perez Condori Enma Valentina
(Apellidos y Nombres)
Br.: Cordova Olivares Alexander Eder
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero(a) Civil
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):
Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Perez Condori Enma Valentina	Aprobado Notable
Br. Cordova Olivares Alexander Eder	Aprobado Notable

Siendo las 11:00 a.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

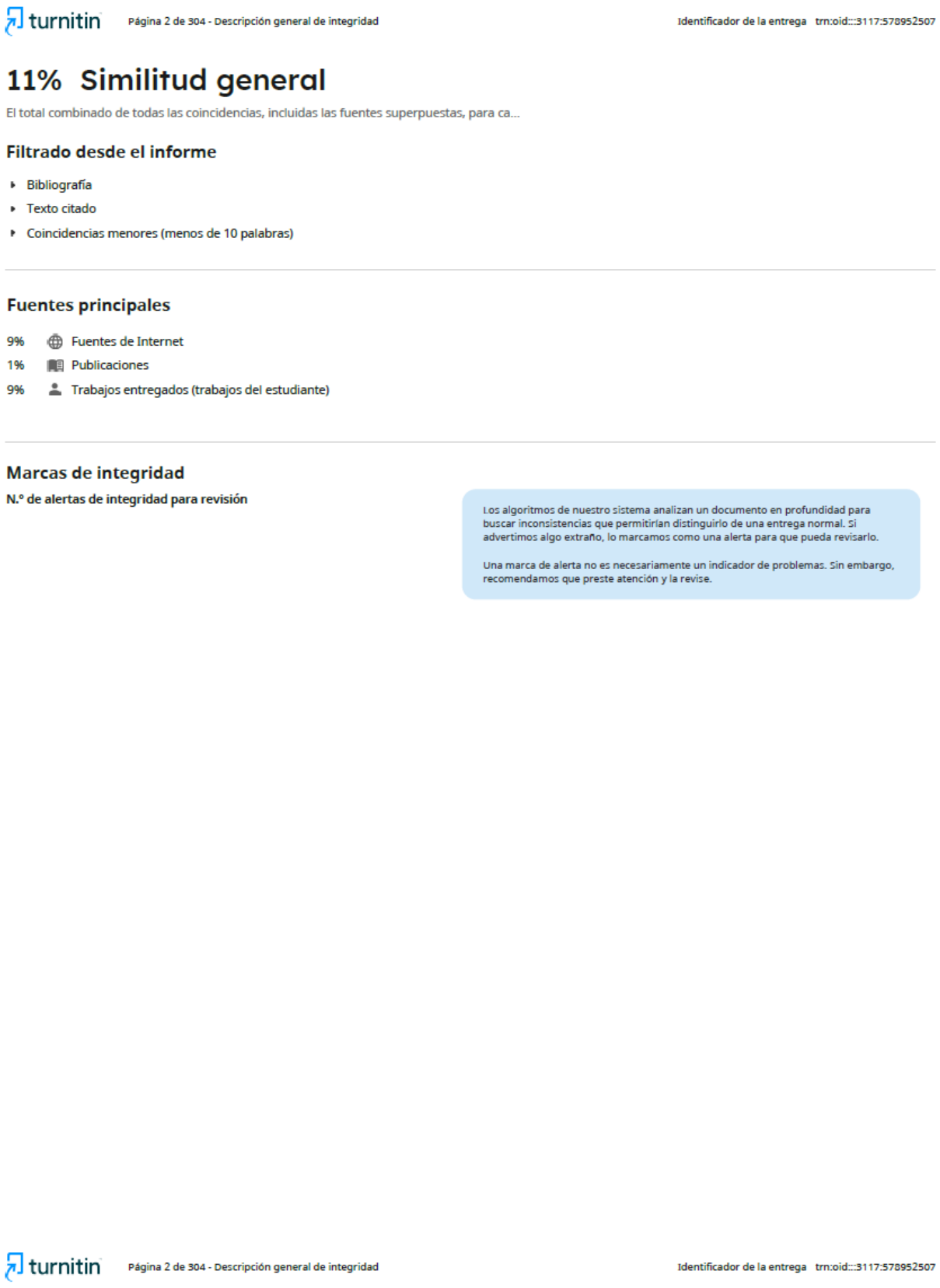
Presidente: Mg. Laime Calvo Edixon
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)
(Firma)

Dictaminante: Mg. Mendoza Nina Renato Héctor
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)
(Firma)

Replicante: Mg. Canal Apaza Jaime
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)
(Firma)

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de Similitud



turnitin Página 2 de 304 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::3117:578952507

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

turnitin Página 2 de 304 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::3117:578952507

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Cordova Olivares, Alexander Eder Perez Condori, Enma Valentina
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	45613211 70837632
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-6600-3425 https://orcid.org/0009-0004-8391-2327
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mgt. Ing. Mendoza Morales, German
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	40482037
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0003-2480-8883
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible.
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Septiembre 2025 – noviembre 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	11%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Mi madre, quien ha sabido inculcarme emociones positivas, moral y valores, ha sido el sistema de apoyo humano que me ha permitido afrontar los retos de la ingeniería y salir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre, por el valor de su ejemplo, la disciplina que me enseñó, y la fe inquebrantable que siempre tuvo en mí para lograr mis metas, inculcándome la perseverancia necesaria para culminar este proyecto profesional.

Alexander Eder Cordova Olivares

A mis abuelos, Zacarías y Asunción, mis pilares de vida, por ser el cimiento de mi existencia y un ejemplo de sacrificio, fortaleza y amor incondicional; mis padres, Rubén, Rosario y Luis, por el apoyo inagotable, su fe absoluta en mí y por ser la fuerza que me inspira a avanzar incluso en aquellos momentos más difíciles, su amor ha sido la base sobre la que he construido todos mis logros. A mis hermanos, tíos y amigos, por la motivación, sus palabras son mi guía y aliento y por ser esa fuente invaluable de alegría y a Dios que iluminó todo este recorrido.

Enma Valentina Perez Condori

Agradecimientos

Mi principal fuente de gratitud es hacia Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fuerza para seguir adelante y completar este importante logro académico. A mi familia por su apoyo incondicional, su comprensión y estímulo constante, a lo largo de mis estudios; ellos son la infraestructura emocional que me sostuvo. A mi asesor de tesis, por su dirección, sus valiosas correcciones y la rigurosidad técnica que imprimió en este trabajo, elevando su calidad y alcance y a todos los individuos que me ayudaron en la ejecución de este trabajo, incluyendo a mis docentes, por las bases académicas y éticas que me permitieron abordar esta investigación.

Alexander Eder Cordova Olivares

Quiero agradecer sinceramente a las personas que llenan mi vida de amor y fortaleza Zacarias, Asunción, Rubén, Rosario, Luis, Estrella, Abish, Pablo, Mateo, así como a mis tíos y mis abuelos Mariano y Eusebia, quienes desde el cielo continúan protegiéndome y guiando mis pasos. A mi asesor de investigación y docentes universitarios, cuyo conocimiento, guía y vocación por la Ingeniería Civil, enriquecieron mi formación académica, su mentoría ha sido fundamental en este viaje y deja una huella perdurable en mi desarrollo profesional.

Enma Valentina Perez Condori

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia de los Residuos de Mecanizado Ferroso (R.M.F.) en las propiedades físicas y mecánicas de bloquetas portantes de concreto en Cusco, 2025. El estudio buscó promover la sostenibilidad mediante la valorización de residuos industriales, bajo un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado.

Para ello, se fabricaron 172 bloquetas y se evaluaron cuatro dosificaciones de R.M.F. (0% patrón, 25%, 50% y 75%). Los métodos incluyeron la evaluación de propiedades físicas, como densidad, absorción y succión; así como de propiedades mecánicas, entre ellas, resistencia a compresión uniaxial a 7, 14 y 28 días, módulo de elasticidad, compresión en pilas y resistencia a compresión diagonal de muretes, siguiendo las normas ASTM y NTP.

Los resultados evidenciaron una influencia positiva del material incorporado, identificándose como dosificación óptima el 50% de R.M.F. En las propiedades físicas, la densidad aparente aumentó de 2.19 g/cm³ a 2.40 g/cm³, mientras que la absorción presentó valores adecuados. En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a compresión a 28 días alcanzó 71.36 kg/cm², representando un incremento superior al 107% respecto al patrón. Asimismo, se observó un incremento favorable en el módulo de elasticidad, pilas y muretes diagonales; sin embargo, la dosificación del 75% registró una disminución en la eficiencia del material.

Por ello, la adición de R.M.F. mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas. La dosificación de 50% constituye una alternativa técnica y sostenible en Cusco, al optimizar la capacidad portante con impacto socioambiental favorable.

Palabras clave: Residuos de mecanizado ferroso, Bloquetas portantes, Propiedades físicas y mecánicas, Sostenibilidad.

Abstract

This research aims to determine the influence of Ferrous Machining Waste (F.M.W.) on the physical and mechanical properties of load-bearing concrete blocks in Cusco, 2025. The study sought to promote sustainability through the valorization of industrial waste, using a quantitative, experimental, and applied approach.

To this end, 172 blocks were manufactured, and four F.M.W dosages were evaluated (0% standard, 25%, 50%, and 75%). The methods included the evaluation of physical properties, such as density, absorption, and suction; as well as mechanical properties, including uniaxial compressive strength at 7, 14, and 28 days, modulus of elasticity, stack compression, and diagonal compressive strength of walls, following ASTM and NTP standards.

The results showed a positive influence of the incorporated material, with 50% F.M.W. identified as the optimal dosage. In terms of physical properties, the apparent density increased from 2.19 g/cm³ to 2.40 g/cm³, while absorption remained adequate. Regarding mechanical properties, the 28-day compressive strength reached 71.36 kg/cm², representing an increase of over 107% compared to the control. A favorable increase was also observed in the modulus of elasticity, piers, and diagonal walls; however, the 75% dosage resulted in a decrease in material efficiency.

Therefore, the addition of F.M.W. significantly improves the physical and mechanical properties of the blocks. The 50% dosage constitutes a technically sound and sustainable alternative in Cusco, optimizing load-bearing capacity with a favorable socio-environmental impact.

***Keywords**:* Ferrous machining waste, Load-bearing concrete blocks, Physical and mechanical properties, Sustainability.

Índice

Portada ……...i

Acta de sustentación ii

Reporte de Similitud iii

Metadatos iv

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice ix

Índice de tablas xi

Índice de figuras xiii

Índice de anexos xviii

I. Introducción 19

II. Planteamiento del problema 22

2.1. Descripción y formulación del problema 22

2.2. Objetivos 32

2.2.1. Objetivo general 32

2.2.2. Objetivos específicos 32

2.3. Justificación e importancia 33

2.4. Hipótesis 36

2.5. Variables 37

III. Marco teórico 44

3.1. Antecedentes 44

3.2. Bases teóricas 54

3.3. Definición de términos 125

IV. Metodología 127

4.1. Tipo y nivel de investigación 127

4.2. Ámbito temporal y espacial 128

4.3. Población y muestra 128

4.4. Instrumentos 132

4.5. Procedimientos 134

4.6. Análisis de datos 185

4.7. Consideraciones éticas 185

V. Resultados y discusión 187

VI. Conclusiones 232

VII. Recomendaciones 234

VIII. Referencias 236

IX. Anexos 247

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables 43

Tabla 2 Clasificación de bloques de concreto..... 56

Tabla 3 Clasificación del Cemento según NTP 334.082 Y ASTM C1157..... 62

Tabla 4 Características esenciales del agua para la Elaboración de la mezcla del Concreto..... 65

Tabla 5 Límites superiores permitidos para las sustancias presentes en el agua 66

Tabla 6 Característica del hierro 71

Tabla 7 Propiedades mecánicas sobre el uso del acero..... 73

Tabla 8 Composición Volumétrica del Concreto Liquido o Grout..... 116

Tabla 9 Cantidad de bloquetas utilizadas para ensayos en propiedades físicas y mecánicas. .. 131

Tabla 10 Granulometría de Arena media..... 137

Tabla 11 Análisis granulométrico de confitillo..... 141

Tabla 12 Granulometría de Polvo de acero (R.M.F.)..... 143

Tabla 13 Granulometría de Agregados con Polvo de acero (R.M.F.) 145

Tabla 14 Contenido De Humedad la arena media 149

Tabla 15 Contenido De Humedad Del Confitillo 152

Tabla 16 Peso Unitario Arena media 156

Tabla 17 Peso unitario de Confitillo 159

Tabla 18 Peso Unitario Varillado de Arena media 162

Tabla 19 Peso unitario varillado confitillo..... 164

Tabla 20 Peso Específico Y Absorción De Agregado Fino (Arena media) Aashto T 84..... 167

Tabla 21 Peso Específico Y Absorción De confitillo Aashto T 84 170

Tabla 22 Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 0% de polvo de acero 171

Tabla 23 Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 25% de polvo de acero 172

Tabla 24 Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 50% de polvo de acero 174

Tabla 25 Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 75% de polvo de acero 176

Tabla 26 Porcentajes de Resistencia según la Edad del Espécimen 187

Tabla 34 Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%, ... 219

Tabla 35 Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 25%. 221

Tabla 36 Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 50%. 223

Tabla 37 Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 75% 225

Tabla 38 Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF 227

Tabla 39 Resultados de ensayo de Densidad Aparente, Absorción, Succión 228

Índice de figuras

Figura 1 Materiales para la elaboración de un bloque de concreto 59

Figura 2 Cemento Yura MAX - Tipo HS 61

Figura 3 Límites granulométricos según NORMA E 0.70 69

Figura 4 Industria manufacturera –El Torno 75

Figura 5 Polvo de acero (R.M.F.) 78

Figura 6 Bloque de concreto sometido a compresión 88

Figura 7 Pila de concreto sometido a compresión 89

Figura 8 Fortaleza a compresión en pilas de concreto (*f'm*) 90

Figura 9 Tipos de fallas en muretes sometidos a la compresión diagonal (V´m) 91

Figura 10 Murete de concreto 60x60 sometido a compresión 93

Figura 11 Resistencias mínimas de albañilería Bloque de concreto en MPa 93

Figura 12 Preparación de Mezcla - Elementos secos 95

Figura 13 Preparación de los materiales para mezcla 95

Figura 14 Moldeado y fraguado de los bloques 97

Figura 15 Fraguado de unidades de albañilería. 98

Figura 16 Molde metálico para bloques de concreto 100

Figura 17 Límites permisibles en análisis granulométrico para los agregados 101

Figura 18 Clasificación de la arena fina de acuerdo con el valor del Módulo de Finesa 103

Figura 19 Porcentajes de variación dimensional máximos para unidades de albañilería. 107

Figura 20 Cuña de acero para la medición del alabo de unidades de albañilería. 108

Figura 21 Dimensiones de unidad de albañilería elaboradas (2D 111

Figura 22 Refrentado de las muestras para el ensayo de resistencia a la compresión 112

Figura 23 Máquina de compresión para el ensayo de resistencia a la compresión. 113

Figura 24 Dimensiones de las pilas elaboradas (2D)..... 115

Figura 25 Dimensiones de las pilas elaboradas añadidas con GROUT (2D) 117

Figura 26 Cálculo del ensayo de compresión axial de pilas con GROUT 118

Figura 27 Dimensiones de los muretes elaboradas (2D) 120

Figura 28 Recolección y limpieza de materiales secos..... 135

Figura 29 Muestra sometida a un proceso de secado en horno POR 24hrs. 136

Figura 30 Retenido de los tamices..... 138

Figura 31 Curva granulométrica de arena media..... 139

Figura 32 Retenidos de Granulometría del confitillo 142

Figura 33 *Curva granulométrica del confitillo*..... 142

Figura 34 Curva granulométrica del polvo de acero (R.M.F.) 144

Figura 35 Curva granulométrica Agregados con Polvo de acero (R.M.F.)..... 146

Figura 36 Ensayo de contenido de humedad de la arena media. 148

Figura 37 Cuadro comparativo de Contenido de Humedad de la arena media 150

Figura 38 Ensayo de contenido de humedad del confitillo..... 151

Figura 39 Cuadro comparativo de contenido de humedad del Confitillo..... 153

Figura 40 Ensayo de peso unitario en arena media 155

Figura 41 *Cuadro comparativo de muestras con respecto al peso unitario suelto de arena media* 157

Figura 42 Ensayo de peso unitario para confitillo 160

Figura 43 *Cuadro comparativo de peso unitario -Confitillo*..... 161

Figura 44 Ensayo Peso unitario varillado de la arena media..... 163

Figura 45 *Cuadro comparativo de peso unitario varillado arena media*..... 163

Figura 46 *Cuadro comparativo de peso unitario varillado confitillo* 165

Figura 47 *Peso unitario varillado confitillo* 166

Figura 48 *Preparación de concreto de forma manual*..... 177

Figura 49 Bloqueta en estado fresco (Armado de bloquetas)..... 178

Figura 50 Conjunto de unidades de albañilería en estado fresco..... 179

Figura 51 Ensayo de resistencia a la compresión Uniaxial – MF 75% 180

Figura 52 Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de Pilas..... 181

Figura 53 Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes..... 182

Figura 54 Ensayo de Modulo de Elasticidad 183

Figura 55 Ensayo de Succión de Unidades de Concreto 184

Figura 56 Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 7 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 188

Figura 57 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 7 días de unidades de concreto .. 189

Figura 58 Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 14 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 191

Figura 59 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 14 días de unidades de concreto . 192

Figura 60 Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 194

Figura 61 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días de unidades de concreto . 195

Figura 62 Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 7 días..... 197

Figura 63 Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 7 días..... 197

Figura 64 Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 7 días..... 198

Figura 65 Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 7 días..... 198

Figura 66 Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 14 días..... 199

Figura 67 Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 14 días..... 199

Figura 68 Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 14 días..... 200

Figura 69 Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 14 días..... 200

Figura 70 Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 28 días..... 201

Figura 71 Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 28 días..... 201

Figura 72 Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 28 días..... 202

Figura 73 Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 28 días..... 202

Figura 74 Resistencia de Unidad de Albañilería máxima por edades y porcentaje de R.M.F. . 203

Figura 75 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas, sin Grout con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 204

Figura 76 Resistencia de pilas sin Grout a los 28 días..... 206

Figura 77 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 208

Figura 78 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia de pilas con grout 210

Figura 79 Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes sin Grout, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%..... 212

Figura 80 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia diagonal de muretes sin grout..... 214

Figura 81 Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75% 216

Figura 82 Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia diagonal de muretes con grout..... 218

Figura 83 Curva de deformación MF 0%..... 220

Figura 84 Curva de deformación MF 25%..... 222

Figura 85 Curva de deformación MF 50%..... 224

Figura 86 Curva de deformación MF 75%..... 226

Índice de anexos.

Anexo 1 Matriz de Consistencia..... 248

Anexo 2 Validación de instrumentos por expertos..... 249

Anexo 3 Reportes De Laboratorio..... 252

Anexo 4 Análisis de Costos unitarios (R.M.F. 0%, 25 %, 50 %, 75%) 269

Anexo 5 Panel fotográfico..... 273

I. Introducción

La Ingeniería Civil moderna enfrenta el desafío de transformar sus métodos para responder a las demandas sociales y ambientales. Es imprescindible avanzar hacia modelos de construcción eficientes y sostenibles. Esta necesidad surge del impacto que da la extracción intensiva de recursos naturales y a su vez la gestión inadecuada de los desechos sólidos. Por consiguiente, se buscan enfoques que equilibren el desarrollo con la conservación del entorno.

En este sentido, el concreto, como material estructural de excelencia a nivel global, se transforma en el inicio de la innovación; esta se orienta a la valorización de subproductos industriales como aditivos para optimizar las propiedades mecánicas y físicas de la matriz cementicia. En este contexto, los Residuos de Mecanizado Ferroso (R.M.F.), partículas metálicas finas generadas en procesos de corte y fresado, se han posicionado como un recurso estratégico. Desde la perspectiva ingenieril, su incorporación controlada puede actuar como un micro-refuerzo de tipo fibroso y material de relleno de alta densidad, lo que influye positivamente en la microestructura del concreto y se refleja en un potencial incremento de la resistencia y la durabilidad. A escala internacional, la investigación ha validado que la dosificación óptima de subproductos metálicos resulta en una optimización significativa del desempeño ingenieril, mejorando

la durabilidad y el comportamiento del material bajo diversas cargas. Por ejemplo, el trabajo de (Ayarquispe Vivas, 2024) en Puno, centrado en las limallas de acero, concluyó que un porcentaje de adición del 25% generó un aumento del 19.86% en la resistencia a la compresión en las pilas de albañilería.

Estos hallazgos nacionales confirman que la inclusión de subproductos de acero es una alternativa técnicamente factible y económicamente viable para mejorar las propiedades del concreto y cumplir con la Norma Técnica Peruana de Albañilería. (Norma E.070 Albañileria, 2019)

En el Perú, si bien la línea de investigación es incipiente, se ha confirmado que la inclusión de subproductos de acero es una alternativa técnicamente factible para mejorar las propiedades del concreto. Hoy en día la ciudad Cusco, enfrenta la gestión de un volumen constante de R.M.F. generado por su industria metalmecánica local y simultáneamente, es por ello que la capacidad estructural de bloquetas portantes de concreto producidas en la región a menudo limita su desempeño, y es por ello que la integración de los R.M.F. en la fabricación de bloquetas atiende este doble imperativo: reducir el volumen de desechos industriales y buscar la optimización de las propiedades físicas y mecánicas del elemento constructivo. Ante la realidad y esta brecha de conocimiento en la región, la presente tesis plantea resolver la siguiente interrogante de Investigación: ¿Cómo influye la adición de residuos de mecanizado ferroso en las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto en Cusco, 2025?

Para ello, se busca demostrar que la adición de residuos de mecanizado ferroso afecta significativamente y de manera positiva las propiedades físicas y mecánicas de bloquetas portantes de concreto en Cusco, 2025.

Y cabe mencionar que esta investigación se justifica por su relevancia en el conocimiento aplicado, y se evalúan las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería, aplicando procedimientos estandarizados relacionados ensayo ASTM y NTP. El estudio tiene una importancia fundamental al establecer una alternativa técnica viable que permite producir bloquetas de mayor desempeño estructural, contribuyendo a una construcción sostenible y económicamente factible en la región del Cusco.

La tesis se expone de manera ordenada, donde se han considerado cinco capítulos principales: el primero expone el marco teórico y la revisión bibliográfica; el segundo describe los métodos de investigación y el diseño experimental; el tercero detalla los métodos y procedimientos específicos de laboratorio; el cuarto presenta y discute los resultados experimentales obtenidos; y en el último capítulo formula las conclusiones finales y las recomendaciones derivadas de la investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La construcción es una industria que ha orientado sus esfuerzos hacia el mejoramiento y sostenibilidad de los materiales empleados en obra, tomando en cuenta lo anterior, que uno de los enfoques más relevantes consiste en incorporar al concreto diversos aditivos o subproductos que anteriormente eran descartados o desechados. Gracias a las nuevas tecnologías del concreto, no solo creamos materiales más resistentes, sino que también ayudamos al planeta al reducir la cantidad de desechos que generamos. Un ejemplo muy popular de esta estrategia es el uso de residuos de la industria del hierro (residuos ferrosos) como si fueran un ingrediente más para fabricar elementos de construcción. Es una situación donde todos ganan: la construcción mejora y el medio ambiente también. (Acero Garcia Juan Pablo , 2019).

En el contexto internacional, la incorporación de residuos provenientes de actividades industriales como componentes en la producción de materiales constructivos se ha consolidado, en esencia, como un lineamiento estratégico indispensable para fortalecer la sostenibilidad en la Ingeniería Civil. Esto se explica por la creciente necesidad de reducir los efectos asociados respecto a la extracción masiva de agregados naturales y a la mala gestión de residuos sólidos, de tal modo, múltiples países han

impulsado investigaciones orientadas a la valorización de subproductos metálicos, particularmente aquellos generados durante los procesos de mecanizado con el fin de integrarlos al diseño de mezclas de concreto y en la elaboración de elementos prefabricados. En clústeres tecnológicos como Europa y Asia, de alta capacidad, ejemplificados por el Instituto Fraunhofer. (Alejandrino, Mercante, & Bo, 2023). El Instituto Fraunhofer, específicamente, ha generado data contundente que demuestra que la dosificación controlada de residuos ferrosos en la matriz de las mezclas cementicias optimiza significativamente varios parámetros clave.

Bajo este enfoque, diferentes investigaciones señalan que la incorporación controlada de residuos de mecanizado ferroso produce efectos favorables en el comportamiento del concreto. De este modo, se muestra un incremento en la resistencia a la compresión, acompañado de una durabilidad mayor frente a la reacción de agentes agresivos, como cloruros y sulfatos que normalmente deterioran la matriz cementicia. Así pues, también se registra un aumento en la densidad aparente del material, lo cual contribuye a una microestructura más compacta y, por consiguiente, a un desempeño mecánico superior. Por otra parte, todos estos beneficios pueden alcanzarse de manera simultánea sin comprometer los procedimientos constructivos convencionales (Baquero Guerrero, 2022).

En este contexto los avances internacionales evidencian que estas prácticas no constituyen una tendencia pasajera, sino que reflejan un compromiso global con métodos constructivos ambientalmente responsables. De este modo, tales progresos proporcionan un marco de referencia indispensable para su adaptación y aplicación en los contextos locales. Tomando en cuenta el acelerado crecimiento urbano, resulta imprescindible

adoptar soluciones constructivas que sean innovadoras, económicamente viables y, sobre todo, sostenibles. Bajo esta orientación, el concreto por su carácter predominante en la industria de la construcción se configura como el principal candidato para la optimización de desempeño. Si bien sus propiedades físicas y mecánicas son esencialmente favorables, estas pueden potenciarse mediante la incorporación de materiales alternativos, entre ellos, residuos de origen ferroso provenientes del mecanizado industrial. Es aquí donde entran los residuos de mecanizado ferroso: estas partículas metálicas finas, que son subproductos de los procesos de corte y fresado en la industria metalúrgica, han demostrado un alto potencial de inclusión en la matriz cementicia (Pérez, 2019).

Diversos estudios teóricos y experimentales respaldan la posibilidad de que tales residuos, correctamente tratados y dosificados, puedan contribuir al incremento de la resistencia a la compresión, la densidad y la durabilidad del concreto (Abanto, 2018). Esta línea de investigación no solo busca mejorar la calidad del producto final, además de fomentar la reducción de residuos industriales.

En la actualidad, el diseño de edificaciones hospitalarias, especialmente aquellas destinadas a servicios de diagnóstico por imágenes como salas de rayos X, tomografía y radiología, requiere el uso de materiales de alta densidad capaces de contribuir a la reducción de radiaciones ionizantes. Tradicionalmente, estos requerimientos se resuelven mediante el uso de recubrimientos a base de plomo o el aumento del espesor de muros de concreto convencional, lo que incrementa los costos, el peso estructural y genera impactos ambientales negativos.

Bajo estas condiciones, se plantea la necesidad de analizar nuevos materiales de construcción que, además de cumplir funciones estructurales, presenten propiedades

físicas y mecánicas mejoradas, tales como mayor densidad y resistencia, que permitan su uso en edificaciones de alta exigencia técnica, como hospitales. Si bien estas exigencias técnicas se manifiestan con mayor rigor en edificaciones hospitalarias, los principios asociados al uso de materiales de mayor densidad, resistencia y durabilidad resultan igualmente aplicables a otros contextos, como la región del Cusco, donde la demanda de elementos constructivos portantes eficientes y sostenibles es cada vez mayor. Cabe precisar que la presente investigación no evalúa directamente la atenuación de radiaciones ionizantes; no obstante, el presente trabajo aborda el estudio de materiales con propiedades físicas y mecánicas mejoradas, por su mayor densidad y resistencia permiten proyectar su uso potencial en edificaciones de alta exigencia técnica.

La región de Cusco está experimentando un crecimiento urbano sostenido que demanda una cantidad constante de materiales de construcción. Este contexto nos obliga a encarar un doble desafío: la sostenibilidad y el uso inteligente de nuestros recursos locales. Por eso, es imperativo explorar alternativas que permitan incorporar residuos industriales generados aquí mismo para producir elementos constructivos clave, como las bloquetas portantes de concreto. La estrategia de integrar residuos de mecanizado ferroso en la fabricación de estas bloquetas no solo es una solución efectiva para reducir el volumen de desechos en la zona, sino que también ofrece un triple beneficio ingenieril: optimizar las características mecánicas del producto final y disminuir significativamente los costos de producción. Es decir, transformamos un problema de residuos en una solución económica y técnica para la construcción local.

Asimismo (Churata, 2024) indica que, al integrarse residuos de acero en la matriz del material, se observa un aumento relevante en la resistencia mecánica del bloque

cocido, especialmente cuando se emplean proporciones menores al 10% en peso, y esto se da al poseer una granulometría fina, que actúa como un material de relleno que ocupa los poros capilares de la matriz cementicia, en consecuencia se deduce que al incorporar un porcentaje de 10 % se considera un umbral técnico que garantiza que el residuo actúe como un agente de mejora mecánica sin inducir fenómenos de segregación o corrosión expansiva que degraden el material a largo plazo. Por su parte, (Chavarría, L., 2022) Es crucial destacar que la utilización de estos residuos industriales genera un doble beneficio estratégico. Por un lado, se logra una optimización evidente en el desempeño físico del elemento constructivo, fortaleciendo sus propiedades ingenieriles. Y, por otro lado, se impulsa de forma directa la adopción de prácticas, transformando un desecho en un recurso valorizado y minimizando el impacto ambiental.

Hay un punto clave que se ha validado empíricamente: la dosificación óptima de estos residuos ferrosos. Se ha determinado que cuando se integran en proporciones controladas (típicamente mantenidas por debajo del 10% en peso total de la mezcla), logramos un doble beneficio. No solo se asegura la integridad estructural y la capacidad portante del concreto, sino que se observa una optimización significativa del desempeño mecánico bajo cargas estáticas y dinámicas, y una mejora significativa en la resistencia a la intemperie y otras condiciones ambientales adversas. En resumen, una pequeña cantidad de este subproducto produce una gran ganancia en las propiedades ingenieriles del material (Natalia Fuentes Molina, Katerin Jiménez Mendoza, R, 2021).

A diferencia de la tendencia convencional en la literatura científica, la cual sugiere dosificaciones inferiores al 10% bajo el concepto de adición, la investigación realizada parte del supuesto de que, en el contexto geográfico y constructivo de la región de Cusco

es técnica y mecánicamente superior explorar niveles mayores mediante la sustitución parcial del agregado, debido a que los Residuos de Mecanizado Ferroso (R.M.F.) poseen una densidad y dureza superficial significativamente mayores en comparación con los agregados locales de cantera, su incorporación progresiva permite la configuración de una armadura interna que eleva la elasticidad y la resistencia de la unidad ante impactos. Es por ello que, al superar el umbral de saturación técnica, el residuo ferroso trasciende su función inicial de simple relleno de poros para constituirse como el esqueleto resistente primordial de la bloqueta. De este modo, se logra reducir drásticamente la absorción de agua y potenciar la capacidad de carga en la compresión diagonal de muretes, factor que resulta crucial para garantizar la seguridad estructural.

Simultáneamente, bajo una perspectiva de sostenibilidad y economía circular aplicada, el empleo de porcentajes ambiciosos de R.M.F. representa una respuesta radical y efectiva frente a la acumulación descontrolada de desechos industriales en el ecosistema local. Mientras que las dosis mínimas ofrecen mejoras marginales en la huella de carbono, la validación de tasas de sustitución elevadas propicia la remoción de volúmenes masivos de polvos metálicos derivados de los procesos de corte y fresado. En tal sentido, la investigación logra transformar un pasivo ambiental de lenta degradación en un insumo estratégico para la producción de infraestructura civil segura y eficiente. En definitiva, esta propuesta no solo optimiza las propiedades ingenieriles del material, sino que alinea la innovación tecnológica en la construcción con la preservación del entorno urbano y natural de la ciudad del Cusco.

Es por ello que (Parizaca R. P., 2024) menciona que estos estudios han validado empíricamente que al ajustar dos variables críticas la granulometría (el tamaño de las

partículas de acero) y el grado de oxidación del residuo es posible fabricar bloquetas con características mecánicas que igualan o incluso superan a las de los elementos convencionales. En la misma línea, (Farfán, Pinedo, Araujo, 2019) han demostrado un hallazgo fundamental optimo, en la producción de polvo de acero, donde no se generan fisuras ni se compromete el proceso de sinterización, y esto confirma que la mezcla es técnicamente viable para desarrollar aplicaciones estructurales de alto rendimiento. En consecuencia, en un escenario marcado por una acelerada urbanización y por la creciente demanda de infraestructura habitacional, en consecuencia, el ámbito de la construcción se encuentra sometido a una exigencia constante en relación con el uso de los recursos naturales, lo que da lugar a un doble desafío de carácter técnico.: garantizar que los materiales mantengan su capacidad estructural y su comportamiento portante, mientras se reduce paralelamente la huella ambiental asociada a su producción y uso.

El concreto sigue siendo el material estructural por excelencia a nivel global, gracias a sus innegables propiedades mecánicas (resistencia), versatilidad de diseño y durabilidad. No obstante, esta masiva utilización genera un costo ambiental significativo: su producción exige un alto consumo de materias primas vírgenes y contribuye a una generación considerable de residuos sólidos (tanto industriales como escombros de Construcción y Demolición - RCD). Frente a esta realidad insoslayable, la valorización y aprovechamiento de residuos industriales ha emergido como la principal estrategia de mitigación. Esta ruta nos permite, al mismo tiempo, reducir drásticamente el impacto ambiental y optimizar la estructura de costos de producción.

Un subproducto industrial con un alto potencial de valorización es precisamente el polvo de acero. Este material, que se produce en volúmenes masivos durante el

mecanizado y corte de metales ferrosos, es habitualmente catalogado como un residuo contaminante. Sin embargo, si logramos su adecuada incorporación y dosificación en la matriz cementicia, el polvo se transforma en un insumo estratégico. Su uso nos permite optimizar de forma efectiva las propiedades físicas como las características mecánicas del material constructivo final.

Según (Macedo, Quiza, 2025), La investigación evidencia que la incorporación de residuos de acero dentro de la matriz resulta en un incremento significativo de la resistencia mecánica del bloque posterior a la fase de cocción. Se ha determinado que esta optimización del desempeño ingenieril se logra de manera eficiente cuando las proporciones del residuo son mantenidas en un rango optimo en relación al peso, lo que asegura una mejora sustancial en la capacidad portante del elemento sin comprometer su integridad estructural.

Es por ello que subrayamos lo mencionado por (Acero Garcia Juan Pablo , 2019), el cual indica, que la utilización de residuos metálicos genera un doble beneficio estratégico. Por un lado, se logra mejorar el desempeño físico del producto, y por otro, se fomenta activamente la adopción de prácticas sostenibles en el sector constructivo. Este enfoque es de especial relevancia en el contexto de Cusco, ya que los esfuerzos para mitigar el deterioro ambiental local se ven directamente potenciados por la urgente necesidad de conservar el valioso patrimonio natural y cultural de la región.

Por otro lado, INEN. (2010). Los estudios pertinentes demuestran que el control riguroso de la granulometría del residuo de acero y la gestión de su grado de oxidación son factores determinantes. Al manipular adecuadamente estas variables, se ha logrado obtener bloques con características mecánicas que igualan o incluso superan las

prestaciones de los elementos convencionales. Esto configura una oportunidad técnica viable para optimizar los materiales constructivos sin que ello implique un compromiso en la calidad estructural de las edificaciones. En el mismo sentido, (Parizaca R. P., 2024) argumentan que, al operar bajo condiciones óptimas de cocción o curado, la matriz de concreto o la mezcla que incorpora polvo de acero mantiene su integridad. Específicamente, se ha demostrado que esta mezcla no induce la formación de fisuras ni produce una afectación negativa en la microestructura del material. Esta estabilidad microestructural valida su viabilidad técnica para ser implementada en aplicaciones estructurales livianas de alto rendimiento.

En el caso específico de la ciudad de Cusco, se observa la existencia de un sector compuesto por pequeñas y medianas empresas (PyMEs) dedicadas a la producción de bloquetas portantes a escala local. Frecuentemente, estas unidades productivas operan sin adherirse a parámetros estandarizados en cuanto a resistencia mecánica o durabilidad.

Ante este escenario, la exploración de nuevas formulaciones de mezcla que integren aditivos de origen industrial como el polvo de acero constituye una alternativa viable. Esta estrategia permite optimizar el desempeño ingenieril del producto final, sin incurrir en un incremento en los costos de producción ni depender de la adquisición de insumos importados o de disponibilidad limitada en la región.

En el contexto regional, y a pesar de los avances consolidados a nivel internacional, la investigación desarrollada en el Perú y particularmente en Cusco, respecto a la incorporación de residuos de mecanizado ferroso en elementos estructurales de concreto sigue siendo limitada. Esta escasez de estudios locales no solo restringe la validación científica en condiciones propias del territorio, sino que también dificulta la

implementación práctica de estas innovaciones dentro del sector constructivo. Asimismo, la ausencia de una normativa específica que regule la clasificación y el uso de estos subproductos como aditivos genera una barrera adicional para su aceptación en el mercado formal.

Por lo tanto, se establece la necesidad ineludible de llevar a cabo una investigación aplicada que permita, bajo condiciones de laboratorio estrictamente controladas, evaluar la incidencia de la adicion de residuos de mecanizado ferroso en las propiedades físicas como la densidad y la absorción y en las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de las bloquetas portantes de concreto.

En consecuencia, este estudio no solo contribuirá a aportar nuevos elementos al conocimiento ya existente, sino que también podrá ofrecer lineamientos técnicos verificables para su aplicación en contextos constructivos y socioeconómicos similares al de la región cusqueña.

2.1.1. Problema General.

P.G. ¿Cómo influye la adición de residuos de mecanizado ferroso en las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto en Cusco, 2025?

2.1.2. Problemas Específicos.

P.E. 1. ¿Qué influencia tienen los residuos de mecanizado ferroso en la densidad, absorción y succión de las bloquetas portantes de concreto?

P.E. 2. ¿Cuál es la influencia de la adición de residuos de mecanizado ferroso en la resistencia a la compresión uniaxial y módulo de elasticidad de las bloquetas portantes de concreto?

P.E. 3. ¿Cuál es la influencia de la adición de residuos de mecanizado ferroso en la resistencia a la compresión de pilas y resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloquetas portantes de concreto?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

O.G. Determinar la influencia de la adición de residuos de mecanizado ferroso en las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto en Cusco, 2025.

2.2.2. Objetivos Específicos

O.E. 1. Analizar la influencia de la adición de los residuos ferrosos en la densidad, absorción y succión de bloquetas portantes de concreto.

O.E. 2. Determinar la influencia de la adición de los residuos ferrosos en la resistencia a la compresión uniaxial y módulo de elasticidad de bloquetas portantes de concreto.

O.E. 3. Determinar la influencia de la adición de los residuos de mecanizado ferroso en la resistencia a la compresión de pilas y resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloquetas portantes de concreto.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

La presente investigación es pertinente debido a su contribución directa a la valorización de residuos de mecanizado ferroso como aditivo en la producción de bloquetas portantes de concreto. Su enfoque principal radica en ofrecer una solución a los problemas ambientales vinculados con la disposición final de desechos metálicos, impulsando activamente la adopción de prácticas sostenibles en el sector constructivo. Además, atiende una necesidad técnica local al someter a ensayos normalizados el comportamiento físico y mecánico de estos nuevos elementos. El conocimiento generado por este enfoque aplicado representa un beneficio potencial para los sectores productivos y académicos, al establecer bases sólidas para futuras innovaciones en el ámbito de la construcción sostenible, según los criterios de justificación de (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014).

2.3.2. Justificación técnica

Este proyecto se justifica técnicamente porque busca optimizar las propiedades ingenieriles de las bloquetas portantes de concreto mediante la adición controlada de residuos de mecanizado ferroso, transformando un desecho industrial en un insumo de valor. El objetivo central es demostrar, a través de una metodología experimental rigurosa que aplicará normas técnicas como la (NTP, 2018) y ASTM, que la inclusión del polvo de acero incrementa significativamente la densidad y reduce la absorción de agua (mejoras físicas) y, más crucialmente, potencia la resistencia a la compresión uniaxial, el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión diagonal de muretes (mejoras mecánicas). Esta validación no solo contribuye a la literatura científica sobre materiales

sostenibles, sino que también ofrece a los productores de Cusco una solución técnica efectiva y cuantificable para fabricar elementos estructurales que cumplen o superan los estándares normativos de calidad y seguridad, esenciales para una construcción sismo-resistente e incluso sean añadidos en la ejecución de proyectos con alta exigencia técnica ,como hospitales, debido al material denso y pesado que se realiza en esta investigación.

2.3.3. Justificación social

El proyecto se justifica socialmente al proponer una solución sostenible que impacta directamente en la seguridad y calidad de vida de los habitantes de Cusco. La investigación busca mejorar la confiabilidad estructural de las bloquetas portantes de concreto, un material clave en la construcción local, elevando su desempeño para que cumplan con los estándares sismo-resistentes de la NTP E.070, lo cual es fundamental para proteger a las familias de los efectos de sismos. Además, esta iniciativa impulsa revalorizar los residuos de mecanizado ferroso (polvo de acero), transformando un desecho contaminante en un insumo útil, lo que reduce la presión sobre el medio ambiente local y beneficia a las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) con un material de alto rendimiento a un costo eficiente, promoviendo un desarrollo urbano más seguro y ambientalmente responsable.

2.3.4. Justificación por viabilidad

El proyecto es altamente viable debido a la conjunción de factores técnicos, operativos y económicos que aseguran su correcta ejecución dentro del contexto de Cusco, 2025. Técnicamente, el estudio se basa en la adición de un subproducto abundante (residuos de mecanizado ferroso) a una matriz estándar (concreto), utilizando procesos estandarizados y equipos de ensayo disponibles en los laboratorios privados

especializados de la ciudad, conforme a las normas ASTM, (Norma E.070 Albañileria, 2019), al igual que otras normativas peruanas. Operativamente, el proyecto está rigurosamente delimitado en tiempo, espacio y alcance (porcentajes de 0 %, 25%, 50% y 75% de adición), lo que permite una planificación precisa del cronograma y el presupuesto. Económicamente, el aditivo principal es un residuo de bajo costo de adquisición, haciendo que la investigación sea accesible y sustentable para su desarrollo como tesis de pregrado y posterior aplicación local.

2.3.5. Justificación por relevancia

El proyecto posee una alta relevancia que se justifica por su triple impacto: científico-tecnológico, socioeconómico y ambiental. Científicamente, la tesis aborda una brecha de conocimiento en Perú al generar data empírica validada (NTP, 2018) y ASTM sobre la dosificación óptima y la influencia de los residuos de mecanizado ferroso en las propiedades clave del concreto, convirtiéndose en un referente técnico para futuras innovaciones en materiales. Socioeconómicamente, es crucial porque promueve la producción de bloquetas más seguras y resistentes en Cusco, elevando la calidad de las viviendas y la resiliencia estructural en una zona sísmica.

2.3.6. Justificación metodológica

La justificación metodológica se centra en la adopción de un diseño experimental y cuantitativo, considerado el más riguroso para establecer la relación de influencia entre los porcentajes de adición de residuos de mecanizado ferroso (variable independiente) y las propiedades físicas y mecánicas del concreto (variable dependiente). Este enfoque garantiza la validez interna mediante la manipulación controlada y el uso de un grupo patrón de comparación, mientras que la confiabilidad y comparabilidad de los datos se

aseguran por la aplicación estricta de normas técnicas estandarizadas (NTP, 2018) y ASTM en todos los ensayos de laboratorio. Finalmente, el proceso explícito de operacionalización de variables y la documentación de técnicas e instrumentos facilitan la replicabilidad del estudio, contribuyendo a la construcción de un marco metodológico sólido y útil para futuras investigaciones en materiales alternativos de construcción.

2.3.7. Importancia

La relevancia de esta investigación radica en la propuesta a una alternativa sostenible en la manufactura de elementos constructivos mediante la reutilización de residuos metálicos, lo que contribuye directamente a la mitigación del impacto ambiental. Adicionalmente, el estudio promueve el desarrollo de materiales innovadores con un alto potencial para mejorar las propiedades ingenieriles del concreto, dentro de materiales pesados, beneficiando directamente al sector académico en la ampliación del conocimiento y al sector industrial en la eficiencia de sus procesos. Su aplicación efectiva puede generar soluciones constructivas más económicas, eficientes y ecológicas, lo cual es de particular importancia en contextos locales como el de Cusco, donde la expansión urbana y la generación de residuos industriales mantienen un crecimiento constante.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H.G. La influencia de residuos de mecanizado ferroso influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto, permitiendo mantener o mejorar su desempeño. Cusco, 2025

2.4.2. Hipótesis especificas

H.E. 1. La densidad, absorción y succión de las bloquetas portantes de concreto, se ven influenciadas por los diferentes porcentajes de residuos de mecanizado ferroso añadidos.

H.E. 2. La resistencia a la compresión uniaxial y módulo de elasticidad de las bloquetas portantes de concreto, incrementan progresivamente por los diferentes porcentajes de residuos de mecanizado ferroso añadidos

H.E. 3. La resistencia a la compresión de pilas y resistencia a la compresión diagonal de muretes de bloquetas portantes de concreto, incrementan progresivamente por los diferentes porcentajes de residuos de mecanizado ferroso añadidos.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente: Residuos de mecanizado ferroso

La implementación de Residuos de mecanizado ferroso (R.M.F.) en forma de polvo en la matriz del bloque de concreto confiere ventajas significativas. Este polvo se comporta como un refuerzo interno que optimiza de forma efectiva las propiedades mecánicas del material. Dichas mejoras tienen el potencial de ampliar el campo de aplicación de las unidades de concreto, optimizando su desempeño estructural y funcional en diversas soluciones constructivas. (Pérez, 2019).

- **Efecto Relleno (Micro-Relleno):** Las partículas de polvo llenan los micro-vacíos y poros que quedan entre las partículas más grandes (cemento y agregados). Esto resulta en una mezcla más densa, compacta y menos

permeable, resaltando que esta puede resultar en una mezcla semi seca,la cual ayudara a tener a que tenga menos asentamiento.

- **Actividad Puzolánica (Potential):** El polvo de acero está compuesto principalmente por óxidos de hierro y, en ocasiones, trazas de otros elementos. Si el polvo contiene sílice reactiva, o si se somete a un tratamiento térmico, puede reaccionar con el hidróxido de calcio del cemento (Ca (OH)_2) para formar más productos de hidratación cementicia (CSH), lo que mejora la resistencia y durabilidad a largo plazo.
- **Resistencia a la Compresión:** El efecto de micro-relleno y la potencial actividad puzolánica del aditivo (polvo de acero), pueden llevar a un aumento significativo de la resistencia a la compression uniaxial al hacer la matriz más densa y fuerte.
- **Durabilidad:** La reducción de la porosidad y de la permeabilidad del concreto mejora de manera significativa su comportamiento frente a la acción de agentes externos agresivos, tales como el agua, las sales disueltas y ciertos compuestos químicos presentes en el ambiente. Esta condición limita la penetración de sustancias que pueden provocar procesos de deterioro, como la corrosión o la degradación interna del material, lo que se traduce en un incremento de la durabilidad y una prolongación de la vida útil de los bloques de albañilería.
- **Trabajabilidad:** La finura del polvo puede mejorar la trabajabilidad de la mezcla, actuando de forma similar a un plastificante al lubricar la matriz (aunque esto depende de la forma y el porcentaje de adición de este).

  La trabajabilidad del concreto fresco brinda la capacidad de adaptarse al

encofrado, llenar los espacios y colocarse de manera uniforme sin segregación ni fisuras. En este estudio, la incorporación de residuos de mecanizado ferroso, como variable independiente, afecta directamente la trabajabilidad al modificar la densidad, cohesión y fluidez del material durante su colocación.

2.5.2. Variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas de concreto se conceptualizan como los atributos esenciales que permiten la evaluación de su desempeño en aplicaciones de construcción. Las propiedades físicas (como densidad, absorción y succión) son cruciales para la durabilidad del elemento, mientras que las propiedades mecánicas (resistencia a compresión módulo de elasticidad) son determinantes para su capacidad de soporte de cargas estructurales. La observancia de estas propiedades es indispensable para garantizar el cumplimiento normativo y asegurar la aptitud del bloque para las funciones estructurales o no estructurales que le correspondan (Abanto, A., 2018).

- **Propiedades Físicas**

  Densidad (Peso Unitario):

  La densidad o peso unitario del bloque corresponde a la relación entre la masa y el volumen del elemento, expresada comúnmente en gramos por centímetro cúbico, y su determinación se realiza conforme a los procedimientos establecidos en la norma (ASTM C140, 2012)o lo mencionado en la (NTP 399.604, 2002). Este parámetro es fundamental, ya que permite clasificar el bloque como ligero o pesado y, además, influye directamente en su resistencia y su desempeño en condiciones de carga.

Absorción de Agua:

Corresponde a la capacidad del bloque para retener humedad, expresada generalmente en porcentaje, y constituye un parámetro fundamental para evaluar su comportamiento, además de acuerdo con la ASTM C140 y NTP 399.604, este ensayo permite determinar el grado de porosidad del material, lo cual resulta crítico para estimar su durabilidad frente a ciclos de humedecimiento, secado, heladas y posibles ataques químicos. En consecuencia, un valor de absorción adecuado no solo asegura un mejor desempeño del bloque en condiciones ambientales adversas, sino que también contribuye a garantizar su vida útil dentro de sistemas constructivos exigentes.

Succion:

Representa la capacidad de la superficie de la bloqueta para absorber agua por capilaridad en un periodo corto de tiempo. De acuerdo con la normativa ASTM C67 este ensayo es determinante para evaluar la adherencia interfacial entre la unidad y el mortero de asentado. Un valor de succión controlado es esencial para evitar la deshidratación prematura de la mezcla cementante; si la succión es excesiva, la unidad extraerá el agua necesaria para la hidratación del cemento en el mortero, comprometiendo la unión del sistema y reduciendo la resistencia del muro. Por el contrario, una succión adecuada garantiza una penetración óptima de la pasta de cemento en los poros de la bloqueta, asegurando la integridad estructural de la mampostería.

- **Propiedades Mecánicas:**

Resistencia a la Compresión Uniaxial (Unidad)

Constituye un parámetro principal para la clasificación estructural de la bloqueta y representa el esfuerzo máximo que el material puede soportar ante una carga axial aplicada gradualmente hasta su rotura. De acuerdo con la norma ASTM (C140, 2011) o su similar (NTP 399.604, 2002), este ensayo se realiza a las edades de 7, 14 y 28 días para monitorear la evolución del proceso de hidratación y la ganancia de resistencia, para esta investigación es de suma importancia, cómo la incorporación del R.M.F. modifica la matriz cementante y mejora la capacidad de soporte de carga de la unidad individual, estableciendo la base para el diseño de muros portantes.

Módulo de Elasticidad:

El módulo de elasticidad (*Em*) cuantifica la rigidez del conjunto, estableciendo la relación proporcional entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria experimentada. Su importancia radica en la capacidad de predecir la respuesta elástica de los muros portantes; un módulo elástico optimizado mediante la dosificación y la añadidura del residuo ferroso indica un material con mayor capacidad para mantener su integridad geométrica bajo niveles de servicio, reduciendo el riesgo de agrietamientos por deflexión o asentamientos diferenciales.

Resistencia a la Compresión en Pilas (*f'm*)

Representa la resistencia característica de la albañilería como sistema compuesto, evaluando la interacción conjunta de la bloqueta, el mortero de

asentado y el grout de relleno. Según la norma (NTP 399.605, 2013) o su similar (ASTM C1314, 2022), este ensayo simula el comportamiento real de un elemento estructural bajo cargas gravitacionales verticales. La importancia de esta variable radica en verificar que la adición de R.M.F. no solo beneficia a la unidad individual, sino que garantiza un comportamiento monolítico eficiente, asegurando que el sistema de mampostería armada pueda soportar de manera segura el peso propio y las cargas vivas de la edificación.

Resistencia a Compresión Diagonal de murete (*V'm*)

La resistencia a la compresión del murete, el cual se asemeja a un muro, constituye un parámetro crítico, ya que determina la capacidad máxima de carga que puede soportar el prisma ensayado, generalmente expresada en kilogramos por centímetro cuadrado para su entendimiento.

Un punto crítico a considerar es la norma (ASTM E519, 2022) o su equivalente (NTP 399 621, 2004), la cual constituye el protocolo técnico que regula la preparación, el curado y la aplicación de carga al espécimen de albañilería; gracias a ello, se generan datos reproducibles y estadísticamente válidos.

Posteriormente, estos resultados son insustituibles para calibrar modelos de diseño, pues permiten contrastar la resistencia nominal con la resistencia real del conjunto mortero-unidad, y último lugar, al verificar que la mampostería soporta con seguridad las acciones verticales prescritas, se minimiza la incertidumbre estructural y se justifica, con bases sólidas, la selección de mampostería portante antes de la ejecución de cualquier proyecto.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
Bloquetas de concreto adicionadas con residuos de mecanizado ferroso.	La incorporación de Residuo De Mecanizado Ferroso (R.M.F), acero reciclado en forma de polvo, en el bloque de concreto puede brindar ventajas significativas. Este polvo actúa como refuerzo para optimizar las propiedades físicas y mecánicas. Estas mejoras pueden ampliar el campo de aplicación de los bloques de concreto y optimizar su desempeño estructural y funcional (Seclen, 2024)	Las propiedades físicas se evaluarán en 03 edades (7, 14 y 28 días) y en 04 dosificaciones de residuos de mecanizado ferroso (0%, 25%, 50% y 75%). En cada edad y dosificación se evaluará 03 unidades. Por otro lado, como propiedad mecánica se evaluará en 01 edad (28 días) y en 04 dosificaciones de residuos de mecanizado ferroso (0%, 25%, 50% y 75%). En cada edad y dosificación se evaluará 03 unidades. Siendo en total 172 unidades de albañilería, que abarcan todos los ensayos descritos	Los porcentajes a usar son 0%, 25%, 50% y 75%, como sustitución al agregado global.	Razón porcentual	De razón (%).

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Propiedades físicas y mecánicas	Las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas de concreto se conceptualizan como los atributos que permiten evaluar su comportamiento y desempeño en aplicaciones constructivas. Las propiedades físicas incluyen características como densidad, absorción y succión de agua del bloque. Por otro lado, las propiedades mecánicas están relacionadas con la resistencia a esfuerzos como compresión, determinando su capacidad para soportar cargas estructurales. Estas propiedades son esenciales para asegurar que los bloques cumplan con normativas técnicas y garanticen su aptitud para funciones estructurales o no estructurales, dependiendo de su composición, dosificación y métodos de fabricación (Cespedes & Meneses, 2022).	Como primera propiedad física se evaluará la absorción, que consiste en sumergir las bloquetas endurecida en agua durante 24 horas, donde se determinará la variabilidad del peso antes y después de la inmersión. Como segunda propiedad física, se evaluará la densidad para lo cual se aplicará el principio de masa - volumen. Como tercera propiedad tendremos la Succión la cual evaluará la velocidad de absorción capilar de las bloquetas de concreto, donde la cara inferior entra en contacto con el agua por 60 segundos a una profundidad de 5 mm. Por otro lado, la primera propiedad Mecánica a evaluar será la resistencia a la compresión axial, para lo cual se usará una prensa hidráulica. Así mismo, se medirá la deformación en relación a la carga, con lo cual se permitirá determinar el módulo de elasticidad de la unidad de concreto. Como segunda propiedad, se evaluará la resistencia a la compresión de pilas y por último la resistencia a la compresión diagonal de muretes, para lo cual se dispondrá de un marco de carga mecánico.	Propiedades físicas	Densidad (Peso unitario de la unidad de albañilería)	De razón (g/cm3) ASTM C140 NTP 399.604, 2002
				Absorción %	De razón (%) ASTM C140 NTP 399.604, 2002
				Succión g/min/cm²	ASTM C67
			Propiedades mecánicas	Resistencia y modulo elástico	De razón (kg/cm2) Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de unidades de mampostería ASTM C140/ NTP 399.604 (2002)
					De razón (kg/cm2) Método de ensayo modulo elástico Norma E 0.70Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de prismas de mampostería ASTM C1314/ NTP 399.605 (2013)
					De razón (kg/cm2) Método de ensayo de compresión diagonal en albañilería ASTM E519/ NTP 399.621 (2004)

*Nota***.** Fuente: Elaboración Propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel Internacional

Según (Werkina Shewalul, 2021), en su investigación titulada "Evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón con adición de chatarra de acero", el autor analizó el comportamiento del hormigón al incorporar residuos de chatarra de acero como material alternativo, proponiendo una solución sostenible orientada al aprovechamiento de desechos industriales en el sector de la construcción. El propósito central del estudio fue evaluar experimentalmente la influencia de diferentes porcentajes de chatarra de acero (0 %, 0,5 %, 0,75 % y 1,5 %) sobre las propiedades mecánicas del hormigón, con el fin de determinar una dosificación óptima que mejore su desempeño estructural. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con un diseño experimental, utilizando un muestreo no probabilístico conformado por especímenes cúbicos de 150 × 150 × 150 mm para ensayos de resistencia a la compresión y especímenes cilíndricos de 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud para ensayos de resistencia a la tracción por hendimiento, siguiendo las directrices de las normas ACI 544.3R-93 y ACI 544.2R-89. Los resultados evidenciaron incrementos significativos en la resistencia a la compresión, alcanzando mejoras de hasta 30,7 % para dosificaciones intermedias, así como aumentos en la

resistencia a la tracción; sin embargo, se observó una disminución de la trabajabilidad del hormigón a mayores contenidos de chatarra. La investigación concluyó que la incorporación controlada de chatarra de acero permite mejorar las características mecánicas del hormigón, constituyéndose en una alternativa técnicamente viable y ambientalmente favorable para la reutilización de residuos industriales en materiales de construcción.

Según (Choez Abata, 2023), En su proyecto de titulación sobre el "Diseño de bloques de mampostería con adición porcentual de aserrín para mejorar sus características mecánicas", el autor propuso una alternativa sostenible en la construcción mediante la elaboración de eco-bloques fabricados con cemento y residuos industriales como el aserrín. El propósito central de esta investigación fue diseñar una unidad que, además de reutilizar subproductos, permitiera optimizar el uso de materiales tradicionales (cemento, agua y agregados), buscando así la reducción del impacto ambiental. La metodología empleada fue de naturaleza exploratoria y experimental, enfocándose en la ejecución de pruebas físicas a los bloques para estudiar su comportamiento mecánico ante distintas proporciones de aserrín, evaluando parámetros como la resistencia a la compresión, absorción de humedad y comportamiento térmico. Los resultados indicaron la factibilidad de mejorar algunas propiedades físicas del bloque de hormigón convencional mediante la dosificación adecuada de aserrín, sin comprometer significativamente su resistencia estructural. La investigación concluyó que el uso de aserrín como componente parcial en bloques de mampostería constituye una alternativa viable desde los enfoques técnico, económico y ambiental, al emplear un residuo industrial como material complementario en la fabricación de unidades de albañilería.

Según (Marwah Jaafar, Wisam Abdulilah, Qusay A., Layth Abdul Rasool, & Jaber KadhimA, 2021) en su estudio titulado “Some Mechanical Properties of Polymer Modified Concrete by Adding Waste Iron Filings and Chips” (Algunas propiedades mecánicas del hormigón modificado con polímeros mediante la adición de limaduras y astillas de hierro residual. Materiales clave de ingeniería), los autores evaluaron la mejora de las características del concreto modificado con polímeros mediante la incorporación de limaduras y virutas de hierro residual como sustituto parcial de la arena fina, con el propósito de optimizar propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, la resistencia a la flexión, la tracción y la compresión. La investigación fue de tipo aplicativo con diseño cuasiexperimental, empleando muestras cilíndricas de concreto polimérico con diferentes porcentajes de reemplazo de arena por limaduras de hierro residual (0 % a 40 %). La población de estudio consistió en especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300 mm de longitud, sometidos a ensayos mecánicos comparativos entre el concreto estándar y el modificado con residuos de hierro, bajo un muestreo no probabilístico. Los principales ensayos realizados incluyeron mediciones de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión aumentó de 32,2 MPa en la mezcla de referencia hasta 41,81 MPa con un 40 % de sustitución de arena por limaduras y virutas de hierro. De manera similar, la resistencia a la tracción mejoró de 2,83 MPa a 4,23 MPa, la resistencia a la flexión aumentó de 3,7 MPa hasta alrededor de 7,1 MPa y el módulo de elasticidad pasó de 21087 MPa a 25233 MPa con la máxima proporción de residuos metálicos. También se observaron mejoras adicionales en mezclas con mayor dosificación de superplastificante y menor relación agua-cemento para potenciar las

propiedades mecánicas del concreto polimérico. En conclusión, la adición de hasta 40 % de limaduras y virutas de hierro de desecho contribuye al incremento de las resistencias mecánicas del concreto modificado con polímeros, evidenciando que el uso de residuos metálicos ferrosos como componente parcial de mezclas cementantes puede ser una estrategia viable para mejorar el desempeño estructural de materiales de construcción sostenibles.

De acuerdo con (Baquero Guerrero, 2022), en su trabajo de investigación sobre el "Diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno tipo LEGO para mampostería no estructural...", los autores abordaron una problemática social en el municipio de La Mesa mediante la propuesta de una solución de ingeniería civil. La intervención consistió en el diseño de una caseta de vigilancia construida con un prototipo innovador de bloque ensamblable, fabricado a partir de una matriz de cemento y poliestireno expandido (un residuo plástico altamente contaminante). La investigación adoptó un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), sustentándose en ensayos de laboratorio y el cumplimiento de normas técnicas para validar el desempeño físico y mecánico del nuevo bloque. La incorporación del poliestireno buscó la optimización de las propiedades del material, la reducción de los tiempos de obra y la simplificación de la instalación, en contraste con las unidades convencionales. os autores concluyeron que este prototipo constituye una innovación técnica relevante dentro del ámbito de los materiales de construcción, al integrar criterios de sostenibilidad y aprovechamiento de residuos industriales, lo cual contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos relacionados con la producción y consumo responsables y la acción por el clima. Asimismo, se determinó que la

propuesta se consolida como una alternativa viable y sustentable para la construcción de edificaciones menores, al presentar un comportamiento mecánico adecuado, reducir el uso de materias primas convencionales y minimizar el impacto ambiental asociado a los procesos constructivos tradicionales.

(Gonzalez Rhenals, 2024), En su trabajo de grado titulado “Diseño de un proceso de fabricación de bloques de construcción compuestos, utilizando plásticos reciclados como materia prima”, el autor abordó la necesidad imperante de integrar materiales reciclados en la construcción como respuesta al impacto ambiental del sector. El estudio se centró en el diseño metodológico de un proceso de fabricación para bloques compuestos destinados a viviendas, utilizando como materias primas principales plásticos reciclados, específicamente PET y polipropileno (PP). La metodología se estructuró en cuatro fases clave, incluyendo el uso de herramientas de modelado como Ansys Granta Edupack y la aplicación de modelos de predicción teórica (Regla de las Mezclas y modelo de Mori-Tanaka) para estimar las propiedades mecánicas. Se analizaron parámetros como la resistencia a la compresión, flexión y tracción, comparando los resultados con unidades tradicionales. Los resultados validaron la viabilidad técnica de utilizar plásticos reciclados para fabricar bloques sostenibles, lo cual contribuye a la mitigación de la problemática ambiental de los residuos plásticos y consolida una alternativa ecológica y viable para la construcción, aportando al desarrollo de soluciones que fomentan la sostenibilidad.

Para (ScienceDirect, 2023) desarrollaron una investigación titulada “Utilización de escoria de acero proveniente de residuos industriales para concreto de blindaje contra radiación ionizante: una revisión sistemática”, cuyo objetivo fue analizar el potencial de la escoria de acero como agregado alternativo en concretos destinados al blindaje contra

radiación ionizante y evaluar su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del material. La metodología fue de tipo documental, con un diseño de revisión sistemática basada en el método PRISMA (pila), considerando estudios científicos indexados en bases de datos como ScienceDirect y Scopus, donde se analizaron distintos tipos de escoria de acero y proporciones de sustitución de agregados naturales. Los resultados demostraron que la incorporación de escoria de acero incrementa la densidad y la resistencia a la compresión del concreto, además de mejorar significativamente su capacidad de atenuación de radiación ionizante, evidenciada por la reducción de la capa de media atenuación (HVL). Como conclusión, los autores señalan que el uso de escoria de acero es una alternativa técnica y ambientalmente viable, que contribuye a la sostenibilidad del sector construcción mediante la valorización de residuos industriales.

3.1.2. A nivel Nacional

Según (Parizaca J. P., 2024) En una investigación desarrollada en Puno, Perú, titulada "Bloqueta de concreto con incorporación de fibra de acero de neumático reciclado en Juliaca", los autores se enfocaron en analizar el comportamiento mecánico de bloquetas de concreto mediante la adición de fibras de acero obtenidas a partir de neumáticos reciclados. El estudio evaluó mezclas con proporciones de fibra que variaron entre 0%, 3%, 5% y 7%, con el doble objetivo de valorizar un residuo contaminante como material de refuerzo y mantener los costos de producción. El contexto del estudio se fundamentó en la problemática ambiental generada por la acumulación de neumáticos y la necesidad de mejorar las condiciones estructurales de las viviendas. Los resultados demostraron que la adición de fibras de acero reciclado mejoró significativamente la resistencia mecánica de las bloquetas, alcanzando un incremento de hasta 14.90% con la

dosificación del 7% respecto a la muestra patrón. Esta propuesta no solo constituye una mejora técnica en la resistencia, sino que también promueve una alternativa sostenible para la gestión de residuos sólidos y fortalece las políticas de desarrollo sostenible en el sector construcción.

En cuanto a (García Zegarra, 2020), En su investigación titulada "Diseño de concreto usando escoria de acero para el blindaje de las construcciones de ambientes hospitalarios que requieran la atenuación de rayos X en Lima", los autores propusieron una alternativa innovadora para el diseño de concreto destinado a ambientes de radiodiagnóstico. El objetivo primordial del estudio fue optimizar la resistencia mecánica del concreto y, simultáneamente, mejorar su capacidad de atenuación frente a las radiaciones ionizantes, utilizando escoria de acero como sustituto de los agregados finos y gruesos.

El estudio, de naturaleza cuasi experimental, fabricó bloques de concreto con niveles de reemplazo del 30% y 50% de agregados tradicionales por escoria, contrastándolos con un concreto patrón de f'c = 280 kg/cm². Se realizaron pruebas de exposición a rayos X y de resistencia a la compresión. Los resultados demostraron que la mezcla con el 30% de escoria presentó el mejor desempeño en la atenuación de rayos X y alcanzó una resistencia a la compresión de 306.46 kg/cm², superando al patrón. Este trabajo concluye que la incorporación de subproductos industriales como la escoria de acero no solo mejora las propiedades mecánicas, sino que añade una función protectora esencial en ambientes hospitalarios, impulsando el desarrollo de soluciones constructivas sostenibles, eficientes y seguras para el sector salud.

García Zegarra demostró que la incorporación de escoria de acero como sustituto parcial de agregados en el concreto no solo mejora la resistencia a la compresión, sino que añade propiedades funcionales específicas, como la atenuación de rayos X. Este antecedente respalda la presente investigación, ya que evidencia que los residuos industriales ferrosos, utilizados en porcentajes controlados, pueden optimizar el desempeño del concreto. En ese sentido, el estudio de los Residuos de Mecanizado Ferroso en bloquetas portantes busca identificar un comportamiento similar, evaluando su influencia en las propiedades físicas y mecánicas, y promoviendo la valorización de subproductos industriales en la construcción.

Por otro lado (Ayarquispe Vivas, 2024), En su tesis titulada "Resistencia mecánica de muros de albañilería con bloques de concreto con limallas de acero, Juliaca, Puno, 2022", el autor desarrolló una investigación aplicada con el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de limallas de acero en la resistencia estructural de bloques de concreto para albañilería. El estudio empleó un enfoque cuantitativo-inductivo con un diseño experimental, elaborando un total de 30 muestras bajo diferentes porcentajes de adición de limallas (0%, 15%, 25%, 35% y 45%).Los resultados obtenidos indicaron que la adición de limallas de acero optimiza la resistencia mecánica del concreto hasta un límite específico. La dosificación óptima se alcanzó con el 25% de limallas, registrando un incremento del 19.86% en la resistencia a la compresión de pilas (85.61 kg/cm²) y un aumento del 15.66% en la resistencia axial de muretes (9.94 kg/cm²), en comparación con la muestra patrón. Se observó que la resistencia comenzó a decrecer a partir del 35% de incorporación.

La investigación concluyó que las limallas de acero constituyen una alternativa viable y económica para mejorar las propiedades mecánicas de los bloques de concreto, promoviendo el aprovechamiento sustentable de estos residuos industriales.

De acuerdo a (Ramos Huaman & Torres Castillo, 2024), en su tesis titulada "Adición de escoria de acero para aumentar la resistencia a la compresión del diseño de mezcla de concreto f'c = 210 kg/cm² para construcción de viviendas en el distrito de Lircay – Angaraes – Huancavelica", desarrollaron una investigación orientada a evaluar la influencia de la escoria de acero como material alternativo en el diseño de mezclas de concreto, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas y, simultáneamente, valorizar un residuo industrial de origen metálico. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, basada en la elaboración de mezclas de concreto con distintos porcentajes de escoria de acero como sustituto parcial de la arena fina, las cuales fueron sometidas a ensayos normalizados de resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos evidenciaron que la incorporación controlada de escoria de acero incrementa significativamente la resistencia a la compresión del concreto en comparación con la mezcla patrón, sin afectar negativamente su comportamiento estructural.

En consecuencia, los autores concluyen que la escoria de acero constituye un insumo técnicamente viable para la fabricación de elementos de concreto, aportando beneficios mecánicos, económicos y ambientales, lo que respalda su aplicación en el sector de la construcción sostenible.

Para (Seclén Taboada, 2021), en su trabajo de investigación titulado "Influencia de la viruta de acero en la resistencia a la compresión y tracción del concreto f'c=210

kg/cm2", abordó la problemática de la baja capacidad de resistencia a la tracción del concreto convencional y la gestión inadecuada de residuos industriales en la ciudad de Chiclayo mediante una propuesta de innovación en ingeniería de materiales. La intervención consistió en la valorización de las virutas de acero (residuo de procesos de mecanizado) para su incorporación como refuerzo en la matriz cementicia, buscando optimizar el desempeño estructural de mezclas estándar. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo de nivel experimental, sustentándose en el diseño y ensayo de probetas con dosificaciones del 1%, 3% y 5% de residuo ferroso, bajo el cumplimiento riguroso de las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y ASTM para validar su comportamiento físico-mecánico. La incorporación de la viruta buscó potenciar la transferencia de esfuerzos internos y mitigar la propagación de microfisuras, superando las limitaciones del concreto simple.

El autor concluyó que esta integración representa una innovación técnica y ecológica de alto impacto, ya que no solo incrementó significativamente la resistencia a la tracción y compresión, sino que consolidó una alternativa de economía circular que reduce la huella ambiental de la industria metalmecánica local.

(Zanabria Cayhuacas, 2024) En su tesis "Diseño de bloques de concreto para uso estructural que cumplan las características mecánicas en productores artesanales de la provincia de Arequipa, 2023", los autores tuvieron como propósito principal desarrollar bloques de concreto estructurales que satisficieran los requisitos de resistencia mínima establecidos por la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. El estudio se basó en una metodología experimental con muestreo probabilístico, evaluando inicialmente un total de 48 bloques provenientes de cuatro empresas productoras artesanales de Arequipa.

Los resultados iniciales confirmaron que los bloques comercializados no cumplían con la resistencia mínima normativa (mayor o igual a 70 kg/cm²), registrando valores que oscilaban entre 25.15 kg/cm² y 37.50 kg/cm². No obstante, tras la implementación del diseño de mezcla propuesto por la investigación, se logró superar la resistencia requerida, obteniéndose resistencias a la compresión uniaxial de 72.4 kg/cm², 73.7 kg/cm² y 65.9 kg/cm², con variaciones dependientes del tipo de agregado. En consecuencia, el estudio concluyó que el diseño propuesto permite a los productores artesanales mejorar sustancialmente la calidad de sus unidades, posicionándolas como una alternativa técnicamente viable para el uso estructural en edificaciones de albañilería.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Bloques De Concreto

Los bloques de concreto son elementos premoldeados diseñados para su empleo en los procesos constructivos propios de la albañilería armada. Para su producción, requieren materiales tradicionales del concreto, tales como piedra chancada, arena, cemento y agua. Gracias a esta composición sencilla, su fabricación puede realizarse directamente en obra, evitando así la necesidad de transporte de piezas terminadas y contribuyendo significativamente al avance del proceso constructivo, especialmente en proyectos de autoconstrucción (Arrieta & Peña, 2001).

Por otro lado, dentro de la industria de la construcción, se utilizan ampliamente los denominados bloques huecos de concreto, un componente prefabricado elaborado a partir de una mezcla de cemento y agregados. Estos elementos se caracterizan por poseer una o varias cavidades internas, cuyo número, forma y tamaño pueden variar. La presencia de estos huecos no solo disminuye el peso del bloque, sino que también mejora

su desempeño térmico y acústico, además de incrementar la eficiencia constructiva al requerir menor cantidad de material sin comprometer la resistencia estructural.

Asimismo, en la edificación de muros y otros componentes estructurales, estos bloques destacan por su durabilidad, su resistencia frente a incendios y su adecuado comportamiento ante condiciones ambientales adversas (Bloqueras, 2023).

- **Características generales de las unidades de albañileria**
  - En primer lugar, la normativa precisa que las "unidades de mampostería" abarcan tanto ladrillos como bloques fabricados con materiales como arcilla, sílice-cal u hormigón. De este modo, se establece un marco común que regula los elementos tradicionalmente empleados en los sistemas de albañilería (Norma E.070 Albañileria, 2019).
  - Además, la (Norma E.070 Albañileria, 2019) indica que las dimensiones y la masa de los ladrillos permiten que estos puedan manipularse con una sola mano gracias a su peso reducido y su tamaño compacto. En contraste, los bloques de concreto, al presentar un volumen y una masa superiores, exigen ser sujetados con ambas manos para garantizar su manipulación segura y precisa en obra.
  - A continuación, la (Norma E.070 Albañileria, 2019) señala que estas unidades pueden producirse de manera industrial lo que garantiza uniformidad y mayor control de calidad o mediante procesos artesanales. Asimismo, pueden presentarse en distintas configuraciones geométricas, tales como unidades sólidas, huecas o tubulares, dependiendo de los requerimientos estructurales o funcionales de la edificación.

- Por otro lado, la normativa establece que las unidades de albañilería de concreto deben cumplir condiciones mínimas de resistencia y estabilidad volumétrica antes de ser empleadas en obra. En este sentido, se exige que aquellas que han sido curadas con agua completen un periodo de 28 días, tiempo necesario para alcanzar las propiedades mecánicas adecuadas para su debida evaluacion (Norma E.070 Albañileria, 2019).

3.2.1.1. Clasificación de bloques de concreto

Según la Norma Técnica Peruana (Norma E.070 Albañileria, 2019) existen 2 tipos de bloques. Estos lineamientos permiten garantizar que cada componente estructural responda adecuadamente a las exigencias mecánicas, constructivas y de seguridad que demanda el proyecto, asegurando así un desempeño confiable y acorde con las normativas vigentes.

Tabla 2

Clasificación de bloques de concreto

CLASE	**VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en %)**			**ALABEO** (máximo en mm)	**RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN** *f'b* mínimo en MPa(kg/cm²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 100 mm	Hasta 100 mm		
Bloque P (1)	± 4	± 4	± 4	4	4.9 (50)
Bloque NP (2)	± 4	± 4	± 4	6	3.0 (20)

Nota: *(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes*

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes. Fuente: Norma E-0.70 (2019).

Los bloques de concreto se dividen en Portantes (P) y No Portantes (NP). El Bloque P es estructuralmente más exigente: requiere una resistencia mínima de 4.9 MPa (50 kg/cm²) y menor alabeo (4 mm). El Bloque NP, solo para divisiones, necesita una resistencia menor de 3.0 MPa (30 kg/cm²) y tolera más alabeo (6 mm).

3.2.1.1.1. Bloque de concreto Portante(P)

Los bloques portantes (o unidades portantes) son elementos de albañilería diseñados y especificados para la construcción de muros cuya función es resistir y transmitir eficientemente tanto las cargas verticales (peso propio y cargas de servicio) como las cargas horizontales (fuerzas sísmicas y de viento). Estas unidades poseen una alta capacidad resistente, debiendo soportar cargas máximas de hasta 50 kg/cm² (o 4.9 MPa) para cumplir su objetivo estructural de transferir las solicitaciones a los cimientos.

3.2.1.1.2. Bloque de concreto no portante (NP)

Los bloques no portantes son unidades de albañilería empleadas exclusivamente en la construcción de muros diseñados para soportar únicamente su propio peso y las cargas transversales aplicadas a su plano (como el viento o impactos ligeros). Estos bloques se utilizan comúnmente en la construcción de tabiques divisorios, cercos perimétricos y parapetos. Su función no es estructural, por lo que tienen un requisito de resistencia menor, con una capacidad máxima de 20 kg/cm². La Norma Técnica Peruana E.070 clasifica diversas clases de bloques según su uso y la resistencia mínima requerida, diferenciando claramente los portantes de los no portantes, tal como se detalla en la tabla de especificaciones.

3.2.1.2. Dimensionamiento

Por consiguiente, el correcto dimensionamiento de los elementos de mampostería es fundamental para asegurar un comportamiento estructural confiable que brinde seguridad y veracidad. Según (Arrieta & Peña, 2001), la falta de uniformidad en las dimensiones unitarias dificulta la construcción de un miembro estructural perfectamente vertical, generando irregularidades que pueden provocar excentricidad de la carga y, en consecuencia, la aparición de fuerzas de flexión adicionales, la cuales causarían una posible disminución de comportamiento estructural.

Asimismo, resulta importante considerar que la fabricación suele seguir una secuencia de bloques idénticos en altura y longitud, aunque pueden variar en su ancho. De acuerdo con (Arrieta & Peña, 2001), las paredes y tabiques pueden presentar alturas que oscilan entre 10 y 20 centímetros, mientras que sus dimensiones específicas quedan supeditadas a los requerimientos y especificaciones particulares de cada proyecto.

3.2.1.3. Componentes del bloque de concreto

A continuación, se describen los materiales empleados y las propiedades consideradas para la elaboración del bloque de concreto, los cuales comprenden arena gruesa, cemento, piedra chancada y agua.

Figura 1

Materiales para la elaboración de un bloque de concreto

Nota: La mezcla de concreto se compone de cinco elementos principales: cemento, arena (agregados finos), grava o confitillo (agregados gruesos), agua y a veces aditivos. Fuente: Abanto, A. (2018).

3.2.2. Cemento

El cemento se define como un aglomerante esencial en la construcción, cuya producción inicia con la mezcla de materias primas naturales: piedra caliza y arcilla. Estos materiales se someten a combustión a altas temperaturas, y el producto de su fusión inicial es el Clinker (Abanto, A., 2018). El proceso se completa al pulverizar el Clinker y añadir una proporción controlada de yeso, lo que transforma el material en el cemento final. Las industrias cementeras producen varios tipos de cemento, los cuales se clasifican según sus propiedades y composición, siguiendo las normativas internacionales ASTM C 150-07 y ASTM C 595.

En la actualidad, la selección del cemento para la elaboración de unidades de albañilería no solo responde a criterios de resistencia mecánica, sino que está supeditada al cumplimiento de normativas ambientales vigentes. Según lo establecido en el Código Técnico de Construcción Sostenible (Decreto Supremo N° 014-2021-VIVIENDA, 2021),

se exige que las edificaciones incorporen gradualmente el uso de "eco materiales" para reducir la huella de carbono en la industria de la construcción.

Bajo este marco normativo y en concordancia con los compromisos internacionales del Acuerdo de París y la Agenda 2030, empresas líderes en la región sur como Yura S.A. han reestructurado su cartera de productos hacia cementos de baja huella de carbono. Un punto relevante para la presente investigación es la transición técnica del cemento anteriormente denominado Tipo IP (Multipropósito) hacia la nueva denominación Yura MAX Tipo HS.

De acuerdo con la aclaración técnica emitida por el fabricante, el cemento Yura MAX Tipo HS se rige bajo las normas ASTM C1157 y la NTP 334.082, garantizando que mantiene las propiedades físico-químicas del antiguo Tipo IP, pero bajo una clasificación de alta resistencia a los sulfatos (HS) y un desempeño optimizado como eco material. Esta certificación de calidad, respaldada por las normas ISO 9001, 14001 y 45001, valida el uso de este insumo en la fabricación de bloquetas portantes con adiciones industriales (R.M.F.), asegurando que la matriz cementicia sea compatible con prácticas de construcción sostenible y de alta eficiencia ingenieril en la región del Cusco.

Figura 2

Cemento Yura MAX - Tipo HS

Nota. El cemento YURA MAX es un cemento hidráulico formulado para brindar un adecuado desempeño mecánico y mayor durabilidad del concreto. Su composición incorpora adiciones minerales que contribuyen a reducir la permeabilidad y a mejorar la resistencia frente a agentes agresivos del ambiente. Se emplea principalmente en elementos estructurales y obras de infraestructura. Asimismo, su proceso de fabricación permite disminuir el impacto ambiental asociado a la producción de cemento.

Fuente. Ficha Técnica YURA MAX 2024

Tabla 3

Clasificación del Cemento según NTP 334.082 Y ASTM C1157

Cemento	Denominación / Tipo	Normas Técnicas	Usos Principales
Yura MAX	**Tipo HS** (Alta Resistencia a los Sulfatos)	NTP 334.082	Obras en contacto con suelos salitrosos o con presencia de sulfatos.
		ASTM C1157	Estructuras en ambientes marinos o muelles. Cimentaciones, zapatas, muros de contención y tuberías de alcantarillado. Concreto masivo (por su bajo calor de hidratación).

Nota: La clasificación del cemento Yura MAX se sustenta en la norma ASTM C1157 o su equivalente (INACAL, NTP 334 082, 2017), la cual, a diferencia de las normas prescriptivas, regula los cementos hidráulicos mediante requisitos de desempeño físico para aplicaciones generales y especiales. La denominación Tipo HS certifica una alta resistencia a los sulfatos, mientras que su reconocimiento como "Ecomaterial" asegura el cumplimiento de los estándares de baja huella de carbono exigidos por el D.S. N° 014-2021-VIVIENDA para promover la edificación sostenible en el Perú.

Fuentes: (ASTM C1157, 2023; D.S. N° 014-2021-VIVIENDA) - Ficha técnica 2024 / v3, Yura Max.

La puzolana es una sustancia de origen mineral y terroso, cuyo origen se atribuye a erupciones volcánicas o a la descomposición de lavas. Físicamente, posee una estructura predominantemente amorfa o vítrea, pudiendo contener minerales cristalizados deformes. Además de las puzolanas naturales, la ingeniería civil emplea puzolanas artificiales como la ceniza volante, un subproducto residual de la combustión en centrales térmicas. La importancia de la puzolana radica en su capacidad de desarrollar propiedades aglomerantes al ser mezclada y reaccionar químicamente con el cemento Portland, propiedades que el material por sí solo no posee, mejorando así la durabilidad y resistencia del concreto. (Abanto, A., 2018)

3.2.3. Agua.

Según (Mariano, 2015), el agua incorporada en la mezcla de concreto cumple una doble función fundamental. En primer lugar, es químicamente indispensable para la hidratación del cemento, proceso que requiere aproximadamente entre el 25% y el 30% del peso del cemento para la reacción de fraguado y endurecimiento. No obstante, esta cantidad resulta insuficiente para la logística de obra. Por ello, el agua también cumple la segunda función crítica de conferir trabajabilidad a la mezcla, permitiendo su manipulación, transporte y colocación eficiente. Para lograr esta consistencia plástica y manejable, el contenido total de agua debe ser al menos el 40% de la masa de cemento.

De acuerdo con la Norma E.070, el agua empleada en la elaboración de las unidades de albañilería debe ser estrictamente potable y estar exenta de agentes químicos como ácidos o materia orgánica. Esta exigencia normativa es el primer filtro de protección para la presente investigación, ya que la presencia de impurezas en el agua alteraría el pH

de la mezcla. Esto permitirá que el residuo (R.M.F.) actúe efectivamente como un micro refuerzo estructural sin degradar la matriz cementicia a largo plazo.

En tal sentido, se presentan a continuación las características esenciales que el agua de amasado debe cumplir bajo el amparo de la Norma E.070 y la (NTP 339.088, 2019) **:**

Tabla 4

Características esenciales del agua para la Elaboración de la mezcla del Concreto

Parámetro Crítico	Descripción	Importancia en Bloquetas con R.M.F.
Condición de Potabilidad	El recurso hídrico debe satisfacer los estándares de consumo humano, garantizando la ausencia de microorganismos patógenos o agentes tóxicos que degraden la matriz cementicia.	Evita la degradación biológica y química inicial de la mezcla.
Pureza Química (Materia Orgánica e Inorgánica)	Se exige un líquido libre de impurezas que interfieran con la cinética química del cemento. Cantidades excesivas pueden alterar el proceso de hidratación y comprometer la resistencia final.	Asegura una adhesión óptima entre la pasta de cemento y las partículas metálicas.
Concentración de Cloruros y Sulfatos	La normativa establece límites estrictos de salinidad para prevenir ataques químicos expansivos y, fundamentalmente, para evitar la corrosión de los elementos metálicos internos.	**Crítico:** Previene la oxidación prematura y expansión del polvo de acero dentro del bloque.
Potencial de Hidrógeno (pH)	El agua debe mantenerse en un rango de neutralidad (ni muy ácida ni muy alcalina) para no inhibir las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento.	Protege la capa protectora del residuo ferroso, evitando un entorno corrosivo ácido.
Sólidos Totales Disueltos (STD)	La cuantificación de sólidos en suspensión y disueltos está regulada para no afectar la reología (trabajabilidad) de la mezcla ni los tiempos de fraguado inicial y final.	Garantiza que la mezcla fluya correctamente entre los espacios del polvo de acero.

Nota: De acuerdo con los parámetros técnicos detallados en la Tabla 4, el agua de la mezcla debe cumplir estrictamente con los estándares de potabilidad y pureza química para garantizar la integridad de la matriz cementicia. Se establece que el control del potencial de hidrógeno (pH) y la limitación de cloruros y sulfatos son factores determinantes para preservar la capa protectora de los Residuos de Mecanizado Ferroso (R.M.F.), evitando así la corrosión expansión interna que comprometería la durabilidad estructural. Asimismo, la restricción de materia orgánica y sólidos disueltos asegura una cinética de hidratación óptima y una adherencia mecánica superior en la interfaz acero-cemento, factores críticos para el desempeño de las unidades de albañilería propuestas.

Fuente. (Churata Halanocca, 2024).

3.2.3.1. Requisitos que debe cumplir el agua

La Norma Técnica Peruana (NTP 339.088, 2019) garantiza que el agua empleada en la elaboración del concreto sea apta para su uso, cumpliendo con los criterios de calidad necesarios para lograr un producto final con adecuada resistencia y durabilidad.

Tabla 5

Límites superiores permitidos para las sustancias presentes en el agua

Sustancias disueltas	Valor máximo admisibles
Cloruros	300 ppm *(1)*
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7 *(2)*
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Nota: De acuerdo con los parámetros técnicos detallados en la Tabla 5.

(1) ppm: Partes por Millón

(2) pH Potencial de Hidrógeno. Mide la acidez o alcalinidad (de 0 a 14). Si el pH es menor a 5 (ácido), destruye la capa protectora del acero.

El agua de la mezcla debe cumplir estrictamente con los estándares de potabilidad y pureza química para garantizar la integridad de la matriz cementicia. Se establece que el control del potencial.

Fuente. Creación original en base a Abanto (2009)

3.2.4. Agregado.

Según (Mariano, 2015), los agregados naturales son aquellos materiales pétreos que se obtienen directamente de la extracción de fuentes naturales. Estas fuentes incluyen lugares como ríos (donde se encuentra arena y grava), canteras o yacimientos. Ejemplos comunes de estos materiales son la arena, la grava, y la piedra triturada. Estos agregados deben cumplir con las características mínimas de calidad y granulometría establecidas en la Norma Técnica Peruana (NTP) para ser aptos para su uso en mezclas de concreto y mortero.

Los agregados representan la fase sólida predominante en la matriz del concreto, ocupando la mayor parte de su volumen total. Por este motivo, su rigurosa selección, análisis granulométrico y adecuada dosificación se consideran factores críticos para alcanzar los estándares de resistencia y durabilidad exigidos en la ingeniería civil. Bajo el cumplimiento de la normativa técnica peruana, estos materiales se categorizan de la siguiente manera:

3.2.4.1. Granulometría de Agregados

Se define como agregado al material granular, de origen natural o proveniente de procesos de trituración, cuya distribución granulométrica se encuentra comprendida entre los tamices de 4,75 mm (N° 4) y 0,075 mm (N° 200). En la tecnología del concreto, este material cumple una función fundamental al densificar la matriz, al ocupar los espacios intersticiales entre las partículas de mayor tamaño, lo que contribuye a mejorar la trabajabilidad, la compactación y la adherencia interna de la mezcla.

La determinación de la distribución del tamaño de las partículas se realiza mediante el análisis granulométrico, empleando una serie de tamices estandarizados. En el caso de la arena fina, el procedimiento considera las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Peruana E 0.70 de Albañilería y (NTP 400.012, 2001).

En la presente investigación, el análisis granulométrico se desarrolla para arena media y confitillo, verificándose que sus proporciones se encuentren dentro de los límites permisibles definidos por la normativa, con el propósito de asegurar que la mezcla de concreto alcance los niveles de resistencia mecánica y durabilidad exigidos por el diseño estructural.

Figura 3

Límites granulométricos según NORMA E 0.70

Malla ASTM	Abertura (*1*)(mm)	% que pasa
N° 4	4,75	100
N° 8	2,36	95 – 100
N° 16	1,18	70 – 100
N° 30	0,60	40 – 75
N° 50	0,30	10 – 35
N° 100	0,15	2 – 15
N° 200	0,075	Menos de 2

Nota: (1) mm: la milésima parte de un milímetro

La granulometría de la arena fina muestra que el 100 % del material pasa la malla N° 4 (4,75 mm), cumpliendo con la definición normativa de arena fina. Los porcentajes que pasan por las mallas N° 8, 16, 30, 50, 100 y 200 se encuentran dentro de los rangos establecidos, lo que evidencia una distribución granulométrica adecuada y continua. Esta característica permite una mejor compactación de la mezcla, una reducción de vacíos y una adecuada trabajabilidad, contribuyendo positivamente al comportamiento físico y mecánico del concreto utilizado en la elaboración de bloquetas.

Existe una distinción técnica fundamental por la cual la malla N° 200 (0.075 mm) no se incluye en la tabla de gradación (huso granulométrico), sino que se trata como un límite de impurezas.

Los agregados deben cumplir con ciertos requisitos de calidad para asegurar que el concreto resulte resistente y duradero. Estos requisitos pueden incluir que tan resistente a la compresión, la resistencia al desgaste, la forma y la textura superficial, entre otros.

Según la norma, para concreto sujeto a abrasión (como pavimentos o bloques expuestos), el límite máximo suele ser del 3% al 5%. Superar este valor significa que tu arena está "sucia" y debe ser lavada.

Fuente. NTP E 0.70 Albañilería.

3.2.5. Metales ferrosos

Los metales ferrosos se definen como aquellos elementos y aleaciones que contienen hierro (Fe) en su composición, abarcando categorías comunes como el hierro dulce, el hierro forjado, la fundición y el acero. Estos materiales se encuentran entre los más utilizados en la ingeniería debido a los bajos costos asociados a sus procesos de extracción y obtención.

El hierro, cuyo elemento químico se representa con las siglas Fe, es notablemente el segundo metal más abundante en la corteza terrestre. No obstante, una de sus limitaciones técnicas es su susceptibilidad a la corrosión al ser expuesto al aire y al agua, proceso que puede conducir a su deterioro progresivo y, eventualmente, a la falla estructural o rotura del elemento. Finalmente, se establece que el punto de fusión característico de estos materiales se aproxima a los 1500 grados centígrados. (Abanto, 2018).

Las categorías de metal forjado ofrecen mejoras sustanciales en las propiedades mecánicas en comparación con otros métodos de procesamiento, como es el caso del

metal fundido, es por ello que, dentro de este enfoque, una técnica clave es la pulverización, la cual consiste en la transformación del metal en un polvo fino y en esta tesis denominado Mecanizado Ferroso (MF). Este material pulverizado permite su posterior procesamiento mediante técnicas metalúrgicas específicas para la fabricación de componentes con características optimizadas.

En relación con el material base, se presenta las características clave del hierro, incluyendo sus elementos de aleación y su punto de fusión, según la fuente citada (Gallegos, M., & Casabonne, M, 2005)

Tabla 6

Característica del hierro

Tipo	Característica
Símbolo	Fe
Distribución cristalina	BCC
Temperatura	1539 °C (2802 °F) FUSIÓN
Elasticidad	209000 MPa (30 × 106 lb/in2)
Mineral	Hematita (Fe2O3)
Aleación	Carbono, cormo, manganeso, níquel, molibdeno, vanadio y silicio

Nota. El hierro (Fe) es un metal con un alto punto de fusión (1539 grados Celsius) y una notable elasticidad (209,000 MPa), obtenido principalmente de la hematita. Es esencial en la industria porque forma aleaciones con elementos como carbono, cromo y níquel, cuyo propósito es mejorar sustancialmente sus propiedades mecánicas y su resistencia. Fuente: Adaptado de (Gallegos, M., & Casabonne, M, 2005)

- **Propiedades sobre el uso del acero R.M.F (Polvo de acero)**

En relación a lo mencionado, podemos decir que el acero constituye un material esencial en múltiples industrias, debido a la diversidad de propiedades físicas y mecánicas que presenta, las cuales determinan su campo de aplicación. Entre sus características más destacadas se encuentra su notable resistencia a la corrosión, lo que permite su uso eficiente en entornos altamente agresivos. Por ello, es ampliamente empleado en la construcción naval como en cascos de embarcaciones y plataformas marinas, así como en elementos de infraestructura expuestos a la intemperie, tales como cubiertas, barandas y sistemas de desagüe.

El acero se reconoce como un material indispensable debido a su notable resistencia y su alta conductividad eléctrica y térmica, lo que permite su empleo en sectores que van desde la construcción naval hasta la fabricación de dispositivos tecnológicos avanzados. En el campo de la salud, esta versatilidad se extiende al blindaje radiológico en infraestructuras hospitalarias, donde se utiliza para conformar las barreras de protección en salas de rayos X, tomografías y otros exámenes médicos de diagnóstico por imagen. Gracias a su densidad, este material actúa como un escudo eficiente contra la radiación ionizante, garantizando la seguridad biológica en los entornos clínicos donde se requiere una protección rigurosa contra la exposición a ondas electromagnéticas.

Del mismo modo, su eficiencia como conductor térmico amplía aún más sus aplicaciones, especialmente en actividades que requieren una adecuada transferencia de calor. En este contexto, es común encontrarlo en utensilios de

cocina, radiadores, intercambiadores de calor y paneles solares, donde su desempeño contribuye a mejorar la funcionalidad y durabilidad de estos sistemas.

Tabla 7

Propiedades mecánicas sobre el uso del acero

Uso del acero		
Por ser resistente a la corrosión, el acero se usa en: • Cascos de embarcaciones y plataformas marinas • Cubiertas, techumbres y desagües • Pernos, clavos • Usos decorativos interiores	Por ser conductor de electricidad, el acero se usa en: • Cables eléctricos • Telefonía • Electrónica • Computadores • Transporte • Electrodomésticos	Por ser conductor térmico, el acero se usa en: • Utensilios de cocina • Radiadores • Paneles solares

Nota. El acero es versátil por sus propiedades: se usa en ambientes marinos y techumbres por su resistencia a la corrosión; en electrónica y cables por su conductividad eléctrica; y en utensilios de cocina y radiadores por su conductividad térmica. Fuente: (Menzel, 1934).

3.2.6. Residuo de mecanizado ferroso (Polvo de acero)

Se define al Residuo de Mecanizado Ferroso (R.M.F.), específicamente en su forma de polvo de acero, como un subproducto obtenido de los procesos de manufactura en talleres de tornería. Este material conserva las propiedades físicas y mecánicas del acero, destacando por su alta densidad y su capacidad de blindaje. El polvo de acero derivado de las operaciones de tornería y mecanizado, aunque a menudo es considerado

un simple desecho industrial, permiten su reaprovechamiento en diversos sectores técnicos. Su alta densidad, conductividad y contenido ferroso lo convierten en un insumo valioso.

3.2.7. Centro de Acopio

El Centro de Acopio es el punto logístico esencial que justifica la obtención del agregado alternativo de esta tesis, es decir, el residuo de mecanizado ferroso (polvo de acero). Estos centros concentran grandes volúmenes de desechos metálicos (chatarra y viruta y polvo) generados por la industria metalmecánica local. (INEN, 2010). transformando un residuo contaminante en una materia prima secundaria. La gestión centralizada en el acopio no solo facilita la recolección masiva para el aprovechamiento industrial, sino que también asegura la sostenibilidad, pues reduce la cantidad de desechos depositados en vertederos y ofrece una alternativa económica local para la sustitución parcial de la arena fina (INEN, 2010).

Importancia del torno:

Dentro de la temática de los materiales alternativos para la construcción, el torno es la herramienta clave para la generación de los residuos ferrosos de mecanizado. Este equipo, al someter una pieza metálica en rotación al corte de una herramienta fija, produce el desprendimiento de metal en forma de virutas o fragmentos (polvo). La morfología de estas, en especial relacionado con el polvo (continua, segmentada, etc.) es un subproducto directo del proceso, y son precisamente estos desechos metálicos recuperados los que se propone utilizar como un agregado alternativo en la matriz de concreto para evaluar la mejora de sus propiedades mecánicas.

Este proceso de manufactura sustractiva permite transformar un residuo industrial en un material de alto valor tecnológico que, al ser integrado con los agregados, potencia la densidad y la capacidad de blindaje de las bloquetas, ofreciendo una alternativa sostenible y funcional para la construcción especializada.

Figura 4

Industria manufacturera –El Torno

Nota: El proceso de torneado genera polvo (metal sobrante) que se desprenden de la pieza en rotación. Estos residuos son sistemáticamente recogidos para su reciclaje, subrayando la práctica de aprovechamiento de desechos industriales en el taller.

Es fundamental reconocer que el residuo de mecanizado (polvo), al estar intrínsecamente mezclado con fluidos de corte durante el proceso, presenta una dificultad inherente para su reciclaje, aunque no resulta imposible. En el ámbito industrial, diversas estrategias de gestión son empleadas: algunos talleres optan por el almacenamiento de estos residuos en áreas específicas, mientras que otros implementan maquinaria especializada para realizar la separación físico-química del R.M.F. y el fluido.

Posteriormente, proceden a la clasificación de los diferentes tipos de metales (ferrosos y no ferrosos) y compactan el producto final. Este material compactado es vendido a terceros encargados de su disposición final o reutilización. No obstante, algunos productores simplifican la logística al vender el polvo en su estado inicial, sin la previa separación de los fluidos.

3.2.8. Polvo de acero reciclado

El polvo de acero obtenido de los talleres de tornería se define como un residuo sólido particulado, derivado de la eliminación de material a través del uso de herramientas de corte en procesos de acabado superficial.

El polvo de acero reciclado se define como un subproducto metálico fino que emerge de procesos industriales clave, tales como el corte, el esmerilado y el mecanizado del acero, que ocurre cuando se aplican velocidades de corte elevadas y profundidades de pasada mínimas, lo que impide la formación de una viruta continua y da lugar a partículas de escala micrométrica.

La creciente acumulación de este residuo ha suscitado una preocupación ambiental significativa, lo cual ha impulsado activamente líneas de investigación orientadas a su valorización como material alternativo en la construcción, la metalurgia secundaria y la ingeniería de materiales.

Bajo un criterio de sostenibilidad, la reutilización efectiva de este desecho es fundamental: permite reducir el volumen de residuos destinados a disposición final y disminuir la demanda de materia prima virgen, alineándose de manera directa con los principios rectores aplicados al sector.

Según (Mariano, 2015), En el contexto educativo y formativo, se establece como fundamental el fomento del análisis de nuevas tecnologías y materiales emergentes que impactan directamente en el desarrollo de soluciones sostenibles. Trasladando esta visión al ámbito industrial, el polvo de acero reciclado se configura como una oportunidad de innovación con potencial para diversas aplicaciones técnicas, incluyendo su uso como aditivo en mezclas asfálticas, en la estabilización de suelos y en la elaboración de materiales compuestos.

Investigaciones recientes han demostrado que este polvo metálico puede optimizar ciertas propiedades mecánicas y térmicas de los materiales base, siempre que se ejecute una correcta caracterización granulométrica y química del residuo. Además, su incorporación favorece la reducción del impacto ambiental generado por las actividades constructivas

En consecuencia, la valorización del polvo de acero reciclado no solo representa una alternativa técnica viable, sino también una práctica plenamente alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al promover activamente el consumo responsable y la producción limpia en la ingeniería civil.

Figura 5

Polvo de acero (R.M.F.)

Nota: Metal sobrante, considerado R.M.F., prácticamente es considerado un desecho.

3.2.8.1. Propiedades del polvo de acero reciclado

Según (Callister, 2020) diversos estudios han reportado que el polvo de acero presenta propiedades físicas y químicas relevantes para su aprovechamiento:

- **Alta densidad**: entre 5,5 y 7,8 g/cm³, dependiendo del contenido de hierro y carbono.
- **Tamaño de partícula**: variable, pero generalmente menor a 300 micras.
- **Composición química**: rico en **hierro (Fe)**, con posibles trazas de carbono, cromo, níquel, y otros metales según el tipo de acero original (García Zegarra, 2020).
- **Conductividad térmica y eléctrica**: moderadamente alta, lo que permite su uso en materiales termoactivos.

- **Propiedades magnéticas**: en su mayoría ferromagnético, útil en aplicaciones industriales especializadas.
- **Alta resistencia a la compresión** cuando se incorpora en ciertas proporciones a materiales cementicios (Alvarado-Gutiérrez, Torres-Toapant, & Valle-Benítez , 2013)

Estudios como el de (Martínez-Molina, W., 2015)han demostrado que la inclusión de polvo de acero reciclado en morteros puede aumentar la resistencia mecánica hasta en un 15%, dependiendo de la dosificación y el tipo de cemento empleado. Asimismo, su uso en mezclas asfálticas puede mejorar la cohesión interna y reducir la deformación plástica.

Además, su reutilización reduce el volumen de residuos sólidos generados por la industria metalúrgica, contribuyendo directamente a la mitigación de impactos ambientales y a la sostenibilidad del sector

El creciente interés por la industria de la construcción ha posicionado los residuos de mecanizado ferroso (R.M.F.), también denominados polvo o virutas de acero, como un material de alto potencial para la valorización (Martínez-Molina, W., 2015). Este subproducto metálico, generado principalmente por operaciones de corte y esmerilado, requiere una adecuada gestión que trasciende la simple disposición final (Martínez-Molina, W., 2015). Su reutilización como aditivo en matrices cementicias se justifica no solo por la mitigación del impacto ambiental, sino también por la búsqueda de la optimización del desempeño ingenieril del producto final. (Xavier martinez, Marianella Hernandez, 2020)

3.2.8.1.1. Granulometría del polvo de acero

La granulometría del polvo del acero reciclado corresponde a material metálico que resulta de la recuperación y posterior redistribución proporcional de los tamaños de las partículas que componen este residuo metálico fino. Esta característica es determinante para su correcta incorporación, ya que influye directamente en la homogeneidad de la mezcla, la compactación y la adherencia con el cemento. En este estudio, para realizar la caracterización granulométrica del polvo de acero, se emplean los mismos parámetros y procedimientos utilizados para la granulometría de los agregados según la Norma Técnica Peruana, adaptándolos al tamaño reducido de las partículas. En general, el polvo de acero presenta partículas de tamaño variable, mayormente inferiores a 300 micras, lo que permite una distribución uniforme dentro de la mezcla y contribuye a mejorar propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y la cohesión interna del material final.

3.2.8.2. Propiedades Físicas de la Matriz con Polvo de Acero

La incorporación del polvo de acero en la mezcla de concreto o mortero influye directamente en las propiedades físicas del material endurecido, principalmente debido a las diferencias en la densidad de partícula y la granulometría del residuo en comparación con los agregados convencionales (INACAL, 2018).

3.2.8.2.1. Densidad (Peso Unitario)

La densidad es un parámetro físico crucial que afecta la capacidad portante y la masa de una estructura (ASTM C140). La evidencia sugiere que la sustitución parcial del agregado (generalmente el fino) por residuos de hierro o acero, los cuales

poseen una densidad específica superior a la de los agregados naturales, tiende a incrementar la densidad aparente de la mezcla resultante. Este aumento se correlaciona con una mayor compacidad de la matriz cementicia (Escamirosa Montalvo, B., 2022)

3.2.8.2.2. Absorción de Agua y Porosidad

La absorción de agua es un indicador directo de la porosidad interconectada del material y está íntimamente ligada a la durabilidad del elemento constructivo (ASTM C140). La incorporación de partículas muy finas, como el polvo de acero, puede tener un doble efecto:

1. **Efecto de Llenado de Vacíos:** Las partículas finas del M.F. pueden ocupar los poros y micro vacíos entre los agregados y la pasta de cemento, resultando en una disminución de la permeabilidad y la absorción (Ricardo Matallana, 2015)
2. **Efecto de la Relación Agua/Cemento:** Si la adición de polvo de acero exige un mayor contenido de agua para mantener la trabajabilidad (fluidez), se podría generar un aumento en la porosidad (Ricardo Matallana, 2015). La caracterización granulométrica del residuo es fundamental para prever este comportamiento.

3.2.8.2.3. Módulo de Elasticidad

Al incorporar el polvo de acero como micro-refuerzo, se optimizan la compacidad y la resistencia de la matriz de concreto. Esta mejora en la microestructura se traduce directamente en un incremento de la rigidez global del elemento. Por consiguiente, se anticipa que la adición del residuo ferroso resultará en un aumento

del Módulo de Elasticidad de las bloquetas, lo que mejorará su desempeño bajo cargas y su capacidad para limitar la deformación bajo esfuerzos de servicio. Este incremento es favorable para elementos estructurales, ya que indica una mayor capacidad para reducir las deflexiones y garantizar la estabilidad dimensional de la albañilería (Romero Olortegui, Edwin Hernan, 2023)

3.2.9. Albañileria

De acuerdo con la (Norma E.070 Albañileria, 2019), la Albañilería se define como un sistema estructural compuesto por unidades de albañilería (bloques o ladrillos) que se unen y apilan mediante mortero. Se establece una distinción crucial, ya que si en el proceso de construcción de estos muros se incorpora concreto en estado líquido (ya sea para rellenar las celdas de los bloques o para configurar elementos de confinamiento como columnas y vigas), el sistema se transforma en Albañilería Confinada o Armada, lo cual le confiere una mayor capacidad portante y una mejor respuesta estructural, especialmente frente a las fuerzas sísmicas.

3.2.10. Albañileria Alveolar

La albañilería alveolar se define como la construcción de muros empleando unidades de albañilería que presentan alvéolos o celdas internas, las cuales pueden alojar refuerzos o grout, optimizando el desempeño estructural y la eficiencia del material en el muro, según lo establece la Norma Técnica E.070. Dicha norma indica que las unidades alveolares deben cumplir con requisitos dimensionales, de resistencia y de uso según su función portante o no portante, y que, en zonas sísmicas, se requiere un correcto relleno de las celdas para garantizar la integridad estructural. Este concepto se vincula con la

valorización de residuos de mecanizado ferroso (R.M.F.) en la fabricación de bloquetas, puesto que la incorporación de estos residuos puede modificar las propiedades físico–mecánicas de las unidades alveolares de concreto, promoviendo sistemas constructivos más sostenibles y alineados con la normativa peruana.

3.2.10.1. Unidad de albañileria

La unidad de albañilería constituye el elemento básico de los sistemas de mampostería y se produce a partir de distintas materias primas, tales como arcilla, concreto o mezclas de sílice y cal, empleando procesos de moldeo y compactación. La Norma Técnica Peruana E.070 (2006) establece una diferenciación operativa clave entre ellas: el ladrillo se define por tener dimensiones y peso que permiten su manipulación con una sola mano durante el asentado; en contraste, el bloque posee mayores dimensiones y peso, por lo que requiere ser manipulado con ambas manos. Esta clasificación es crítica para la logística de obra y la estandarización dimensional de los elementos estructurales.

3.2.10.1.1. Características de la Unidad de albañilería

Conforme a la Norma Técnica Peruana E.070, la clasificación de la unidad de albañilería (fabricada a base de arcilla, concreto o sílice-cal) se establece en función de la manipulación requerida para su asentado en obra. Se emplea el término ladrillo para referirse a una unidad cuyas dimensiones y peso permiten que sea manipulada con una sola mano. Por el contrario, el término bloque se aplica específicamente a aquellas unidades que, debido a su mayor tamaño y peso, exigen ser manipuladas con ambas manos. Esta distinción es fundamental para la correcta especificación y

aplicación de los elementos en el diseño y construcción de muros. (Norma Técnica Peruana E070, 2006).

Las unidades de albañilería empleadas en la construcción presentan diversas características morfológicas, pudiendo ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares. Además de su forma, estas unidades pueden ser elaboradas mediante procesos de producción industrial o artesanal. Independientemente de su morfología o método de fabricación, es imperativo que todas las unidades cumplan rigurosamente con los estándares de calidad y desempeño establecidos por la normativa técnica peruana vigente, garantizando así su idoneidad estructural (Norma Técnica Peruana E070, 2006).

En la ciudad, la producción artesanal de unidades de albañilería carece de certificación, lo cual genera una incertidumbre crítica sobre si estas cumplen con los requisitos de la normativa vigente. Independientemente del método de fabricación, las unidades de albañilería de concreto deben alcanzar su resistencia especificada y estabilidad volumétrica antes de ser utilizadas en obra. Específicamente, para las unidades curadas con agua, la norma establece un plazo mínimo de 28 días para el curado. Este periodo es fundamental para garantizar que la unidad ha desarrollado la resistencia necesaria y la durabilidad requerida antes de su empleo estructural.

3.2.10.1.2. Unidades de albañilería hueca

Una unidad es clasificada como hueca si el área neta (considerada albañilería alveolar) de su sección transversal, medida en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, resulta ser inferior al 70% del área bruta total de ese mismo

plano. Es decir, el material removido (vacío o hueco) representa más del 30% de la sección. Esta clasificación es esencial en la ingeniería civil, ya que esta influye directamente en el cálculo de la capacidad portante y el peso unitario del elemento de albañilería. (Mariano, 2015)

3.2.10.1.3. Unidades de albañilería solida o maciza

Una unidad es clasificada como sólida cuando el área neta de su sección transversal, correspondiente al área efectiva del material y medida en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, es igual o mayor al 70 % del área bruta total considerada en dicho plano. Esto significa que los huecos o vacíos perpendiculares a la cara de asiento, si existen, no deben ocupar más del 30% del área total. Esta característica confiere a la unidad una mayor masa y capacidad portante directa en comparación con las unidades huecas. (Mariano, 2015)

3.2.10.1.4. Unidades de concreto

Las unidades de albañilería elaboradas con concreto comprenden tanto ladrillos como bloques, los cuales pueden presentar configuraciones macizas o alveolares. Su fabricación se lleva a cabo mediante procesos de moldeo que emplean presión, vibración o la combinación de ambos métodos, garantizando una compactación adecuada. Estas unidades se distinguen generalmente por su tonalidad gris característica. Un aspecto crucial de la fabricación de unidades de concreto es la flexibilidad para ajustar las proporciones de la mezcla (cemento, agregados y agua), permitiendo obtener unidades con diversas resistencias (fuerza y durabilidad)

incluso dentro de la misma tipología, adaptándose así a los requisitos estructurales específicos de la obra. (Gallegos, M., & Casabonne, M, 2005)

3.2.10.2. Propiedades de las unidades de albañilería

3.2.10.2.1. Propiedades físicas

- **Absorción:**

Según (Mariano, 2015), los agregados naturales son aquellos materiales pétreos que se obtienen directamente de la extracción de fuentes naturales. Estas fuentes incluyen lugares como ríos (donde se encuentra arena y grava), canteras o yacimientos. Ejemplos comunes de estos materiales son la arena, la grava, y la piedra triturada. Estos agregados deben cumplir con las características mínimas de calidad y granulometría establecidas en la Norma Técnica Peruana (NTP) para ser aptos para su uso en mezclas de concreto y mortero. (Natalia Fuentes Molina, Katerin Jiménez Mendoza, R, 2021)

- **Densidad**

La densidad, también denominada peso unitario de la unidad de albañilería, es una propiedad física fundamental que expresa la relación entre la masa del elemento y su volumen. Esta propiedad permite evaluar el grado de compactación del material y la proporción de vacíos presentes en su estructura interna. En las unidades de albañilería de concreto, una mayor densidad suele asociarse con una mejor compactación, menor porosidad y, en consecuencia, con un mejor comportamiento mecánico, especialmente frente a esfuerzos de compresión.

- **Alabeo:**

El alabeo se define técnicamente como las deformaciones superficiales que se manifiestan en las caras de una unidad de albañilería de concreto. Estas deformaciones son curvaturas que pueden adoptar formas cóncavas (hundidas hacia adentro) o convexas (abombadas hacia afuera) en las superficies del bloque. (Natalia Fuentes Molina, Katerin Jiménez Mendoza, R, 2021)

- **Succión:**

Una succión excesiva por parte de la unidad de albañilería al momento del asentado compromete seriamente la calidad de la junta con el mortero. Cuando la unidad absorbe agua rápidamente, el mortero experimenta una deshidratación y endurecimiento acelerados, lo que provoca deformaciones y dificulta el logro de un contacto completo y estrecho con la superficie. El resultado de esta rápida pérdida de agua es una adherencia deficiente e incompleta entre el bloque y el mortero, lo que conduce a la formación de uniones de baja resistencia y altamente permeables al agua (Gallegos, M., & Casabonne, M, 2005).

3.2.10.3. Propiedades mecánicas

3.2.10.3.1. Resistencia a la compresión (f'b):

La Resistencia a la Compresión Uniaxial es el indicador mecánico crucial que define la capacidad portante intrínseca de una unidad de albañilería. Este valor representa la máxima tensión compresiva que el bloque puede soportar axialmente sin colapsar. Se expresa típicamente en Megapascales (MPa) y es fundamental en ingeniería civil para:

1) Evaluar la aptitud estructural del material, y

2) Verificar el cumplimiento normativo en el diseño de muros portantes, asegurando que la unidad puede transferir eficientemente las cargas verticales de la superestructura hacia los cimientos. (Martínez, E., & López, R., 2020)

Figura 6

Bloque de concreto sometido a compresión

Nota: El ensayo de resistencia a la compresión es un control de calidad clave. Consiste en aplicar una carga axial creciente con una prensa hidráulica a una probeta de concreto hasta que se fractura. Esto determina la resistencia máxima del material, asegurando que cumple con los requisitos estructurales de la obra.

Fuente. ASTM C140, NTP 399.604

3.2.10.3.2. Resistencia a la compresión en pilas (f´m):

Esta propiedad es la medida de la capacidad máxima de una pila (muestra construida apilando unidades y mortero) para resistir fuerzas de compresión aplicadas a lo

largo de su eje longitudinal. Es un parámetro estructural crítico, ya que simula el comportamiento del muro real en obra. Se determina mediante pruebas de carga directas en las pilas o, alternativamente, mediante estimaciones basadas en ensayos de laboratorio sobre los componentes (unidades y mortero) y correlaciones empíricas. Esta resistencia es fundamental para el diseño estructural de muros portantes. (Abanto, A., 2018)

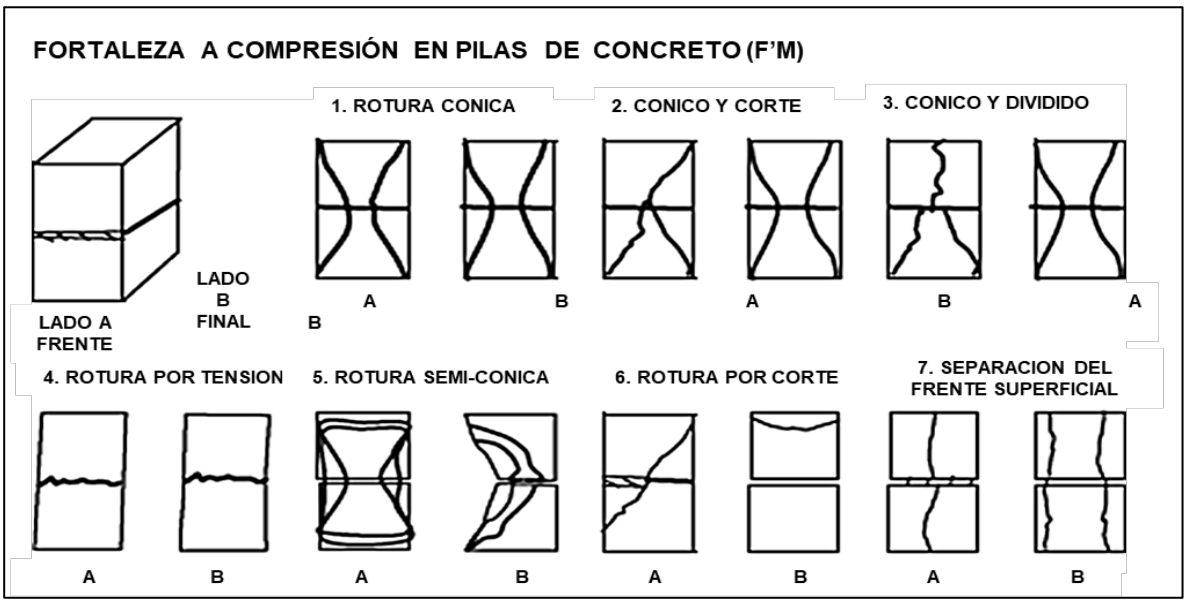
Figura 7

Pila de concreto sometido a compresión

Nota. La prensa hidráulica empleada para los ensayos de compresión en pilas constituye un equipo fundamental para la determinación de las propiedades mecánicas de la albañilería. Este equipo permite aplicar cargas controladas y progresivas, garantizando una distribución uniforme de los esfuerzos sobre los especímenes ensayados. Fuente. (ASTM C150, 2022), NTP 399.605

Figura 8

Fortaleza a compresión en pilas de concreto (*f'm*)



Nota: La fortaleza a compresión en pilas de concreto, representada como f'm, es la resistencia promedio que presentan estos elementos cuando son sometidos a cargas de compresión axial.

Fuente. ASTM C1314

3.2.10.3.3. Resistencia a la compresión diagonal en muretes (V'm):

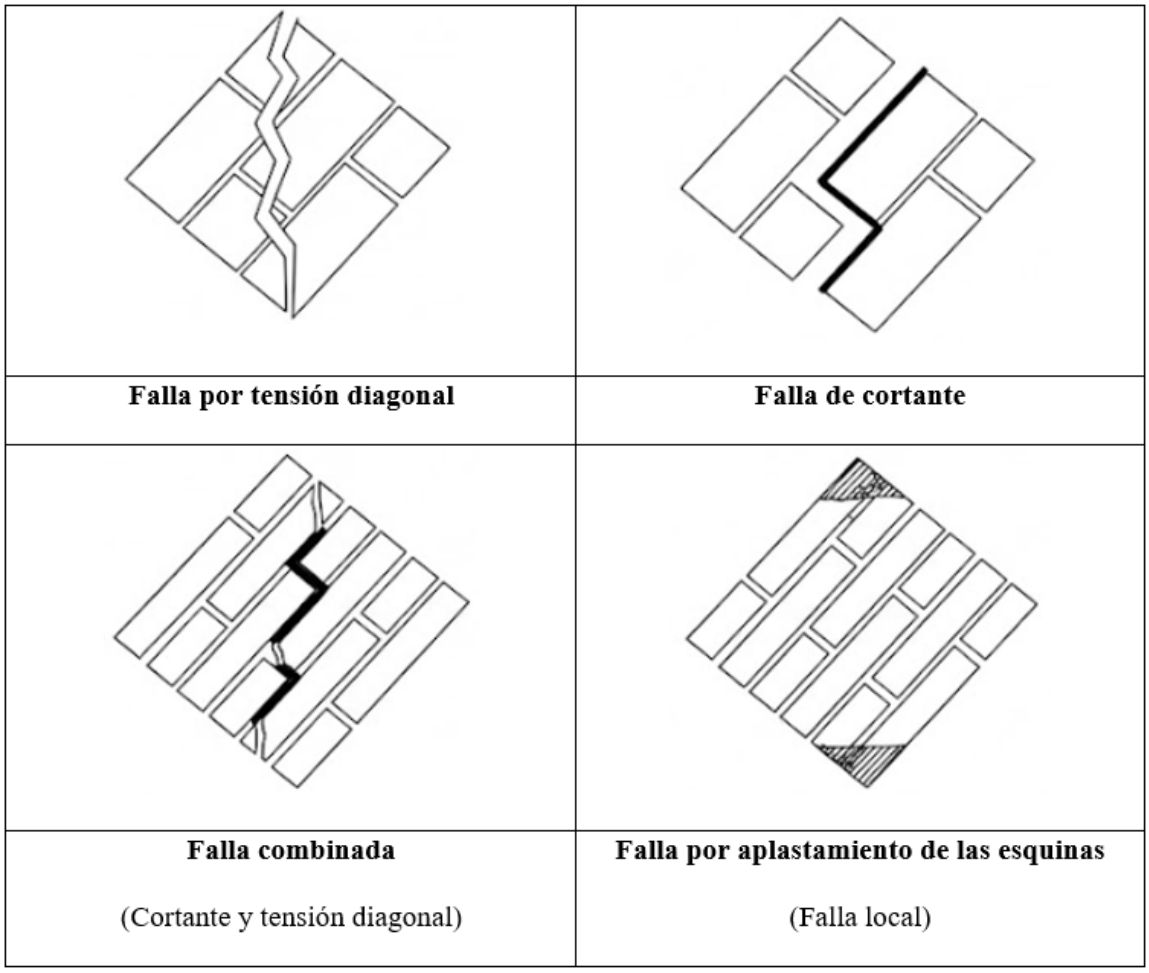
Esta propiedad mide la capacidad de un murete (que representa una porción del muro real) para resistir fuerzas aplicadas perpendicularmente a su plano, lo cual simula la acción de las cargas sísmicas o de viento.

El ensayo es un método directo para determinar esta resistencia y se realiza utilizando muretes de 60 x 60 cm (generalmente pilas de unidades unidas con mortero). Estos muretes se colocan en una prensa de compresión, donde se aplica una carga diagonal (según la norma ASTM E519 o NTP E.070) para medir la

resistencia máxima que el conjunto de albañilería puede soportar antes de fallar por corte. Este es un parámetro crucial en zonas de sismicidad.

Figura 9

Tipos de fallas en muretes sometidos a la compresión diagonal (V´m)



Nota. Fallas en muretes sometidas a compresión diagonal. Fuente: (Zacaria Vital & Sánchez Tizapa, 2021)

- **Falla por tensión diagonal:** Se define por la aparición de una grieta diagonal continua que fractura tanto las unidades de albañilería como las juntas de mortero. Este modo de falla ocurre cuando los esfuerzos de tracción diagonal superan la resistencia intrínseca de la unidad de concreto

- **Falla de cortante (Por adherencia de las juntas):** Este fenómeno se manifiesta mediante un patrón de agrietamiento escalonado que sigue exclusivamente la trayectoria de las juntas de mortero. Dicho comportamiento es indicativo de que la resistencia de adherencia en la interfase bloque-mortero es menor que la resistencia a la tracción de las unidades, permitiendo que la energía se disipe a través de los planos de debilidad de la junta.
- **Falla combinada (Cortante y tensión diagonal):** Representa un estado de falla mixto donde la fisura recorre de manera alternada las juntas de mortero y atraviesa algunas piezas de albañilería. Este tipo de fractura sugiere una compatibilidad de resistencias entre la unidad y el mortero, distribuyendo el daño de forma más heterogénea a través de la sección del murete.
- **Falla por aplastamiento de las esquinas (Falla local):** Consiste en la rotura o desmoronamiento del material en las zonas de aplicación de la carga (vértices del espécimen). Técnicamente, esta falla no es admitida para el cálculo de la resistencia característica al corte, ya que representa una debilidad puntual en el apoyo y no el comportamiento estructural integral de la mampostería sujeta a esfuerzos diagonales.

Figura 10

Murete de concreto 60x60 sometido a compresión

Nota. Identificación del espécimen de albañilería ensayado a compresión

Figura 11

Resistencias mínimas de albañilería Bloque de concreto en MPa

Designación	Unidad $f'b$	Pilas $f'm$	Murete $v'm$
Concreto bloque tipo P	4.9	7.3	0.8
	6.4	8.3	0.9
	7.4	9.3	1.0
	8.3	11.8	1.1

Nota: En la figura los valores característicos de resistencia para concreto con bloques tipo P (portantes), diferenciando entre tres propiedades. Fuente. ASTM E519

3.2.11. Fabricación de unidades de concreto

- **Dosificación:**

  La dosificación corresponde a la proporción existente entre los componentes que conforman una mezcla para la fabricación de una unidad, conforme a lo señalado por (Arrieta Freyre, 2001)Arrieta (2001). A modo de ejemplo, una dosificación 1:7 representa una relación volumétrica de una parte de cemento por cada siete partes de agregado, la cual puede materializarse mediante combinaciones como 5:2 o 4:3 de arena y confitillo, respectivamente. Dichas combinaciones conservan una proporción aproximada de 60 % de arena y 40 % de confitillo, lo que favorece la obtención de una mayor densidad en la mezcla final.

  De acuerdo con la Norma Técnica Peruana E.070, el mortero utilizado en la albañilería fue seleccionado con una resistencia mínima a compresión de 50 kg/cm^2

- **Preparación de la mezcla:**

  En esta investigación, se emplea un proceso de mezclado mecánico. primero, se colocan los agregados, en este caso la arena media y confitillo, seguidos por el cemento y se realiza el mezclado en seco, después de esta etapa, se añaden el agua al centro de la mezcla y se cubren con los materiales secos de los costados, logrando así una mezcla uniforme.

Figura 12

Preparación de Mezcla - Elementos secos

Nota. Preparación de elementos, para la elaboración de unidades de albañileria

Figura 13

Preparación de los materiales para mezcla

Nota: Preparación de los materiales para la mezcla de mortero, utilizando un recipiente de gran tamaño donde se combinan cemento, arena y agua, y a su vez cuando sea necesario, añadiendo el R.M.F.

Esto se da como parte del proceso práctico de elaboración de mortero para unidades de albañilería conforme a los estándares establecidos.

- **Acondicionamientos previos:**

  Se selecciona un área que cumpla con condiciones básicas de uniformidad y limpieza; para ello, la superficie se recubre con una capa delgada de arena fina, con el fin de evitar la adherencia del bloque al suelo. Asimismo, el espacio elegido debe brindar protección frente a la exposición directa al sol y a la lluvia. (Abanto, A., 2018)

- **Moldeado y fraguado de los bloques:**

  Antes de la fabricación de bloques, se aplica una delgada película de petróleo o se utiliza un agente desmoldante en la superficie interna del molde, con la finalidad de facilitar la posterior extracción de la unidad.

  La mezcla se incorpora de manera progresiva, distribuyéndose en tres capas sucesivas, las cuales son compactadas mediante el uso de una varilla de acero y sometidas a vibración manual. Finalmente, se procede a la nivelación de la superficie, retirando el material excedente, para luego efectuar el desmolde de la unidad de concreto en posición vertical.

Figura 14

Moldeado y fraguado de los bloques

Nota. Elaboración de unidades de albañilería y moldeado de las mismas.

Para (Aceros Arequipa, 2010). Una vez producidos, los bloques deben colocarse en un lugar protegido del sol, viento y lluvia para permitir su adecuado endurecimiento. Aunque el periodo de fraguado es de 4 a 8 horas según la recomendación de (Blondet, 2005), es preferible dejar que los bloques aguanten durante un día completo. Después de transcurridas 24 horas desde el moldeo, los bloques alcanzan la resistencia necesaria para ser manipulados sin problemas y avanzar a la etapa de curado.

Figura 15

Fraguado de unidades de albañilería.

Nota: El fraguado de unidades de albañilería es el proceso químico mediante el cual el concreto o mortero utilizado en la fabricación de bloques y bloquetas comienza a endurecerse tras su colocación en los moldes. Fuente. (ASTM C150, 2022)

- **Curado:**

  El curado de los bloques consiste en conservar condiciones adecuadas de humedad que permitan la continuidad de las reacciones químicas del cemento, lo cual favorece el desarrollo de sus propiedades mecánicas y la calidad final del producto. Este procedimiento debe realizarse de forma similar al aplicado en otros elementos elaborados con concreto.

La técnica más recomendada consiste en sumergir los bloques en un pozo o piscina llena de agua saturada con cal durante tres días. (Blondet, 2005).

Alternativamente, puede realizarse mediante riegos periódicos con agua durante siete días, asegurándose de humedecer los bloques al menos tres veces al día para evitar que se sequen en los bordes, se pueden cubrir con plásticos o costales húmedos para evitar la evaporación del agua. (San Bartolomé, 1994).

- **Almacenamiento y secado:**

Una vez concluido el proceso de curado, las unidades se trasladan a un área destinada al almacenamiento, donde continúan su período de secado. De acuerdo con lo establecido en la Norma E.070 de Albañilería, los bloques pueden ser empleados transcurridos 28 días desde su fabricación. No obstante, pese a alcanzar niveles adecuados de resistencia, resulta indispensable que el manejo y transporte de las unidades se realicen con precaución, manteniéndose una disposición ordenada durante su manipulación para evitar alteraciones en su forma final.

- **Equipos**

Molde metálico: En el desarrollo del experimento descrito en el presente informe se utiliza un molde metálico con dimensiones aproximadas de 0,40 m × 0,20 m × 0,15 m (largo, alto y ancho), el cual dispone de compartimentos y un sistema de expulsión que facilita la extracción de las unidades. El molde presenta dimensiones ligeramente mayores a las nominales, lo que contribuye a un desmolde más eficiente. Asimismo, se recomienda efectuar la limpieza del molde y aplicar un agente desmoldante después de cada uso, con el fin de asegurar un adecuado funcionamiento y prolongar su vida útil. (Aceros Arequipa, 2010)

Figura 16

Molde metálico para bloques de concreto

Nota: El molde metálico para bloques de concreto es un dispositivo utilizado en la fabricación estandarizada de unidades modulares como bloquetas o bloques.

Fuente. NTP 399.602

En la Figura se presenta el molde utilizado en la presente investigación. Resulta indispensable realizar un mantenimiento periódico y evitar períodos prolongados de inactividad, dado que ello podría favorecer la aparición de corrosión en las uniones. La aplicación de estas prácticas contribuye a un uso más eficiente del molde y a una mejora en el proceso de producción.

3.2.12. Ensayos de laboratorio

3.2.12.1. Ensayo de los materiales

3.2.12.1.1. Granulometría de los agregados

- **Norma: Norma Técnica Peruana** (NTP 400.012, 2001) **y** (NTP 400.037, 2014)

En términos generales, la granulometría se refiere al estudio y clasificación de las partículas según sus diferentes tamaños, lo cual se lleva a cabo mediante procedimientos de tamizado en laboratorio para la supervisión correcta de estos al momento de obtener los resultados.

Este análisis se representa a través de una curva granulométrica, donde en el eje vertical se consigna el porcentaje que pasa (en escala aritmética), mientras que en el eje horizontal se ubican los tamaños de los tamices utilizados (en escala logarítmica). Dicha curva permite identificar la distribución de tamaños presentes en la muestra, mostrando la proporción de partículas dentro de cada rango granulométrico. Mediante este ensayo, es posible evaluar el nivel de homogeneidad del agregado, verificando si su gradación se encuentra dentro de los límites establecidos en la tabla correspondiente.

Figura 17

Límites permisibles en análisis granulométrico para los agregados

Granulometría de arena	
Malla ASTM	% que pasa
3/8 pulg	100.00%
N° 4	99.48%
N° 8	96.27%
N° 16	80.33%
N° 30	42.40%
N° 50	13.78%
N° 100	3.65%
N° 200	1.98%
Bandeja	0.00%

Nota: En la figura se presentan los rangos de porcentaje que pasa a través de diferentes tamices o mallas utilizados en el análisis granulométrico de agregados finos.

La determinación de los porcentajes pasantes por cada tamiz se realizó con el propósito de caracterizar la granulometría del agregado empleado en la investigación y verificar su cumplimiento con los rangos establecidos por la normativa técnica peruana. Los valores obtenidos evidencian que el material presenta una distribución granulométrica continua, con un alto porcentaje de partículas finas y medias y un bajo contenido de material que pasa el tamiz N° 200.

Fuente: Tabla 3 -Norma Técnica Peruana ((Norma E.070 Albañileria, 2019))(NTP 400.012, 2001)

3.2.12.1.2. Módulo de fineza (M.F.)

Es el parámetro adimensional que indica saber que tan fino o grueso es el material. Se obtiene dividiendo el número que se de sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices: No.100; No.50; No.30; No.16; No.8; No.4; ⅜"; ¾"; 1½"; 3" y de 6", y el módulo de fineza será:

$$MF\ \frac{\sum \%retenido - acumulado(6+3+1(\,^{1}/_{2})+(\,^{1}/_{2})" + (\,^{3}/_{4})" + (\,^{3}/_{84})" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100}{100}$$

Figura 18

Clasificación de la arena fina de acuerdo con el valor del Módulo de Finesa

Módulo de Finura	Clasificación del Agregado Fino
Menor que 2.00	Muy fino o extrafino
2.00 – 2.30	Fino
2.30 – 2.60	Ligeramente fino
2.60 – 2.90	Mediano
2.90 – 3.20	Ligeramente grueso
3.20 – 3.50	Grueso
Mayor que 3.50	Muy grueso o extra grueso

Nota. En la figura se muestra la clasificación del agregado fino según su módulo de finura (MF), un valor que indica el grado de fineza o grosor del material.

Recalcar que para esta investigación se utilizó arena media, con respecto a la interpretación del agregado fino, tomando como valor el de la norma E 0.70.

Fuente. (ASTM C150, 2022).

3.2.12.1.3. Contenido de humedad y absorción de los agregados

De acuerdo con Martínez y López (2020), la humedad es la cantidad de agua que se encuentra en la superficie de las partículas de agregado en un momento dado. Esta humedad tiene el efecto de aumentar la cantidad de agua en la mezcla de concreto. Por otro lado, la absorción se refiere a la capacidad para absorber agua y llenar los vacíos de partículas.

Absorción (%) = [(Mh – Mo) / Mo] × 100

- Dónde:

Absorción (%) = Porcentaje de agua absorbida.

Mh =Peso húmedo del bloque de concreto después de sumergirlo en agua.

Mo = Peso seco del bloque de concreto antes de sumergirlo en agua.

Contenido de humedad (%) = [(Mh – Ms) / Ms] × 100

- Dónde:

Contenido de humedad (%) =Porcentaje de humedad en el bloque de concreto.

Mh =Peso húmedo del bloque de concreto.

Ms =Peso seco del bloque de concreto

3.2.12.1.4. Peso unitario volumétrico suelto

➢ **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 400.017) **– 2011)**

El ensayo de peso unitario permite determinar la masa del material por unidad de volumen (kg/m³), tanto en estado suelto como en condición compactada. Para ello, se emplea un recipiente metálico cilíndrico, el cual se llena con el material sin aplicar compactación, procediéndose posteriormente a la medición de su peso y volumen, a fin de establecer el valor correspondiente del peso unitario.

3.2.12.1.5. Peso unitario volumétrico compactado

El ensayo de peso unitario en condición compactada permite establecer la masa del material por unidad de volumen. Para ello, se llena un recipiente metálico cilíndrico

en tres capas, compactando cada una con una varilla metálica mediante 25 golpes, y posteriormente se procede a medir el peso y el volumen del material.

3.2.12.1.6. Peso específico del agregado fino.

- **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 400.022, 2001)

Esta prueba permite determinar la densidad de la fracción esencialmente sólida de un conjunto de partículas de agregado, proporcionando un valor promedio representativo de la muestra. Es una característica frecuentemente empleada para calcular el volumen ocupado por el árido en diversas mezclas, incluyendo el hormigón elaborado con cemento Portland. Según (Aceros Arequipa, 2010) el peso específico de los áridos más utilizados oscila entre 2,6 y 3,00 gr/cm3.

3.2.12.2. Ensayos a las unidades de albañilería

Los ensayos del bloque o unidad de albañilería, se efectuaron de acuerdo a lo especificado por la (INDECOPI, COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y COMERCIALES, 2005) en la norma (NTP 399.613, 2017), el cual figura en la Norma Técnica Peruana E. 070 de albañilería.

3.2.12.2.1. Muestra

- **Normatividad: Norma Técnica Peruana (Unidades de Albañileria–2005)**

El procedimiento de selección de las unidades de albañilería destinadas a los ensayos se realiza mediante un muestreo en esta investigación. A partir del conjunto disponible, se seleccionan especímenes representativos para la ejecución de las pruebas correspondientes. Para los ensayos de resistencia a la compresión, se consideran tres unidades por cada tipo de elemento evaluado, ya sea unidades

individuales, pilas o muretes, los cuales incorporan residuos metálicos ferrosos (R.M.F.) y son ensayados a edades de 7, 14 y 28 días. Asimismo, las unidades restantes se destinan a la realización de otros ensayos físicos y mecánicos, con el fin de evaluar de manera integral el comportamiento del material.

3.2.12.2.2. Variación dimensional

- **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 399.604, 2002) **y** (NTP 399.613, 2017)

Esta propiedad se determina mediante la comparación entre las dimensiones reales de las unidades y las dimensiones previstas en el proceso de fabricación. En la práctica, los bloques no presentan medidas perfectamente uniformes debido a pequeñas irregularidades geométricas en su longitud, ancho y altura, las cuales pueden influir en su comportamiento resistente. Por ello, resulta necesario efectuar la evaluación dimensional.

En los ensayos realizados a las unidades de mampostería de hormigón fabricadas, se midieron el largo (L), el ancho (A) y la altura (H) en la zona central de cada cara. Posteriormente, se calcularon las dimensiones promedio de cada unidad, las cuales fueron empleadas para la determinación de los cambios dimensionales.

$$\boldsymbol{V\ (\%) = 100\ (Df - Dp)\ /\ Df}$$

- Dónde:

V = Porcentaje de la variación dimensional.

Dp = Medida promedio en mm (largo, ancho y alto).

Df = Medidas de diseño.

La Norma Técnica Peruana (Norma E.070 Albañileria, 2019), nos recomienda la siguiente variación dimensional máxima en porcentaje, para bloques portantes.

Figura 19

Porcentajes de variación dimensional máximos para unidades de albañilería.

Hasta 100 (mm)	Hasta 150 (mm)	Hasta 150 (mm)
± 7 %	± 8 %	± 4 %

Nota: La figura presenta los límites de variación dimensional permisibles para elementos prefabricados o unidades de construcción, según su tamaño máximo. Fuente. ASTM (ASTM C150, 2022)

3.2.12.2.3. Alabeo

- **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 399.604, 2002) **y** (NTP 399.613, 2017)

Con la finalidad de estimar la cantidad de mortero requerida en las juntas generadas por irregularidades de concavidad o convexidad de las unidades de mampostería, que pueden originar la formación de vacíos, se coloca la muestra sobre una superficie nivelada y se introduce una cuña metálica graduada para la medición correspondiente, conforme a lo establecido en la Norma E.070 (2019).

Se tiene dos tipos de distorsiones en la superficie y son:

- **Superficies Cóncavas:** En el caso de superficies cóncavas, la evaluación de la distorsión se realiza colocando una varilla de borde recto sobre la superficie de

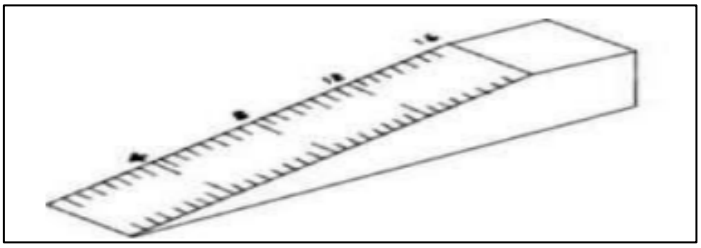
la unidad de albañilería. Se identifica el mayor alejamiento existente entre la superficie del bloque y la varilla, el cual se toma como valor representativo. Dicha separación se mide mediante una cuña de acero, con una precisión de 1 mm, registrándose como la distorsión cóncava de la superficie.

- **Superficies Convexas:** Para la medición de la distorsión en superficies convexas, la unidad de albañilería se coloca de tal forma que la cara convexa quede apoyada sobre una superficie plana, verificando que las esquinas se encuentren aproximadamente a la misma distancia de dicha superficie. Posteriormente, mediante el uso de una cuña metálica, se mide con una precisión de 1 mm la separación existente entre cada una de las cuatro esquinas y la superficie plana. El valor promedio de estas mediciones se considera como la distorsión convexa de la unidad de albañilería.

  La determinación de la deformación de las unidades de mampostería se realizará conforme al procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 399.613.

Figura 20

Cuña de acero para la medición del alabo de unidades de albañilería.



Nota: La imagen muestra una cuña de acero utilizada para medir el alabeo en unidades de albañilería, como bloques o *bloques*. Fuente. (Churata, 2024)

3.2.12.2.4. Densidad

- **Normatividad:** Norma Técnica Peruana (NTP 399.604), ASTM C140 (2012)

  La densidad o peso unitario de un bloque de concreto indica la relación entre su masa y su volumen total. Este parámetro permite evaluar la uniformidad del material, su durabilidad y la capacidad de soportar cargas estructurales. La determinación de la densidad se realiza pesando la unidad en estado seco y dividiendo este valor por el volumen geométrico de la muestra. Un bloque con densidad adecuada asegura estabilidad mecánica y adecuada capacidad de carga en muros

$$Densidad\ (g/cm3) = \frac{P_s}{v} x100$$

  Donde:

  - Ps = peso de la unidad en estado seco
  - V = volumen total del bloque

3.2.12.2.5. Absorción

- **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 399.604, 2002) (ASTM C140, 2012)

  La distinción entre la masa de un bloque en estado seco y su masa tras ser sumergida en agua indica su aptitud para retener líquido. El potencial de captación hídrica se define por la propensión con la que esta puede penetrar en el material poroso y adherirse al mortero (Torres,2023).

  La absorción en términos de bloques de concreto refiere al fenómeno mediante el cual dichos materiales incorporan humedad en su estructura al ser expuestos a ella, ya sea por inmersión o por contacto en un ambiente húmedo. Este fenómeno se

mide como el porcentaje de absorción (% Abs), que es el vínculo porcentual entre la diferencia de la masa del bloque antes y después de la absorción de agua, respecto a su masa inicial seca.

Una vez que las muestras representativas se hayan pesado en seco, se sumergirán en agua que oscila entre 15,6 ° C y 26,7 °C durante 24 horas para eliminar la humedad restante. Después de eso, cada área que entró en roce con el agua se seca con toalla seca y, por último, se analiza el peso de las muestras. El tiempo recomendado para pesar una muestra de agua es de 5 minutos después de tomarla. Estos ensayos se ejecutarán de acuerdo con la NTP 399.604.

Expresado en:

$$Absorcion(\%) = \frac{P_{sat-} P_s}{P_s} x100$$

- *Psat* = Peso de la unidad saturada (después de sumergirla en agua)
- *Ps* = Peso de la unidad en estado seco

La Norma Técnica Peruana NTP E. 070, recomienda para un bloque portante una absorción máxima de 12%.

3.2.12.2.6. Succión

- **Normatividad: ASTM C67**

La succión mide la velocidad de absorción de agua por unidad de superficie y tiempo (g/min/cm²). Este parámetro indica la capacidad del bloque para captar agua y adherirse al mortero, afectando la calidad de la unión en la albañilería. Se realiza aplicando una gota de agua sobre la superficie del bloque y midiendo la cantidad de agua absorbida por minuto por centímetro cuadrado. Valores altos indican mayor absorción rápida, mientras que valores bajos reflejan menor captación.

3.2.12.2.7. Resistencia a la compresión de unidad de albañilería(f´b).

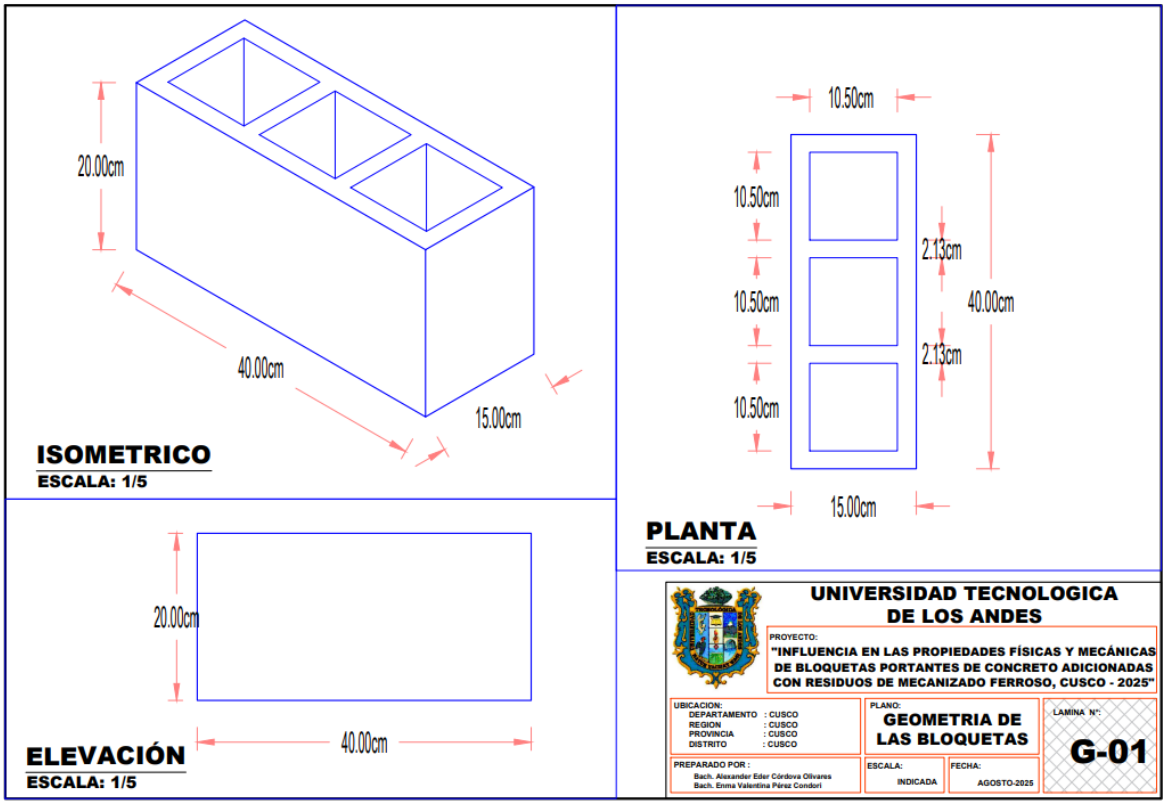
- **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 399.604, 2002)

Este ensayo permite evaluar la carga aplicada sobre una unidad de albañilería, que conduce a su fractura, para luego obtener su resistencia a compresión ***(f´b).***

La resistencia a compresión, expresada en términos de esfuerzo (kg/cm2), representa la capacidad de la unidad de albañilería para resistir una carga por unidad de área.

Figura 21

Dimensiones de unidad de albañilería elaboradas (2D



Nota. La imagen muestra las dimensiones generales de las unidades de albañilería

Fuente. Elaboración Propia

- **Refrentado con yeso**: Tambien conocido como capping, es la aplicación de una capa delgada de yeso sobre las superficies de una pieza (como una bloqueta), sirve para una distribución uniforme de la carga en caso la superficie de un bloque de concreto o un murete es irregular, la prensa aplicará más fuerza en los "puntos altos", provocando una ruptura prematura que no refleja la resistencia real.

  El yeso crea una "cama" perfectamente lisa que garantiza que la fuerza de la máquina se transmita de forma homogénea a toda el área del espécimen.

  En el caso de superficies de contacto huecas, se realiza un refrentado con yeso, un procedimiento que implica cubrir ya lo mencionado. (Gallegos, M., & Casabonne, M, 2005).

Figura 22

Refrentado de las muestras para el ensayo de resistencia a la compresión

Nota: La imagen muestra el refrentado de las muestras de concreto previo al ensayo de resistencia a la compresión. Fuente. (Escamirosa Montalvo, 2022).

Para el cálculo de la resistencia a compresión *(f´b)* de la unidad se utilizó la formula:

$$f´b = P/ A$$

- Dónde:

f´b = Resistencia a compresión de la unidad.

A = Área del asiento de la unidad en cm2.

P= Carga aplicada en la Pila en KN

Figura 23

Máquina de compresión para el ensayo de resistencia a la compresión.

Nota: La imagen muestra una máquina de compresión utilizada en el ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto.

3.2.12.2.8. Cálculo del Módulo de Elasticidad (Em)

Para el cálculo del módulo de elasticidad de la pila se usaron las siguientes expresiones según (INDECOPI, 2013) en la norma (NTP 399.605, 2013) y la E 0.70, tal como se muestra en la fórmula:

$$Em = \mathbf{700} f'm$$

- **Donde:**

  Em = Módulo de elasticidad (kg/cm2)

  f'm = Resistencia a la compresión axial (kg/cm2)

➢ **Cálculo del módulo de corte (Gm)**

Gm= 0.4*fm

- **Donde:**

  Gm = Módulo de corte (kg/cm2)

  Em = Módulo de elasticidad (kg/cm2)

Compresión axial de pilas de los bloques (f'm)

➢ **Normatividad: Norma Técnica Peruana** (NTP 399.605, 2013)

El procedimiento de este ensayo se tomó de la norma (NTP 399.605, 2013) según (Churata, 2024)

- **Características:**

Bloque de concreto con R.M.F

⇒ Dimensiones : 40 cm de ancho

15 cm de espesor

20 cm de alto.

⇒ Dosificación del mortero : 1: 3

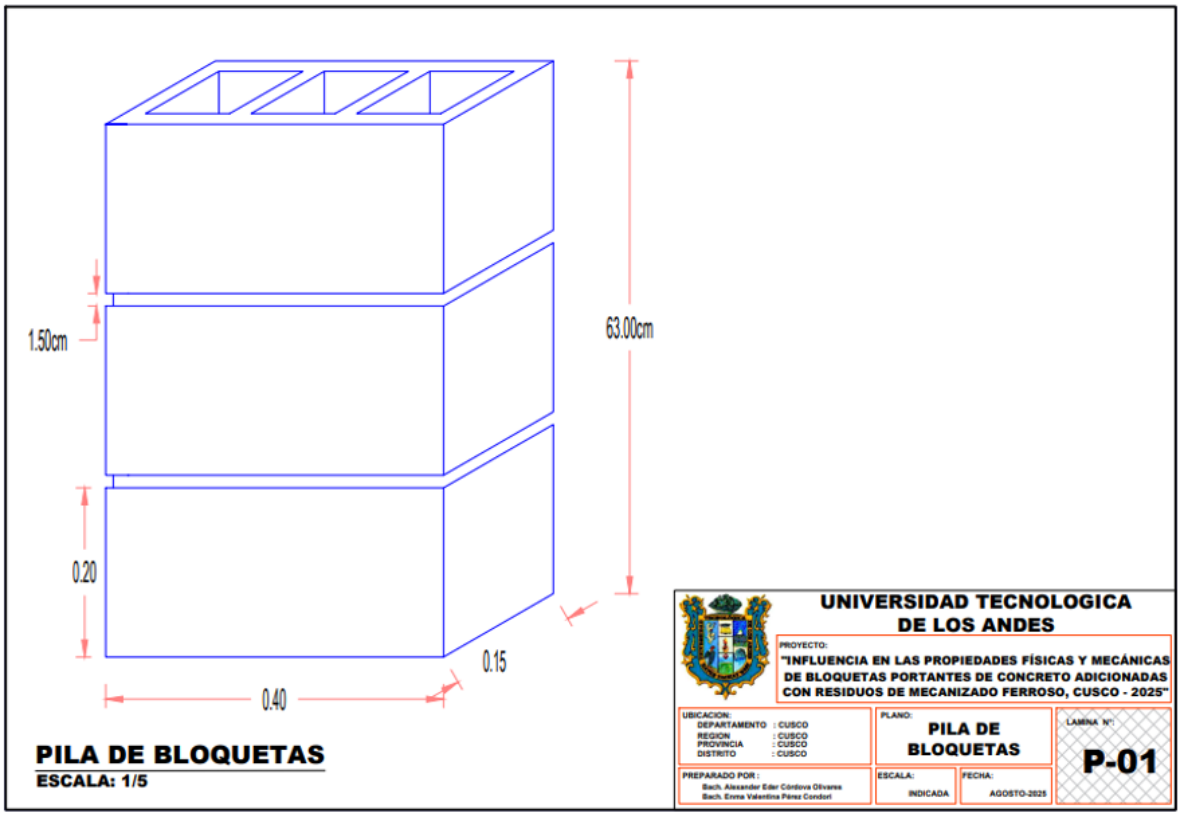
(cemento tipo HS: arena).

⇒ Espesor de juntas : 1.5 cm

⇒ Colocación de capping de yeso-cemento en los extremos.

Figura 24

Dimensiones de las pilas elaboradas (2D)



Nota: La imagen muestra las dimensiones generales de las pilas elaboradas para ensayos relacionados con las propiedades mecánicas

Fuente. Elaboración Propia

3.2.12.2.8.1. Compresión axial de pilas de los bloques (f'm) añadidas con GROUT

El ensayo de compresión axial de pilas de bloques (f'm) se realizó según la Norma E.070, la cual establece la medición de la resistencia de pilas de bloques rellenos con concreto líquido o grout. El grout es un material fluido de cemento, agregados y agua, usado para rellenar los alvéolos de los bloques, integrando el mortero y el refuerzo en un conjunto estructural monolítico. La resistencia obtenida (f'm) refleja la capacidad axial del sistema bloque–mortero–grout.

Tabla 8

Composición Volumétrica del Concreto Liquido o Grout

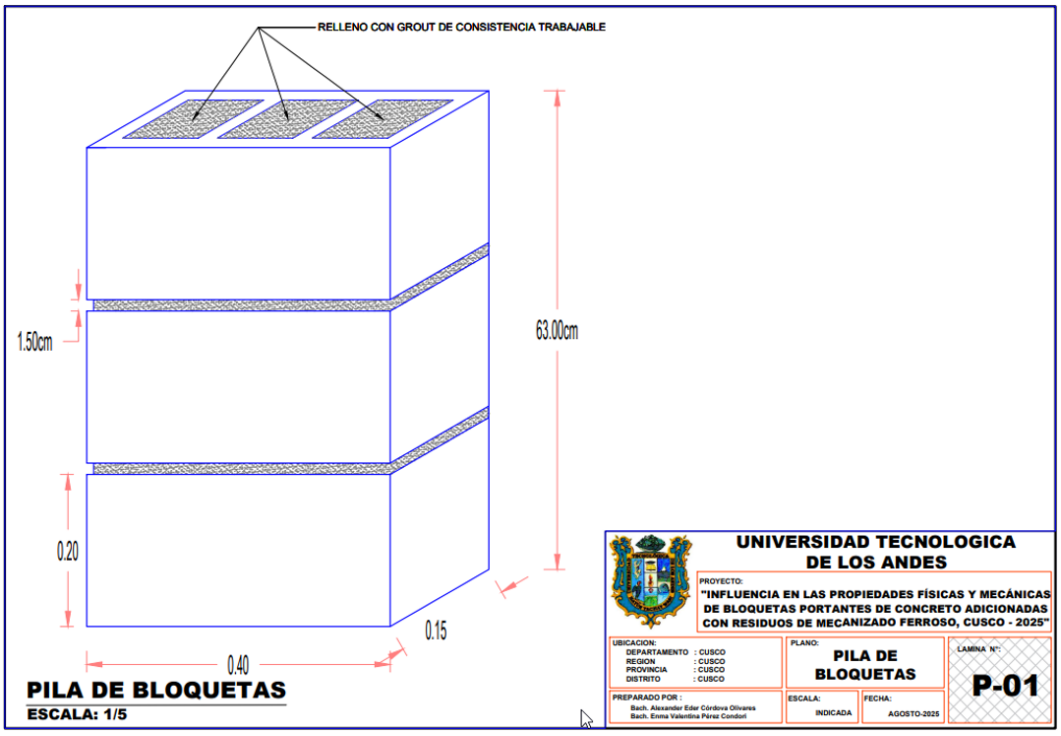
Tipo de concreto	Cemento	Cal	Arena	Confitillo
Fino	1	0 a 1/10	2 1/4 a 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes	—
Grueso	1	0 a 1/10	2 1/4 a 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes	1 a 2 veces la suma de los aglomerantes

Nota: Para esta investigación, el ensayo de compresión axial de pilas, se realizó utilizando únicamente grout fino, de acuerdo con la composición volumétrica indicada en la Tabla 18 de la Norma E.070. No se empleó grout grueso.

Fuente: Tabla 18 (Norma E.070 Albañileria, 2019)

Figura 25

Dimensiones de las pilas elaboradas añadidas con GROUT (2D)



Nota: La figura presenta las dimensiones generales de las pilas de bloquetas elaboradas y rellenadas con grout de consistencia trabajable, utilizadas para los ensayos de evaluación de propiedades mecánicas. Se indican las medidas de altura total, ancho y largo, así como la disposición de las juntas y el relleno interno, conforme a los criterios establecidos para la correcta ejecución del ensayo de compresión axial.

Fuente. Elaboración Propia

- **Cálculo del ensayo de compresión axial de pilas**

  La resistencia de la albañilería a compresión axial se determinó dividiendo la carga máxima entre el área de contacto utilizando la fórmula contigua.

  fm= Pmáx/A

- **Donde:**

Fm = Resistencia a la compresión axial (kg/cm2)

P máx. = Fuerza máxima que resiste la pila (kg)

A = Área bruta transversal a la fuerza (cm2)

La resistencia final se obtiene al restar la desviación estándar a la resistencia promedio tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$f'm = fm - O$$

- **Donde:**

f´m = Resistencia característica a la compresión axial (kg/cm2)

O = Desviación estándar (kg/cm2)

Figura 26

Cálculo del ensayo de compresión axial de pilas con GROUT

Nota. Pilas con 3 unidades de albañilería, rellenos con grout

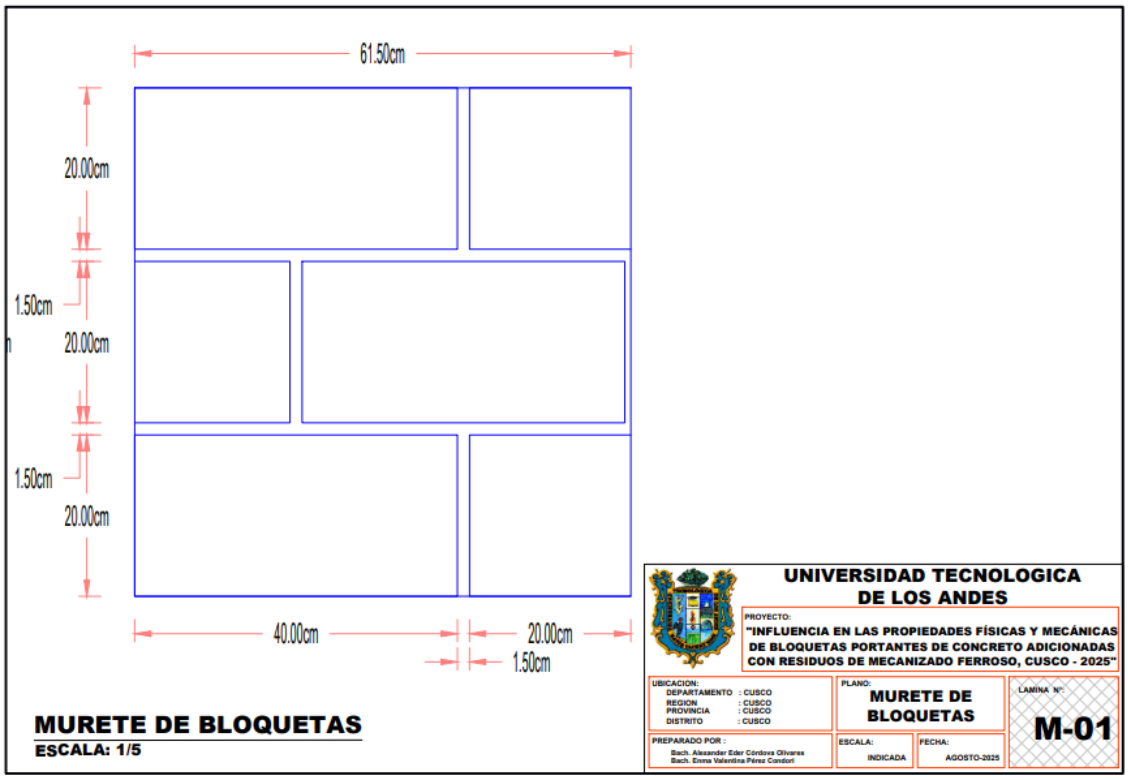
3.2.12.2.9. Resistencia a compresión diagonal en muretes (V´m)

El procedimiento de este ensayo se realizó según (Fernández Baqueiro, L. et al. , 2009) de la NTP 399.621, tal como se indica en la NTP E.070 de Albañilería. Las dimensiones establecidas.

- **Características:**
    - Bloque de concreto con acero reciclados.
    - Dimensiones: 60 cm de ancho, 60 cm de alto y 15 cm de espesor.
    - Dosificación del mortero: 1:4 (cemento: arena).
    - Dosificación del mortero: 1:4 (cemento tipo HS: arena).
    - Espesor de juntas: 1.5 cm.
    - Colocación de capping de yeso-cemento en los extremos

Figura 27

Dimensiones de los muretes elaboradas (2D)



Nota: La imagen muestra las dimensiones generales de los muretes elaborados para ensayos en unidades de albañilería.

Fuente. Elaboración Propia

3.2.12.2.9.1. Compresión diagonal de muretes (V'm) añadidas con GROUT

El ensayo de compresión axial de muretes de bloques (v'm) se realizó siguiendo lo establecido en la Norma E.070, que contempla la evaluación de la resistencia de estructuras verticales construidas con unidades de albañilería rellenas con concreto líquido o grout. Este material fluido, compuesto por cemento, agregados y agua, se utiliza para llenar los alvéolos de los bloques, integrando el mortero y el refuerzo, generando un conjunto monolítico capaz de transmitir esfuerzos. La resistencia obtenida (v'm)

representa la capacidad del murete para soportar cargas axiales, reflejando el desempeño estructural del sistema bloque–mortero–grout en condiciones reales de uso.

3.2.13. Características y dimensionamiento

Las unidades de albañilería presentan múltiples ventajas, entre las que destacan su bajo costo, peso reducido, adecuada capacidad de aislamiento acústico, resistencia al fuego, elevada durabilidad y aptitud para resistir cargas significativas. (MVCS, 2018). Una propiedad mecánica importante es la resistencia a la compresión, que está directamente relacionada con la resistencia de una pared; a medida que esta aumenta en los bloques, también se incrementa la resistencia de la estructura en su conjunto (Churata, 2024).

La correcta dosificación de la mezcla es un aspecto fundamental en la fabricación de bloques de concreto, siendo especialmente importante el control de la cantidad de agua utilizada, ya que esta influye directamente en la trabajabilidad del material y en la calidad final del producto, como un slump de 1", que indica la cantidad óptima de agua necesaria para la mezcla (Abanto, A., 2018).

De esta manera, se evita que la mezcla esté demasiado seca lo que resultaría en bloques frágiles o demasiado húmeda, lo que podría causar deformaciones en la forma del bloque debido al asentamiento.

Otra característica que genera competitividad es la textura o el acabado final. Al utilizar una mayor cantidad de arena fina, se logra obtener un acabado impecable en los bloques; incluso se puede obtener un bloque caravista, lo cual permite construir muros que no requieren enlucido, reduciendo costos en esa etapa. Esta ventaja no se encuentra en los bloques de arcilla (ICH, 2019).

Para asegurar que los bloques cumplan con una buena resistencia, un acabado óptimo y uniformidad, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- La correcta elección de los agregados.
- Un estudio preciso de la dosificación.
- El diseño apropiado del bloque.
- La ejecución impecable del proceso de mezcla, moldeo y compactación.
- Un adecuado proceso de curado y almacenamiento (ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2014).
- La uniformidad de los bloques se define por el cumplimiento de dimensiones normalizadas. En general, los distintos tipos de bloques presentan una altura constante de 0,19 m y una longitud de 0,39 m; la variación se encuentra en el ancho, el cual puede ser de 9 cm, 12 cm, 14 cm o 19 cm, según el uso estructural previsto. Cada bloque dispone de dos alvéolos con dimensiones aproximadas de 15,5 cm × 6,5 cm ± 0,3 cm, los cuales se alinean verticalmente al conformar muros de albañilería, permitiendo la formación de conductos destinados a diferentes funciones constructivas. A uniformidad del bloque está determinada por sus dimensiones estándar.

  Existen varios tipos de bloques, todos con la misma altura y longitud: 0,19 m y 0,39 m, respectivamente. La diferencia radica en el ancho, que puede ser de 9 cm, 12 cm, 14 cm o 19 cm. Cada tipo de bloque cumple una función específica según su aplicación, y todos cuentan con dos alvéolos de 15.5 cm × 6.5 cm ± 0.3 cm cada uno. Estos alvéolos se alinean verticalmente en las estructuras de albañilería, creando conductos que se utilizan para diversos propósitos

(Churata, 2024). Pero ante esta investigación contamos con otras dimensiones, y 3 alveolos verticales.

3.2.14. Diseño de mezcla para los bloques de concreto

Se siguió un diseño de mezcla conforme a las directrices establecidas en la norma estadounidense (ACI, 2003), titulada "Guía para la selección de proporciones para concreto sin asentamiento". En particular, se aplicó el Apéndice 5 (Proporcionamiento de la mezcla de unidades de mampostería de concreto), el cual describe el método para determinar las proporciones adecuadas en la producción de bloques de concreto para albañilería.

Los componentes esenciales considerados en el diseño de mezcla fueron cemento, agua y agregados, excluyéndose el uso de aditivos. La cantidad de cemento requerida depende del método de fabricación, la calidad de los agregados en términos de granulometría, las condiciones de curado, y especialmente el propósito estructural o no estructural de los bloques. En bloques livianos o de peso medio, la proporción de cemento representa aproximadamente el 10 % de la masa total de los agregados. Sin embargo, en bloques destinados a uso estructural, este porcentaje puede aumentar al 20 % o incluso más, dependiendo de los requisitos específicos del diseño.

En cuanto a los agregados, se consideró como agregado fino a la arena media y es el material que pasa por el tamiz N° 4, y como confitillo aquel que pasa por el tamiz de 3/8" pero es retenido por el tamiz N° 4. El uso de confitillo en la mezcla es favorable, ya que reduce el área superficial a cubrir con pasta, disminuyendo así la demanda de cemento. No obstante, un exceso de confitillo puede generar una textura rugosa en el producto final, lo cual afecta su apariencia superficial.

La norma emplea el módulo de fineza como un parámetro físico clave para evaluar la idoneidad de la mezcla de agregados. Se establece que un módulo de fineza combinado óptimo debe situarse entre 3.5 y 3.7. Según el estudio de (Farfán Córdova, M. G., Pinedo Díaz, D. I., Araujo , 2021), un módulo de fineza superior a 3.5 puede reducir la resistencia a la compresión cuando los agregados provienen de esquistos, debido a las propiedades expansivas de este tipo de roca. En contraste, cuando se emplean agregados convencionales como arena y grava, un aumento en el módulo de fineza combinado tiende a mejorar la resistencia a la compresión de los bloques. Esto evidencia la necesidad de un equilibrio adecuado entre el contenido de materiales finos y gruesos, considerando los módulos de fineza individuales.

La norma recomienda un módulo de fineza combinado de 3.7 para agregados de peso normal, respaldado por estudios empíricos. Asimismo, proporciona una fórmula (Ec.1) para calcular el porcentaje en volumen de arena respecto al volumen total de agregados. En relación con el cemento, se sugiere utilizar aproximadamente el 20 % de la suma de los pesos de los agregados (arena y piedra) en mezclas para bloques con función estructural.

Respecto al contenido de agua, este varía en función de la experiencia del fabricante y de la trabajabilidad requerida. La norma ofrece como referencia que la cantidad de agua es adecuada cuando la mezcla puede moldearse en forma de esfera sin presentar superficies húmedas. No obstante, experiencias locales en Perú, como las reportadas por (Macedo, Quiza, 2025) indican que un contenido óptimo de humedad se encuentra entre el 7 % y el 9 %, lo cual garantiza una consistencia adecuada de la mezcla.

Finalmente, en el programa experimental de esta investigación se detallará el procedimiento utilizado para determinar la cantidad óptima de agua requerida en la mezcla empleada

3.3. Definición de términos

- **Residuos de mecanizado ferroso (R.M.F.):** Material particulado o el polvo que provienen del proceso de corte, torneado, fresado u otras operaciones de mecanizado de metales ferrosos (como acero o hierro). Estos residuos, al ser añadidos en proporciones adecuadas al concreto, pueden modificar sus propiedades físicas y mecánicas (Pérez, 2019).
- **Bloquetas portantes de concreto:** Elementos prefabricados de concreto utilizados como unidades de mampostería estructural. Están diseñados para resistir cargas y transferir esfuerzos a otros elementos estructurales. axiales) y el módulo de elasticidad (relación entre esfuerzo y deformación) (García Zegarra, 2020).
- **Propiedades físicas:** Características medibles del material sin cambiar su composición química. En este estudio, se refiere principalmente a la densidad (masa por unidad de volumen) y la absorción de agua (capacidad del concreto para absorber humedad) Abanto, A. (2018).
- **Propiedades mecánicas:** Comportamiento del material frente a esfuerzos externos. En el caso del concreto, se consideran variables como la resistencia a la compresión (capacidad para soportar cargas axiales) y el módulo de elasticidad (relación entre esfuerzo y deformación) (García Zegarra, 2020).
- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen del concreto endurecido. Una mayor densidad generalmente indica mejor compactación y menor porosidad.
- **Absorción:** Porcentaje de agua que puede absorber un espécimen de concreto seco. Está

relacionada con la durabilidad y permeabilidad del material. (García Zegarra, 2020).

- **Resistencia a la compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar una muestra de concreto antes de fallar por aplastamiento. Es un indicador clave de la calidad estructural. (Pérez, 2019).
- **Módulo de elasticidad:** Medida de la rigidez del concreto; representa su capacidad de deformarse elásticamente bajo carga. Es fundamental para el análisis estructural. Abanto, A. (2018).
- **Porcentaje de adición de residuos ferrosos:** Proporción en masa del residuo ferroso añadido en la mezcla de concreto. En investigaciones previas, se han evaluado porcentajes típicamente entre el 2% y el 10%. (Pérez, 2019).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición y análisis de las propiedades físicas y mecánicas de bloquetas portantes de concreto adicionadas con diferentes porcentajes de residuos de mecanizado ferroso. Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio permiten evaluar de manera objetiva la influencia del RMF, conforme a (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014).

Se adopta un diseño experimental, debido a la manipulación controlada del porcentaje de residuos de mecanizado ferroso como variable independiente, con el propósito de analizar su efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto, utilizando una mezcla patrón como referencia

El estudio corresponde a un nivel explicativo, ya que busca explicar la influencia del uso de residuos de mecanizado ferroso en el comportamiento físico y mecánico de las bloquetas portantes de concreto, identificando las relaciones causa–efecto observadas en los resultados experimentales

La investigación es de tipo aplicada, puesto que emplea conocimientos técnicos para evaluar una alternativa sostenible en la fabricación de bloquetas portantes de concreto, orientada a mejorar su desempeño y promover el aprovechamiento de residuos

industriales en el sector construcción, para optimizar los materiales de construcción en las zonas urbanas de Cusco,

El enfoque aplicado se alinea con la máxima de “busca conocer para hacer, es decir, emplear el conocimiento para resolver necesidades prácticas”

4.2. Ámbito temporal y espacial

El proyecto denominado **"INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE BLOQUETAS PORTANTES DE CONCRETO ADICIONADAS CON RESIDUOS DE MECANIZADO FERROSO, CUSCO. 2025"**, se llevó a cabo dentro de la ciudad del Cusco, de manera temporal durante el año 2024 con pruebas realizadas durante los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Región	:	Cusco
Provincia	:	Cusco
Distrito	:	Wanchaq
Altitud	:	3380.00 m.s.n.m.m.
Coordenadas UTM	:	N: 182922.27; E: 8505256.71

La presente investigación se desarrolla en la región Cusco, ubicada al sur del territorio peruano, específicamente en la provincia homónima.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población de esta investigación está constituida por el conjunto de todas las posibles bloquetas portantes de concreto que pueden ser fabricadas. Dicha población abarca tanto aquellas unidades elaboradas a partir de mezclas convencionales como

aquellas modificadas mediante la incorporación de residuos de mecanizado ferroso como aditivo. Se incluye tanto la producción factible en condiciones controladas de laboratorio como aquella que podría ser escalada a nivel industrial o preindustrial, siempre y cuando se respeten los mismos criterios técnicos de dosificación y manufactura establecidos.

El universo de estudio se circunscribe específicamente a las unidades de albañilería (bloquetas) que están destinadas a cumplir funciones estructurales y portantes dentro del sector de la construcción civil. La delimitación geográfica se centra en el contexto urbano de Cusco, haciendo especial énfasis en aquellos proyectos constructivos que buscan activamente la optimización de la sostenibilidad mediante la integración de materiales reciclados o alternativos.

La población objeto de este estudio está constituida por el total de bloquetas fabricadas con destino a fines estructurales dentro del área urbana de Cusco. Al definir esta población, resulta fundamental considerar que las propiedades físicas y mecánicas tales como la resistencia a la compresión, la absorción de agua y el peso unitario son atributos que son inherentes a cada una de estas unidades de albañilería. Esta población completa se constituye como el universo de estudio, y sus propiedades físicas y mecánicas representan la totalidad de los datos que se busca medir y analizar a lo largo de la investigación.

Este enfoque metodológico, que establece un universo de estudio específico y bien delimitado, resulta fundamental para asegurar tanto la viabilidad como el rigor científico del proyecto. En este sentido, (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014) definen el universo o población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, enfatizando que la delimitación precisa de

esta población constituye un paso crucial e ineludible en la fase de formulación de toda investigación.

4.3.2. Muestra

Con base en (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014), la muestra se define como "un subgrupo de la población o universo del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de este" Este subconjunto de la población requiere una selección cuidadosa para asegurar que sus características reflejen con la mayor fidelidad posible las del conjunto total. La representatividad de la muestra es, por lo tanto, un paso crucial que determina la validez y la capacidad de generalización de los resultados, permitiendo que las conclusiones obtenidas a partir de su estudio sean inferidas al universo más amplio con un nivel de confianza aceptable.

La muestra de la presente investigación está constituida por bloquetas portantes de concreto, las cuales serán fabricadas con una mezcla patrón y con distintas dosificaciones de R.M.F., en forma del polvo de acero. La preparación y clasificación de estas mezclas de laboratorio seguirán rigurosamente los criterios establecidos por la norma ASTM, NTP y la Norma Técnica E.070 – Albañilería.

Cada una de las porciones representa una variante experimental esencial para el análisis del comportamiento mecánico y físico de las bloquetas ante la adición controlada del residuo metálico.

El tipo de muestreo empleado en este estudio es no probabilístico por conveniencia. La selección específica de las unidades de muestra se fundamentó en la disponibilidad práctica de materiales, las condiciones operacionales del laboratorio, y la viabilidad técnica para la preparación y ensayo de las bloquetas. Según (Casal, J., &

Mateu, J., 2003), este tipo de muestreo es adecuado en investigaciones aplicadas, ya que el investigador selecciona los elementos que son más accesibles o están disponibles dentro del contexto específico del proyecto.

Tabla 9

Cantidad de bloquetas utilizadas para ensayos en propiedades físicas y mecánicas.

ENSAYO	**PATRON**	**DOSIFICACIONES**			**TOTAL**
	0% DE M.F.	**25% DE M.F.**	**50% DE M.F.**	**75% DE M.F.**	
DENSIDAD	1	1	1	1	4
ABSORCION	1	1	1	1	4
SUCCION	1	1	1	1	4
MODULO DE ELASTICIDAD	1	1	1	1	4
COMPRESION UNIAXIAL	9	9	9	9	36
COMPRESION DE PILAS	12	12	12	12	48
COMPRESION DE MURETES	18	18	18	18	72
TOTAL=					**172**

Nota: Se realizaron 172 unidades de la albañilería en total, distribuidos en un grupo patrón (0% M.F.) y tres dosificaciones experimentales (25%, 50% y 75% M.F.) evaluados.

4.3.3. Muestreo

Se utilizaron agregados (arena media y confitillo) de las canteras de Cunyac y Vicho seleccionando una muestra representativa siguiendo las normas NTP 100.010 y ASTM C 75. Los materiales fueron almacenados en sacos y recolectados con pala, registrando los datos en un block de notas.

4.4. Instrumentos

- **Formatos de Protocolo de Ensayo**

Según (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014), los instrumentos de medición, como los formatos o protocolos de ensayo, son "el recurso que utiliza el investigador para registrar la información o datos sobre las variables que tiene en mente" (p. 201). En el contexto de la ingeniería civil, estos formatos sirven para documentar de manera sistemática los datos cuantitativos obtenidos de pruebas de laboratorio, como las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas. Su diseño debe ser riguroso y estar alineado con los estándares técnicos, garantizando que los datos recolectados sean precisos, confiables y directamente comparables con los valores de referencia establecidos en la literatura técnica y normativa.

El instrumento de recolección de datos está dado por fichas de laboratorio donde nos permite la recolección de datos de forma sistemática y ordenada de las pruebas o ensayos realizados.

Estos formatos se diseñaron para registrar los resultados de los ensayos en el laboratorio, basándose en las especificaciones de las normas técnicas ASTM. Cada formato incluyó los siguientes elementos:

- Sección de Observaciones: Un espacio para anotar cualquier detalle relevante sobre el comportamiento de la muestra durante el ensayo.
- Identificación de la Muestra:
- Código único para cada bloqueta o prisma ensayado.
- Parámetros de Ensayo: Espacios para registrar las mediciones y cálculos

según cada norma.

- Unidades de Medición: Se especificó la escala de medición de los datos, principalmente de razón.

1. Ficha de Registro de Ensayo de Absorción de Agua y Densidad.

Este instrumento se basó en la norma ASTM C140. Sirvió para registrar la masa de las bloquetas en sus estados seco y saturado. Los datos recopilados permitieron calcular la absorción de agua (expresada en %) y la densidad (expresada en g/cm^3), ambas con una escala de medición de razón.

2. Ficha de Registro de Resistencia a la Compresión de Bloquetas, pilas y muretes.

El diseño de este formato se ajustó a la norma ASTM C140 y ASTM C1314. Sirvió para anotar la carga máxima aplicada a cada bloqueta o prisma, lo que permitió calcular la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad (expresado en kg/cm^2), utilizando una escala de razón.

3. Instrumentos de ingeniería

Estos son los equipos de laboratorio utilizados para obtener las mediciones físicas y mecánicas de las muestras. La elección de estos instrumentos se basó en su precisión, fiabilidad y conformidad con las normas técnicas aplicables.

Los dispositivos de ingeniería, como la máquina de compresión universal o la balanza de precisión, son herramientas que, según (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B, 2014), "deben reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad" (p. 202). Estos equipos son la materialización de un instrumento de medición; su función es capturar y registrar los datos de las variables de estudio de manera precisa y consistente. La confiabilidad se asegura a través de la calibración regular y el

seguimiento de protocolos normalizados (como los de las normas ASTM), mientras que la validez se garantiza al usar el instrumento correcto para medir la variable específica (por ejemplo, una máquina de compresión para medir la resistencia a la compresión).

- **Máquina de Compresión Universal:** Dispositivo esencial para aplicar carga a las bloquetas y prismas hasta su punto de falla, permitiendo medir la resistencia a la compresión según ASTM C140 y ASTM C1314.
- **Balanza Electrónica de Precisión:** Utilizada para pesar las muestras con alta exactitud en los ensayos de absorción y densidad, siguiendo los procedimientos de la ASTM C140.
- **Tanque de Inmersión:** Contenedor empleado en el ensayo de absorción de agua para sumergir las muestras durante el tiempo estipulado por la ASTM C140.
- **Vernier, Calibrador o Cinta Métrica:** Herramientas de medición para verificar las dimensiones de las bloquetas y prismas, asegurando el cumplimiento de las tolerancias dimensionales especificadas en las normas.

4.5. Procedimientos

4.5.1. Muestreo de agregados

En cuanto al proceso de recolección, el muestreo de agregados, incluso los R.M.F. ,el cual fue obtenido en sacos ,que necesitaron una limpieza o separación de las mismas y para agregados de arena media y confitillo se llevó a cabo en la zona de almacenamiento de las canteras Cunyac y Vicho, con el propósito de obtener una muestra representativa, de este último. Este procedimiento garantiza que la muestra refleje adecuadamente la variabilidad del material disponible.

Figura 28

Recolección y limpieza de materiales secos

Asimismo, para la ejecución de los ensayos correspondientes, se recolecto arena media de 3/4" y confitillo, cumpliendo estrictamente con las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 400.010.

4.5.2. Análisis granulométrico arena media

Se trabajó con una muestra representativa de la cantera, con un peso inicial de 270 g. Debido a la naturaleza del material, primero se realizó un lavado sobre el tamiz N° 200 para eliminar los finos (limos y arcillas), registrando una pérdida de 20 g. La muestra lavada resultante, de 250 g, se secó en horno a una temperatura constante de 110°C eliminando toda humedad para no alterar los pesos. Este peso seco final fue el utilizado para determinar el peso total y calcular los porcentajes retenidos. Se seleccionó la serie

de tamices estandarizados (3/8”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200), organizándolos en orden decreciente de tamaño de apertura.

Figura 29

Muestra sometida a un proceso de secado en horno POR 24hrs.

Nota. La muestra seca se colocó en el tamiz superior y se sometió a un tamizado mecánico para asegurar una clasificación eficiente. Posteriormente, se pesó el material retenido en cada tamiz y en el fondo, registrando los valores con precisión (por ejemplo, la mayor retención se observó en el tamiz N° 30). Se calculó el porcentaje retenido en cada malla dividiendo su peso individual entre el peso total de la muestra lavada y multiplicando por 100. Para determinar el porcentaje acumulado, se sumaron progresivamente los retenidos, y el porcentaje que pasa se obtuvo restando ese acumulado del 100%, tal como se detalla en la tabla de resultados.

Tabla 10

Granulometría de Arena media

Tamiz N.º	Diámetro (mm)	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
3/8 pulg	9.375	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.750	1.35	0.52%	0.52%	99.48%
N° 8	3.360	8.32	3.21%	3.73%	96.27%
N° 16	1.180	41.28	15.94%	19.67%	80.33%
N° 30	0.600	98.23	37.93%	57.60%	42.40%
N° 50	0.300	74.12	28.62%	86.22%	13.78%
N° 100	0.150	26.23	10.13%	96.35%	3.65%
N° 200	0.075	4.33	1.67%	98.02%	1.98%
Bandeja	0.000	5.12	1.98%	100.00%	0.00%
Total	—	**258.98**	**100.00%**	—	—

Nota. Tabla granulométrica del Arena media

Interpretación: Se calculó el módulo de fineza con la siguiente fórmula.

MF = ∑ % $\boldsymbol{RETENIDO\ ACUMULADO}$ (**3⁄8 "**, $\boldsymbol{N°\ 4}$, $\boldsymbol{N°\ 8}$, $\boldsymbol{N°\ 16}$, $\boldsymbol{N°\ 30}$, $\boldsymbol{N°\ 50}$, $\boldsymbol{N°\ 100}$, $\boldsymbol{N°\ 200}$)

Obteniendo un módulo de fineza de **2.64**

Los porcentajes pasantes obtenidos para las mallas N° 8, 16, 30, 50, 100 y 200 se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa técnica peruana, mostrando una distribución granulométrica continua y bien graduada. El módulo de fineza de 2,64

permite clasificar al material como arena media, condición adecuada para su empleo en mezclas de concreto.

Asimismo, el contenido de material fino que pasa el tamiz N° 200 es de 1,98 %, valor aceptable según la Norma E.070, y la pérdida por lavado de 5 g, lo que favorece una adecuada trabajabilidad, una correcta compactación y el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto, resultando el agregado apto para la fabricación de bloquetas conforme a los requerimientos normativos vigentes.

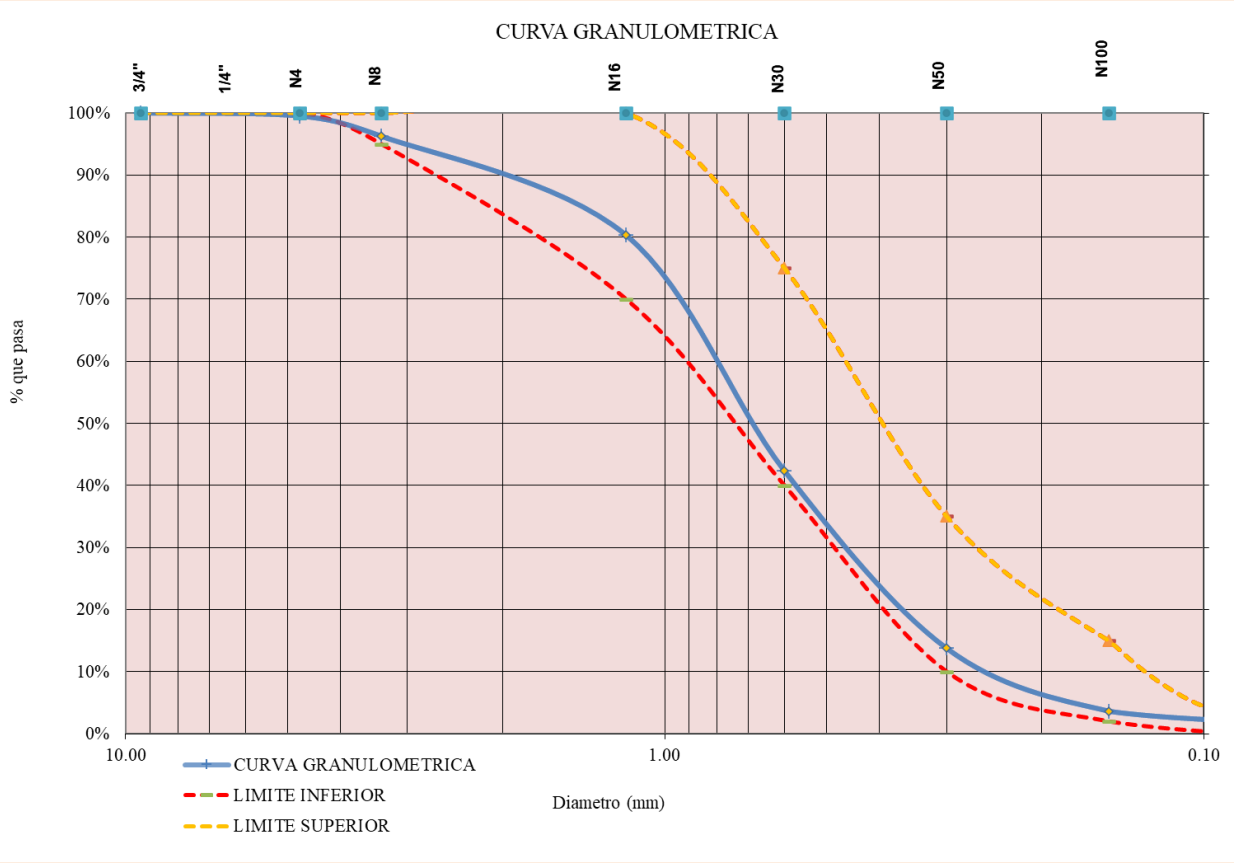
Figura 30

Retenido de los tamices

Nota. Material retenido en cada tamiz, dicho ensayos de realizaron con la mira de realizar el diseño de mezclas, para realizar las unidades de albañilería.

Figura 31

Curva granulométrica de arena media



Nota. La curva granulométrica de la arena media analizada, evidencia que el material presenta un tamaño máximo absoluto de 3/8", al pasar el 100 % por dicho tamiz, y un tamaño máximo nominal correspondiente al tamiz N° 4 (4,75 mm), confirmando su clasificación como agregado fino. La comparación entre la curva granulométrica obtenida y los valores máximos y mínimos permisibles muestra que los porcentajes pasantes del material fino (arena media) se encuentran dentro de la banda establecida por la normativa, evidenciando una gradación adecuada.

4.5.3. Análisis granulométrico de confitillo

Se trabajó con una muestra representativa de confitillo proveniente de la cantera Vicho, con un peso inicial de campo de 2375 g. Dado que este tipo de agregado suele presentar material pulverulento adherido, se procedió primero al lavado sobre el tamiz N° 200, registrando una pérdida significativa de 9 g de finos. La muestra lavada resultante, de 2375 g, se secó en horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta eliminar toda humedad. Este peso seco final de 2366 g constituyó la base de cálculo para los porcentajes retenidos, utilizándose la serie de tamices estandarizados que inicia en 3/8" y desciende hasta el N° 200, organizados en orden decreciente de abertura.

La muestra seca se depositó en el tamiz superior y se sometió a vibración mecánica para garantizar la correcta estratificación de las partículas. Posteriormente, se pesó el material retenido en cada malla, observándose una retención predominante en el tamiz N° 4 (casi el 22% de la muestra), lo cual es característico de este tipo de material granular. Se calculó el porcentaje retenido dividiendo cada peso parcial entre el peso total de la muestra lavada y multiplicando por 100. Asimismo, se determinaron los porcentajes acumulados y el porcentaje que pasa, restando progresivamente los valores acumulados del 100%, tal como se visualiza en la tabla.

Tabla 11

Análisis granulométrico de confitillo

Tamiz N.°	Diam. (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
3/8 pulg	9.375	300.23	12.64%	12.64%	87.36%
N° 4	4.75	1552.12	65.36%	78.00%	22.00%
N° 8	2.36	385.31	16.22%	94.22%	5.78%
N° 16	1.18	55.23	2.33%	96.55%	3.45%
N° 30	0.6	32.24	1.36%	97.90%	2.10%
N° 50	0.3	12.18	0.51%	98.42%	1.58%
N° 100	0.15	14.55	0.61%	99.03%	0.97%
N 200	0.075	11.23	0.47%	99.50%	0.50%
bandeja	0	11.81	0.50%	100.00%	0.00%
TOTAL		**2374.9**	**100.00%**		

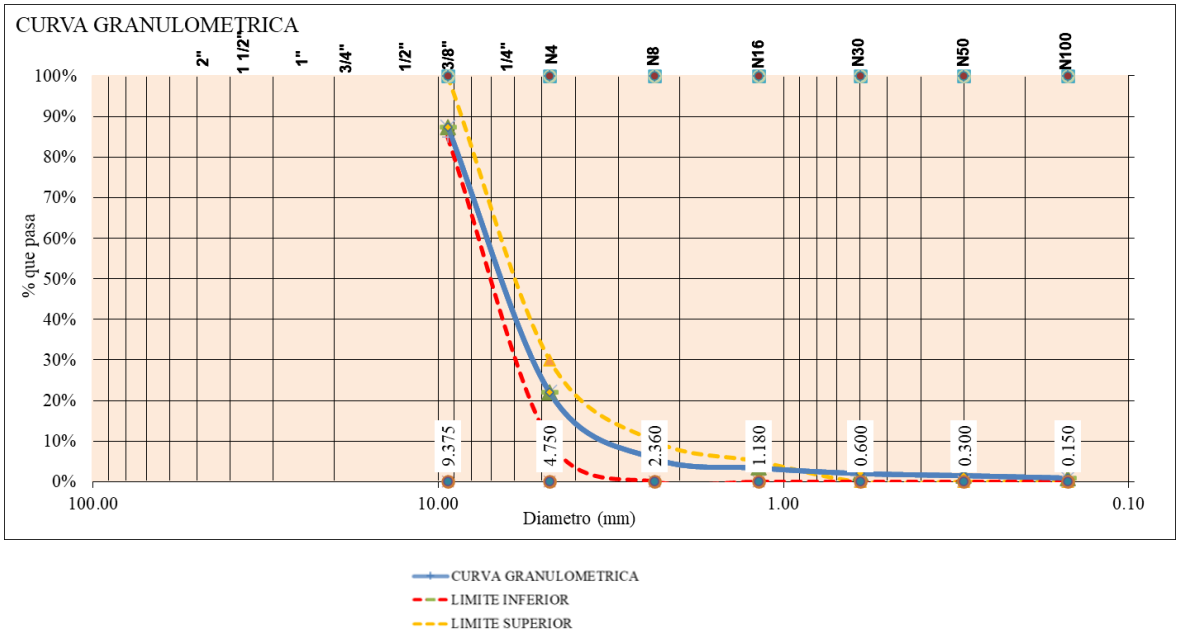
Nota. Al compararse con la granulometría típica del confitillo, el módulo de finura obtenido 5.89 excede el rango recomendado de 2.3 a 3.4.

Figura 32

Retenidos de Granulometría del confitillo

Figura 33

Curva granulométrica del confitillo



Interpretación: La curva granulométrica del agregado confitillo registra un módulo de fineza de 5.89, lo que indica una estructura granular robusta ideal para conformar el esqueleto resistente de la unidad. La comparación entre la curva obtenida y los límites

permisibles muestra que los porcentajes pasantes se encuentran íntegramente dentro de la banda granulométrica, lo que garantiza una gradación adecuada y uniforme.

4.5.4. Granulometría de Polvo de acero (R.M.F.)

Este ensayo permite conocer la distribución del tamaño de las partículas que componen el material y cómo estas afectarán el comportamiento final de la mampostería.

La granulometría es la herramienta que permite validar científicamente por qué el tamizado del polvo es el punto de equilibrio estructural. Sin este ensayo, la sustitución del agregado sería un proceso empírico; con él, se puede demostrar que la distribución granulométrica del polvo de acero complementa la del agregado natural, logrando una mezcla más densa, menos porosa y, por ende, más resistente a la compresión axial y diagonal.

Tabla 12

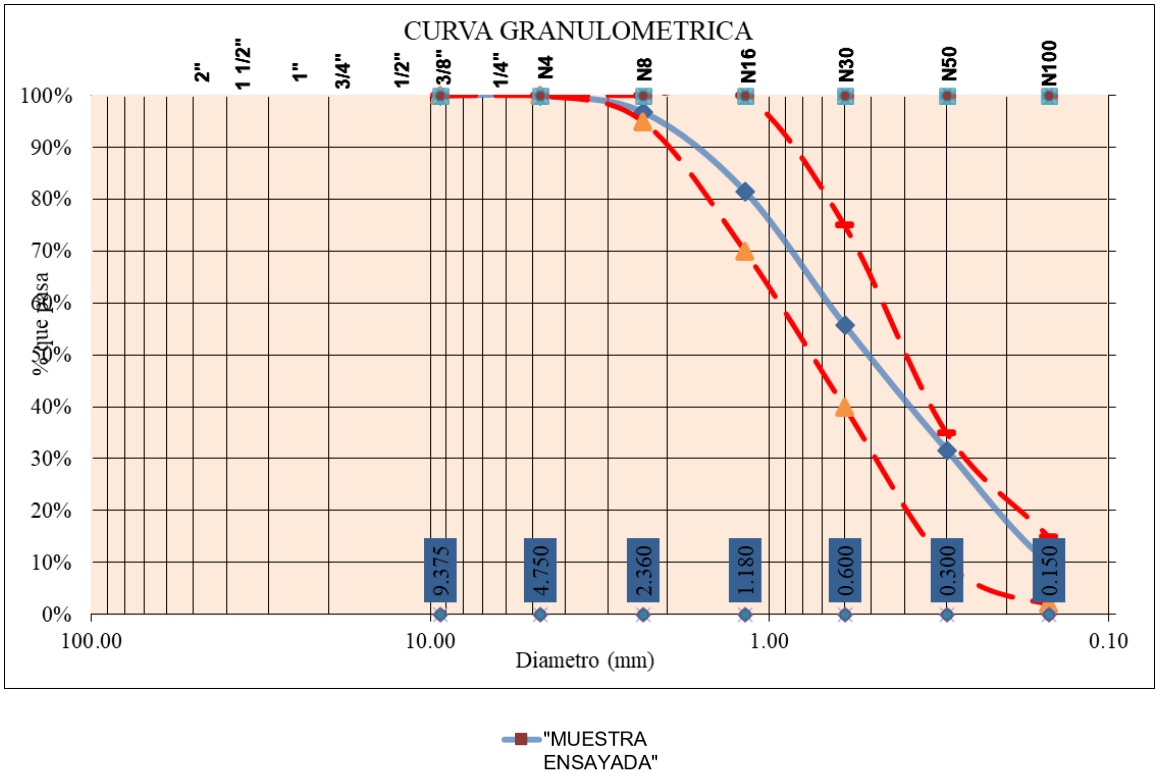
Granulometría de Polvo de acero (R.M.F.)

Tamiz N.º	Diámetro (mm)	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
3/8 pulg	9.375	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.750	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 8	2.360	40.26	3.23%	3.23%	96.77%
N° 16	1.180	191.32	15.34%	18.56%	81.44%
N° 30	0.600	321.69	25.79%	44.35%	55.65%
N° 50	0.300	300.34	24.08%	68.43%	31.57%
N° 100	0.150	270.48	21.68%	90.11%	9.89%
N° 200	0.075	102.96	8.25%	98.36%	1.64%
Bandeja	0.000	20.41	1.64%	100.00%	0.00%
Total	—	**1247.46**	**100.00%**	—	—

Nota: La granulometría combinada registra un módulo de fineza de **2.34**, cumpliendo con los estándares técnicos para garantizar un empaquetamiento granular denso y uniforme. Se observa una distribución continua que minimiza los vacíos intersticiales, lo cual favorece la integración homogénea del residuo de mecanizado ferroso en la matriz.

Figura 34

Curva granulométrica del polvo de acero (R.M.F.)



Interpretación: La curva granulométrica Polvo de acero (R.M.F.) se posiciona en la franja central de los límites de control, lo que evidencia una distribución de partículas altamente equilibrada y apta para la fabricación de bloquetas. Con un módulo de fineza de 2.34, el material se clasifica como un agregado de grano medio-fino.

4.5.5. Granulometría de Agregados con Polvo de acero (R.M.F.)

Se realizó una combinación de 60% de arena media y 40% de confitillo, integrando además polvo de acero con los agregados, con el objetivo de obtener una granulometría adecuada. Esta mezcla permite un buen empaquetamiento de las partículas finas y gruesas, mejorando la densidad y cohesión del material. La inclusión del polvo de acero contribuye a incrementar la densidad y las propiedades mecánicas de la mezcla. El control de la proporción de finos garantiza que la trabajabilidad y estabilidad del mortero o bloque se mantengan dentro de los parámetros adecuados.

Tabla 13

Granulometría de Agregados con Polvo de acero (R.M.F.)

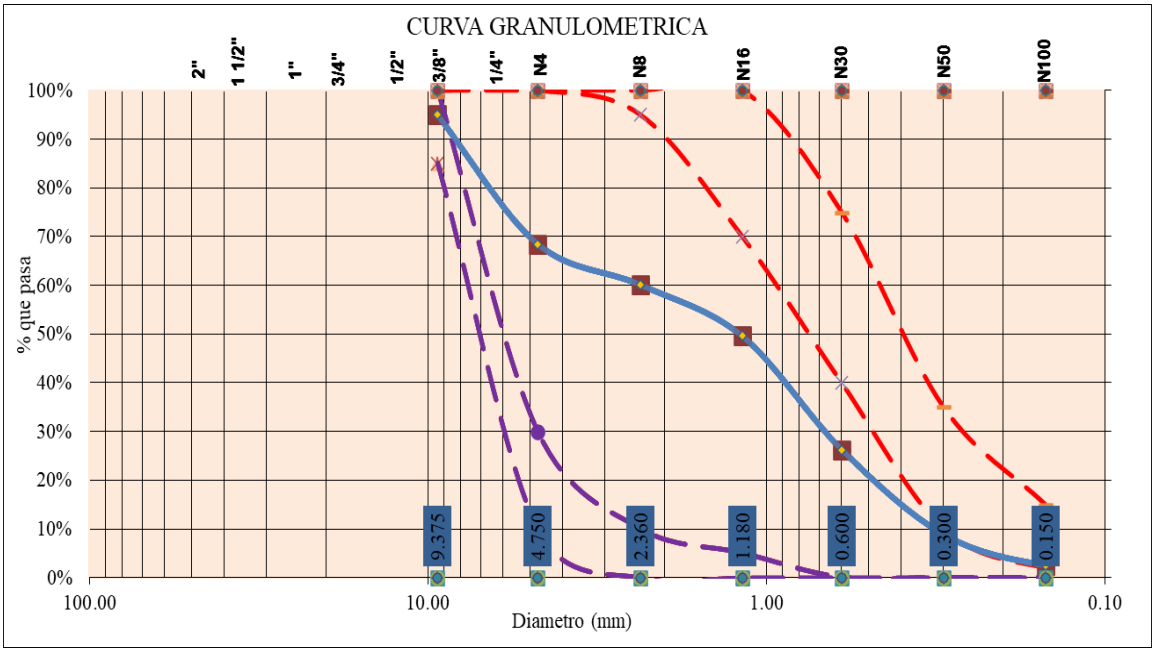
Tamiz N.º	**Diámetro (mm)**	**Peso retenido**	**% Retenido**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**
3/8 pulg	9.375	13.10	5.06%	5.06%	94.94%
N° 4	4.750	68.51	26.45%	31.51%	68.49%
N° 8	2.360	21.80	8.42%	39.93%	60.07%
N° 16	1.180	27.18	10.49%	50.42%	49.58%
N° 30	0.600	60.34	23.30%	73.72%	26.28%
N° 50	0.300	45.00	17.38%	91.10%	8.90%
N° 100	0.150	16.37	6.32%	97.42%	2.58%
N° 200	0.075	3.09	1.19%	98.61%	1.39%
Bandeja	0.000	3.59	1.39%	100.00%	0.00%
Total	—	**258.98**	**100.00%**	—	—

Nota. La granulometría de la mezcla indica una distribución equilibrada de partículas, donde los porcentajes retenidos y pasantes muestran que hay una adecuada proporción de

finos y gruesos. El módulo de finura de 3.89 refleja que la mezcla es ligeramente más gruesa que el rango óptimo para morteros de confitillo (2.3–3.4), pero la combinación de arena gruesa, confitillo y polvo de acero permite un buen empaquetamiento de los granos, mejorando la densidad y cohesión del material. Los resultados de tamizado muestran que la mayor parte del material pasa por los tamices finos (Nº30 a Nº100), asegurando trabajabilidad y resistencia. En conclusión, la granulometría obtenida es adecuada para la elaboración de mortero o bloques, aunque se debe monitorear la trabajabilidad debido al MF ligeramente elevado.

Figura 35

Curva granulométrica Agregados con Polvo de acero (R.M.F.)



Interpretación: La clasificación granulométrica de los agregados con polvo de acero (R.M.F.) se observa que el módulo de finura de 3.89, se sitúa por encima del rango óptimo convencional de 2.3 a 3.4, la distribución de partículas analizada indica una proporción equilibrada entre finos y gruesos que favorece un empaquetamiento denso de los granos.

La combinación de arena media, confitillo y R.M.F. potencia la densidad y cohesión interna del material, permitiendo que la distribución de los componentes garantice la trabajabilidad y el cumplimiento de la resistencia mecánica final.

En conclusión, se establece que la granulometría obtenida es técnicamente adecuada para la elaboración de mortero o bloques, recomendándose un monitoreo constante de la trabajabilidad ante el elevado módulo de finura registrado.

4.5.6. Contenido de humedad de los agregados

4.5.6.1. Contenido de humedad de la arena media

Se determinó el contenido de humedad en agregados para la arena media según la norma AASHTO T255, se trabajaron con tres muestras representativas (identificadas como Muestra 01, 02 y 03) con el fin de obtener un resultado estadísticamente confiable. El procedimiento inició pesando las cápsulas metálicas limpias y secas para registrar su tara. Posteriormente, se colocó una porción de agregado húmedo en cada recipiente y se registró el peso combinado (Cápsula + Material Húmedo), obteniendo valores iniciales de 251.88 g, 241.21 g y 322.18 g respectivamente.

Las muestras preparadas se introdujeron en un horno de secado a una temperatura constante de 100°C Se mantuvieron en estas condiciones hasta alcanzar una masa constante, asegurando así la evaporación total del agua libre contenida en los poros del material. Tras el periodo de secado, se retiraron las muestras y, una vez enfriadas, se procedió a pesar nuevamente los recipientes para obtener el peso del material seco (Peso Cápsula + Material Seco).

Finalmente, se procesaron los datos en gabinete. Se determinó el peso del agua evaporada por diferencia de masas y el peso del suelo seco descontando la tara de la

cápsula. El porcentaje de humedad se calculó dividiendo el peso del agua entre el peso del suelo seco y multiplicando por 100. Al promediar los resultados parciales de las tres muestras (1.36%, 0.63% y 0.67%), se determinó un contenido de humedad promedio del 0.89%. Este valor indica que el agregado se encuentra en un estado casi seco al aire, dato fundamental para realizar la corrección por absorción en el diseño de mezcla; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 36

Ensayo de contenido de humedad de la arena media.

Nota. Se tomaron Muestra 01, 02 y 03, y se pesaron junto con las capsulas antes y después que están ingresen al horno por 24 hrs. y así conocer el contenido de Humedad de la Arena media.

Tabla 14

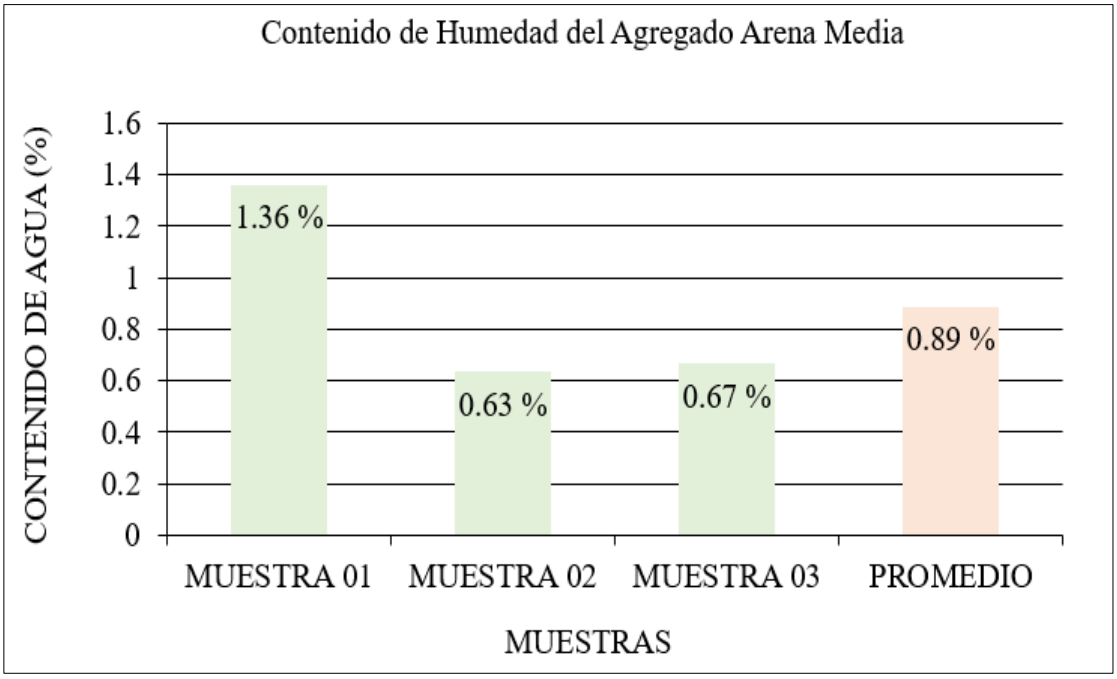
Contenido De Humedad la arena media

AGREGADO FINO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	64.23	54.12	54.99	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	251.88	241.21	322.18	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	249.36	240.03	320.41	
PESO DEL AGUA	2.52	1.18	1.77	
PESO DEL SUELO SECO	185.13	185.91	265.42	
CONTENIDO DE AGUA (%)	**1.36**	**0.63**	**0.67**	**0.89**
PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA =				**0.89%**

Interpretación: El contenido de agua de las muestras es bajo, con un promedio de 0.89%, lo que indica que la arena media tiene una humedad mínima, lo cual es ideal para la mezcla de concreto, ya que no afectará significativamente la proporción de agua en la mezcla final. Además, la baja variabilidad entre las muestras sugiere una alta consistencia en el contenido de humedad del material, lo que es favorable para mantener la calidad del concreto. Este bajo contenido de agua garantiza que la arena media está en condiciones óptimas para ser combinado con otros componentes como el cemento y los agregados gruesos, sin alterar la relación agua-cemento, lo que resulta en un concreto con una buena resistencia mecánica una vez fraguado.

Figura 37

Cuadro comparativo de Contenido de Humedad de la arena media



Nota. La muestra en cuestión al contenido de humedad de la arena media, se ha determinado a partir de tres muestras representativas, donde observa variabilidad entre las mediciones individuales, con valores de 1.36 %, 0.63 % y 0.67 %, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 0.89 %. Estos resultados permiten caracterizar el estado de humedad del agregado al momento del ensayo, información necesaria para el control y ajuste de las dosificaciones en la elaboración de mezclas.

4.5.6.2. Contenido de humedad del Confitillo

Para determinar el contenido de humedad en los agregados gruesos conforme a la norma AASHTO T255, utilizando tres muestras representativas para garantizar la precisión del ensayo. El proceso comenzó pesando las cápsulas vacías para obtener la tara y, posteriormente, se añadió el material húmedo en cada una. Se registraron

los pesos combinados iniciales (Cápsula + Material Húmedo), obteniendo valores de 248.12 g, 244.12 g y 274.10 g para las muestras 01, 02 y 03 respectivamente.

Las muestras fueron introducidas en un horno de laboratorio regulado a una temperatura de de 110 ± 5 °C. Se mantuvieron en secado hasta alcanzar masa constante, punto en el cual toda la humedad libre había sido evaporada. Una vez enfriadas las muestras, se procedió al pesaje final (Cápsula + Material Seco), registrando los nuevos valores que permitieron determinar la pérdida de masa correspondiente al agua.

Figura 38

Ensayo de contenido de humedad del confitillo

Tabla 15

Contenido De Humedad Del Confitillo

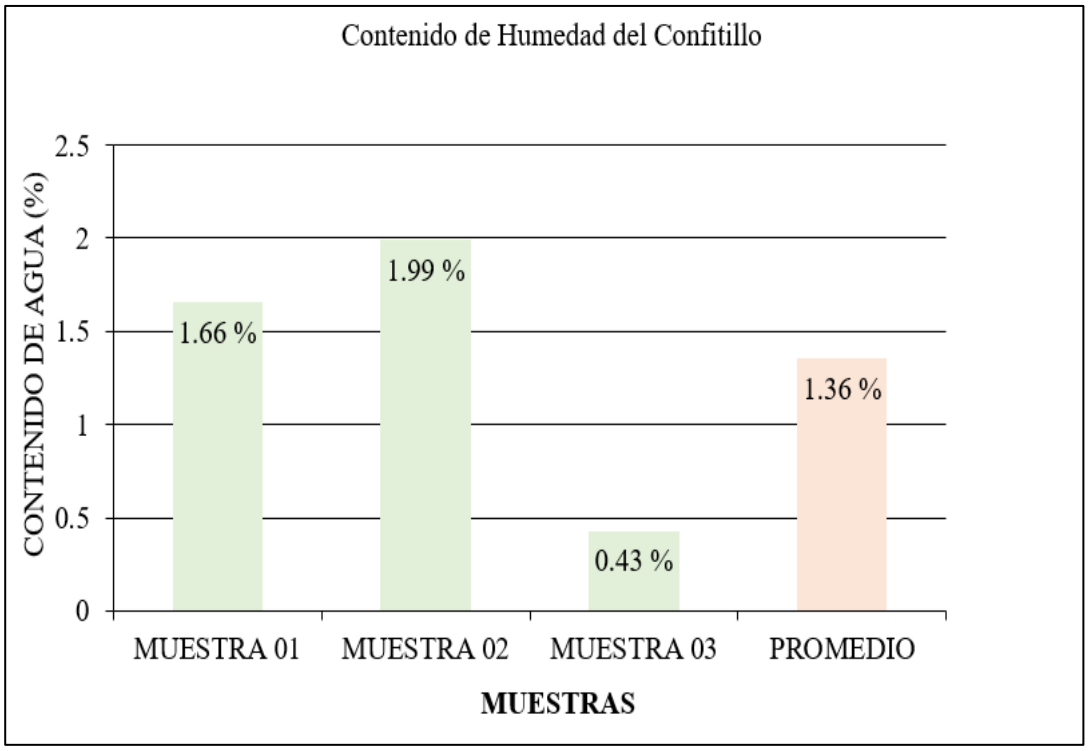
AGREGADO GRUESO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	65.21	51.21	66.32	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	248.12	244.12	274.10	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	245.14	240.36	273.21	
PESO DEL AGUA	2.98	3.76	0.89	
PESO DEL SUELO SECO	179.93	189.15	206.89	
CONTENIDO DE AGUA (%)	**1.66**	**1.99**	**0.43**	**1.36**

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 1.36%

Interpretación: Finalmente, se realizaron los cálculos en gabinete determinando el peso del agua y el peso del suelo seco para cada muestra. Se aplicó la fórmula convencional (peso del agua / peso del suelo seco * 100) obteniendo porcentajes individuales de 1.66%, 1.99% y 0.43%. Al promediar estos valores, se determinó un Contenido de Humedad del Confitillo de **1.36%**, dato que será utilizado para ajustar los pesos de los materiales en la dosificación final del concreto; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 39

Cuadro comparativo de contenido de humedad del Confitillo



Nota. muestra el contenido de humedad del confitillo determinado a partir de tres muestras representativas. Se observa variabilidad entre las mediciones individuales, con valores de 1.66 %, 1.99 % y 0.43 %, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 1.36 %. Estos resultados permiten caracterizar el estado de humedad del agregado al momento del ensayo, información necesaria para el control y ajuste de las dosificaciones en la elaboración de mezclas.

4.5.6.3. Peso Unitario de los agregados

Para comenzar el procedimiento, se calibró el recipiente cilíndrico metálico con el fin de determinar con exactitud su volumen, paso indispensable para el cálculo posterior del peso unitario del agregado. Seguidamente, se obtuvo una muestra representativa, la

cual fue sometida a secado en horno durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante. Una vez finalizado el secado, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente para proceder con las mediciones en condición suelta y en condición compactada.

En cuanto a la determinación del peso unitario suelto, el agregado se vertió en el molde cilíndrico hasta el ras, procurando obtener una superficie nivelada antes de registrar el peso del recipiente con el material. Para la medición del peso unitario compactado, el llenado del molde se realizó en tres capas, aplicando 25 golpes con una varilla compactadora de 16 mm de diámetro en cada una de ellas, evitando alterar la capa previamente asentada. Finalmente, se niveló la superficie y se registró el peso total del conjunto, lo que permitió efectuar los cálculos correspondientes según la normativa aplicable.

4.5.6.4. Peso unitario agregado fino T-29 (arena media)

Para determinar la densidad volumétrica del material en estado no compactado, se procedió conforme a la norma AASHTO T-29 (equivalente a la NTP 400.017), bajo la modalidad de Peso Unitario Suelto. Se empleó un recipiente metálico calibrado de 1/10 de pie cúbico, cuyo volumen verificado fue de 2831.68, cm^3. El ensayo inició con el pesaje del molde vacío, registrando una tara constante de 2080 g. A continuación, la muestra de arena media, ya seco, se vertió dentro del recipiente utilizando un cucharón, cuidando que la altura de caída no excediera los 5 cm sobre el borde superior para evitar la segregación. Es fundamental destacar que, para esta condición de ensayo, el material se depositó libremente por gravedad hasta colmar el molde, sin aplicar ningún tipo de varillado o vibración que pudiera acomodar las partículas. Una vez lleno, se procedió a enrasar la superficie cuidadosamente con una regla metálica, eliminando el exceso de

material sin comprimir el contenido. Se registraron los pesos del conjunto (Molde + Material) para tres muestras consecutivas, obteniendo lecturas de 6165 g, 6177 g y 6189 g respectivamente.

Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes restando el peso del molde para obtener la masa neta del agregado y dividiéndola entre el volumen del recipiente. Tras convertir las unidades, se obtuvieron densidades de 1442.61, 1446.84 y 1451.08kg/m3. El promedio de estas tres determinaciones arrojó un Peso Unitario Suelto de 1446.84kg/m3, dato que permite estimar el volumen que ocupará el agregado en los camiones o tolvas sin compactar; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 40

Ensayo de peso unitario en arena media

Nota. Este procedimiento consistió en llenar el recipiente metálico con el agregado fino en tres capas de igual espesor; cada capa fue compactada mediante 25 golpes uniformemente distribuidos con una varilla metálica, conforme a la norma. Finalizada la compactación de

la última capa, la superficie del material fue enrasada cuidadosamente para garantizar un volumen constante. Finalmente, se procedió al pesado del recipiente lleno, registrándose el valor correspondiente para el cálculo del peso unitario compactado de la arena media.

Tabla 16

Peso Unitario Arena media

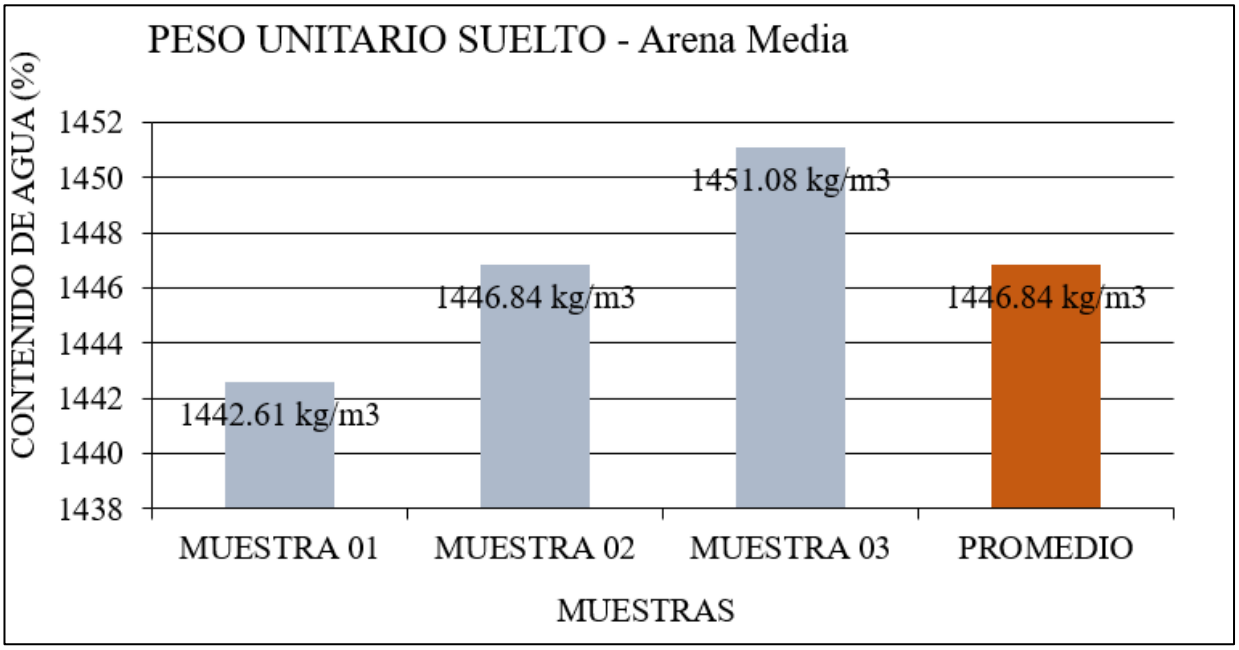
OLLA DE 1/10 PIE CUBICO				
AGREGADO ARENA MEDIA	**MUESTRA 01**	**MUESTRA 02**	**MUESTRA 03**	**PROMEDIO**
PESO DE MOLDE	2080gr	2080gr	2080gr	
PESO MOLDE + MATERIAL HUMEDO	6165gr	6177gr	6189gr	
VOLUMEN DE MOLDE	2831.68cm3	2831.68cm3	2831.68cm3	
PESO UNITARIO SUELTO	**1442.61 kg/m3**	**1446.84 kg/m3**	**1451.08 kg/m3**	**1446.84 kg/m3**
PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO =				1446.84 kg/m3

Interpretación: El peso unitario suelto del agregado denominado como arena media, determinado mediante la prueba AASHTO T-29, varía entre las tres muestras, con un promedio de 1446.84 kg/m³. Este valor se calcula tomando en cuenta el peso del molde vacío, el peso del molde con el material húmedo y el volumen del molde utilizado para cada muestra. Las muestras 01, 02 y 03 presentan valores de peso unitario suelto de 1442.61 kg/m³, 1446.84 kg/m³ y 1451.08 kg/m³, respectivamente. Estos resultados indican que el agregado fino tiene una densidad que no varía significativamente entre las muestras, lo que

sugiere que el material es consistente en su compactación y en su distribución de partículas. El promedio de 1446.84 kg/m³ es el valor representativo, lo cual es un indicativo de que el agregado tiene una densidad adecuada para su uso en la mezcla de concreto, asegurando que el material no esté ni excesivamente compacto ni demasiado suelto, lo que facilitará su manejo y mezcla en la producción de concreto.

Figura 41

Cuadro comparativo de muestras con respecto al peso unitario suelto de arena media



4.5.6.5. Peso unitario del confitillo

Para determinar la densidad volumétrica del confitillo en estado no compactado, se siguió el procedimiento establecido en la norma AASHTO T-29. Debido al mayor tamaño de las partículas del confitillo, se seleccionó un recipiente calibrado de mayor capacidad (1/2 pie cúbico), con un volumen verificado de 14158.40cm3. El ensayo comenzó registrando el peso del molde vacío, estableciendo una tara de 11850 g. A continuación, se procedió a llenar el recipiente con el agregado seco utilizando una pala,

dejando caer el material suavemente desde una altura mínima para evitar la segregación y asegurando una distribución aleatoria de las partículas.

Al igual que con la arena media, el llenado se realizó exclusivamente por gravedad hasta que el recipiente se desbordó, sin utilizar varillas compactadoras ni golpes en las paredes del molde. Una vez colmado, se enrasó la superficie manualmente, nivelando el material al ras del borde superior. Se realizaron tres repeticiones del ensayo, pesando en cada caso el conjunto (Molde + Material) y registrando valores muy consistentes de 30144 g, 30168 g y 30177 g.

Finalmente, se procesaron los datos restando el peso del molde a cada muestra para obtener la masa neta del agregado. Al dividir estas masas entre el volumen del recipiente (0.014158m3), se obtuvieron las densidades parciales. El promedio de las tres determinaciones resultó en un Peso Unitario Suelto de 1293.44 kg/m3. Este valor es ligeramente inferior al de la arena media debido a los mayores vacíos de aire que quedan entre las piedras cuando no se compactan; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 17

Peso unitario de Confitillo

OLLA DE 1/10 PIE CUBICO				
AGREGADO ARENA MEDIA	**MUESTRA 01**	**MUESTRA 02**	**MUESTRA 03**	**PROMEDIO**
PESO DE MOLDE	11850gr	11850gr	11850gr	
PESO MOLDE + MATERIAL HUMEDO	30144gr	30168gr	3177gr	
VOLUMEN DE MOLDE	14158.40cm 3	14158.40cm 3	14158.40cm 3	
PESO UNITARIO SUELTO	**1292.10 kg/m3**	**1293.79 kg/m3**	**1294.43 kg/m3**	**1293.43 kg/m3**
PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO =				**1293.44 kg/m3**

Interpretación: El peso unitario suelto del agregado denominado como confitillo tiene un promedio de 1293.44 kg/m³, con valores individuales de 1292.10 kg/m³, 1293.79 kg/m³ y 1294.43 kg/m³ para las muestras 01, 02 y 03, respectivamente. Estos resultados indican una densidad constante y adecuada, lo que sugiere una buena compactación del material para su uso en la mezcla de concreto.

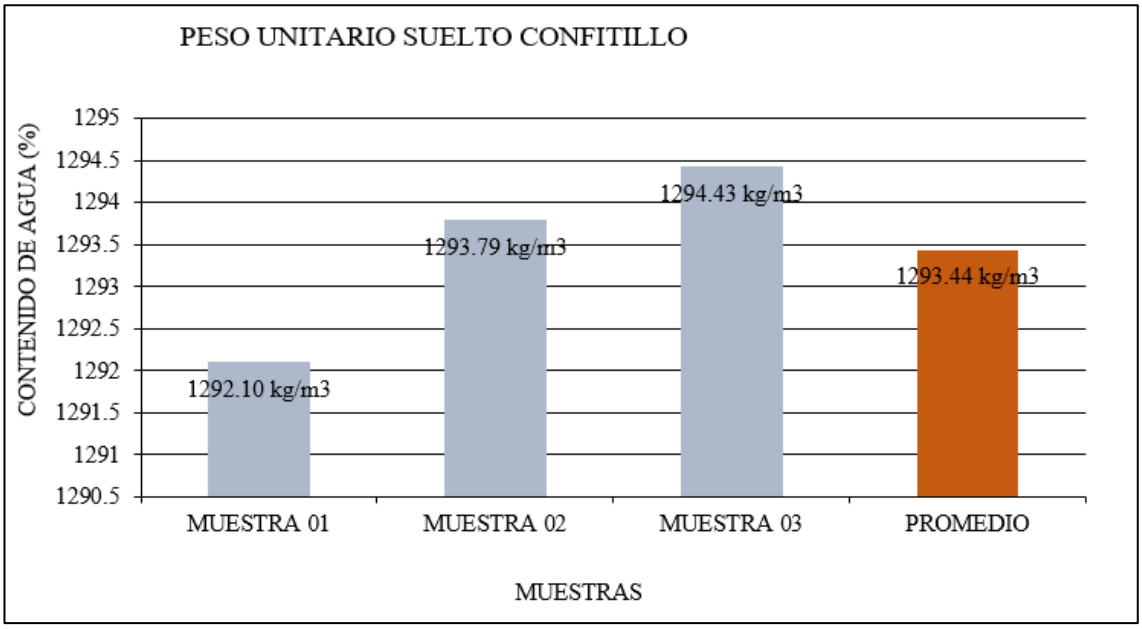
Figura 42

Ensayo de peso unitario para confitillo

Nota. Durante la ejecución del ensayo de peso unitario del confitillo como agregado grueso, se inició verificando que el material se encontrara limpio y en condición seca al aire. Luego, se pesó el recipiente metálico vacío y se procedió a llenarlo con el confitillo en tres capas de igual espesor, compactando cada una con 25 golpes uniformemente distribuidos mediante una varilla metálica, cuidando de no golpear el fondo del recipiente. Una vez completada la última capa, se enrasó la superficie para asegurar un volumen constante y, finalmente, se pesó el recipiente lleno, registrándose los datos necesarios para el cálculo del peso unitario compactado conforme a la Norma AASHTO T-29.

Figura 43

Cuadro comparativo de peso unitario -Confitillo



4.5.7. Peso Unitario Varillado Aastho T -29

4.5.7.1. Peso Unitario Varillado Arena Media

Para determinar la densidad compactada de arena media, aplicamos el método de Peso Unitario Varillado según la norma AASHTO T-29. Se utilizó nuevamente el recipiente metálico calibrado de 1/10 de pie cúbico (2831.68cm3). El procedimiento inició con la verificación del peso del molde limpio y vacío, registrando en esta ocasión una tara de 2070 g. A continuación, se procedió al llenado del recipiente, pero a diferencia del método suelto, este se realizó en tres capas de igual volumen para lograr la compactación adecuada.

Cada capa fue sometida a un proceso de compactación manual utilizando una varilla apisonadora estándar con punta semiesférica. Se aplicaron 25 golpes por capa, distribuidos uniformemente en espiral desde los bordes hacia el centro, con el objetivo de

eliminar vacíos y acomodar las partículas. Tras compactar la tercera capa, se enrasó la superficie al nivel del borde del molde. Se pesaron tres muestras preparadas bajo este método, obteniendo registros de peso total (Molde + Material) de 6388 g, 6389 g y 6398 g.

Tabla 18

Peso Unitario Varillado de Arena media

ARENA MEDIA	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Promedio
Peso del molde	2070gr	2070gr	2070gr	—
Peso molde + material húmedo	6388gr	6389gr	6398gr	—
Volumen del molde	2831.68cm3	2831.68cm3	2831.68cm3	—
Promedio Peso unitario suelto	**1524.89 kg/cm3**	**1525.24 kg/cm3**	**1528.42 kg/cm3**	**1526.18kg/cm3**

Interpretación: El peso unitario varillado de la arena media, determinado mediante la prueba AASHTO T-29, tiene un promedio de 1526.18 kg/m³. Los valores individuales para las muestras 01, 02 y 03 son 1524.89 kg/m³, 1525.24 kg/m³ y 1528.42 kg/m³, respectivamente. Estos resultados indican una densidad consistente y adecuada, lo que refleja una buena compactación del agregado fino al ser sometido al proceso de varillado. Al promediar las tres pruebas, se obtuvo un Peso Unitario Varillado de 1526.18kg/m3. Es importante destacar que este valor es superior al obtenido en el estado suelto, lo que

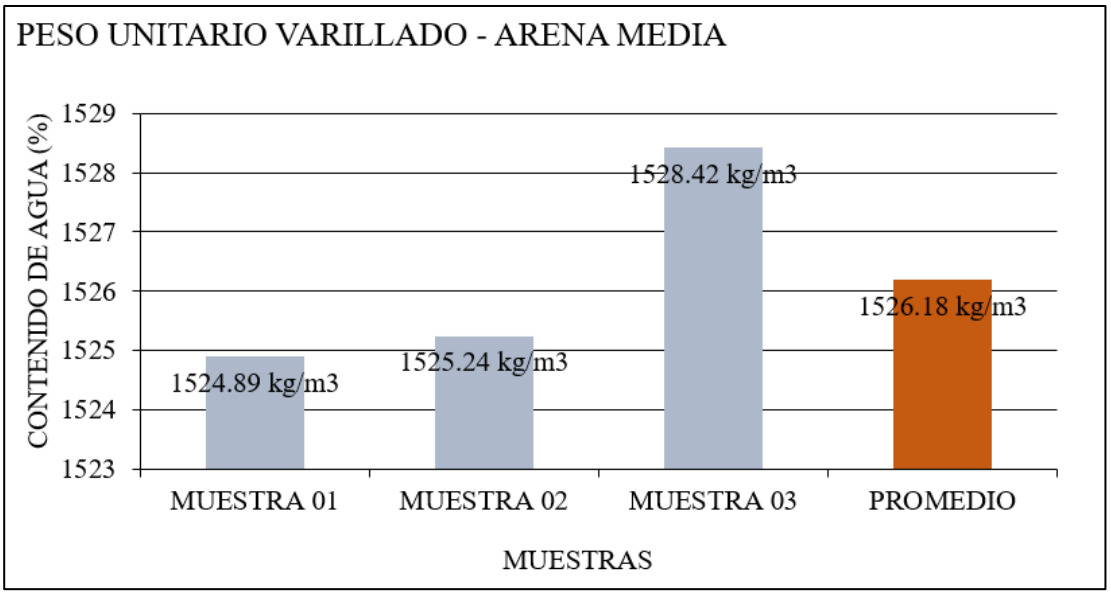
evidencia cómo la compactación incrementa la densidad del material al reducir los espacios vacíos; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 44

Ensayo Peso unitario varillado de la arena media

Figura 45

Cuadro comparativo de peso unitario varillado arena media



4.5.7.2. Peso Unitario Varillado confitillo

Para la determinación del Peso Unitario Varillado del confitillo, se procedió de acuerdo con la norma AASHTO T-29, utilizando el mismo recipiente calibrado de 1/2 pie cúbico (14158.40 cm3) empleado en el ensayo anterior, con un peso de molde vacío de 11850 g. A diferencia del método suelto, el objetivo aquí fue simular condiciones de compactación. Por ello, el llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, depositando el material con precaución para no segregar las partículas más grandes.

Cada una de las tres capas fue compactada manualmente aplicando 25 golpes con la varilla apisonadora de punta semiesférica, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Esta acción mecánica permitió acomodar las piedras y reducir los vacíos entre ellas. Tras compactar la última capa y enrasar al nivel del borde, se pesaron las muestras, obteniendo valores totales (molde + material) de 31255 g, 31289 g y 31299 g, lo cual demuestra una alta consistencia en la ejecución del ensayo.

Tabla 19

Peso unitario varillado confitillo

OLLA DE ½ PIE CUBICO				
CONFITILLO	**Muestra 01**	**Muestra 02**	**Muestra 03**	**Promedio**
Peso del molde (g)	11850	11850	11850	—
Peso molde + material húmedo (g)	31255	31289	31299	—
Volumen del molde (cm³)	14158.40	14158.40	14158.40	—
Peso unitario suelto (kg/m³)	**1370.56**	**1372.97**	**1373.67**	**1372.40**

Interpretación: El peso unitario varillado del confitillo tiene un promedio de 1372.40 kg/m³, con valores individuales de 1370.56 kg/m³, 1372.97 kg/m³ y 1373.67 kg/m³ para las muestras 01, 02 y 03, respectivamente. Estos resultados indican una densidad consistente y adecuada, lo que refleja una buena compactación del confitillo durante el proceso de varillado. El promedio de 1372.40 kg/m³ sugiere que el material tiene una compactación apropiada para su uso en la mezcla de concreto, asegurando una mezcla estable y bien estructurada.

Cuadro comparativo de peso unitario varillado confitillo

Figura 46

Cuadro comparativo de peso unitario varillado confitillo

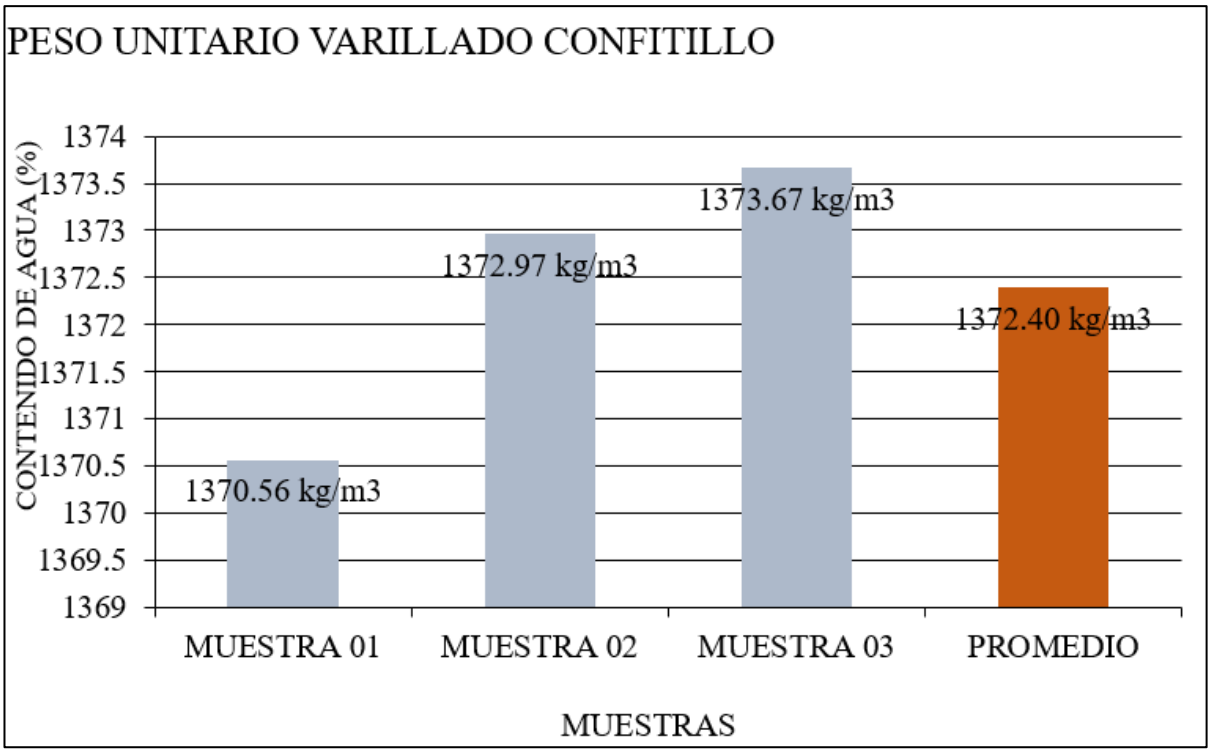


Figura 47

Peso unitario varillado confitillo

4.5.8. Peso Específico Y Absorción De Agregados Aashto T 84

4.5.8.1. Peso específico y absorción de la arena media

Para determinar la gravedad específica y la capacidad de absorción del agregado fino, nos basamos en el procedimiento de la norma AASHTO T 84. El paso crítico inicial fue llevar la muestra a la condición de "Saturado Superficialmente Seco" (SSS). Esto se logró sumergiendo la arena en agua por 24 horas y luego secándola cuidadosamente con aire caliente hasta que, al probarla con el Cono de Absorción, la muestra se desmoronó suavemente. De este material en estado SSS, se pesó una muestra exacta de 500.00 g para introducirla en el frasco volumétrico (fiola) de 500 cm^3.

Una vez colocada la muestra en la fiola, se añadió agua a temperatura ambiente y se agitó el recipiente mecánicamente para eliminar todas las burbujas de aire atrapadas

entre los granos de arena, un paso vital para no alterar el volumen. Luego se completó el nivel del agua hasta la marca de aforo del frasco. Por diferencia de volúmenes, determinamos que la cantidad de agua añadida (Va) fue de 305.14 cm^3. Posteriormente, se extrajo todo el material del frasco y se secó en el horno hasta masa constante, obteniendo un peso seco (Wo) de 490.05 g.

Con estos datos experimentales, procedimos a los cálculos finales. La absorción se determinó comparando el peso de la muestra saturada (500 g) con el peso seco (490.05 g), resultando en un valor de 2.03%, lo cual indica la porosidad permeable del material. Asimismo, calculamos el Peso Específico de Masa (Pem), relacionando el peso seco con el volumen desalojado por el agregado, obteniendo un valor de 2.51 gr/cm^3. Estos parámetros son esenciales para calcular el volumen absoluto que ocupará la arena en la mezcla de concreto; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 20

Peso Específico Y Absorción De Agregado Fino (Arena media) Aashto T 84

Peso Específico Y Absorción De Agregado Fino (Arena media) Aashto T 84

Símbolo	Descripción del Parámetro	Valor	Unidad
Wo	Peso en el aire de la muestra secada en el horno	490.05	gr
V	Volumen de Frasco	500.00	cm^3
Va	Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida en el frasco	305.14	cm^3

- **Peso Específico de Masa (P_{em}):** Se calcula mediante la relación entre el peso seco y el volumen del agregado incluyendo sus poros.

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} = 2.51 \text{ g/cm}^3$$

- **Porcentaje de Absorción (A_b):** Determina la cantidad de agua que el material puede retener en sus poros saturables.

$$A_b = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 = 2.03\%$$

- **Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (P_{sss}):** Representa la densidad del material cuando sus poros están llenos de agua, pero la superficie está seca.

$$P_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

- **Peso Específico Aparente ($P_{aparente}$):** Corresponde a la densidad de la materia sólida que constituye las partículas del agregado.

$$P_{aparente} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} = 2.65 \text{ g/cm}^3$$

Sigla	Nombre Técnico	Significado en el Proyecto
Pem	**Peso específico de masa**	Relación entre el peso seco y el volumen total de la partícula (incluyendo poros).
Psss	**Peso específico SSS**	Densidad calculada considerando que los poros están llenos de agua, útil para el diseño de mezclas de concreto.
Paparente	**Peso específico aparente**	Densidad del material sólido excluyendo los poros que pueden absorber agua.
Ab	**Absorción**	Capacidad del agregado para retener agua, lo cual influye en la demanda de agua del mortero.

4.5.8.2. Peso Específico Y Absorción De confitillo

Para determinar las propiedades físicas del confitillo, se procedió bajo el principio de desplazamiento volumétrico. Primero, la muestra fue sumergida en agua durante 24 horas para saturar sus poros. Posteriormente, se secó superficialmente utilizando un paño absorbente hasta eliminar el brillo visible del agua en las piedras, alcanzando así la condición de "Saturado Superficialmente Seco" (SSS). De este material preparado, se tomó una muestra patrón de 500.00 g para ser introducida en el frasco volumétrico estandarizado de 500 cm^3.

Una vez colocada la muestra dentro del frasco, se añadió agua cuidadosamente hasta alcanzar la marca de aforo, registrando un volumen de agua añadida (Va) de 305.11 cm^3. Durante este paso, se agitó el recipiente para expulsar cualquier burbuja de aire atrapada entre los agregados. Luego, se extrajo la totalidad de la muestra y se llevó al horno para su secado final hasta masa constante, obteniendo un peso seco (Wo) de 490.32 g.

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos correspondientes. La absorción se determinó relacionando la diferencia entre el peso saturado y el peso seco, obteniendo un valor de 1.97%, lo cual nos indica cuánta agua puede retener el agregado en sus poros internos. Finalmente, mediante la relación entre el peso seco y el volumen desplazado por la muestra (calculado como el volumen del frasco menos el agua añadida), se obtuvo un Peso Específico de Masa (Pem) de 2.52 gr/cm^3, valor que confirma la buena calidad y densidad del material pétreo; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 21

Peso Específico Y Absorción De confitillo Aashto T 84

Peso Específico Y Absorción De confitillo Aashto T 84			
Símbolo	**Descripción del Parámetro**	**Valor**	**Unidad**
Wo	Peso en el aire de la muestra secada en el horno	490.32	gr
V	Volumen de Frasco	500.00	cm^3
Va	Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida en el frasco	305.11	cm^3

- **Peso Específico de Masa (P_{em}):**

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} = 2.52 \text{ g/cm}^3$$

- **Porcentaje de Absorción (A_b):**

$$A_b = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 = 1.97\%$$

- **Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (P_{sss}):**

$$P_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 = 2.57 \text{ g/cm}^3$$

- **Peso Específico Aparente ($P_{aparente}$):**

$$P_{aparente} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} = 2.65 \text{ g/cm}^3$$

4.5.8.3. Proporción de Dosificaciones del diseño de mezcla para unidad de albañilería

El método de diseño de mezclas de concreto según la norma ACI 211. del American Concrete Institute (ACI) es ampliamente utilizado y reconocido en la industria. Este procedimiento garantiza que la mezcla diseñada cumpla con los parámetros de resistencia, trabajabilidad y durabilidad requeridos para un proyecto en particular.

Tabla 22

Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 0% de polvo de acero

Descripción	Valor	Unidad
Resistencia f'c	50	kg/cm²
Largo (molde)	40	cm
Ancho (molde)	15	cm
Altura (molde)	20	cm
Volumen sólido de muestra	12000	cm³
Cantidad de testigos	1	—
Largo (testigo)	10	cm
Ancho (testigo)	10	cm
Altura (testigo)	20	cm
Número de orificios	3	—
Volumen hueco de muestra	6000	cm³
Volumen final de muestra	6000	cm³
Factor por desperdicios	1.1	—
Volumen corregido	0.0066	m³

Descripción	Valor	Unidad
Cemento	1.879	kg
Agua de diseño	1.653	kg
Arena media	7.467	kg
Confitillo	4.898	kg
Suma	15.90	kg
Peso por testigo	15.90	kg

Interpretación: El diseño de mezcla es para una bloqueta con una resistencia nominal de 50 kg/cm², utilizando un volumen sólido de muestra de 12,000 cm³ y un volumen hueco de 6,000 cm³. Se ha aplicado un factor de desperdicio de 1.1 para ajustar el volumen corregido a 0.0066 m³. La dosificación de los materiales incluye 1.879 kg de cemento, 1.653 kg de agua, 7.467 kg de arena media y 4.898 kg de confitillo, con un peso total por testigo de 15.90 kg, asegurando la mezcla adecuada para alcanzar la resistencia deseada.

Tabla 23

Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 25% de polvo de acero

Descripción	Valor	Unidad
Resistencia f'c	50	kg/cm²
Largo (molde)	40	cm
Ancho (molde)	15	cm

Descripción	Valor	Unidad
Altura (molde)	20	cm
Volumen sólido de muestra	12000	cm^3
Cantidad de testigos	1	—
Largo (testigo)	10	cm
Ancho (testigo)	10	cm
Altura (testigo)	20	cm
Número de orificios	3	—
Volumen hueco de muestra	6000	cm^3
Volumen final de muestra	6000	cm^3
Factor por desperdicios	1.1	—
Volumen corregido	0.0066	m^3
Cemento	1.879	kg
Agua de diseño	1.653	kg
Arena media	7.467	kg
Arena media corregida	7.233	kg
Confitillo	4.898	kg
Confitillo corregido	4.663	kg
25% ACERO (en relación al cemento)	0.470	kg

Interpretación: Para el diseño de la bloqueta con un 25 % de polvo de acero con un diseño de resistencia de 50 kg/cm², utilizando 5.637 kg de cemento, 4.961 kg de agua, 6.387 kg de arena media (corregida a 5.682 kg) y 5.355 kg de confitillo. Además, se incluye 1.409 kg de acero (25% del cemento) para mejorar las propiedades mecánicas. El volumen final corregido es 0.0066 m³, y se considera un factor de desperdicio de 1.1 para asegurar una mezcla adecuada, logrando la resistencia requerida.

Tabla 24

Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 50% de polvo de acero

Descripción	Valor	Unidad
Resistencia f'c	50	kg/cm²
Largo (molde)	40	cm
Ancho (molde)	15	cm
Altura (molde)	20	cm
Volumen sólido de muestra	12000	cm³
Cantidad de testigos	1	—
Largo (testigo)	10	cm
Ancho (testigo)	10	cm
Altura (testigo)	20	cm
Número de orificios	3	—
Volumen hueco de muestra	6000	cm³

Descripción	Valor	Unidad
Volumen final de muestra	6000	cm^3
Factor por desperdicios	1.1	—
Volumen corregido	0.0066	m^3
Cemento	1.879	kg
Agua de diseño	1.653	kg
Arena media	7.467	kg
Arena media corregida	6.998	kg
Confitillo	4.898	kg
Confitillo corregido	4.428	kg
50% ACERO (en relación al cemento)	0940	kg

Interpretación: El diseño de mezcla para una bloqueta con 50% de polvo de acero incluye 1.879 kg de cemento, 1.653 kg de agua de diseño, 6.998 kg de arena media corregida, 4.428 kg de confitillo corregido, y 0.940 kg de polvo de acero (50% del cemento). El volumen corregido es 0.0066 m^3, considerando un factor de desperdicio de 1.1, lo que asegura un concreto con la resistencia requerida de 50 kg/cm^2 y mejoradas propiedades mecánicas gracias al polvo de acero.

Tabla 25

Diseño de mezcla de muestra patrón de bloqueta con proporción al 75% de polvo de acero

Descripción	**Valor**	**Unidad**
Resistencia f'c	50	kg/cm²
Largo (molde)	40	cm
Ancho (molde)	15	cm
Altura (molde)	20	cm
Volumen sólido de muestra	12000	cm³
Cantidad de testigos	1	—
Largo (testigo)	10	cm
Ancho (testigo)	10	cm
Altura (testigo)	20	cm
Número de orificios	3	—
Volumen hueco de muestra	6000	cm³
Volumen final de muestra	6000	cm³
Factor por desperdicios	1.1	—
Volumen corregido	0.0066	m³
Cemento	1.879	kg
Agua de diseño	1.653	kg
Arena media	7.467	kg

Descripción	Valor	Unidad
Arena media corregida	6.763	kg
Confitillo	4.898	kg
Confitillo corregido	4.193	kg
75% ACERO (en relación al cemento)	1.409	kg

Interpretación: El diseño de mezcla para concreto con 75% de polvo de acero incluye 1.879 kg de cemento, 1.653 kg de agua, 7.467 kg de arena media corregida, 4.193 kg de confitillo corregido, y 1.409 kg de polvo de acero (75% del cemento). El volumen corregido es 0.0066 m^3, con un factor de desperdicio de 1.1, para lograr una resistencia de 50 kg/cm^2.

4.5.9. Preparación de la mezcla del concreto con adición de polvo de acero al 0%, 25%, 50% ,75%.

Figura 48

Preparación de concreto de forma manual

Nota. La figura evidencia la etapa de mezclado manual para la fabricación de unidades de albañilería, donde se controlan las proporciones de los materiales constituyentes, incluyendo la variación del contenido de material fino. Este procedimiento forma parte del diseño experimental orientado a evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería. Fuente: Propia.

Figura 49

Bloqueta en estado fresco (Armado de bloquetas)

Nota. Se observa la unidad de albañilería inmediatamente después del proceso de desmoldeo, en estado fresco, evidenciando su geometría.

Figura 50

Conjunto de unidades de albañilería en estado fresco

Nota. La figura muestra un conjunto de unidades de albañilería en estado fresco posterior al desmoldeo, donde se aprecia la homogeneidad geométrica, regularidad dimensional.

4.5.10. Ensayo de resistencia a la compresión Uniaxial

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a edades de 7, 14, y 28 dias, empleando una máquina de compresión hidráulica con capacidad de 2000 kN. Cada muestra fue sometida a carga axial creciente hasta su falla, registrándose los valores de carga máxima soportada. Los resultados obtenidos fueron recopilados y organizados para su análisis comparativo y la evaluación del desarrollo de resistencia del material a lo largo del tiempo.

Figura 51

Ensayo de resistencia a la compresión Uniaxial – MF 75%

4.5.11. Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de Pilas

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de pilas se hicieron con una edad de 28 días, empleando una máquina de compresión hidráulica con capacidad de 10000 kg/cm2. Cada muestra fue sometida a carga axial creciente hasta su falla, registrándose los valores de carga máxima soportada. Los resultados obtenidos fueron recopilados y organizados para su análisis comparativo y la evaluación del desarrollo de resistencia del material a lo largo del tiempo.

Figura 52

Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial de Pilas

4.5.12. Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de muretes se hicieron con una edad de 28 días, empleando una máquina de compresión hidráulica con capacidad de 10000 kg/cm2. Cada muestra fue sometida a carga axial creciente hasta su falla, registrándose los valores de carga máxima soportada. Los resultados obtenidos fueron recopilados y organizados para su análisis comparativo y la evaluación del desarrollo de resistencia del material a lo largo del tiempo.

Figura 53

Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes

4.5.13. Ensayo de Modulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de la mampostería se define como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en su rango elástico y es un parámetro crítico para determinar la rigidez de los elementos estructurales y el cálculo de deflexiones bajo carga.

Figura 54

Ensayo de Modulo de Elasticidad

4.5.14. Ensayo de succión de unidades de concreto

El ensayo de Succión Inicial de Unidades de Concreto, determina la velocidad con la que la unidad absorbe agua en un tiempo específico (generalmente un minuto), y es un parámetro de suma importancia para la albañilería en estado fresco. A diferencia de la Absorción total, la Succión se enfoca en la capacidad superficial del bloque para "chupar" agua del mortero. Su objetivo principal es predecir el desempeño del mortero al contacto con la unidad; una succión excesivamente alta puede retirar agua del mortero demasiado rápido, comprometiendo su hidratación, adherencia y resistencia. El control de este parámetro es fundamental para asegurar la correcta adherencia entre la bloqueta y el mortero en los ensayos de pilas y muretes, garantizando que el sistema albañilería funcione.

Figura 55

Ensayo de Succión de Unidades de Concreto

4.5.15. Ensayo de absorción

El ensayo de Absorción de Agua es la prueba crítica de durabilidad de la unidad, ya que mide la cantidad de humedad que el bloque es capaz de retener en sus poros al ser saturado, expresada como un porcentaje de su masa seca (ASTM C140). El proceso compara el peso de la bloqueta en estado seco con su peso en estado saturado. Su importancia radica en que un bajo porcentaje de absorción indica una menor porosidad y, por lo tanto, una mayor resistencia al deterioro por congelamiento-deshielo, ataques químicos y la penetración de humedad.

Este resultado es crucial para la tesis porque valida si la inclusión de los R.M.F. ha mejorado la compacidad del concreto, reduciendo los vacíos internos y, en consecuencia, aumentando la impermeabilidad y la vida útil de la bloqueta.

4.5.16. Ensayo de densidad

El ensayo de Densidad (o Peso Unitario Seco) es un control de calidad fundamental para establecer la relación masa-volumen del bloque en su estado más estable, cuantificando la masa efectiva de la bloqueta por unidad de volumen bajo condiciones de secado estandarizadas (ASTM C140). Su objetivo principal es verificar la consistencia del proceso de compactación y la uniformidad de los materiales. Un valor de densidad alto y consistente es un indicador directo de una mayor compacidad en la matriz de concreto, lo cual se correlaciona favorablemente con una mayor resistencia mecánica y menor porosidad. Este ensayo es vital para demostrar cómo la adición de los Residuos de Mecanizado Ferroso (R.M.F.), un material más denso, modifica efectivamente la masa específica y la estructura interna de la unidad.

4.6. Análisis de datos

Los resultados obtenidos en laboratorio se sistematizaron siguiendo una secuencia lógica de tratamiento estadístico, cálculo de estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, coeficiente de variación) para cada variable de respuesta; y construcción de tablas de frecuencia para verificar el supuesto la secuencia de resultados. Todo el procesamiento se automatizó en hojas de cálculo, garantizando trazabilidad de los cálculos y reproducibilidad del análisis.

4.7. Consideraciones éticas

En este estudio, se considera que se han cumplido plenamente los principios de imparcialidad, originalidad y ética, dado que el investigador reconoció de manera adecuada la autoría de los diversos autores cuyas contribuciones fundamentaron el

desarrollo de la investigación. Del mismo modo, todas las pruebas se ejecutaron conforme a los procedimientos establecidos por la normativa peruana, asegurando la correcta aplicación de los métodos y la calibración adecuada de cada instrumento empleado.

Además, en concordancia con la Dirección de Investigación y el Instructivo General de Investigación, versión 3.0, aprobado mediante la Resolución N.° 3094-2019-UTEA-CU y la Resolución de Vicerrectoría de Investigación N.° 086-2019-UTEA-VRI, este trabajo se adhiere rigurosamente a los principios éticos institucionales, actuando con responsabilidad, integridad y compromiso con la rigurosidad científica.

V. Resultados y discusión

Los resultados se exponen de manera ordenada, en concordancia con los objetivos generales y específicos planteados. El diseño de la mezcla de concreto se estableció a partir de la curva granulométrica característica de cada agregado, debido a la inexistencia de una normativa técnica que establezca límites específicos para estos materiales. Durante el desarrollo de la investigación, los ensayos de control aplicados a los bloques se ejecutaron conforme a lo dispuesto en la Norma E.070.

En el ámbito de la ingeniería civil y el control de calidad, la evolución de la resistencia de materiales cementantes (como el mortero o el concreto de las bloquetas) sigue una curva de madurez estándar.

Aunque el diseño se basa siempre en el valor obtenido a los 28 días (100%), la ganancia de resistencia es progresiva:

Tabla 26

Porcentajes de Resistencia según la Edad del Espécimen

Edad del Ensayo	Porcentaje de Resistencia Esperada	Objetivo del Ensayo
7 días	**65% a 70%**	**Control preventivo:** Detección temprana de anomalías en la mezcla.
14 días	**85% a 90%**	**Verificación intermedia:** Seguimiento de la curva de endurecimiento.
28 días	**100%**	**Cumplimiento legal:** Valor oficial para aceptación estructural. (aceptación).

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

Figura 56

Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 7 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%

RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL																RESISTENCIAS		PORCENTAJES de f'c		
Nº de Bloqueta	DESCRIP	GEOMETRIA TOTAL			NUMERO DE ALVEOLOS	GEOMETRIA DE ALBEOLO			AREA TOTAL	Fecha		Edad	Ensayo o Evolucion	Dial	f'c (kg/cm 2) Diseño	Resist. de Bloqueta	Resist. que debe tener	% f'c diseño de Bloqueta	% f'c diseño que debe tener	CUMPLE?
		LARGO	ANCHO	ALTURA		LARGO	ANCHO	ALTURA		Moldeo	Rotura	(días)		kN		(kg/cm2)	(kg/cm2)	%	%	
		cm	cm	cm		cm	cm	cm	cm2											
1	0% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	202.50	50.00	34.41	34.19	68.83%	68.39%	SI
2		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	207.05	50.00	35.19	34.19	70.38%	68.39%	SI
3		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	208.50	50.00	35.43	34.19	70.87%	68.39%	SI
4	25% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	242.49	50.00	41.21	34.19	82.42%	68.39%	SI
5		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	253.52	50.00	43.09	34.19	86.17%	68.39%	SI
6		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	249.75	50.00	42.45	34.19	84.89%	68.39%	SI
7	50% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	260.82	50.00	44.33	34.19	88.65%	68.39%	SI
8		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	258.71	50.00	43.97	34.19	87.94%	68.39%	SI
9		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	263.80	50.00	44.83	34.19	89.67%	68.39%	SI
10	75% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	177.10	50.00	30.10	34.19	60.20%	68.39%	NO
11		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	158.75	50.00	26.98	34.19	53.96%	68.39%	NO
12		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	16/10/2025	7	Evolucion	176.50	50.00	30.00	34.19	59.99%	68.39%	NO

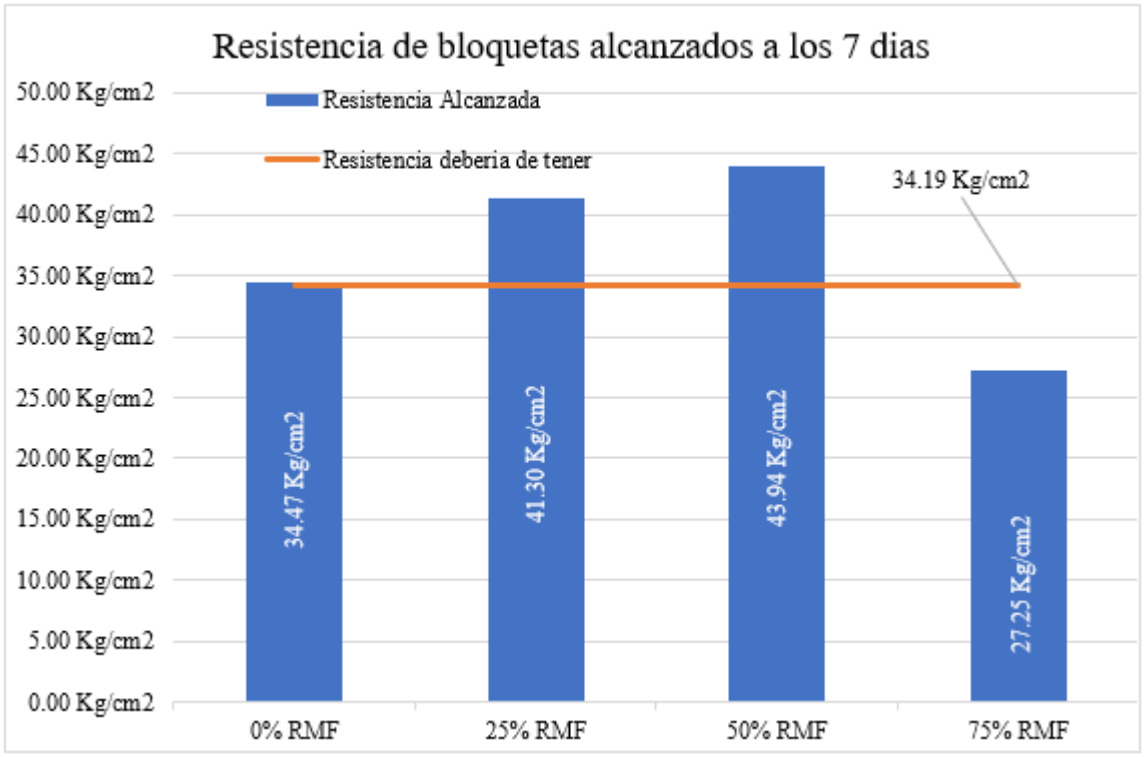
Nota: Datos procesados de laboratorio

Interpretación: El análisis de los datos experimentales permite determinar el impacto del porcentaje de polvo (referido como % R.M.F.) en la capacidad de carga de las bloquetas de mampostería (40 X 15 X 20) a través del tiempo. Se contrastan los resultados obtenidos a los 7 días (etapa de evolución).

Las dosificaciones de 0%, 25% y 50% MF cumplieron satisfactoriamente con el umbral preventivo, obteniendo valores promedio desde 34.41 hasta 44.33 kg/cm^2.La muestra con 75% MF no alcanzó el mínimo requerido, obteniendo una resistencia promedio de apenas 30.10 kg/cm^{2}lo que representa solo el 58% de la resistencia de diseño, anticipando un fallo en la maduración final.

Figura 57

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 7 días de unidades de concreto



Interpretación. El diagrama de barras presenta la resistencia promedio a compresión de las bloquetas a los 7 días, donde cada barra corresponde al promedio de tres ensayos realizados para los porcentajes de 0 %, 25 %, 50 % y 75 % de adición de residuo de mecanizado ferroso (RMF), y la línea roja representa la resistencia mínima que deben alcanzar. Los resultados indican que el 50 % de RMF es el porcentaje más favorable, al registrar la mayor resistencia promedio y superar ampliamente el valor de referencia. Por el contrario, el 75 % de RMF constituye el peor comportamiento, al no alcanzar la resistencia exigida, evidenciando que un contenido excesivo de residuo ferroso afecta negativamente la resistencia del material.

Nota. Fuente Creación propia

5.1.2. Resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%

Figura 58

Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 14 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%

RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL																RESISTENCIAS		PORCENTAJES de f'c		
Nº de Bloqueta	DESCRIP	GEOMETRIA TOTAL			NUMERO DE ALVEOLOS	GEOMETRIA DE ALBEOLO			AREA TOTAL	Fecha		Edad	Ensayo o Evolucion	Dial	f'c (kg/cm2) Diseño	Resist. de Bloqueta	Resist. que debe tener	% f'c diseño de Bloqueta	% f'c diseño que debe tener	CUMPLE?
		LARGO	ANCHO	ALTURA		LARGO	ANCHO	ALTURA		Moldeo	Rotura									
		cm	cm	cm		cm	cm	cm	cm2			(días)		kN		(kg/cm2)	(kg/cm2)	%	%	
1		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	262.50	50.00	44.61	42.72	89.22%	85.44%	SI
2	0% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	279.02	50.00	47.42	42.72	94.84%	85.44%	SI
3		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	274.45	50.00	46.64	42.72	93.29%	85.44%	SI
4		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	310.50	50.00	52.77	42.72	105.54%	85.44%	SI
5	25% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	313.05	50.00	53.20	42.72	106.41%	85.44%	SI
6		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	311.74	50.00	52.98	42.72	105.96%	85.44%	SI
7		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	340.48	50.00	57.87	42.72	115.73%	85.44%	SI
8	50% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	343.69	50.00	58.41	42.72	116.82%	85.44%	SI
9		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	341.50	50.00	58.04	42.72	116.08%	85.44%	SI
10		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	240.27	50.00	40.83	42.72	81.67%	85.44%	NO
11	75% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	250.95	50.00	42.65	42.72	85.30%	85.44%	NO
12		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	23/10/2025	14	Evolucion	246.48	50.00	41.89	42.72	83.78%	85.44%	NO

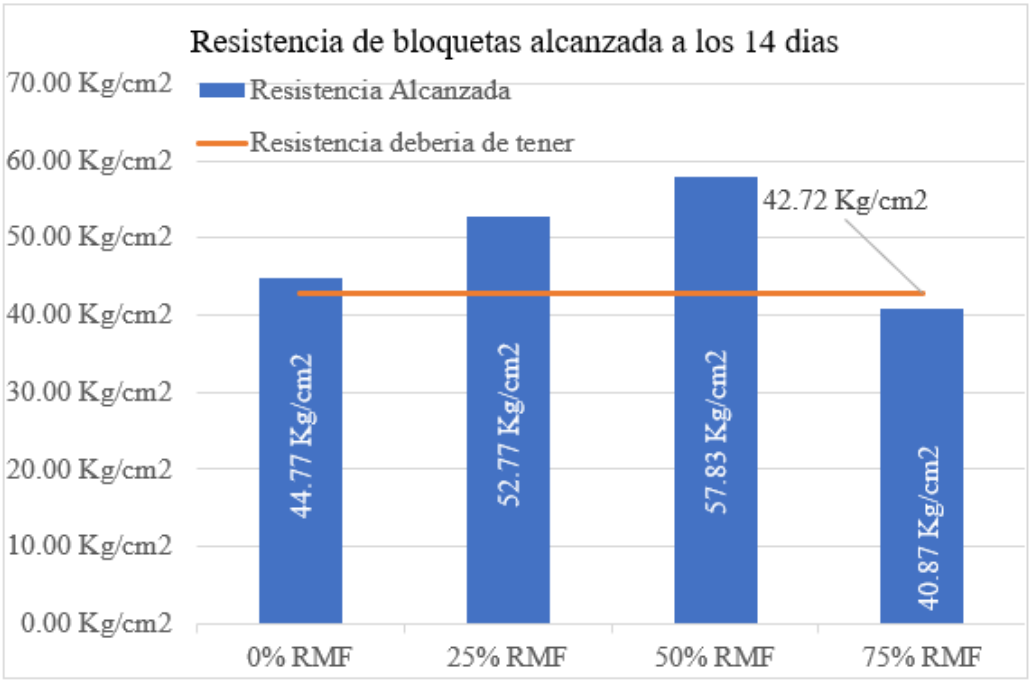
Nota: Datos procesados de laboratorio

Interpretación: El análisis de los datos experimentales permite determinar el impacto del porcentaje de polvo (referido como % MF) en la capacidad de carga de las bloquetas de mampostería (40 X 15 X 20) a través del tiempo. Se contrastan los resultados obtenidos a los 14 días (etapa de evolución).

El objetivo de diseño se fijó en el 85.44(42.72 kg/cm^2). Nuevamente, las mezclas hasta el 50% MF mantuvieron un crecimiento superior al esperado, alcanzando hasta 58.41 kg/cm^2. El grupo de 75% MF continuó por debajo del límite con un promedio de 42.65 kg/cm^2. El descenso drástico observado en la muestra de 75% MF sugiere que un exceso de partículas finas interfiere con la adherencia de la matriz cementante o incrementa excesivamente la demanda de agua, debilitando la estructura interna del elemento.

Figura 59

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 14 días de unidades de concreto



Interpretación: El diagrama de barras muestra la resistencia promedio a compresión de las bloquetas a los 14 días, donde cada barra representa el promedio de tres ensayos realizados para los porcentajes de 0 %, 25 %, 50 % y 75 % de adición de residuo de mecanizado ferroso (RMF), y la línea roja indica la resistencia mínima de referencia que deben alcanzar las bloquetas. Se observa que todas las dosificaciones con 0 %, 25 % y 50 % de RMF superan el valor exigido, evidenciando una ganancia progresiva de resistencia con la incorporación del residuo ferroso. El 50 % de RMF presenta el mejor comportamiento mecánico, al alcanzar la mayor resistencia promedio, mientras que el 75 % de RMF muestra el peor desempeño, al situarse por debajo del valor de referencia, confirmando que porcentajes elevados de RMF afectan negativamente la resistencia del material.

5.1.3. Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

Figura 60

Resultados de la resistencia a la compresión de bloquetas a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%

RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL																RESISTENCIAS		PORCENTAJES de f'c		
Nº de Bloqueta	DESCRIP	GEOMETRIA TOTAL			NUMERO DE ALVEOLOS	GEOMETRIA DE ALBEOLO			AREA TOTAL	Fecha		Edad	Ensayo o Evolucion	Dial	f'c (kg/cm2) Diseño	Resist. de Bloqueta	Resist. que debe tener	% f'c diseño de Bloqueta	% f'c diseño que debe tener	CUMPLE?
		LARGO	ANCHO	ALTURA		LARGO	ANCHO	ALTURA		Moldeo	Rotura									
		cm	cm	cm		cm	cm	cm	cm2			(días)		kN		(kg/cm2)	(kg/cm2)	%	%	
1	0% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	305.10	50.00	51.85	50.00	103.70%	100.00%	SI
2		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	307.75	50.00	52.30	50.00	104.60%	100.00%	SI
3		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	305.16	50.00	51.86	50.00	103.72%	100.00%	SI
4	25% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	379.05	50.00	64.42	50.00	128.84%	100.00%	SI
5		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	364.52	50.00	61.95	50.00	123.90%	100.00%	SI
6		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	379.60	50.00	64.51	50.00	129.03%	100.00%	SI
7	50% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	411.65	50.00	69.96	50.00	139.92%	100.00%	SI
8		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	417.76	50.00	71.00	50.00	142.00%	100.00%	SI
9		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	419.90	50.00	71.36	50.00	142.72%	100.00%	SI
10	75% MF	40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	293.38	50.00	49.86	50.00	99.72%	100.00%	NO
11		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	288.59	50.00	49.05	50.00	98.09%	100.00%	NO
12		40.00	15.00	20.00	3	10.00	10.00	20.00	600.00	09/10/2025	06/11/2025	28	Ensayo	286.90	50.00	48.76	50.00	97.52%	100.00%	NO

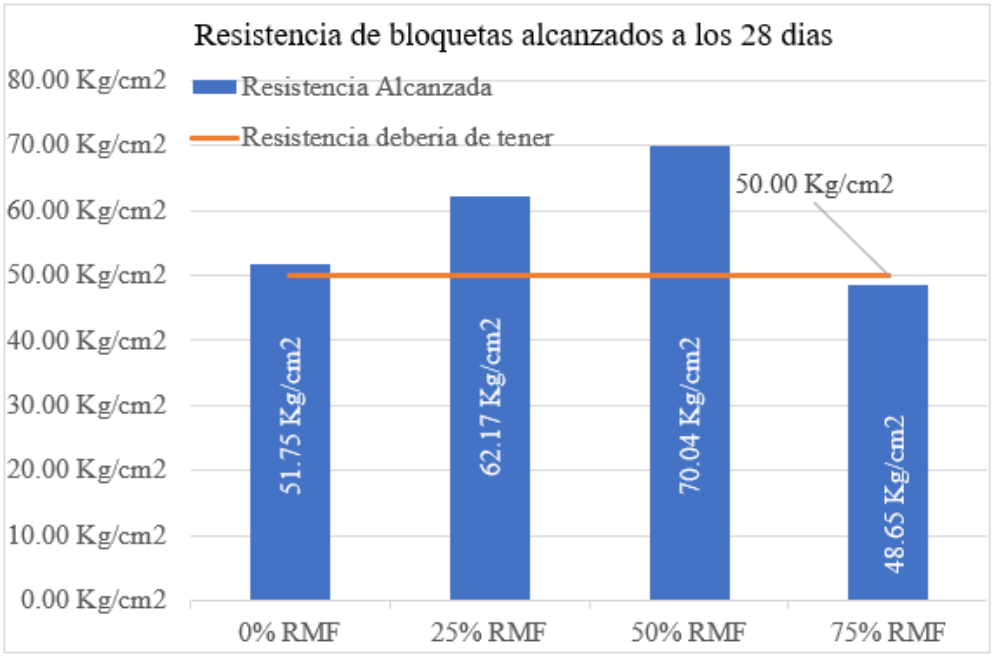
Nota: Datos procesados de laboratorio

Interpretación: El análisis de los datos experimentales permite determinar el impacto del porcentaje de polvo (referido como % MF) en la capacidad de carga de las bloquetas de mampostería (40 X 15 X 20) a través del tiempo. Se contrastan los resultados obtenidos a los 28 días (etapa de evolución).

Etapa de 28 días es considerado la maduración final, el material debe alcanzar el 100% del diseño (50.00 kg/cm^2). Los resultados finales confirman que la adición de polvo potencia la resistencia hasta un límite crítico. Existe un fenómeno de saturación al llegar al 75% MF. El exceso de partículas finas interfiere con la adherencia interna o incrementa la demanda de agua de la mezcla, provocando que el espécimen no alcance la resistencia mínima de diseño en ninguna de las edades evaluadas.

Figura 61

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días de unidades de concreto



Interpretación: El diagrama de barras presenta la resistencia promedio a compresión de las bloquetas a los 28 días, donde cada barra corresponde al promedio de tres ensayos realizados para las dosificaciones con 0 %, 25 %, 50 % y 75 % de adición de residuo de mecanizado ferroso (RMF). La línea roja representa la resistencia mínima de referencia, establecida en 50 kg/cm², que deben cumplir las bloquetas según el criterio de aceptación.

Los resultados indican que las mezclas con 0 %, 25 % y 50 % de RMF superan el valor mínimo exigido, evidenciando un incremento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el porcentaje de RMF hasta el 50 %. En particular, la dosificación con 50 % de RMF muestra el mejor desempeño mecánico, alcanzando la mayor resistencia promedio a los 28 días, lo que sugiere una contribución positiva del residuo ferroso en este rango de sustitución.

Por el contrario, la mezcla con 75 % de RMF presenta una resistencia promedio inferior al valor de referencia, lo que indica una disminución significativa del desempeño mecánico cuando se incorporan porcentajes elevados de RMF. Esto confirma que, aunque el residuo ferroso mejora la resistencia en proporciones moderadas, su uso excesivo afecta negativamente la estructura del material.

Resumen de los resultados del ensayo a compresión en unidades de albañilería a los 7 días en 0%, 25 %, 50 % y 75 % de R.M.F.

Figura 62

Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 7 días

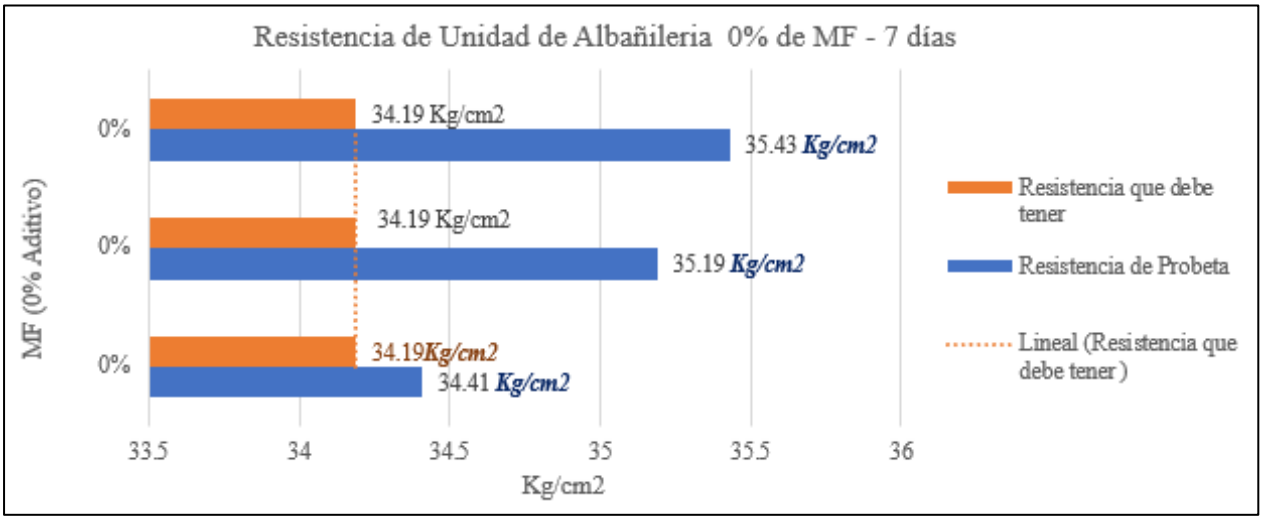


Figura 63

Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 7 días

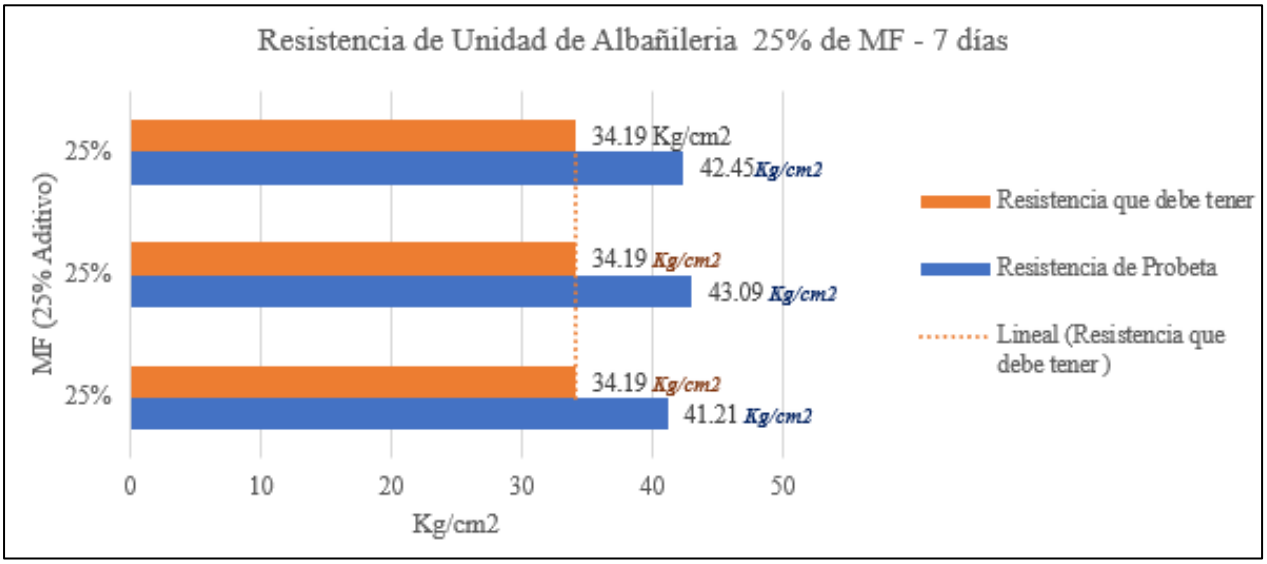


Figura 64

Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 7 días

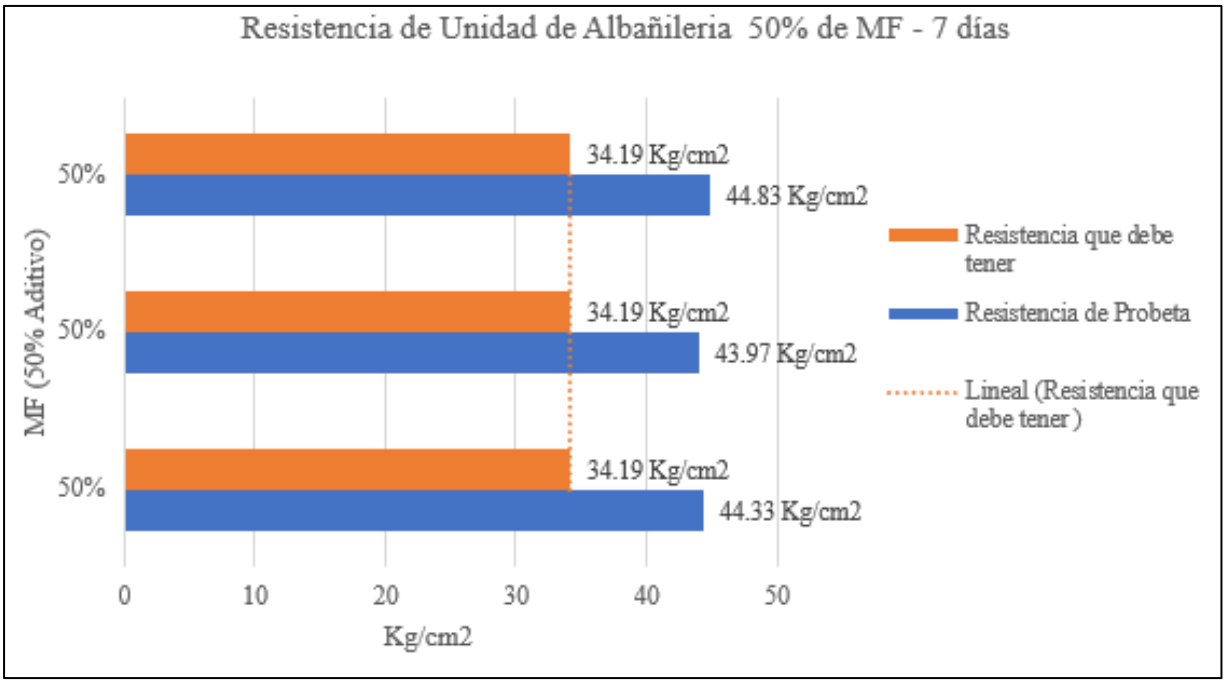
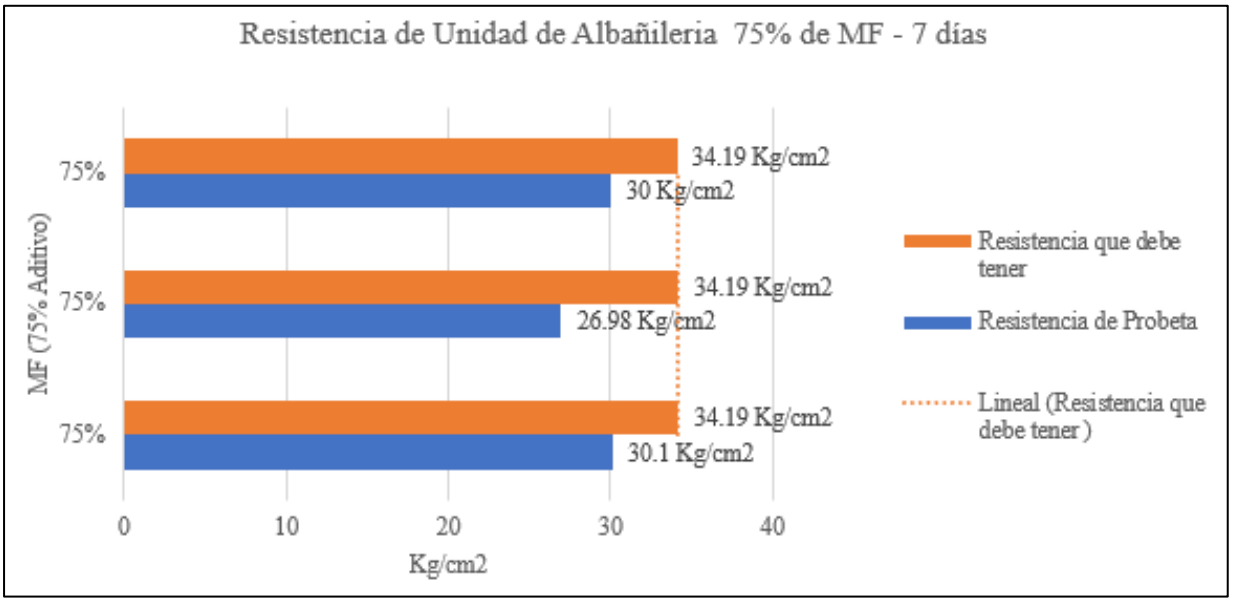


Figura 65

Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 7 días



5.1.3.1. Resumen de los resultados del ensayo a compresión en unidades de albañilería a los 14 días en 0%, 25 %, 50 % y 75 % de R.M.F.

Figura 66

Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 14 días

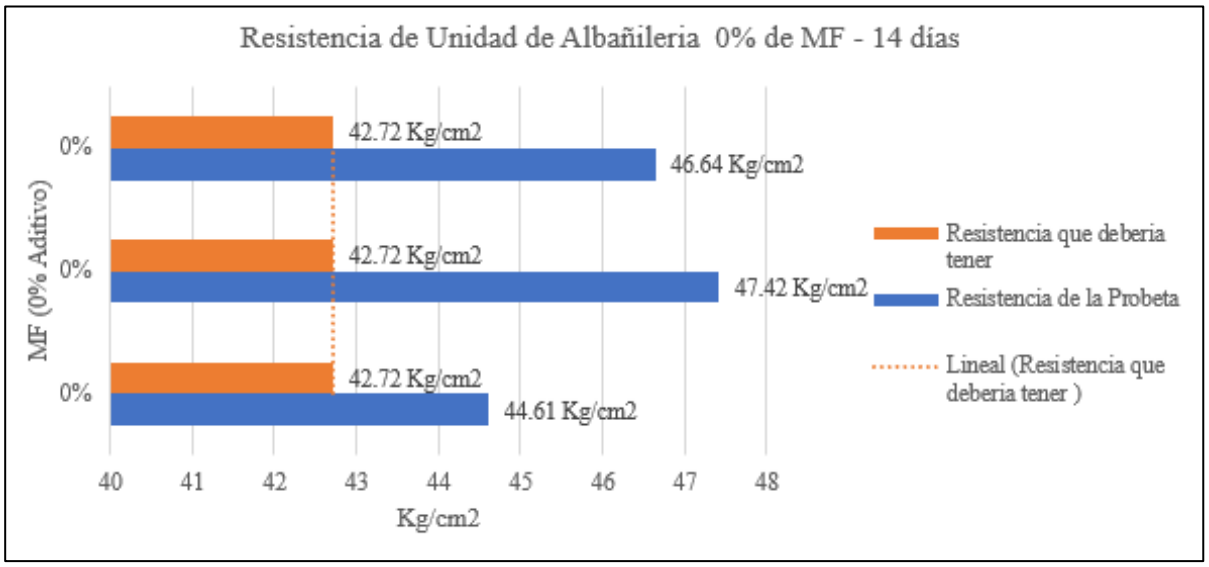


Figura 67

Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 14 días

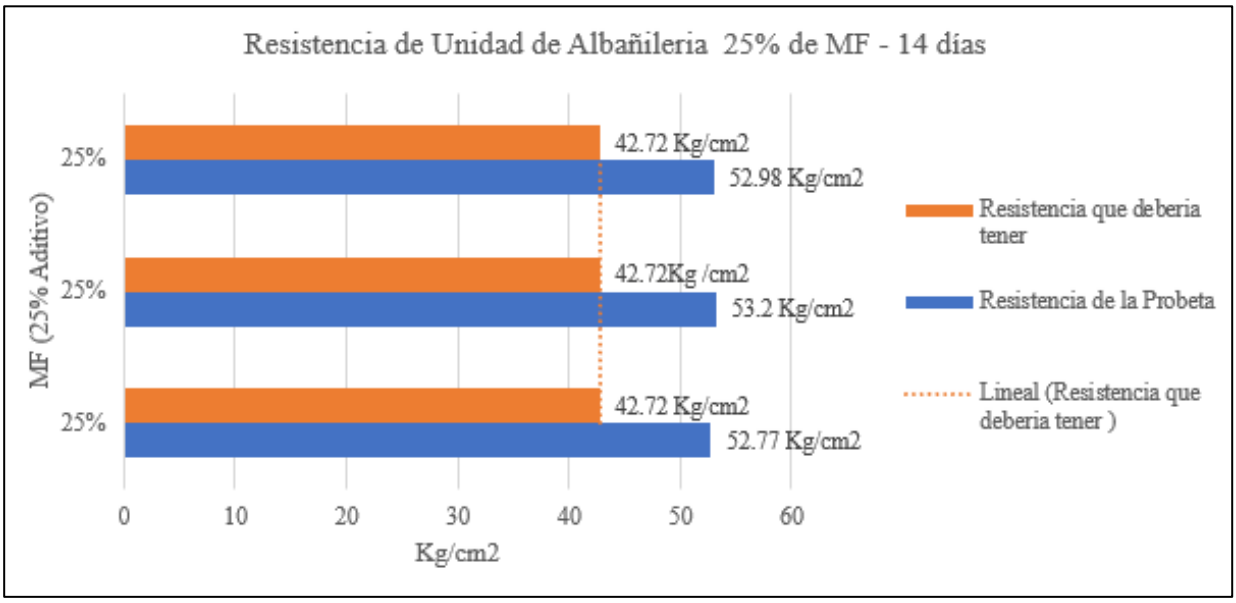


Figura 68

Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 14 días

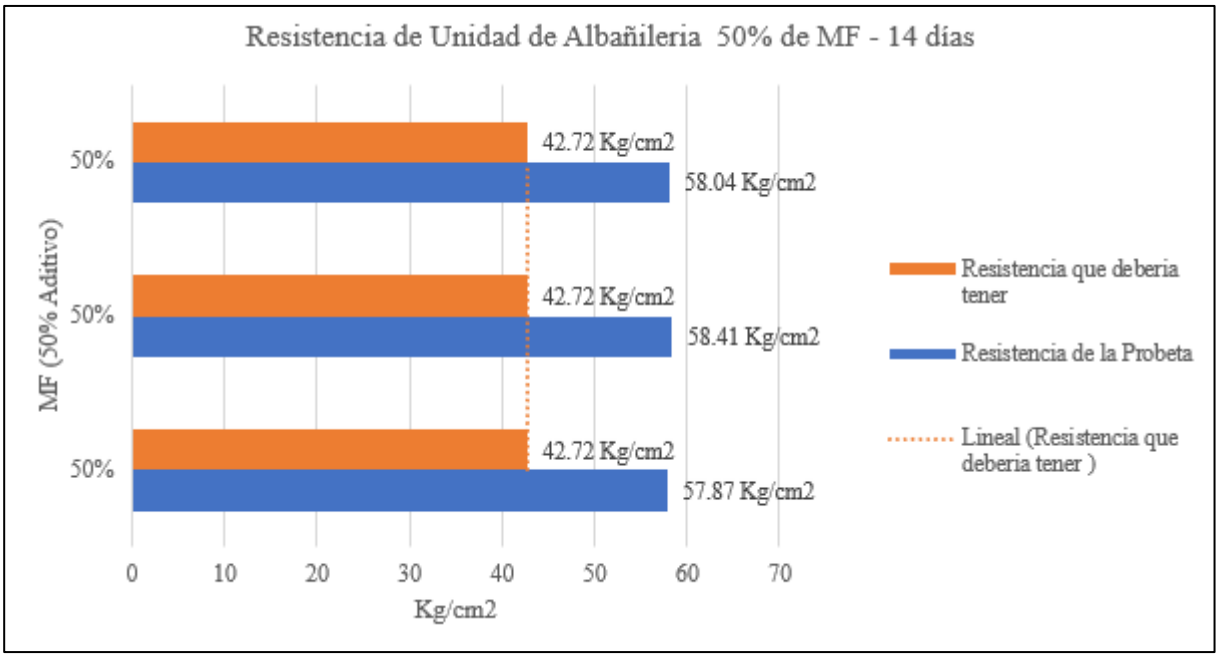
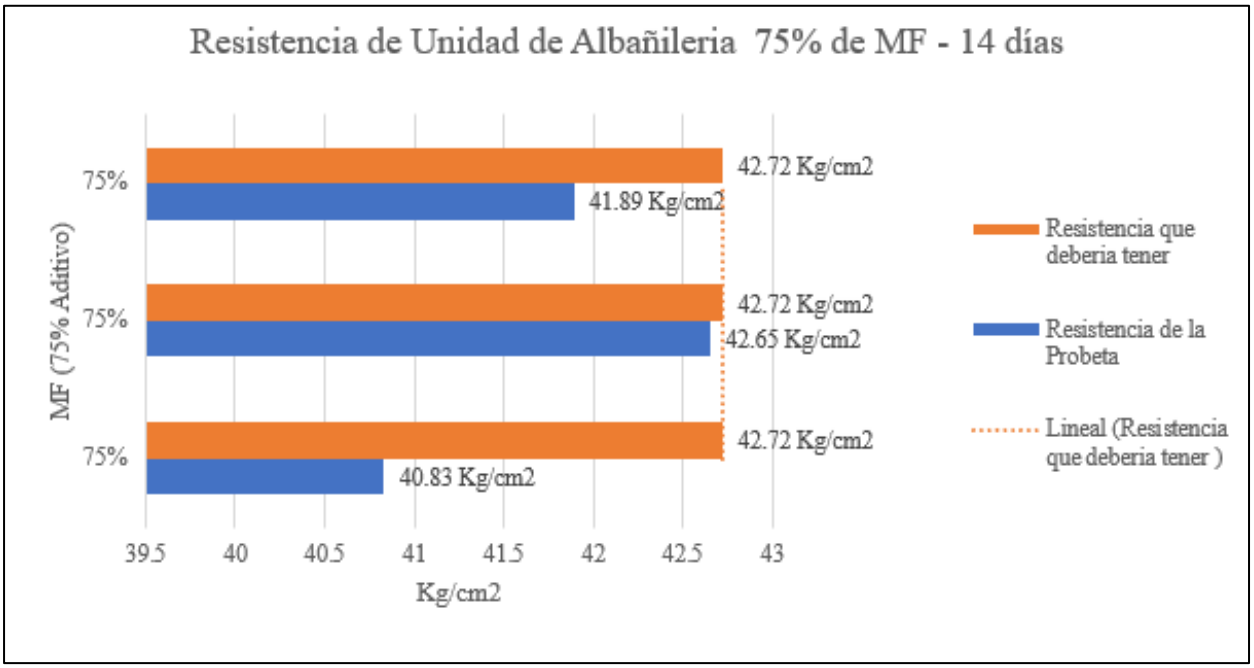


Figura 69

Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 14 días



5.1.3.2. Resumen de los resultados del ensayo a compresión en unidades de albañilería a los 28 días en 0%, 25 %, 50 % y 75 % de R.M.F.

Figura 70

Resistencia de Unidad de Albañilería 0% de MF - 28 días

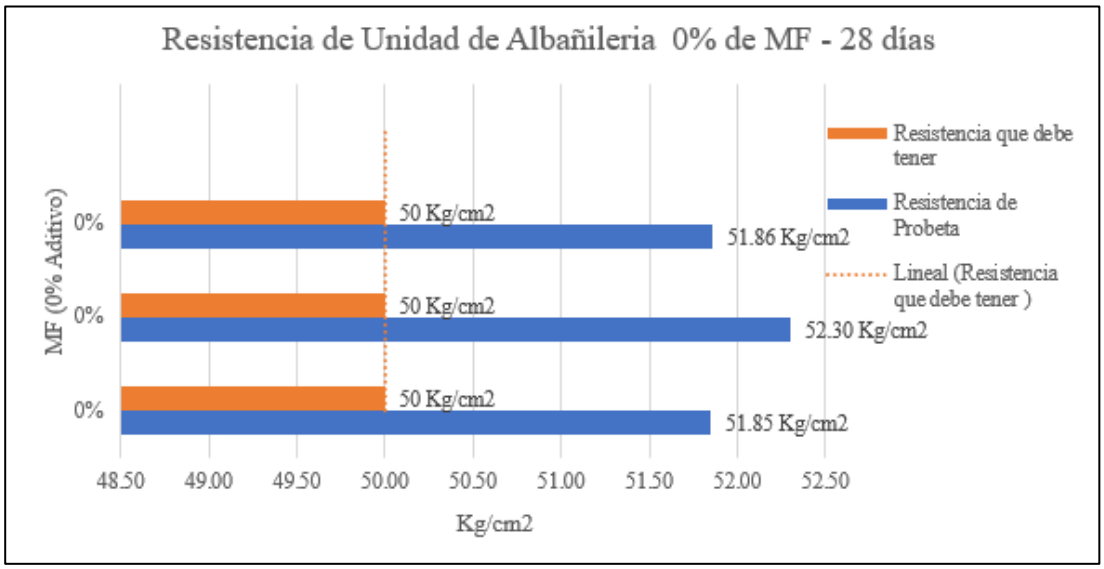


Figura 71

Resistencia de Unidad de Albañilería 25% de MF - 28 días

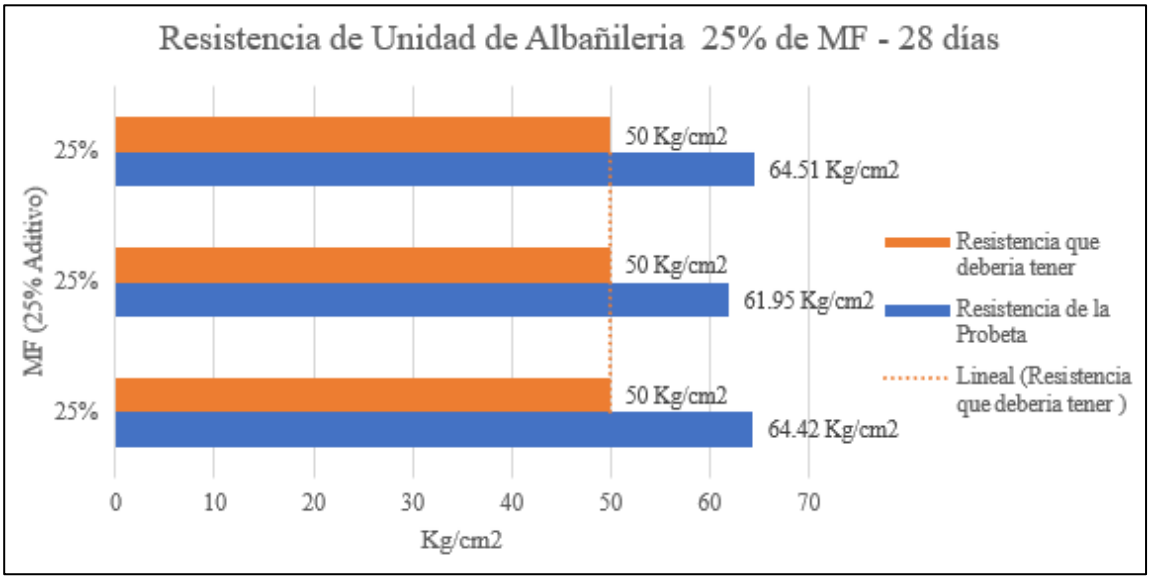


Figura 72

Resistencia de Unidad de Albañilería 50% de MF - 28 días

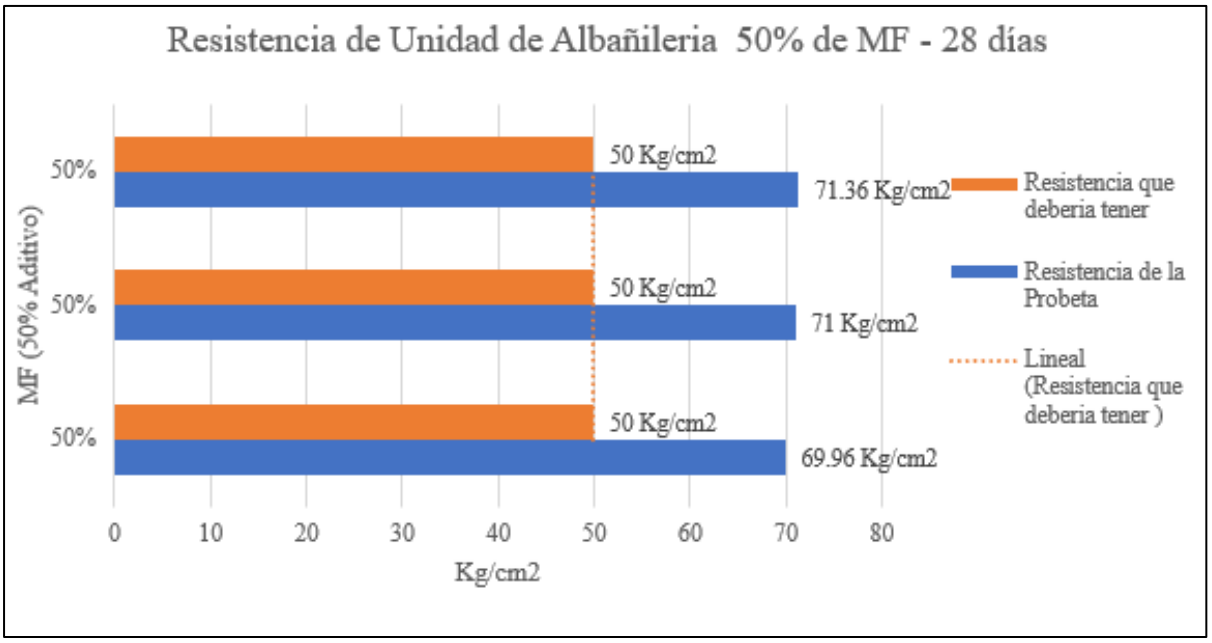


Figura 73

Resistencia de Unidad de Albañilería 75% de MF - 28 días

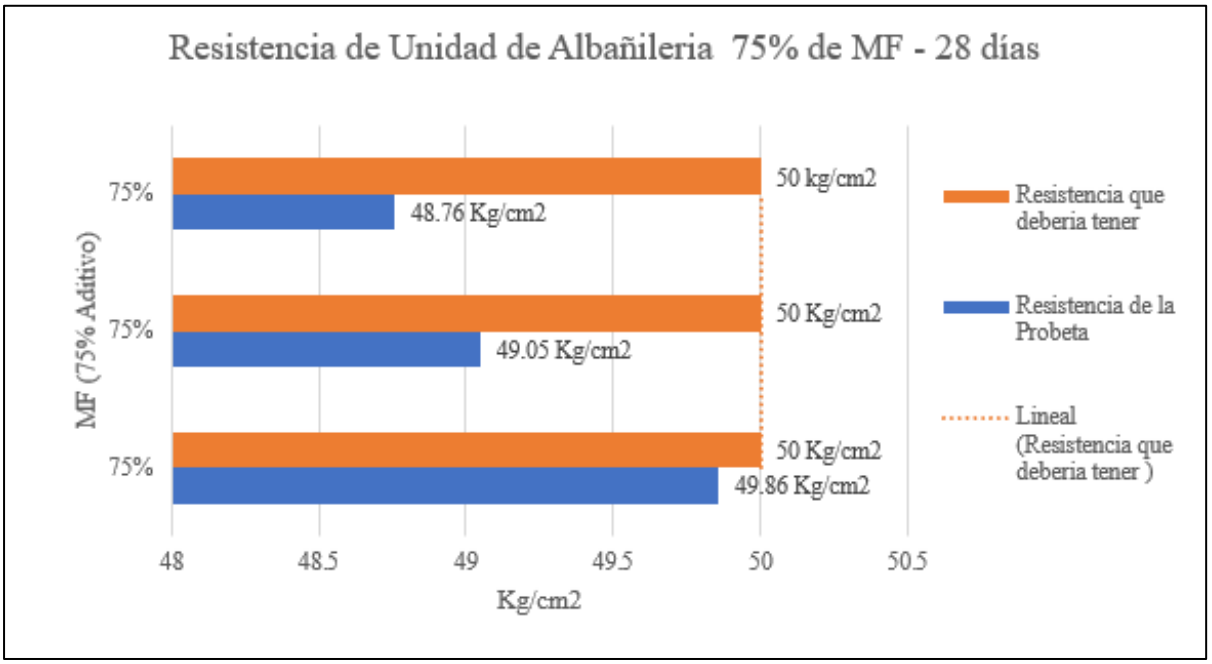
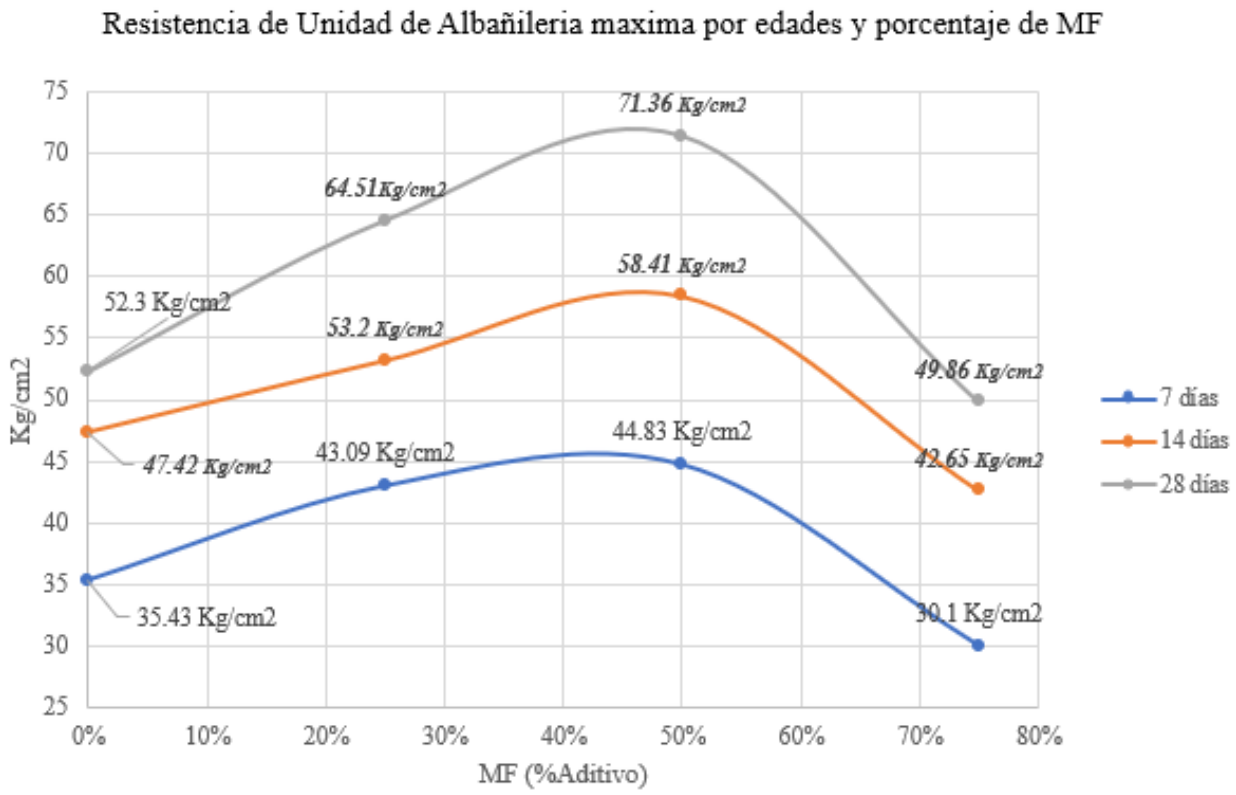


Figura 74

Resistencia de Unidad de Albañilería máxima por edades y porcentaje de R.M.F.



5.1.4. Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas sin Grout, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

Figura 75

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas, sin Grout con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

						DIMENSIONES DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO				RESISTENCIA QUE TIENE		RESISTENCIA QUE DEBE TENER	¿¿CUMPLE??
Nº	Elemento	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad del espécimen	Dial (KG)	Largo	Espesor	Área Bruta	Factor de esbeltez	f m (Resistencia unitaria al corte promedio)	f´m (Resistencia característica al corte)	f m (Resistencia unitaria al corte)	
1	0% DE MF	09/10/2025	06/11/2025	28	19685 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	31.56 Kg/cm2	31.31 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
2		09/10/2025	06/11/2025	28	19954 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	31.99 Kg/cm2	31.74 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
3		09/10/2025	06/11/2025	28	19966 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	32.01 Kg/cm2	31.76 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
4	25% DE MF	09/10/2025	06/11/2025	28	22982 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	36.85 Kg/cm2	36.61 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
5		09/10/2025	06/11/2025	28	22699 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	36.39 Kg/cm2	36.16 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
6		09/10/2025	06/11/2025	28	22921 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	36.75 Kg/cm2	36.51 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
7	50% DE MF	09/10/2025	06/11/2025	28	25365 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	40.67 Kg/cm2	40.37 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
8		09/10/2025	06/11/2025	28	25035 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	40.14 Kg/cm2	39.84 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
9		09/10/2025	06/11/2025	28	25344 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	40.63 Kg/cm2	40.34 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
10	75% DE MF	09/10/2025	06/11/2025	28	17858 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	28.63 Kg/cm2	28.37 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
11		09/10/2025	06/11/2025	28	17724 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	28.42 Kg/cm2	28.15 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO
12		09/10/2025	06/11/2025	28	18052 kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	28.94 Kg/cm2	28.68 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	NO

Nota: Datos procesados de laboratorio

Interpretación: De acuerdo con los resultados obtenidos y su contraste con los valores exigidos por la Norma Técnica Peruana E.070, se observa que ninguna de las pilas ensayadas alcanza la resistencia unitaria mínima requerida de 60.80 kg/cm² para ser consideradas unidades portantes. Los valores de resistencia unitaria promedio f_m obtenidos oscilaron entre 28.48 kg/cm² y 40.67 kg/cm², incluso después de la aplicación del factor de corrección por esbeltez (0.96), lo que evidencia un desempeño mecánico insuficiente desde el punto de vista normativo.

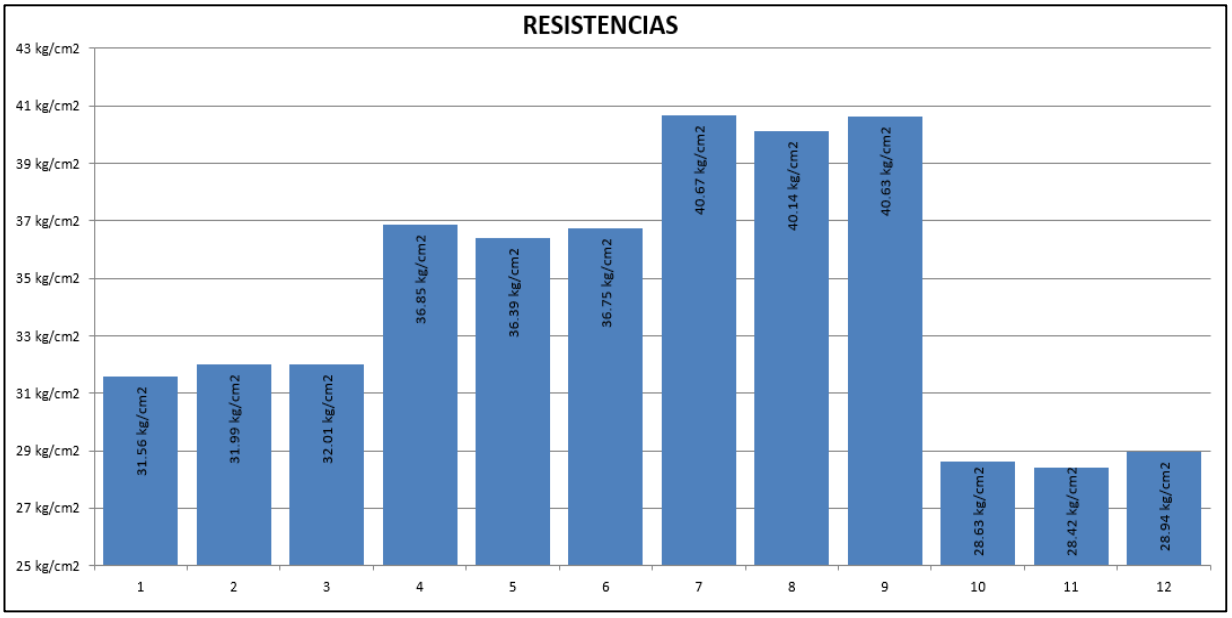
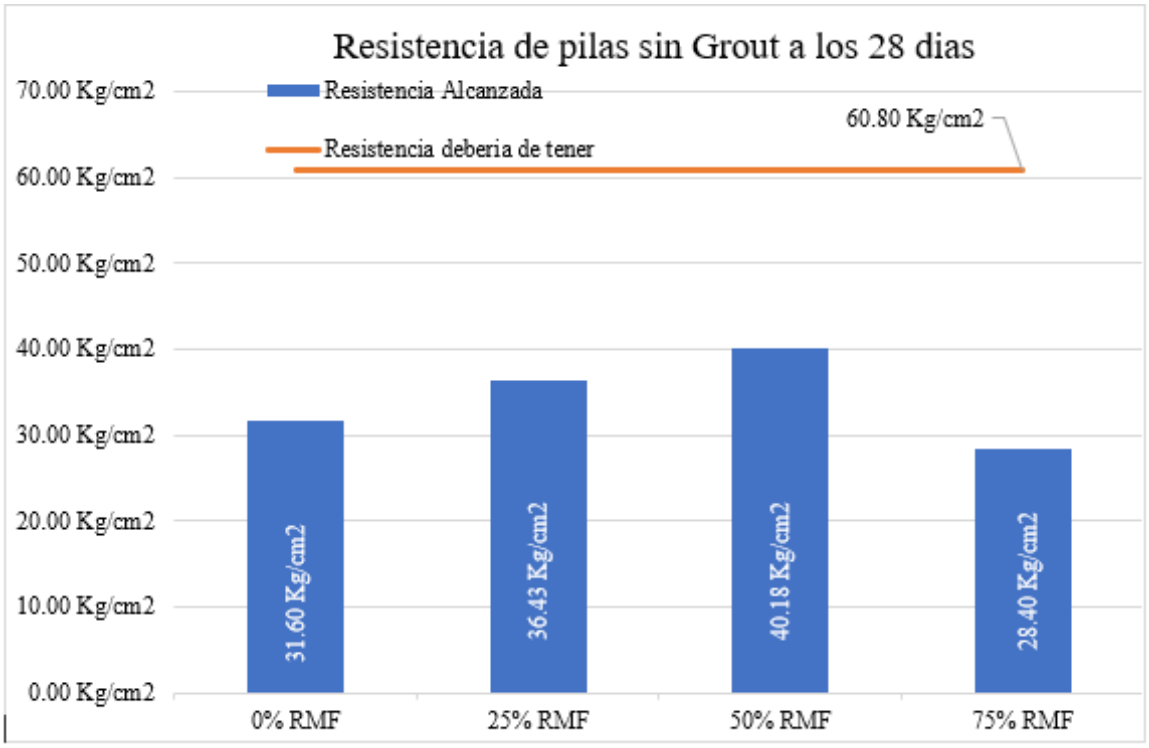


Figura 76

Resistencia de pilas sin Grout a los 28 días



Interpretación: La figura corresponde a los resultados de resistencia a la compresión de pilas de albañilería sin grout evaluadas a los 28 días de edad, para las dosificaciones de 0%, 25%, 50% y 75% de RMF, expresadas como valores promedio por cada mezcla. Se observa que ninguna de las pilas ensayadas alcanza la resistencia mínima de 60.80 kg/cm² establecida por la Norma Técnica Peruana E.070 para pilas portantes, aun cuando todas fueron sometidas al ensayo a la edad normativa.

Este comportamiento evidencia que, en términos de resistencia a la compresión de pilas, la ausencia de grout limita de manera significativa la capacidad resistente del conjunto, ya que se reduce la continuidad estructural y la adecuada transmisión de esfuerzos entre las unidades y el mortero.

5.1.5. Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos en el ensayo de compresión axial de pilas de mampostería rellenas con grout (concreto líquido de relleno) a la edad de 28 días. Este ensayo es crucial, ya que el uso de grout permite que el elemento trabaje de manera integral, aumentando su capacidad de carga en comparación con piezas huecas.

Figura 77

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días en Pilas añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

						DIMENSIONES DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO				RESISTENCIA QUE TIENE		RESISTENCIA QUE DEBE TENER	CUMPLE??
Nº	Elemento	Fecha de elaboracion	Fecha de rotura	Edad del especimen	Dial (KG)	Largo	Espesor	Area Bruta	Factor de esbeletez	f m (Resistencia unitaria al corte promedio)	f´m (Resistencia caracteristica al corte)	f m (Resistencia unitaria al corte)	
1	0% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	49685 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	79.66 Kg/cm2	79.41 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
2		22/11/2025	20/12/2025	28	49954 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	80.09 Kg/cm2	79.84 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
3		22/11/2025	20/12/2025	28	49966 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	80.11 Kg/cm2	79.86 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
4	25% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	54369 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	87.17 Kg/cm2	86.83 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
5		22/11/2025	20/12/2025	28	53968 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	86.53 Kg/cm2	86.19 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
6		22/11/2025	20/12/2025	28	54058 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	86.67 Kg/cm2	86.34 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
7	50% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	57631 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	92.40 Kg/cm2	91.90 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
8		22/11/2025	20/12/2025	28	57388 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	92.01 Kg/cm2	91.51 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
9		22/11/2025	20/12/2025	28	57011 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	91.41 Kg/cm2	90.91 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
10	75% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	50366 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	80.75 Kg/cm2	79.07 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
11		22/11/2025	20/12/2025	28	50411 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	80.83 Kg/cm2	79.15 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI
12		22/11/2025	20/12/2025	28	52203 Kg	40.0 cm	15.0 cm	600 cm2	0.96	83.70 Kg/cm2	82.02 Kg/cm2	60.80 Kg/cm2	SI

Nota: Datos procesados de laboratorio

Interpretación: En esta etapa, se evaluó la capacidad de carga axial de pilas de mampostería rellenas con grout, considerando la influencia de la adición de polvo (% MF).

- 0% MF (Control): Obtuvo un promedio cercano a 80 kg/cm2, superando el equerimiento básico por un margen de seguridad del 4%.
- 25% y 50% MF: Estas dosificaciones mostraron un incremento exponencial. A 50% MF, se alcanzó el valor máximo de 92.40 kg/cm2, excediendo el diseño en un 42.5%. Se interpreta que el polvo mejora la adherencia entre el bloque y el grout, densificando la interfase del sistema.
- 75% MF (Falla): Si bien este porcentaje es considerada una falla, la resistencia descendió, pero como resultado obtuvo un dictamen de " CUMPLE", debido a que las unidades de albañileria estan relllenas de grout, y sobrepasaron los valores de resistencia propuestas.

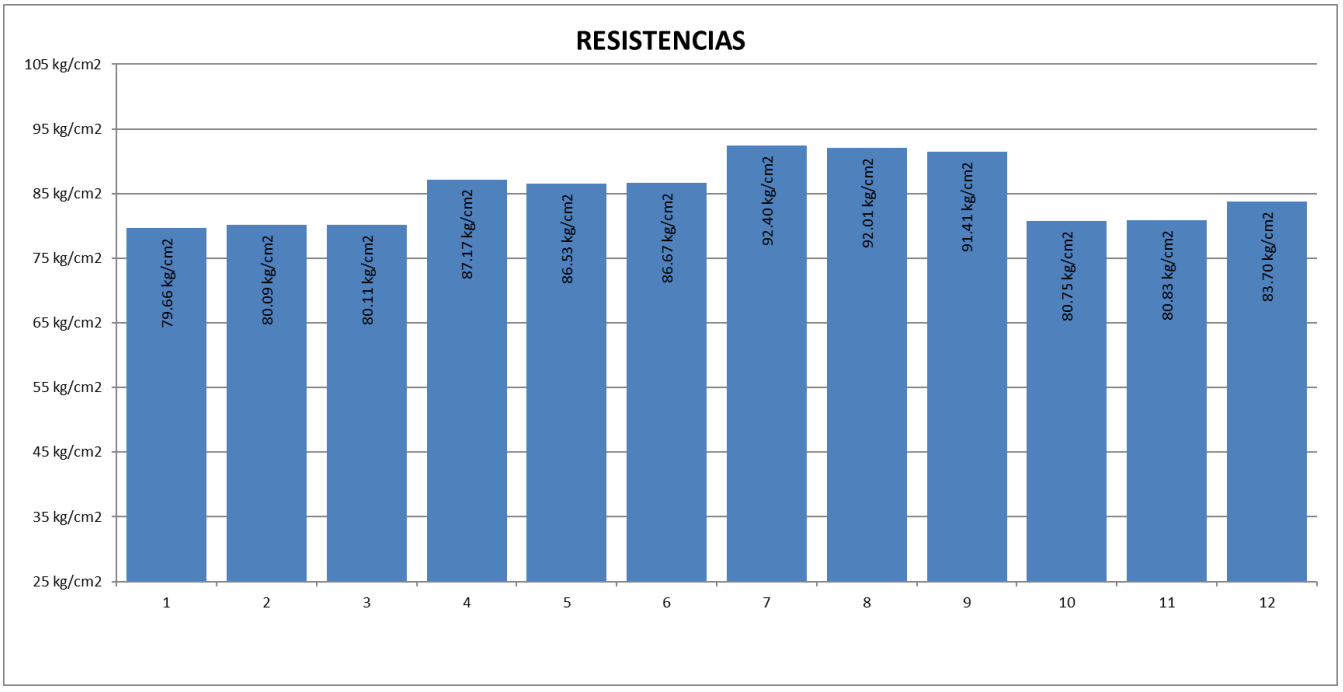
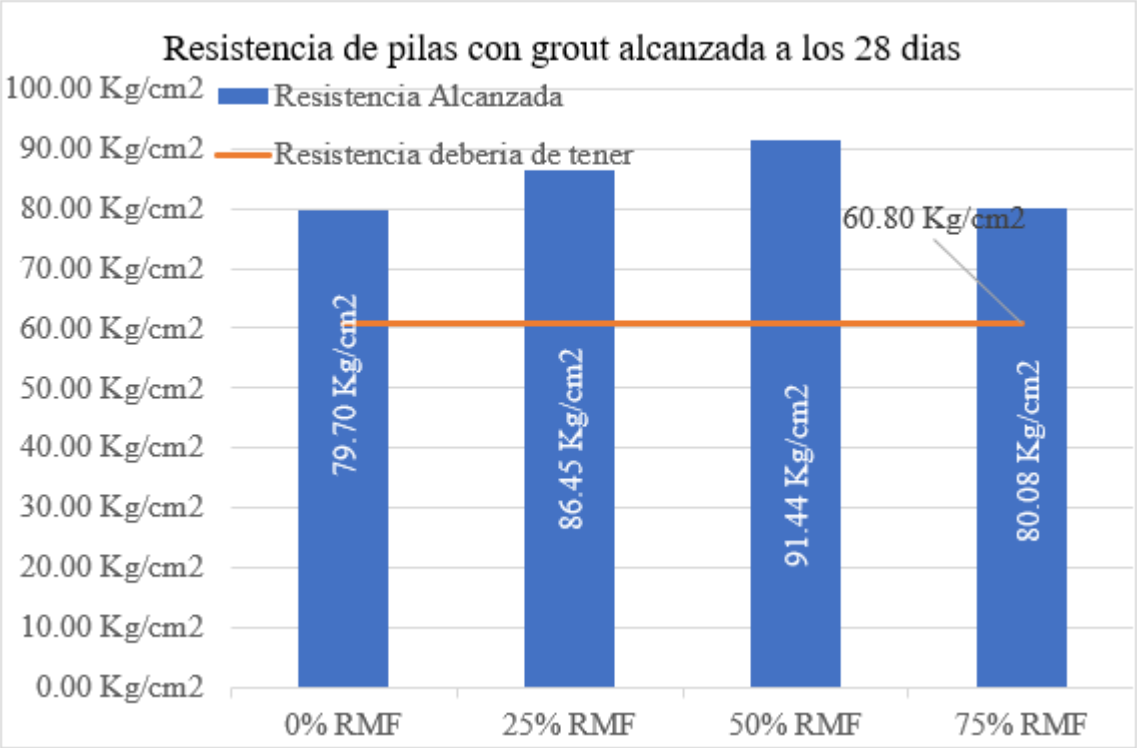


Figura 78

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia de pilas con grout



Interpretación: El gráfico presenta la resistencia promedio a compresión de las pilas con grout, evaluada a los 28 días para dosificaciones con 0 %, 25 %, 50 % y 75 % de RMF, en comparación con una resistencia mínima de referencia de 60,80 kg/cm². Los resultados muestran que todas las dosificaciones superan el valor exigido, observándose un incremento de la resistencia hasta el 50 % de RMF, que alcanza el mejor desempeño mecánico. La mezcla con 75 % de RMF, aunque presenta una ligera disminución respecto al máximo, mantiene una resistencia superior al valor de referencia, evidenciando que el uso de grout mejora el comportamiento resistente del sistema incluso con altos contenidos de RMF.

5.1.6. Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

Según Ensayo De Compresión Diagonal De Muretes (E070) Se establece que el espécimen debe alcanzar un valor mínimo de 7.07kg/cm2 (equivalente a 0.693MPa). El cumplimiento de este umbral es fundamental por las siguientes razones técnicas:

- Resistencia al Agrietamiento: Este valor asegura que el murete posea la cohesión suficiente entre la pieza y el mortero para evitar fallas por tensión diagonal (grietas en "X") bajo cargas laterales.
- Factor de Seguridad: El valor de 7.07 kg/cm2 actúa como un límite inferior de seguridad estructural. Si los resultados experimentales se sitúan por debajo de esta cifra, se considera que la mezcla ES DEFICIENTE.

Figura 79

Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes sin Grout, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

										RESISTENCIA QUE TIENE v'm		RESISTENCIA QUE DEBE TENER	
N.º de Unidad de Albañilería	Grupo	Descripción	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad del espécimen	Dial (KG)	Largo	Ancho	Diagonal	Resistencia unitaria al corte	Resistencia característica al corte promedio	Resistencia característica al corte	¿CUMPLE?
1	1	0% GRUPO CONTROL	15/10/2025	12/11/2025	28	9224.4 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.15 Kg/cm2	7.15 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
2			15/10/2025	12/11/2025	28	9345.2 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.24 Kg/cm2			
3			15/10/2025	12/11/2025	28	9298.3 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.21 Kg/cm2			
4	2	25% DE MF	15/10/2025	12/11/2025	28	13764.2 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	10.67 Kg/cm2	10.67 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
5			15/10/2025	12/11/2025	28	13835.5 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	10.73 Kg/cm2			
6			15/10/2025	12/11/2025	28	13877.1 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	10.76 Kg/cm2			
7	3	50% DE MF	15/10/2025	12/11/2025	28	17969.4 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	13.93 Kg/cm2	13.66 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
8			15/10/2025	12/11/2025	28	17998.2 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	13.95 Kg/cm2			
9			15/10/2025	12/11/2025	28	17587.3 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	13.63 Kg/cm2			
10	4	75% DE MF	15/10/2025	12/11/2025	28	8465.3 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	6.56 Kg/cm2	6.53 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	NO
11			15/10/2025	12/11/2025	28	8415.8 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	6.52 Kg/cm2			
12			15/10/2025	12/11/2025	28	8458.2 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	6.56 Kg/cm2			

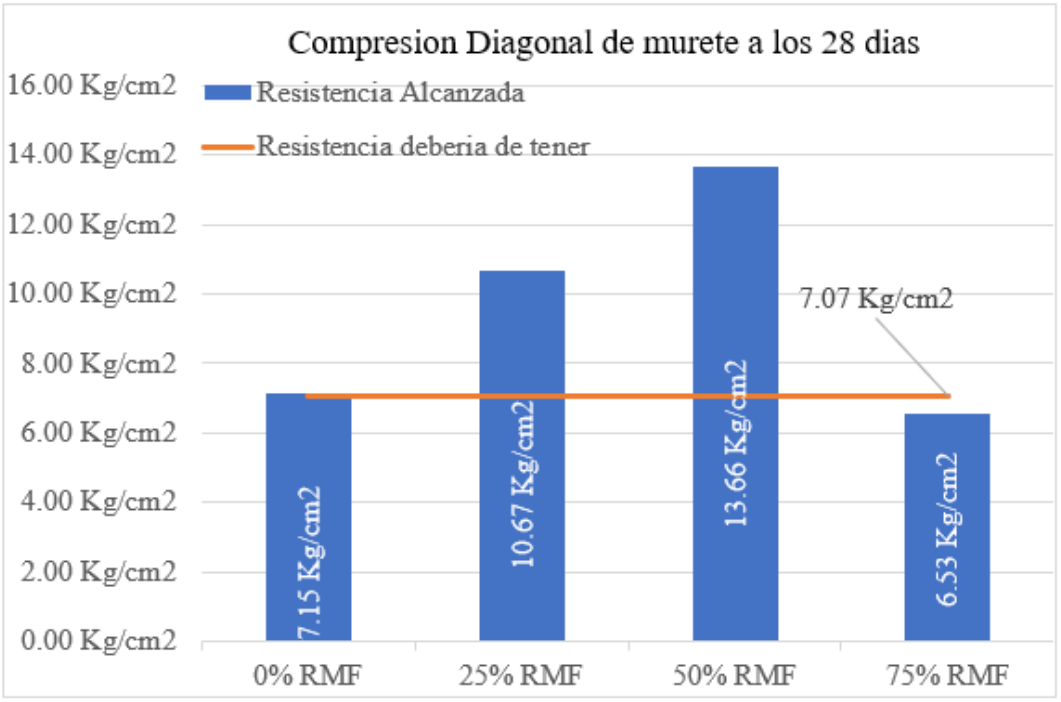
Interpretación: El ensayo de muretes tiene como objetivo determinar la resistencia característica al corte (v'm), factor fundamental para la seguridad sísmica de las estructuras de mampostería. De acuerdo con los parámetros establecidos, el valor mínimo de aceptación para este esfuerzo es de 7.07kg/cm2(0.693MPa).

- Grupo Control (0% MF): Se obtuvo una resistencia característica promedio de 7.15kg/cm2. Este valor supera el mínimo normativo por un margen estrecho (1.1%), validando la mezcla base como funcional pero limitada ante esfuerzos diagonales.
- Incremento de Resistencia (25% y 50% MF): Se observa una mejora sustancial en la capacidad de carga. El grupo de 25% MF alcanzó 10.67 kg/cm2, mientras que el grupo de 50% MF registró el valor más alto del estudio con 13.66kg/cm2. Este último resultado representa casi el doble (193.2%) del requerimiento normativo, consolidándose como la dosificación óptima para maximizar la cohesión entre las piezas y el mortero.
- Falla Estructural (75% MF): Contrario a los grupos anteriores, la dosificación al 75% MF provocó un descenso crítico en la resistencia, obteniendo un promedio de 6.53 kg/cm2. Este valor se sitúa por debajo del límite de 7.07kg/cm2, resultando en un dictamen de "NO CUMPLE".

  Se concluye que el uso de R.M.F. al 50% no solo cumple con la normativa, sino que optimiza drásticamente la seguridad estructural de los muretes ante cargas laterales.

Figura 80

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia diagonal de muretes sin grout



Interpretación: El gráfico analiza la resistencia a compresión de muretes a los 28 días bajo distintas dosificaciones de RMF en comparación con un valor referencial de 7.07 kg/cm². Se observa una tendencia ascendente en el desempeño mecánico conforme aumenta el porcentaje de residuo, alcanzando un pico máximo de 13.66 kg/cm² con la dosificación del 50 % RMF, lo cual representa el éxito estructural del sistema. No obstante, se evidencia una caída drástica en la última muestra graficada, la cual desciende a 6.53 kg/cm² y se convierte en la única en no alcanzar el estándar mínimo exigido. En conclusión, los resultados demuestran que la incorporación de RMF potencia significativamente la capacidad portante hasta un umbral de optimización del 50 %, a partir del cual el exceso de material fino parece comprometer la integridad y resistencia del murete.

5.1.7. Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%.

El ensayo de compresión diagonal en muretes permite determinar la resistencia característica al corte (v'm), parámetro fundamental para evaluar el desempeño de la mampostería ante fuerzas laterales, como las producidas por eventos sísmicos. Para esta investigación, se estableció un esfuerzo normativo mínimo (f'b) de 7.07 kg/cm2 (0.693MPa) como criterio de aceptación.

Figura 81

Resultados de la resistencia a la compresión diagonal a los 28 días en Muretes añadidas con GROUT, con porcentajes de MF al 0%, 25%, 50%, 75%

										RESISTENCIA QUE TIENE v´m		RESISTENCIA QUE DEBE TENER	
N.° de Unidad de Albañilería	Grupo	Descripción	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad del espécimen	Dial (KG)	Largo	Ancho	Diagonal	Resistencia unitaria al corte	Resistencia característica al corte promedio	Resistencia característica al corte	¿CUMPLE?
1	1	0% GRUPO CONTROL	22/11/2025	20/12/2025	28	9224.4 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.15 Kg/cm2	7.15 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
2			22/11/2025	20/12/2025	28	9345.2 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.24 Kg/cm2			
3			22/11/2025	20/12/2025	28	9298.3 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.21 Kg/cm2			
4	2	25% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	15036.7 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	11.66 Kg/cm2	11.58 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
5			22/11/2025	20/12/2025	28	15391.3 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	11.93 Kg/cm2			
6			22/11/2025	20/12/2025	28	15014.9 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	11.64 Kg/cm2			
7	3	50% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	19244.7 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	14.92 Kg/cm2	14.52 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	SI
8			22/11/2025	20/12/2025	28	19078.0 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	14.79 Kg/cm2			
9			22/11/2025	20/12/2025	28	18699.4 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	14.50 Kg/cm2			
10	4	75% DE MF	22/11/2025	20/12/2025	28	9322.0 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.23 Kg/cm2	7.00 Kg/cm2	7.07 Kg/cm2	NO
11			22/11/2025	20/12/2025	28	9085.8 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.04 Kg/cm2			
12			22/11/2025	20/12/2025	28	9087.7 Kg	61.50 cm	15.00 cm	86.000 cm	7.04 Kg/cm2			

Interpretación: En los muretes con grout, la inclusión de la arena media hasta un 50% actúa como un mecanismo de densificación que reduce la porosidad de la junta y mejora el anclaje del grout con las paredes internas de la pieza. Sin embargo, al alcanzar el 75% MF, el exceso de partículas finas interfiere con la adherencia química del cemento, creando planos de debilidad que facilitan el agrietamiento diagonal prematuro antes de alcanzar el esfuerzo normativo.

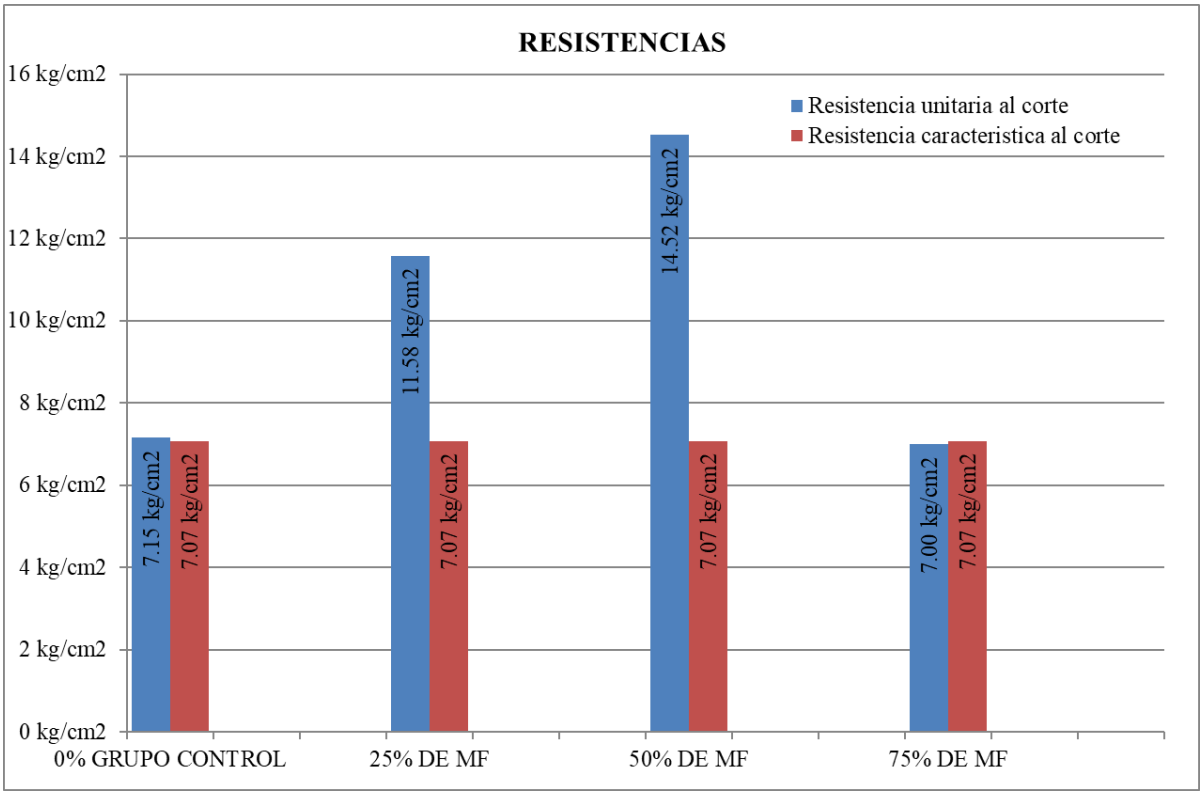
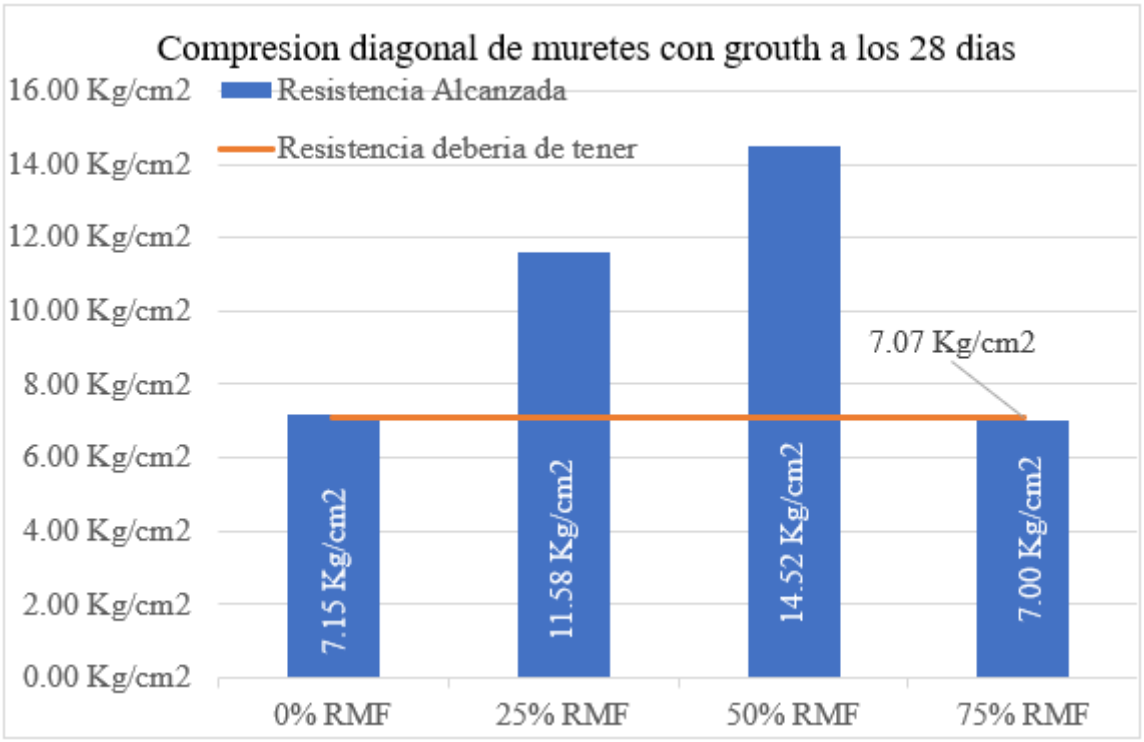


Figura 82

Diagrama de barras correspondiente a la edad de 28 días - Resistencia diagonal de muretes con grout



Interpretación: El gráfico analiza la resistencia a compresión diagonal en muretes con grout a los 28 días con 4 promedio, comparando dosificaciones de R.M.F. frente al estándar de 7.07 Kg/cm ^{2}. Se observa un incremento progresivo del desempeño mecánico que alcanza su pico máximo de 14.52 Kg/cm^{2} con el 50% de RMF, duplicando satisfactoriamente el valor referencial. No obstante, al llegar al 75% de RMF se evidencia un descenso crítico hasta los 7.00 Kg/cm^{2,} siendo la única muestra que no alcanza el mínimo exigido. En conclusión, la incorporación de RMF potencia la capacidad portante hasta un umbral óptimo del 50%, tras el cual el exceso de material fino parece comprometer la integridad y resistencia final de la unidad.

5.1.8. Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%

Tabla 27

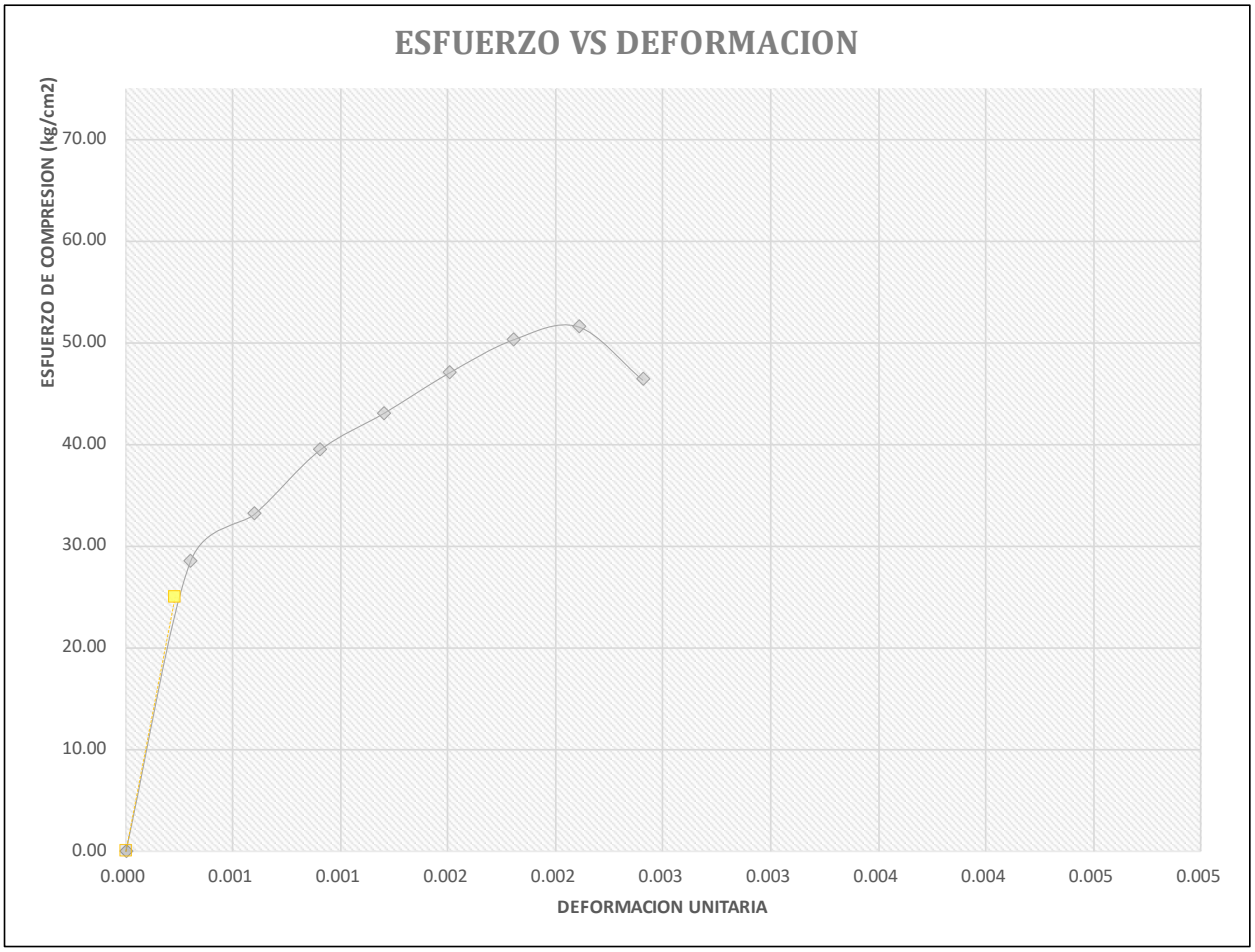
Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 0%,

N°	Lectura Dial (mm)	Lectura Dial (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Deformación (cm)	Factor (1-ε)	Área corregida (cm^2)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)
0	0.00	0.000	20.000 cm	0	0.000cm	1.000cm	300.00cm2	0.00
1	0.06	0.006	19.994 cm	8555	0.000cm	1.000cm	300.09cm2	28.51
2	0.12	0.012	19.988cm	9973	0.001cm	1.000cm	300.18cm2	33.22
3	0.18	0.018	19.982cm	11849	0.001cm	0.999cm	300.27cm2	39.46
4	0.24	0.024	19.976cm	12955	0.001cm	0.999cm	300.36cm2	43.13
5	0.30	0.030	19.970cm	14140	0.002cm	0.999cm	300.45cm2	47.06
6	0.36	0.036	19.964cm	15136	0.002cm	0.998cm	300.54cm2	50.36
7	0.42	0.042	19.958cm	15529	0.002cm	0.998cm	300.63cm2	51.65
8	0.48	0.048	19.952cm	13953	0.002cm	0.998cm	300.72cm2	46.40

Nota. La probeta presenta dimensiones de 40 cm × 15 cm × 20 cm, con un área total de 600 cm² y un área neta efectiva de 300 cm² debido a la presencia de alveolos. El ensayo de modulo de elasticidad se hizo con un porcentaje de M.F. al 0%

Figura 83

Curva de deformación MF 0%



- Lectura Maxima Alcanzada = 148 Kn
- Modulo De Elasticidad = 108 696 KG/CM2
- Resistencia A La Compresion Alcanzada = 51.65 KG/CM2

5.1.8.1. Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 25%

Tabla 28

Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 25%.

N°	Lectura Dial (mm)	Lectura Dial (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Deformación (cm)	Factor (1-ε)	Área corregida (cm²)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
0	0.00	0.000	20.000	0	0.000	1.000	300.00	0.00
1	0.06	0.006	19.994	10352	0.000cm	1.000	300.09	34.49
2	0.12	0.012	19.988	14068	0.001cm	0.999	300.18	46.86
3	0.18	0.018	19.982	14937	0.001cm	0.999	300.27	49.75
4	0.24	0.024	19.976	15976	0.001cm	0.999	300.36	53.19
5	0.30	0.030	19.970	17890	0.002cm	0.998	300.45	59.54
6	0.36	0.036	19.964	18514	0.002cm	0.998	300.54	61.60
7	0.42	0.042	19.958	18790	0.002cm	0.998	300.63	62.50
8	0.48	0.048	19.952	17883	0.002cm	0.998	300.72	59.47

Nota. La probeta presenta dimensiones de 40 cm × 15 cm × 20 cm, con un área total de 600 cm² y un área neta efectiva de 300 cm² debido a la presencia de alveolos. El ensayo de módulo de elasticidad se hizo con un porcentaje de M.F. al 25% (18 de septiembre de 2025) y la fecha de rotura (16 de octubre de 2025)

Figura 84

Curva de deformación MF 25%

- Lectura Maxima Alcanzada = 182 Kn
- Modulo De Elasticidad = 125 000 Kg/Cm2
- Resistencia A La Compresion Alcanzada = 62.50 Kg/Cm2

5.1.8.2. Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 50%

Tabla 29

Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 50%.

N°	Lectura Dial (mm)	Lectura Dial (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Deformación (cm)	Factor (1-ε)	Área corregida (cm²)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
0	0	0	20.000 cm	0	0.000cm	1.000cm	300.00cm2	0
1	0.06	0.006	19.994 cm	12525	0.000cm	1.000cm	300.09cm2	41.74
2	0.12	0.012	19.988cm	16022	0.001cm	0.999cm	300.18cm2	53.37
3	0.18	0.018	19.982cm	18974	0.001cm	0.999cm	300.27cm2	63.19
4	0.24	0.024	19.976cm	20331	0.001cm	0.999cm	300.36cm2	67.69
5	0.3	0.03	19.970cm	21946	0.002cm	0.998cm	300.45cm2	73.04
6	0.36	0.036	19.964cm	22802	0.002cm	0.998cm	300.54cm2	75.87
7	0.42	0.042	19.958cm	22736	0.002cm	0.998cm	300.63cm2	75.63
8	0.48	0.048	19.952cm	21428	0.002cm	0.998cm	300.72cm2	71.25

Nota. La probeta presenta dimensiones de 40 cm × 15 cm × 20 cm, con un área total de 600 cm² y un área neta efectiva de 300 cm² debido a la presencia de alveolos. El ensayo de módulo de elasticidad se hizo con un porcentaje de M.F. al 50% presento una resistencia mayor a 75.87 kg/cm2

Figura 85

Curva de deformación MF 50%

- Lectura Maxima Alcanzada = 224 Kn
- Modulo De Elasticidad = 142 857 Kg/Cm2
- Resistencia A La Compresion Alcanzada = 75.87 Kg/Cm2

5.1.8.3. Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 75%

Tabla 30

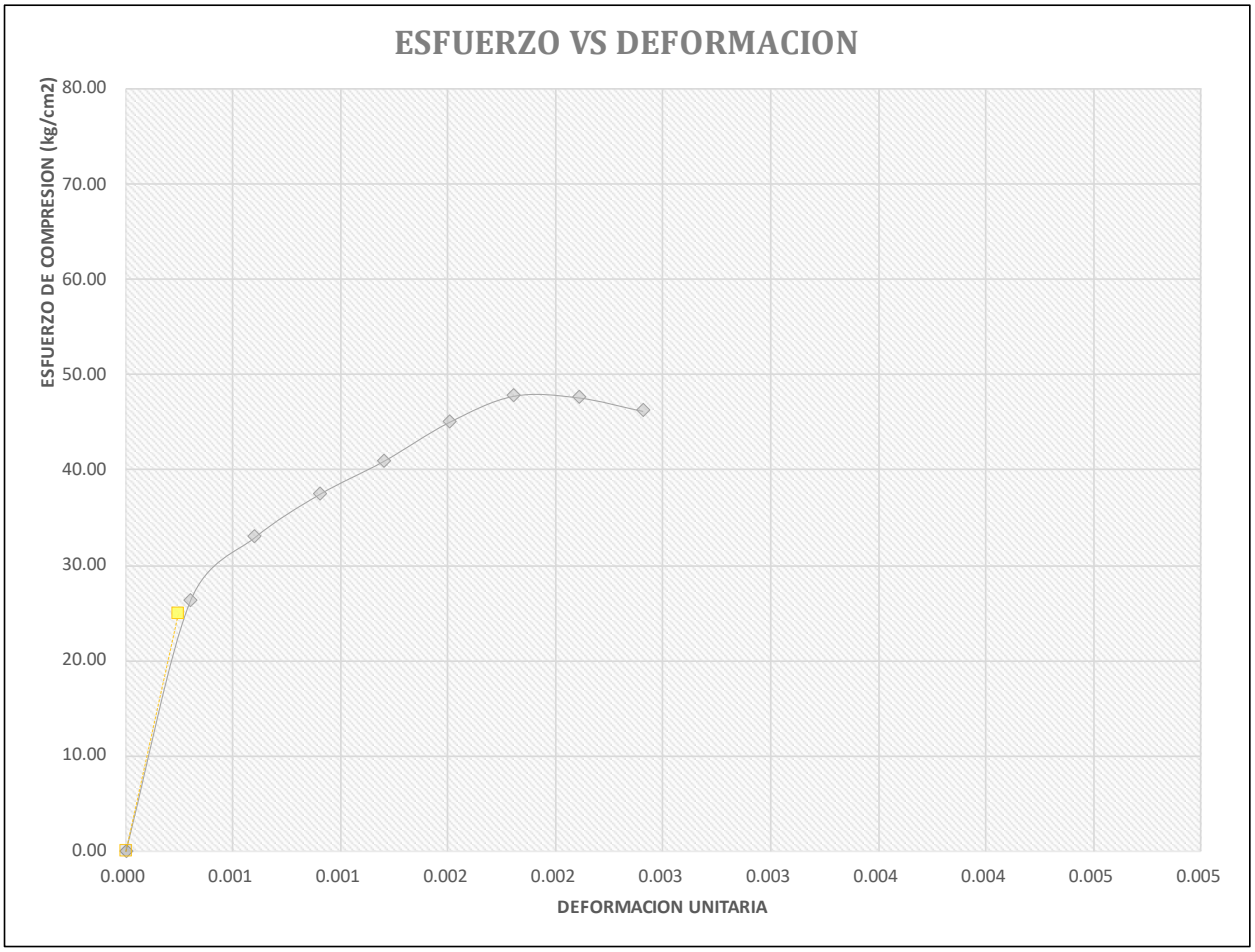
Ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF al 75%

N°	Lectura Dial (mm)	Lectura Dial (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Deformación (cm)	Factor (1-ε)	Área corregida (cm²)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
0	0.00	0.000	20.000 cm	0	0.000cm	1.000cm	300.00cm2	0.00
1	0.06	0.006	19.994 cm	7891	0.000cm	1.000cm	300.09cm2	26.30
2	0.12	0.012	19.988cm	9894	0.001cm	0.999cm	300.18cm2	32.96
3	0.18	0.018	19.982cm	11254	0.001cm	0.999cm	300.27cm2	37.48
4	0.24	0.024	19.976cm	12308	0.001cm	0.999cm	300.36cm2	40.98
5	0.30	0.030	19.970cm	13526	0.002cm	0.998cm	300.45cm2	45.02
6	0.36	0.036	19.964cm	14365	0.002cm	0.998cm	300.54cm2	47.80
7	0.42	0.042	19.958cm	14324	0.002cm	0.998cm	300.63cm2	47.65
8	0.48	0.048	19.952cm	13900	0.002cm	0.998cm	300.72cm2	46.22

Nota. La probeta presenta dimensiones de 40 cm × 15 cm × 20 cm, con un área total de 600 cm² y un área neta efectiva de 300 cm² debido a la presencia de alveolos. El ensayo de módulo de elasticidad se hizo con un porcentaje de M.F. al 75%.

Figura 86

Curva de deformación MF 75%

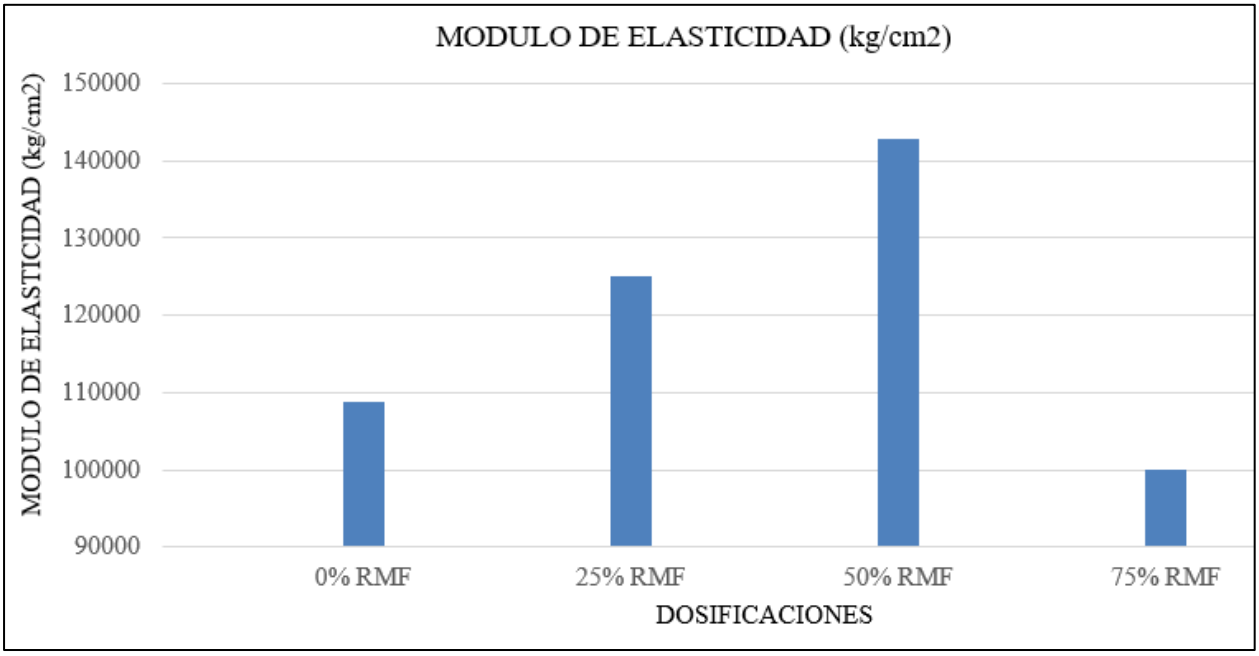


- Lectura Maxima Alcanzada = 141 Kn
- Modulo De Elasticidad = 100 000 Kg/Cm2
- Resistencia A La Compresion Alcanzada = 47.80 Kg/Cm2

Tabla 31

Resultados de ensayo de Modulo de Elasticidad a los 28 días, con porcentajes de MF

MUESTRA	0% MF	25% MF	50% MF	75% MF
MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm2)	108 696 kg/cm2	125 000 kg/cm2	142 857 kg/cm2	100 000 kg/cm2



Interpretación: Al analizar el comportamiento mecánico del material a los 28 días, se identifica que el módulo de elasticidad experimenta una evolución positiva directamente proporcional a la adición de MF hasta alcanzar un pico de 142,857 kg/cm^2 en la dosificación del 50%, lo que representa una mejora sustancial en la rigidez frente a la muestra patrón. Este fortalecimiento de la matriz elástica sugiere una interacción óptima entre los componentes en niveles intermedios; sin embargo, los datos reflejan un punto de inflexión crítico al llegar al 75% MF, donde el valor cae a 100,000 kg/cm^2. Esta reducción,

que sitúa la respuesta elástica por debajo del nivel inicial del 0%, indica que una saturación del material con R.M.F. compromete la integridad interna del espécimen, posiblemente por una pérdida de cohesión o un exceso de material que debilita la estructura, consolidando al 50% como el límite técnico ideal para maximizar el desempeño estructural.

5.1.8.4. Resultados de ensayo de Densidad Aparente, Absorción, Succión

Tabla 32

Resultados de ensayo de Densidad Aparente, Absorción, Succión

	DOSIFICACION			
Ensayo	**0% de MF**	**25% de MF**	**50% de MF**	**75% de MF**
Densidad aparente (g/cm³)	2.19 g /cm3	2.20 g /cm3	2.40 g /cm3	2.52 g /cm3
Absorción (%)	6.02%	6.84%	6.50%	5.43%
Succión (g/min/cm²)	66.00	71.00	74.00	66.00

Nota. Estas dosificaciones representan cada ensayo realizado en laboratorio con el objetivo de observar el comportamiento de las unidades de albañilería con respecto a sus propiedades.

5.2. Discusión

El propósito central de esta investigación fue evaluar si los residuos de mecanizado ferroso (RMF), un desecho industrial común en Cusco, podrían transformarse en un recurso valioso para la fabricación de bloquetas portantes. Al analizar el comportamiento del concreto con adiciones del 0%, 25%, 50% y 75%, nos encontramos

con un fenómeno revelador que no sigue una línea recta, sino que cuenta una historia de optimización y límites físicos.

Al observar la resistencia a la compresión a los 28 días, los datos muestran una clara evolución positiva inicial. Partiendo de una muestra patrón que alcanzó un promedio sólido de 52.00 kg/cm², la incorporación de residuos metálicos demostró ser beneficiosa en las primeras etapas: con un 25% de adición, la resistencia subió a 64.00 kg/cm², y sorprendentemente, el desempeño alcanzó su punto máximo con el 50% de adición, logrando una resistencia cercana a los 71.00 kg/cm². Este incremento del 36.5% nos sugiere que, en estas proporciones, las partículas de acero no actúan como un simple relleno, sino que se integran en la matriz cementicia reforzándola internamente y limitando la aparición de microfisuras. Este hallazgo es consistente con estudios previos como el de Ayarquispe Vivas (2024), quien ya había reportado mejoras con la inclusión de limallas, aunque nuestro estudio logró desplazar el punto óptimo hasta el 50%, probablemente debido a las características específicas de los agregados de la cantera Vicho utilizados.

Sin embargo, la investigación también desveló un límite crítico. Al llevar la adición al 75%, la resistencia sufrió una caída abrupta, descendiendo a un promedio de 49.00 kg/cm², un valor incluso inferior al del concreto convencional. Este comportamiento nos indica que existe un punto de saturación: al haber demasiadas partículas metálicas, la pasta de cemento resulta insuficiente para envolverlas todas adecuadamente, lo que provoca una falta de adherencia y posibles problemas de segregación por la alta densidad del metal. Esto valida la teoría de que el exceso de residuos, si no se controla, puede comprometer la integridad estructural en lugar de

mejorarla. Además, desde un punto de vista del diseño sísmico, un cuadro de fallas es una herramienta de diagnóstico que debe incluirse, ya que permite documentar si el sistema tiene la capacidad de disipar energía o si falla de manera súbita.

Las bloquetas fabricadas con hasta un 50% de residuos no solo cumplen, sino que superan holgadamente los 4.9 MPa (50 kg/cm²) exigidos por la Norma Técnica Peruana E.070 para ser consideradas Unidades Portantes (Tipo P). En contraste, la mezcla del 75%, debido a su inestabilidad mecánica, quedaría restringida a usos no estructurales, como tabiquería.

La inclusión de un análisis comparativo de costos de producción entre la mampostería con agregado convencional y aquella que incorpora residuos mecanizados (polvo de acero - MF) es un componente esencial para validar la viabilidad real de la investigación. Para que una innovación en materiales de construcción sea adoptada por la industria, no basta con que sea técnicamente superior; debe ser económicamente competitiva.

Los resultados también se alinean con estudios nacionales orientados al uso de escoria de acero, como los desarrollados por García Zegarra (2020) y Ramos Huamán y Torres Castillo (2024), quienes evidenciaron que la incorporación de subproductos ferrosos incrementa la resistencia a la compresión y la densidad del concreto. En la presente investigación, el aumento de la densidad de las bloquetas con la adición de residuos mecanizados coincide con estos antecedentes y refuerza la hipótesis de que los materiales ferrosos, debido a su mayor peso específico, contribuyen a un concreto más compacto. Asimismo, la reducción de la absorción de agua observada hasta el 50 % de

adición concuerda con el “efecto filler” descrito en estudios previos, donde las partículas finas sellan los poros capilares del concreto, mejorando su durabilidad.

Finalmente, en cuanto a las propiedades físicas, confirmamos que las bloquetas se vuelven más densas y pesadas conforme se añade acero, lo cual era esperable dada la naturaleza del material. Un aspecto positivo adicional fue la reducción de la absorción de agua en las mezclas optimizadas (hasta el 50%), lo cual se atribuye al "efecto filler", donde el polvo fino de acero sella los poros del concreto, haciéndolo menos permeable y potencialmente más durable.

VI. Conclusiones

La investigación demuestra que la incorporación de residuos de mecanizado ferroso influye de manera significativa en las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes de concreto. Los resultados obtenidos confirman que el residuo metálico, cuando se utiliza en proporciones adecuadas, actúa como un componente capaz de mejorar la densidad, la compacidad y la resistencia del material, evidenciando su potencial como aditivo sostenible dentro de los procesos constructivos. Este comportamiento coincide con estudios previos sobre la valorización de subproductos metálicos en mezclas cementicia, lo que brinda respaldo técnico a los hallazgos obtenidos.

Asimismo, el análisis de las propiedades físicas revela que la densidad de las bloquetas aumenta conforme se incrementa la adición del residuo ferroso, lo cual se relaciona con una reducción de la porosidad del material. Esta tendencia se complementa con la disminución significativa de la absorción de agua en las dosificaciones intermedias del 25 % y 50 %, lo que indica una estructura más compacta y menos permeable. En cuanto al comportamiento mecánico, las mismas dosificaciones presentan los valores más altos de resistencia a la compresión uniaxial, a la compresión en pilas y a la compresión diagonal, evidenciando que existe un rango óptimo de incorporación del residuo que potencia el desempeño estructural.

Por otro lado, la dosificación del 75 % evidencia limitaciones importantes, manifestadas en la reducción de las resistencias mecánicas y en la pérdida de trabajabilidad del concreto. Esto confirma que la sobredosificación genera efectos adversos en la cohesión de la mezcla y en su comportamiento general, lo cual coincide con antecedentes científicos que advierten sobre los límites máximos de adición de

residuos metálicos. A pesar de ello, los resultados globales permiten afirmar que el uso de residuos de mecanizado ferroso constituye una alternativa técnica viable y ambientalmente beneficiosa, especialmente dentro del contexto cusqueño, donde la generación de residuos industriales carece de una adecuada gestión y reaprovechamiento.

De manera adicional, el incremento de la densidad de las bloquetas generado por la incorporación de residuos metálicos también abre la posibilidad de emplearlas como materiales pesados para aplicaciones de protección radiológica, un aspecto directamente relacionado con la problemática abordada en este estudio. Al aumentar la densidad y reducir la porosidad del material, las bloquetas podrían contribuir a la atenuación de radiaciones ionizantes, proporcionando un valor agregado a los procesos constructivos en entornos donde se requiere protección radiológica.

La conclusión, la investigación aporta evidencia experimental relevante para fortalecer el conocimiento local sobre materiales de construcción alternativos y sostenibles. Sus resultados permiten establecer bases para futuros lineamientos técnicos y normativos que regulen el uso de residuos industriales en el sector construcción, contribuyendo a la economía circular y promoviendo prácticas que reduzcan el impacto ambiental asociado a la disposición de residuos metálicos.

VII. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda utilizar porcentajes de adición de residuos de mecanizado ferroso comprendidos entre el 25 % y el 50 %, ya que representan el rango óptimo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas portantes. Estos valores permiten alcanzar una mayor compacidad, menor absorción y mejores resistencias, sin comprometer la trabajabilidad de la mezcla ni la calidad del producto final. Asimismo, se sugiere evitar el uso de dosificaciones elevadas, como el 75 %, ya que generan efectos negativos en la cohesión y resistencia del concreto.

También se recomienda implementar procesos de selección, tamizado y homogenización del residuo ferroso antes de su incorporación a la mezcla, garantizando así un material uniforme y libre de impurezas que pueda interactuar adecuadamente con la matriz cementicia. Asimismo, es conveniente que futuras investigaciones incluyan ensayos complementarios de durabilidad como resistencia a sulfatos, cloruros, ciclos de humedad-sequedad y envejecimiento acelerado con el fin de evaluar el comportamiento de las bloquetas a largo plazo y en condiciones ambientales variadas.

Se sugiere, además, explorar dosificaciones intermedias con incrementos más pequeños, como 10 %, 15 % o 20 %, para identificar con mayor precisión el porcentaje óptimo de adición que maximice el desempeño estructural del material. De igual manera, sería valioso realizar estudios de análisis de costo-beneficio y evaluación del impacto ambiental, considerando el ciclo de vida del material, con el propósito de determinar la viabilidad económica y sostenible de su implementación a gran escala.

Además, el incremento de la densidad de las bloquetas debido a la adición de residuos metálicos permite que estas puedan utilizarse como materiales pesados en

aplicaciones de protección radiológica, lo cual representa un valor agregado relevante dentro del alcance de este estudio. Al incrementar la densidad y disminuir la porosidad, las bloquetas pueden ayudar a atenuar radiaciones ionizantes, ofreciendo un beneficio adicional en construcciones donde se requiere este tipo de protección, como hospitales, laboratorios o instalaciones industriales.

Finalmente, se recomienda que instituciones públicas y privadas del sector construcción impulsen la investigación y aplicación de residuos industriales en materiales cementicios, promoviendo la creación de normativas, guías técnicas y programas de capacitación que fomenten la reutilización responsable de residuos metálicos. Esto permitirá fortalecer la sostenibilidad del sector, reducir la contaminación ambiental y consolidar el uso de materiales alternativos innovadores en la región.

VIII. Referencias

ASTM C140. (2012). *Métodos de muestreo y de pruebas para unidades de albañilería de concreto y unidades relacionadas.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/649956790/ASTM-C140-12-Espanol

400.037, N. T. (2018). *Agregados para concreto.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/509925124/NTP-400-037-2018

Abanto, A. (2018). *Tecnología del concreto y sus aplicaciones en obras civiles*. Obtenido de Editorial Academica: https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto

Acero Garcia Juan Pablo . (2019). CARACTERIZACION DE POLVOS METALICOS. Madrid: Revista Iberoamericana de Materiales. Obtenido de https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/3dd8bbe7-5b02-41f2-a6d0-a6ffdde22c24/content

Aceros Arequipa. (2010). *Manual de construccion.* A.A. Obtenido de https://www.acerosarequipa.com/manuales/pdf/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra.pdf

ACI. (2003). ACI 211.3R-02 R09 Guide For Selecting Proportions For No-Slump Concrete - MyCivil - Ir.en - Español. ACI. Obtenido de https://es.scribd.com/document/377600980/ACI-211-3R-02-R09-Guide-for-Selecting-Proportions-for-No-Slump-Concrete-MyCivil-ir-en-espanol

ACI. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete.* American Concrete Institute. Obtenido de

https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U14&Language=English&Units=US_Units

Alejandrino, C., Mercante, I., & Bo. (2023). Desempeño ambiental de estrategias de circularidad en el diseño y fabricación de premoldeados de concreto. *Universidad Nacional de Cuyo*, 5(2), 112-125. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094758

Alvarado-Gutiérrez, Torres-Toapant, & Valle-Benítez . (2013). Prototipo de bloque con base en materiales reciclados para el desarrollo de la. Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8229637.pdf

Arrieta Freyre, J. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Universidad Nacional de Ingeniería.* Obtenido de https://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/E01A.pdf

ASTM C1314. (2022). ASTM C1314. *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*. Obtenido de https://store.astm.org/c1314-21.html

ASTM C150. (2022). Normas de cementos Portland y cementos hidráulicos combinados. Obtenido de https://www.google.com/search?q=ASTM+C150+++International.&sca_esv=be560ba42d255f4a&rlz=1C1GCEA_enPE1161PE1161&sxsrf=AE3TifMG3m24khYsMrtPf-rR6rl8t8RXVg%3A1763037811096&ei=c9IVafjRBYXd1sQP4qqbqQ8&ved=0ahUKEwi419LTk--QAxWFrpUCHWLVJvUQ4dUDCBE&uact=5&oq=ASTM+

ASTM D2487-17. (2020). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM. Obtenido de https://store.astm.org/d2487-17.html

ASTM E519. (2022). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. Obtenido de https://store.astm.org/e0519-07.html

Ayarquispe Vivas, R. (2024). Resistencia mecánica de muros de albañilería con bloques de concreto con limallas de acero, Juliaca, Puno, 2022. Puno. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17013

Baquero Guerrero, J. D. (2022). Diseño de un prototipo de bloque con mezcla de cemento y poliestireno tipo LEGO para mampostería no estructural, guiado a la elaboración de una caseta de vigilancia para el Centro Cultural de La Mesa, Cundinamarca. *Universidad Piloto de Colombia*. Obtenido de https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9383

Blondet. (2005). *Manual de albañilería confinada.* Editorial Construcción. Obtenido de https://es.scribd.com/doc/39673050/Manual-De-Construccion-De-Albanileria-Confinada

Bloqueras. (2023). *Bloques de concreto | Todo sobre los bloques de hormigón.* Obtenido de Bloqueras org: https://bloqueras.org/bloques-concreto/?utm_source

C140, A. (2011). *American Society for Testing and Materials Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/649956790/ASTM-C140-12-Espanol

Caice, V. . (2016). Evaluación del desempeño térmico de ladrillos ecoamigables con incorporación de residuos de mullita. *Revista Latinoamericana de Materiales de Construcción*, 24(1), 45–53. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/852/85269429002/85269429002.pdf

Callister, W. D. (2020). *Materials science and engineering: An introduction (10.ª ed.).* Wiley. Obtenido de https://n9.cl/p600p

Carlos, A. (2024). *Aplicaciones del acero: el material esencial en la industria moderna.* Unsplash. Obtenido de https://ferrosplanes.com/aplicaciones-acero-esencial-industrial/

Casal, J., & Mateu, J. . (2003). Metodología para la selección de muestras en investigación aplicada. Editorial Universitaria. Obtenido de https://es.scribd.com/document/431228369/Tipos-de-muestreo

Chavarría, L. (2022). *Materiales metálicos no ferrosos: Clasificación y aplicaciones.* Editorial Académica Española. Obtenido de https://www.docsity.com/es/materiales-metalicos-no-ferrosos/8431914

Choez Abata, C. R. (2023). Diseño de bloques de mampostería con adición porcentual de aserrín para mejorar sus características mecánicas. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5249

Churata Halanocca, B. D. (2024). *Influencia de las fibras de acero reciclado en las propiedades mecánicas del concreto en pavimentos (Tesis de pregrado).* Obtenido de Universidad Continental, Arequipa, Perú : https://repositorio.continental.edu.pe/item/de9c5bd0-5c15-4cbf-acaf-3648c3256f1b

Churata, D. (2024). Influencia de las fibras de acero reciclado en las propiedades mecánicas del concreto en pavimentos rígidos-Arequipa. *UC*, 24(1), 45–53. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16619

Decreto Supremo N° 014-2021-VIVIENDA, D. S. (2021). *Sostenible, Código Técnico de Construcción.* Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2039925/DS%20014-2021-VIVIENDA.pdf.pdf?v=1632406402

Eddisson Francisco Hernández , Jennifer Manzanarez. (2022). *Resistencia a la compresión del concreto: Una revisión - Caso Nicaragua.* Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Universidad Americana. Nicaragua. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10138099.pdf

Escamirosa Montalvo, B. (2022). *Uso refrendado no adherido de ensayos de resistencia a la compresion de cilindros de hormigon.* Eafit. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/215/21513509.pdf

Farfán, Pinedo, Araujo. (2019). FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO STEEL FIBERS IN THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF THE CONCRETE. *Depósito Legal pp*, 35(2), 87–98. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334596165_FIBRAS_DE_ACERO_EN_LA_RESISTENCIA_A_LA_COMPRESION_DEL_CONCRETO_STEEL_FIBERS_IN_THE_RESISTANCE_TO_COMPRESSION_OF_THE_CONCRETE

Fernández Baqueiro, L. et al. . (2009). *Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto.* Yucatán. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/467/46713053005.pdf

Gallegos, M., & Casabonne, M. (2005). Manual de diseño de albañilería confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://repositorio.pucp.edu.pe/items/74f3d378-146f-4dbc-8d43-0ff44647a91e

García Zegarra, F. &. (2020). Diseño de concreto usando escoria de acero para el blindaje de las construcciones de ambientes hospitalarios que requieran la atenuación de rayos X en Lima. Lima. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653613

Gonzalez Rhenals, J. C. (2024). Diseño de un proceso de fabricación de bloques de construcción compuestos, utilizando plásticos reciclados como materia prima. Universidad Industrial de

Santander. Obtenido de https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/9e5d4af0-57ac-48a0-9d7f-350b98a312c3/content

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & B. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). (McGraw-Hill., Ed.) Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

ICH. (2019). *Guía de diseño y construcción con bloques de concreto.* ICH Ediciones. Obtenido de https://ich.cl/

INACAL, NTP 334 082. (2017). *Cemento Portland puzolánico – Especificaciones -Instituto Nacional de Calidad (INACAL).*

INDECOPI. (2013). COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y COMERCIALES. PERU. Obtenido de https://www.gob.pe/indecopi

INEN. (2010). Chatarra ferrosa para fundición - Clasificación y requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de https://es.scribd.com/document/532711678/INEN-2505-Chatarra

Macedo, Quiza. (2025). "Influencia de las fibras de acero reciclado de neumaticos en las propiedades del concreto encauchados en la ciudad de Juliaca. *(24(1), 45–53)*. UC. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17626/3/IV_FIN_105_TE_Macedo_Quiza_2025.pdf

Mariano, M. (2015). Manual de diseño y construcción con albañilería. *Propiedades Mecánicas del Acero*. Editorial Construcción. Obtenido de https://es.slideshare.net/slideshow/propiedades-mecnicas-del-acero/67516325

Martínez, E., & López, R. (2020). DESEMPEÑO DE LAS PROPIEDADES FISICAS –. *(32(1), 78-93.)*. USS. Obtenido de http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9009/Mart%C3%ADnez%20Lara%20Edwin%20Joseph.pdf?sequence=1

Martínez-Molina, W. (2015). *Concreto reciclado: una revisión.* meX. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352015000300235&script=sci_abstract

Marwah Jaafar, K., Wisam Abdulilah, A., Qusay A., J., Layth Abdul Rasool, A. A., & Jaber KadhimA, l. (2021). *Algunas propiedades mecánicas del hormigón modificado con polímeros mediante la adición de limaduras y astillas de hierro residual. Materiales clave de ingeniería*. (Mindat, Ed.) doi:doi:10.4028/www.scientific.net/kem.895.110

Menzel, C. A. (1934). *Studies of concrete masonry units.* Portland Cement Association. Obtenido de https://www.escsi.org/document-archives/tests-of-the-fire-resistance-and-strength-of-walls-of-concrete-masonry-units/

MVCS. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones.* Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne

Natalia Fuentes Molina, Katerin Jiménez Mendoza, R. (2021). APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RESIDUOS POLIMÉRICOS COMO AGREGADOS DEL CONCRETO: UNA REVISIÓN. *Ingeniería para el Desarrollo Sostenible*, 14(1), 67-79. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/339/33968022002/html/

Norma E.070 Albañileria, P. (2019). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* . Obtenido de https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf

Norma Técnica Peruana E070. (2006). Albañilería. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). INACAL. Obtenido de https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf

NTP 339.088, N. T. (2019). *INACAL (Agua).* Obtenido de https://es.scribd.com/document/445076889/NTP-339-088-aguas

NTP 399 621. (2004). *Albañileria ,Compresion en Muretes.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/525659148/NTP-399-621-2004-Albanileria-Compresion-en-muretes

NTP 399.601. (2006). Norma Técnica Peruana 399.601. (PERU, Ed.) Obtenido de https://es.scribd.com/document/358389512/NTP-399-601

NTP 399.604. (2002). Norma Tecnica Peruana NTP 399.604. PERU. Obtenido de https://es.scribd.com/document/351903031/Norma-Tecnica-Peruana-Ntp-399-604-2002

NTP 399.605. (2013). Compression in Masonry Prisms. PERU. Obtenido de https://es.scribd.com/document/545404360/NTP-399-605-2013-COMPRENSION-EN-PRISMAS-DE-ALBANILERIA-1

NTP 399.613. (2017). Norma Técnica Peruana 399.613. PERU. Obtenido de https://es.scribd.com/document/526047833/NTP-399-613-2017

NTP 400.012. (2001). Norma Tecnica Peruana Agregados 400.012. PERU. Obtenido de https://es.slideshare.net/slideshow/norma-tecnica-peruana-agregadoa-400012/32898000

NTP 400.017. (s.f.). Norma Técnica NTP 400.017 AGREGADOS. PERU. Obtenido de https://es.scribd.com/document/377662745/NORMA-TECNICA-NTP-400-017-docx

NTP 400.022. (2001). NTP 400.022 Norma Técnica PERUANA - Método Ensayo Agregado Fino. (PERU, Ed.) Obtenido de https://es.scribd.com/document/295617526/NTP-400-022-PESO-ESPECIFICO-Y-ABSORCION-FINO-pdf

NTP 400.037, A. (2014). Obtenido de https://es.scribd.com/document/509925124/NTP-400-037-2018

NTP, I. (2018). Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Obtenido de https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf

Parizaca, J. P. (2024). Bloqueta de concreto con incorporación de fibra de acero de neumático reciclado en Juliaca, Puno. *(4(1), 12–23)*. Revista Científica Ciencias Ingenieriles. Obtenido de https://revistas.unh.edu.pe/index.php/ricci/article/view/378

Pérez, F. (2019). Utilización de residuos siderúrgicos para diseño y dosificación. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(3), 233–241. Obtenido de https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/19080/TD_PEREZ_GARCIA_Francisca.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Ramos Huaman, A., & Torres Castillo, Y. (2024). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA*. Obtenido de “Adición de escoria de acero para aumentar la resistencia a la compresión del diseño de mezcla de concreto f’c = 210 kg/cm² para construcción de viviendas en el distrito de Lircay – Angaraes – Huancavelica”: https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c7145129-131b-4653-9e12-28e859531b01/content

Ricardo Matallana. (2015). *EL CONCRETO FUNDAMENTOS Y NUEVAS TECNOLOGIAS.* Corona. Obtenido de https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf

Romero Olortegui, Edwin Hernan. (2023). *Evaluación de la gestión de los residuos sólidos de la construcción del instituto superior para la conservación del medio ambiente, Cangallo - Ayacucho.* Repositorio Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12912

San Bartolomé, A. (1994). *Albañilería: diseño y construcción.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de https://repositorio.pucp.edu.pe/items/82fbd5f5-5180-43ab-9d27-37f40de2787c

ScienceDirect. (2023). Utilización de escoria de acero proveniente de residuos industriales para concreto de blindaje contra radiación ionizante: una revisión sistemática. . *Construction and Building Materials,Vol 382*.

Seclén Taboada, C. A. (2021). *Influencia de la viruta de acero en la resistencia a la compresión y tracción del concreto f'c=210 kg/cm2.* Obtenido de Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán: https://repositorio.continental.edu.pe/item/de9c5bd0-5c15-4cbf-acaf-3648c3256f1b

Velásquez Viva, L. M. (2021). Bloques de concreto sustentables a partir de la utilización de material de reciclaje (PET). Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/314984df-3ee2-471a-982c-f55608150341/content

Verdezoto et. al. (2023). *Materiales metálicos: Revisión del estado del arte.* Alfa. Obtenido de https://alfapublicaciones.com/index.php/alfapublicaciones/article/view/401

Werkina Shewalul, Y. (Junio de 2021). *Estudio experimental del efecto de la chatarra de acero usada como material de refuerzo sobre las propiedades mecánicas del hormigón.* ScienceDirect. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952100005X?utm_source=

Xavier martinez, Marianella Hernandez. (2020). *Materiales compuestos.* Asoc Española. Obtenido de https://es.scribd.com/document/491552931/MATERIALES-COMPUESTOS-pdf

Zacaria Vital, A. D., & Sánchez Tizapa, S. (2021). factor influyente en la resistencia a compresión diagonal de la mampostería. *Una revisión. Cuaderno Activa*, 13(1), 61–72. Obtenido de https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf

Zanabria Cayhuacas, H. &. (2024). Diseño de bloques de concreto para uso estructural que cumplan las características mecánicas en productores artesanales de la provincia de Arequipa, 2023. Arequipa. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17013

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes