



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE MATERIALES Y MÉTODOS DE CONFECCIÓN EN
LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DE MEZCLAS
CEMENTICIAS DE MORTERO**

POR

Javier Ignacio Jiménez Thambo

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil

Profesor Guía
Luis Merino

Agosto 2025
Concepción (Chile)

© 2025 Javier Ignacio Jiménez Thambo

© 2025 Javier Ignacio Jiménez Thambo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

RESUMEN

La confección de morteros cementicios presenta variaciones en sus propiedades en estado fresco, especialmente en los resultados del ensayo de asentamiento con el método del cono reducido. Estas discrepancias han sido asociadas a factores como el tipo de árido, el método de confección y la relación agua/cemento. Esta memoria busca evaluar el impacto de dichas variables sobre las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido, mediante un análisis de sensibilidad estructurado en tres diseños experimentales.

Los ensayos fueron realizados utilizando distintos tipos de arena (fina, media y gruesa), dos métodos de confección (según normativa vigente y procedimiento interno de laboratorio) y relaciones agua/cemento entre 0,50 y 0,80. Se evaluó la consistencia a través del *Flow Table* (método del extendido en la mesa de sacudidas) y del método del asentamiento del cono reducido, y la resistencia a compresión y flexión a distintas edades (7, 14, 21 y 28 días).

Los resultados muestran que la granulometría del árido fino tiene un fuerte impacto en las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido. Las mezclas evaluadas presentaron consistencias que, según la clasificación del INN (2013), abarcaron desde morteros secos (extendido < 180 mm o asentamiento < 10 mm), pasando por plásticos (180–220 mm o 10–30 mm), hasta fluidos (extendido > 220 mm o asentamiento > 30 mm), dependiendo de la relación agua/cemento y del tipo de arena. En cuanto a la resistencia a compresión a 28 días, los valores obtenidos se ubicaron entre 18 MPa y 40 MPa, mostrando una disminución progresiva al aumentar la relación agua/cemento

Tal como se esperaba, estos resultados indican que mientras más se desvíe la granulometría de la arena media, la resistencia bajará más y la consistencia baja con arena fina y aumenta con la arena gruesa si se compara con las obtenidas con la arena media. La relación agua/cemento de la mezcla de la mezcla tiene un impacto sobre la resistencia mecánica a la compresión, el cual es modelable con una ecuación física-matemática del modelo ($R^2 > 0,95$), que permite predecir la resistencia en función del A/C con excelentes indicadores estadísticos.

Si bien la comparación entre el método de confección normativo (NCh158) y el procedimiento interno de laboratorio no mostró diferencias significativas en la consistencia medida con cono reducido ni en la resistencia a compresión a 7 y 28 días, los resultados permiten concluir que un control adecuado de la granulometría del árido es clave para obtener mezclas con comportamiento reproducible y

desempeño optimizado Las mejores combinaciones alcanzaron resistencias que, de acuerdo con la clasificación establecida en la NCh2257/1 (INN, 2013), corresponden a los grados Ma 15,0 y Ma 20,0, adecuados para aplicaciones de albañilería y morteros de uso estructural en obra.

Trabajos futuros que continúen esta investigación podrían abordar la influencia de la dosificación en las propiedades en estado fresco y endurecido, ya que en el presente trabajo sólo se usó una proporción de un mortero de prueba sugerido por la norma (NCh158) de una parte de cemento por cada tres partes de arena. En este caso, manteniendo la granulometría de la arena en media y utilizando distintas relaciones agua/cemento y aditivos específicos para evaluar durabilidad de los morteros

.

ABSTRACT

The production of cementitious mortars often shows variations in their fresh-state properties, especially in the slump test with the reduced cone method. These discrepancies have been associated with factors such as aggregate type, mixing method, and water-to-cement (w/c) ratio. This thesis aims to evaluate the influence of these variables on the fresh and hardened properties of mortar through a sensitivity analysis structured in three experimental designs.

The tests involved different sand types (fine, medium, and coarse), two mixing methods (normative procedure, NCh158, and an internal laboratory procedure), and w/c ratios ranging from 0.50 to 0.80. Workability was evaluated using the Flow Table (spread method on the shaking table) and the reduced slump cone, while flexural and compressive strengths were measured at 7, 14, 21, and 28 days.

The results show that fine aggregate gradation had the strongest impact on mortar properties, both fresh and hardened. The tested mixtures exhibited consistencies that, according to INN (2013) classification, ranged from dry (spread < 180 mm or slump < 10 mm), through plastic (180–220 mm or 10–30 mm), to fluid (spread > 220 mm or slump > 30 mm), depending on the w/c ratio and sand type. At 28 days, compressive strength values ranged between 18 MPa and 40 MPa, decreasing progressively with increasing w/c. As expected, the further the granulometry deviated from medium sand, the greater the reduction in strength; consistency decreased with fine sand and increased with coarse sand. The w/c ratio also showed a direct effect on compressive strength, which can be represented by a physical–mathematical potential model (Abrams' law) with coefficients of determination above $R^2 > 0.95$, allowing reliable prediction of strength as a function of w/c.

Although the comparison between the normative mixing method (NCh158) and the internal laboratory procedure showed no significant differences in slump values or compressive strength at 7 and 28 days, the results confirm that adequate control of aggregate gradation is essential to obtain reproducible and optimized mortar performance. The best-performing combinations reached strengths corresponding to Ma 15.0 and Ma 20.0 grades according to NCh2257/1 (INN, 2013), suitable for masonry applications and mortars for structural use.

Future studies could address the influence of mix proportioning on fresh and hardened properties, since in this work only one reference proportion (cement:sand = 1:3, suggested by NCh158) was used. Keeping medium sand granulometry, future designs could explore different w/c ratios and specific admixtures to evaluate mortar durability.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo cariño a mi abuelo Jorge Enrique Thambo Becker, quien fue la persona más importante en mi vida y me entregó las herramientas para recorrer este camino; a mi mamá Mónica Thambo Sommer, que siempre estuvo a mi lado incluso en los momentos más oscuros y ha sido un pilar fundamental para mí; a mi hermano André Jorge Fernando, por su paciencia y palabras cuando más las necesitaba; y a mis amigos de la universidad, en especial a Vicente Valdés, por su compañía desde el primer año y su apoyo incondicional durante todos estos años.

Muchas gracias

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Laboratorio de Hormigones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, especialmente al laboratorista Sr. Carlos Bustos, por su constante apoyo, colaboración y disposición durante el desarrollo experimental.

Asimismo, al Dr. Luis Merino, profesor guía y jefe del laboratorio, por su confianza, gestión y acompañamiento a lo largo de este proceso, y muy especialmente por su empatía, comprensión y paciencia en cada etapa. Nada de esto habría sido posible sin su respaldo y compromiso constante.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivo general	1
1.3 Objetivos específicos.....	1
1.4 Metodología de trabajo.....	2
1.5 Principales resultados y conclusiones	2
1.6 Organización de documento.....	3
2. INFLUENCIA DEL ÁRIDO FINO EN CONFECCIÓN DE MORTEROS Y REQUISITOS NORMATIVOS	4
2.1 Introducción	4
2.2 Composición del mortero	4
2.2.1 Árido fino	5
2.2.2 Cemento	7
2.3 Influencia de la granulometría del árido fino y materiales cementantes suplementarios.....	7
2.4 Conclusión.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Introducción	15
3.2 Estrategia de experimentación.....	15
3.3 Materiales a emplear	19
3.3.1 Cemento	19
3.3.2 Áridos	20
3.4 Confección de mortero	21
3.4.1 Ensayos de morteros en estado fresco.....	23
3.4.2 Ensayos de morteros en estado endurecido.....	23

3.5	Conclusión.....	24
4.	RESULTADOS.....	26
4.1	Introducción	26
4.2	Granulometría del árido fino	26
4.3	Morteros	29
4.4	Ensayo de consistencia: <i>Flow Table</i>	30
4.5	Ensayo de consistencia: Método del asentamiento del cono.....	32
4.6	Ensayo de la consistencia en el tiempo	34
4.7	Ensayo de compresión.....	35
4.8	Factibilidad de aplicación.....	39
4.9	Conclusión.....	40
5.	CONCLUSIONES	43
	REFERENCIAS	46
	ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	48
	ANEXO 3.1 DOSIFICACIÓN.....	49
	ANEXO 4.1 GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO	52
	ANEXO 4.2 RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN	54
	ANEXO 4.3 EVALUACIÓN DE PÉRDIDA DE CONSISTENCIA EN EL TIEMPO PARA ARENA FINA.....	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Grados de morteros para albañilería según resistencia especificada.....	5
Tabla 2.2 Grado de morteros para revestimiento según resistencia especificada	5
Tabla 2.3 Clasificación de morteros por consistencia.....	5
Tabla 2.4 Requisitos físicos para el árido fino	6
Tabla 3.1 Tipos de Árido Fino	20
Tabla 4.1 Aplicaciones según (INN, 2013).....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 La influencia de la arena A y la arena B en los CS del hormigón	8
Figura 2.2 Mediciones de fluidez de mezclas de hormigón de ultra alto rendimiento.....	9
Figura 2.3 Distribución del tamaño de partícula analizada mediante difracción láser.....	10
Figura 2.4 Comparación entre la superficie prensada y la distribución de silicio medida por LIBS en mezclas cemento/arena (50/50%) de los conjuntos de muestra S1 (arena gruesa) y S4 (arena fina).	11
Figura 2.5 variación en la trabajabilidad del hormigón con 10%, 30% y 50% de HDPE junto con 20% de sílice y MSF en el rango de 0,25%-1%.....	13
esquema evaluación para Influencia del método de confección.....	16
impacto del tipo de árido	17
Figura 3.1	19
Figura 3.2 esquema evaluación del	
Figura 3.4 Cemento utilizado para la confección de probetas	20
Figura 3.3 esquema evaluación sobre la influencia de la relación agua/cemento	
Figura 3.5 Arena utilizada para la confección de probetas de mortero	21
Figura 3.6 Flow Table del Laboratorio de Hormigones.....	23
Figura 3.7 Ensayo de cono reducido para morteros	23
Figura 3.8 Maquina de ensayo a flexión para morteros	24
Figura 3.9 Maquina de ensayo a compresión para morteros.....	24
Figura 4.1 Banda granulométrica para árido fino	27
Figura 4.2 Banda granulométrica para árido medio.....	28
Figura 4.3 Banda granulométrica para árido grueso	29
Figura 4.4 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento usando arena media medido con método mesa de sacudidas	30
Figura 4.5 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento utilizando cada tipo de arena	31
Figura 4.6 Consistencia medida a través del asentamiento del cono para cada método de confección con distintas relaciones Agua/ Cemento	32
Figura 4.7 Consistencia medida a través del asentamiento del cono para cada tipo de arena utilizando 2 relaciones Agua/Cemento.....	33
Figura 4.8 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento usando arena media medido con método asentamiento del cono	34
Figura 4.9 Consistencia medida a través del escurrimiento de la mezcla en un tiempo de 30 min ...	35
Figura 4.10 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para cada método de confección con 5 relaciones Agua/Cemento distintas	36

Figura 4.11 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para cada tipo de arena seleccionada con 2 relación Agua / Cemento distintas.....	37
Figura 4.12 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para una arena media tipo para el primer día de ensayo.....	38
Figura 4.13 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para una arena media tipo para el segundo día de ensayo	39

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En el laboratorio, el proceso de confección de morteros ha evidenciado variaciones en los resultados obtenidos mediante el ensayo de asentamiento con el cono reducido, lo que impide alcanzar la precisión deseada en las propiedades del material en estado fresco. Estas discrepancias pueden atribuirse a múltiples factores, tales como el tipo de cemento utilizado, la distribución granulométrica de la arena y los métodos de confección empleados.

Con el fin de optimizar el procedimiento y mejorar la reproducibilidad de los resultados, este estudio se enfocará en la realización de un análisis de sensibilidad de las variables que influyen en la confección de los morteros. A través de esta investigación, se espera generar un protocolo más preciso y estandarizado, permitiendo así una mejor caracterización y desempeño de las mezclas cementicias en estado fresco y endurecido. Este enfoque no solo busca mejorar el control técnico del material, sino que también se alinea con principios de sostenibilidad y eficiencia en el uso de recursos, aportando a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La vinculación específica de esta memoria con dichos objetivos se presenta en el ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

1.2 Objetivo general

Evaluar el impacto de los materiales y métodos de confección en las propiedades en estado fresco y endurecido de mezclas cementicias de mortero.

1.3 Objetivos específicos

- Comparar los distintos métodos de confección de morteros y analizar sus implicancias en las propiedades del material.

- Evaluar la influencia de la granulometría de la arena en la consistencia y resistencia a la compresión de los morteros.
- Determinar, bajo condiciones específicas, la consistencia y resistencia a la compresión de los especímenes con el fin de optimizar futuras confecciones.

1.4 Metodología de trabajo

En primera instancia, se contempló el desarrollo de un trabajo experimental orientado al análisis de las principales variables que inciden en el proceso de confección de morteros. Para ello, se diseñaron y ejecutaron tres etapas experimentales, cada una centrada en evaluar una variable específica: el método de confección, la granulometría de la arena y la relación agua/cemento. Estas etapas permitieron identificar el grado de sensibilidad que presentan estas variables sobre las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido. En todos los casos, se establecieron los parámetros y condiciones bajo los cuales se llevaron a cabo los ensayos de caracterización, considerando los estándares normativos correspondientes. Esta metodología permitió comparar de forma sistemática los efectos generados por cada variable sobre la consistencia y el desempeño mecánico del mortero, aportando así información clave para la optimización del proceso de fabricación.

1.5 Principales resultados y conclusiones

A partir del desarrollo de los tres diseños experimentales ejecutados, se pueden establecer las siguientes conclusiones integradas, considerando tanto las propiedades en estado fresco como las propiedades mecánicas del mortero y concreto:

- **Influencia del método de confección:** Si bien el método especificado por la norma Nch 158 Cemento - Ensayo de compresión (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2019) mostró una ligera mejora en la consistencia del hormigón fresco, así como una mayor resistencia en mezclas más secas, estas diferencias fueron poco significativas en términos prácticos. En general, los resultados obtenidos permiten concluir que las diferencias entre el método de laboratorio y el método normativo son estadísticamente insignificantes, por lo que ambos métodos pueden considerarse equivalentes en contextos operativos habituales.,

- **Relación agua-cemento como variable crítica:** Se evidenció que la relación agua/cemento es un factor determinante tanto en la consistencia como en la resistencia del material. A medida que la relación A/C aumentó, también lo hizo la fluidez de las mezclas, aunque esto podría conllevar una pérdida de resistencia mecánica si se supera un umbral óptimo.
- **Impacto del tipo de árido:** El tipo de arena (fina, media o gruesa) tuvo un efecto significativo en el comportamiento del mortero. Las arenas gruesas tendieron a proporcionar mayor fluidez, mientras que las arenas medias ofrecieron un equilibrio entre consistencia y resistencia. Las propiedades físicas del árido, como el módulo de finura y la absorción de agua, fueron determinantes en este comportamiento.

1.6 Organización de documento

En este trabajo se contemplan cinco capítulos. El Capítulo 2 aborda los fundamentos teóricos y requisitos normativos asociados al comportamiento de las mezclas cementicias, haciendo énfasis en la influencia de las variables de materiales y procesos de confección en sus propiedades en estado fresco y endurecido. El Capítulo 3 describe el plan de trabajo experimental desarrollado, incluyendo los materiales utilizados, las metodologías aplicadas en laboratorio y el detalle de los tres diseños experimentales que sustentan este estudio. En el Capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos en los distintos ensayos y se realiza un análisis comparativo de las variables estudiadas, evaluando su impacto en el comportamiento del material. Finalmente, el Capítulo 5 expone las conclusiones generales de la investigación, así como recomendaciones y proyecciones para futuras líneas de trabajo.

2. INFLUENCIA DEL ÁRIDO FINO EN CONFECCIÓN DE MORTEROS Y REQUISITOS NORMATIVOS

2.1 Introducción

Las mezclas cementicias, como los morteros y hormigones, constituyen materiales esenciales en el desarrollo de obras civiles, gracias a su versatilidad, resistencia y capacidad de adaptación a diversas condiciones constructivas. Sin embargo, el comportamiento de estas mezclas depende de múltiples factores, entre los cuales destacan la relación agua/cemento, las propiedades físicas de los áridos y el método de confección utilizado. Estos aspectos influyen directamente en las propiedades del material tanto en estado fresco como la consistencia, como en estado endurecido particularmente en la resistencia a compresión, determinando su desempeño estructural, durabilidad y capacidad de servicio.

El análisis de sensibilidad respecto a las variables de materiales y de confección resulta fundamental para optimizar el diseño de mezclas, mejorar su desempeño y asegurar su calidad en obra. En este contexto, la presente investigación se orienta a estudiar el efecto de estas variables sobre las propiedades del mortero, aplicando criterios normativos y ensayos técnicos que permiten establecer comparaciones objetivas. Este capítulo entrega el marco teórico y normativo necesario para comprender la influencia de cada factor en el comportamiento integral del material.

2.2 Composición del mortero

Según lo establecido en la NCh2257/1 (INN, 1996a) el mortero es una mezcla constituida por cemento, arena y en algunos casos otros materiales conglomerantes que con adición de agua adquiere resistencia. Según su uso, se consideran: Mortero para albañilería o para revestimiento. Los que se clasifican según su grado de resistencia a la compresión y por tipos de consistencia, determinada por las probetas ensayadas según NCh158 (INN, 2019) y los ensayos de consistencia según NCh2257/3 (INN, 1996b) y NCh2257/1 (INN, 1996a).

En la Tabla 2.1 se presenta la clasificación de los morteros para albañilería en función de la resistencia especificada, con grados que van desde Ma 1,0 hasta Ma 20,0. Por su parte, la Tabla 2.2 muestra la

clasificación correspondiente a los morteros para revestimiento, que se agrupan en los grados Mr-A a Mr-D según rangos de resistencia. Finalmente, la Tabla 2.3 proporciona los criterios para clasificar la consistencia del mortero fresco según el valor de escurrimiento (extendido en mm) y el asentamiento medido con cono reducido. Se consideran tres categorías: seca, plástica y fluida, que son claves para determinar la consistencia adecuada según el uso previsto del mortero.

Tabla 2.1 Grados de morteros para albañilería según resistencia especificada

Grado del mortero	Resistencia especificada MPa
M _a 1,0	1,0
M _a 2,5	2,5
M _a 5,0	5,0
M _a 10,0	10,0
M _a 15,0	15,0
M _a 20,0	20,0
M _a d	d

Fuente: INN (2013)

Tabla 2.2 Grado de morteros para revestimiento según resistencia especificada

Grado del mortero	Resistencia especificada MPa
M _r - A	$0,5 < f_{mr} \leq 2,0$
M _r - B	$2,0 < f_{mr} \leq 4,0$
M _r - C	$4,0 < f_{mr} \leq 6,0$
M _r - D	$f_{mr} > 6,0$

Fuente: INN (2013)

Tabla 2.3 Clasificación de morteros por consistencia

Tipos	Extendido mm	Cono reducido mm
Seca	< 180	< 10
Plástica	180 - 220	10 - 30
Fluida	>220	>30

Fuente: INN.(2013)

2.2.1 Árido fino

El árido fino es definido por la norma NCh163 (INN, 2024) como un material granular empleado en la construcción, el cual puede ser de origen natural, procesado, reciclado o artificial. Se caracteriza

por su tamaño de partícula, que debe pasar por el tamiz de 4,75 mm y ser retenido en el tamiz de 0,075 mm.

Además de cumplir con esta clasificación granulométrica, el árido fino debe satisfacer ciertos requisitos físicos establecidos por la normativa, tales como límites en el contenido de impurezas, partículas desmenuzables y forma. Estas exigencias buscan garantizar un comportamiento adecuado del mortero, asegurando tanto su consistencia en estado fresco como su desempeño mecánico una vez endurecido.

La Tabla 2.4 resume estos requisitos físicos normativos que deben cumplir los áridos finos y gruesos, indicando los valores límite aceptables y las normas de ensayo correspondientes, lo que permite garantizar la calidad y consistencia del material utilizado en la confección del mortero.

Tabla 2.4 Requisitos físicos para el árido fino

Requisitos (D)	Valores límites		Norma de ensayo
	Árido Grueso	Árido fino	
1. Material fino menor que 0.075mm		Ver Nota (A)	NCh1223
a) Áridos naturales, % máx.	1,0	5,0	
b) Áridos procesados, % máx	1,0	7,0	
2. Equivalente de arena, % mín	-	75	NCh1325
3. Absorción de agua (porosidad)			NCh1117
Áridos naturales y procesados, % máx.	2,0	3,0	NCh1239
4. Resistencia al desgaste			
Máquina de Los Ángeles, % máx.	35	-	NCh1369
5. Coeficiente de forma, % mín.	80	-	NCh3240
6. Partículas desmenuzables, % máx.	5,0	3,0	NCh1327
7. Resistencia a la desintegración por sulfatos (B)			NCh1328
a) Con sulfato de sodio, % máx.	10,0	10,0	
b) Con sulfato de magnesio, % máx.	15,0	15,0	
8. Índice de trituración (C)			Anexo C
a) Hormigón sometido a desgaste, % máx.	20,0	4,0	
	30,0	5,0	
b) Para todo otro hormigón, % máx.			
9. Partículas chancadas			Anexo B
a) Hormigón sometido a flexo tracción, % mín.	50	-	
	-	-	

b) Otros hormigones			
10. Partículas ligeras, (carbón, lignito, entre otros)			ASTM C123
a) Hormigón a la vista, % máx.	0,5	0,5	
b) Otros hormigones, % máx.	1,0	1,0	
11. Denominación granulométrica	Ver cláusula 5		NCh165

Fuente: INN (2024)

2.2.2 Cemento

De acuerdo con la NCh148 (INN, 2021), el cemento es un material finamente pulverizado que, al mezclarse con una cantidad adecuada de agua, forma una pasta con propiedades conglomerantes, capaz de fraguar y endurecer tanto en condiciones de aire como bajo el agua.

2.3 Influencia de la granulometría del árido fino y materiales cementantes suplementarios

La granulometría del árido fino es un factor determinante en el comportamiento del mortero, tanto en estado fresco como endurecido. Diversos estudios han evidenciado que la distribución de tamaños de partícula dentro del árido influye directamente en la densidad del empaquetamiento, en la demanda de agua y en la formación de vacíos dentro de la mezcla, lo cual impacta en su consistencia y en su resistencia a compresión.

Uno de los antecedentes más relevantes en esta línea es el estudio de (Tayeh *et al.*, 2022), donde se analiza la influencia de la granulometría de la arena sobre mezclas de hormigón de ultra alto desempeño. Los resultados mostraron que el uso de arenas más finas, con menor tamaño máximo de partícula, permite obtener matrices más densas y, por ende, mezclas con mayor resistencia mecánica. Esto se debe a una mejor distribución de partículas, que reduce los vacíos entre granos y mejora el empaquetamiento general del sistema.

No obstante, el estudio también evidencia que este efecto puede verse neutralizado al incorporar materiales cementantes suplementarios muy finos, como la microsílíce, ya que estos actúan como rellenos dentro de la matriz y compensan las deficiencias granulométricas de arenas más gruesas. Por tanto, en mezclas que no incluyen fillers adicionales, la granulometría del árido fino tiene un rol aún más crítico.

Además, se observa que una curva granulométrica continua, es decir, con una distribución progresiva de tamaños favorece una mezcla más compacta, con menor necesidad de agua, lo que a su vez se traduce en un mejor desempeño mecánico. Por el contrario, una granulometría discontinua o desequilibrada puede inducir fenómenos de segregación, baja cohesión y menor resistencia final.

Este comportamiento se ve reflejado de forma clara en los resultados obtenidos por Tayeh *et al.* (2022) al comparar dos tipos de arena: arena A, con una distribución granulométrica más gruesa, y arena B, de menor tamaño máximo de partícula. Según la Figura 2.1 del estudio, las mezclas elaboradas con arena B alcanzaron mayores resistencias a compresión a diferentes edades en comparación con las confeccionadas con arena A. Esto se atribuye a una mejor compactación y menor porosidad de la mezcla al emplear un árido más fino.

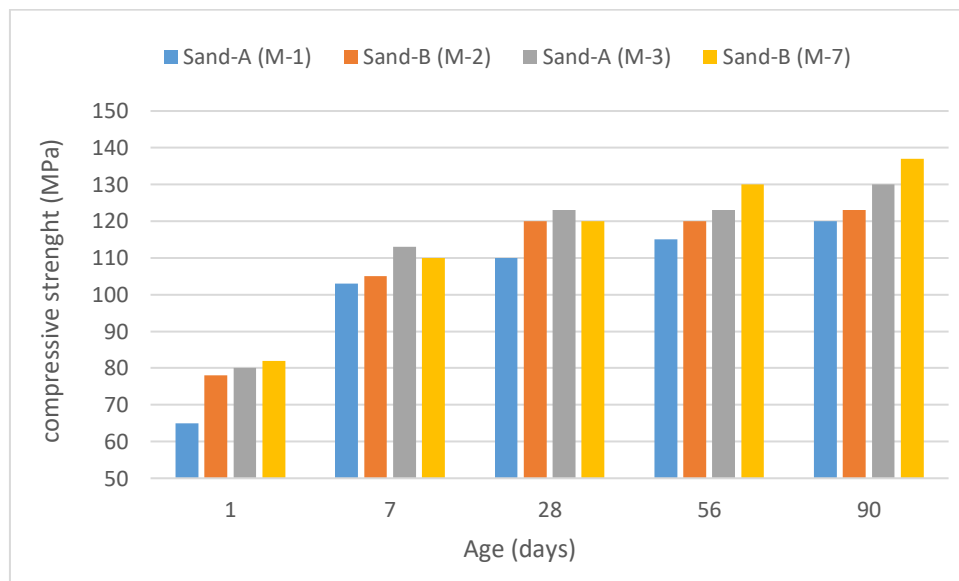


Figura 2.1 La influencia de la arena A y la arena B en los CS del hormigón.

Fuente:(Tayeh *et al.*, 2022)

En cuanto a la trabajabilidad, representada en la Figura 2.2, se muestran los resultados del ensayo de fluidez (*flow test*) realizado mediante la Flow Table. En este ensayo, se mide el diámetro inicial y final de expansión del mortero tras ser sometido a golpes controlados sobre una mesa de sacudidas, calculándose el porcentaje de expansión o “*flow (%)*” como un indicador de la trabajabilidad del material en estado fresco.

El gráfico compara diferentes mezclas experimentales, entre ellas M-1 y M-2. La mezcla M-1 corresponde a una dosificación elaborada con arena de granulometría natural (Sand-A), mientras que la mezcla M-2 utiliza una arena más fina (Sand-B). Como puede observarse, M-1 presenta un mayor valor de *flow* en comparación con M-2, lo que indica una mayor facilidad de deformación o escurrimiento. Esta diferencia se explica por la menor fricción interna y mayor movilidad que permiten las partículas más gruesas de la arena A. Por el contrario, las partículas más finas de la arena B incrementan la cohesión de la mezcla, reduciendo su capacidad de fluir libremente.

Este comportamiento evidencia que una granulometría más fina, aunque mejora la resistencia mecánica al favorecer una matriz más densa, tiende a disminuir la trabajabilidad del mortero. Por tanto, es fundamental considerar el tipo y tamaño del árido fino al momento de diseñar la dosificación, de modo que se logre un equilibrio adecuado entre fluidez y resistencia estructural.

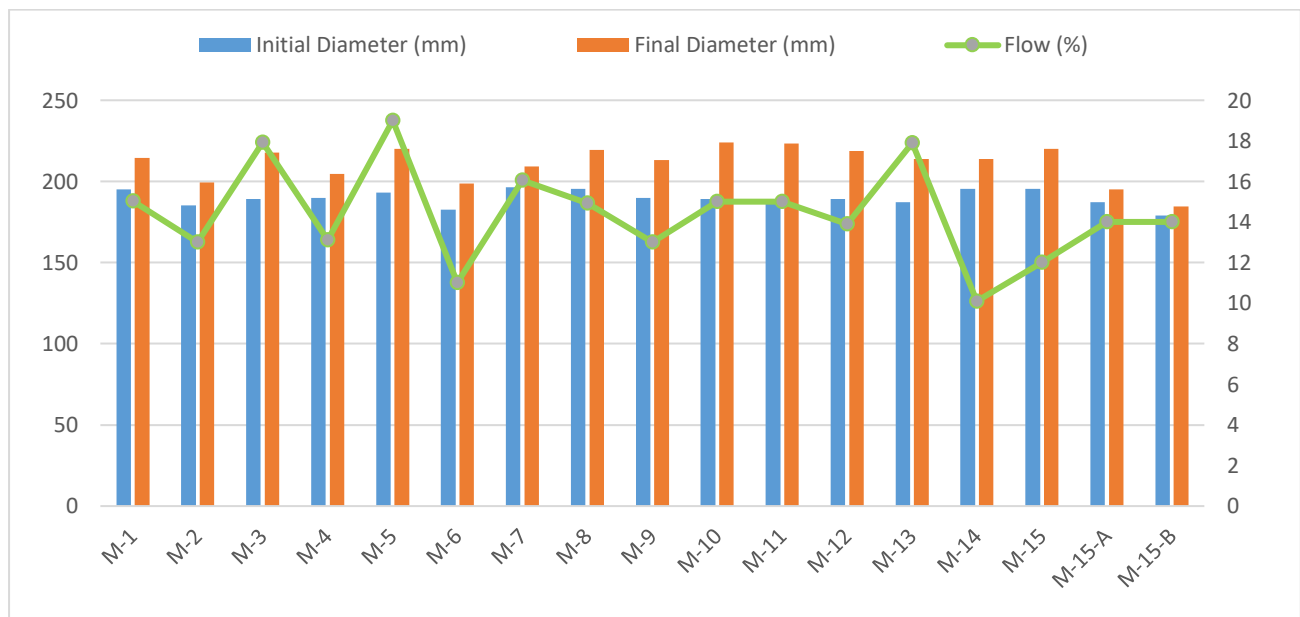


Figura 2.2 Mediciones de fluidez de mezclas de hormigón de ultra alto rendimiento.
fuente: (Tayeh *et al.*, 2022)

En el contexto de esta memoria, la caracterización del árido fino y la comprensión de cómo su distribución granulométrica afecta las propiedades del mortero resulta esencial para interpretar los resultados obtenidos en los ensayos de consistencia y resistencia, especialmente cuando se evalúan diferentes métodos de confección o proporciones de mezcla.

Esta línea de análisis es reforzada por el estudio de Gottlieb *et al.* (2018), que evaluó cómo la variación en los tamaños de grano dentro de una mezcla cementicia afecta su comportamiento físico y su respuesta en análisis espectroscópicos mediante la técnica LIBS. Se identificó que, al emplear áridos finos menores o del mismo tamaño que las partículas de cemento, se favorece un empaquetamiento más uniforme y se obtiene una respuesta más lineal y estable en la detección de elementos químicos como el cloro. Esto es beneficioso tanto para la compacidad del material como para su evaluación técnica. Por el contrario, en mezclas con áridos más gruesos, se genera mayor micro-heterogeneidad, lo cual reduce la precisión del análisis y provoca una respuesta no lineal debido a la absorción desigual de energía láser entre cemento y árido.

En la Figura 2.3 se presenta la distribución del tamaño de partícula analizada mediante difracción láser, herramienta que permite visualizar el rango y la proporción de los tamaños presentes en la mezcla. En este contexto, las muestras S1, S2, S3 y S4 corresponden a combinaciones de cemento y sílice con distinta granulometría de los áridos: S1 contiene sílice con granos más gruesos que el cemento; S2 con granos de tamaño similar; S3 con granos más finos; y S4 con una granulometría aún más reducida, cercana al tamaño de las partículas de cemento. Todas las mezclas fueron elaboradas utilizando cemento Portland CEM I 42.5 R, un cemento de alta resistencia inicial, Según lo expuesto por Gottlieb *et al.*, esta caracterización es fundamental para evaluar la microestructura del mortero, ya que distribuciones granulométricas más finas tienden a formar matrices más densas y homogéneas, lo cual se traduce en una mejor respuesta en los análisis LIBS y en propiedades físicas más estables.

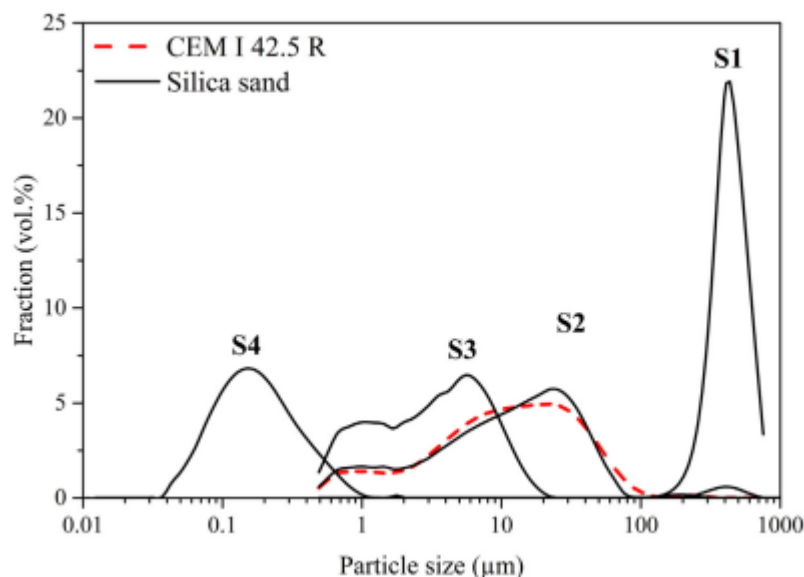


Figura 2.3 Distribución del tamaño de partícula analizada mediante difracción láser.

Fuente:(Gottlieb *et al.*, 2018)

Complementariamente, la Figura 2.4 muestra la comparación entre la superficie prensada y la distribución de silicio medida mediante LIBS en mezclas con proporción cemento/arena de 50/50 %. Se observa que las muestras con arena fina (S4) presentan una distribución de silicio más continua y uniforme, lo que indica un mejor empaquetamiento y homogeneidad. En contraste, las muestras con arena gruesa (S1) muestran una señal espectral más dispersa, reflejando una microestructura más heterogénea. Esta diferencia, como concluyen los autores, impacta negativamente en la precisión de la cuantificación elemental y en la evaluación técnica de las mezclas.

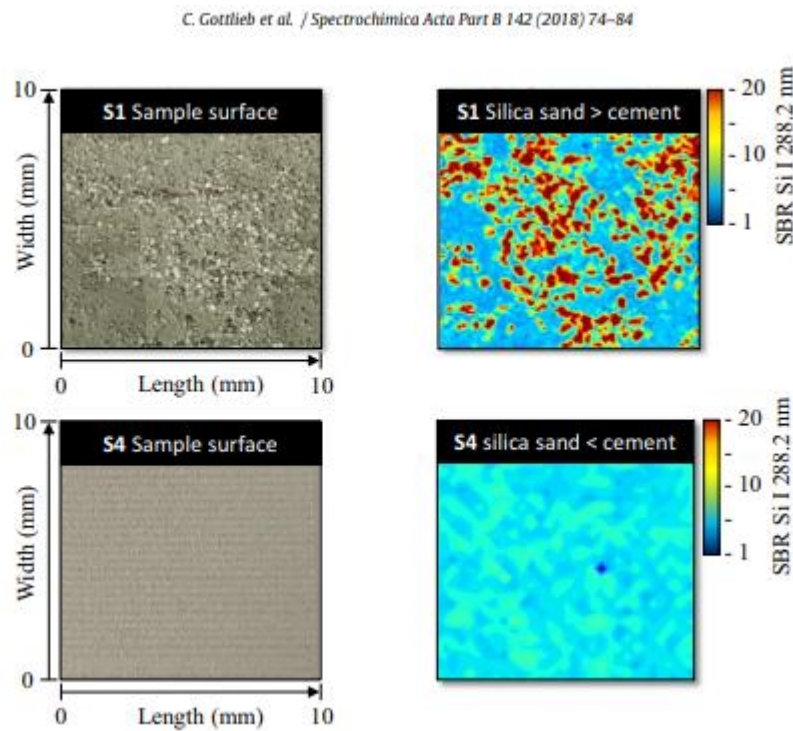


Figura 2.4 Comparación entre la superficie prensada y la distribución de silicio medida por LIBS en mezclas cemento/arena (50/50%) de los conjuntos de muestra S1 (arena gruesa) y S4 (arena fina).

fuelle:(Gottlieb *et al.*, 2018)

Además, los autores concluyen que la microestructura de la mezcla influida directamente por la granulometría del árido fino afecta la capacidad del mortero para resistir procesos de deterioro, como la penetración de cloruros, y condiciona la exactitud de cualquier evaluación cuantitativa de sus componentes. Por lo tanto, ambos estudios coinciden en que el control de la granulometría del árido fino no solo tiene efectos sobre las propiedades mecánicas del mortero, sino también sobre su durabilidad, homogeneidad estructural y capacidad de caracterización. Estas conclusiones respaldan

firmemente la relevancia de comparar arenas de distinta granulometría, como se realiza en el presente estudio.

Una línea complementaria de evidencia es presentada por Abbas y Qureshi (2025), quienes analizaron las propiedades de mezclas cementicias reforzadas con residuos plásticos (HDPE) combinadas con sílice fumada, fibras metálicas y fibras sintéticas. Aunque el foco del estudio fue la sustitución parcial de áridos gruesos por plásticos reciclados, sus conclusiones son extrapolables a mezclas con alta proporción de árido fino. Los autores demostraron que el uso de materiales de granulometría muy fina, como la sílice fumada, mejora significativamente la resistencia a compresión (hasta 85,7 %) y a tracción, debido a un mejor empaquetamiento de partículas y reducción de porosidad. Sin embargo, también observaron una reducción importante en la trabajabilidad al combinar varios métodos de refuerzo, lo que coincide con los hallazgos de Tayeh *et al.* (2022) respecto a la menor fluidez de mezclas con arena más fina.

La Figura 2.5 del estudio permite visualizar este comportamiento, mostrando el efecto combinado del porcentaje de HDPE y la dosis de fibras sintéticas (MSF, por sus siglas en inglés para *Macro Synthetic Fibers*) sobre la trabajabilidad del hormigón. En ella, se aprecia que el slump inicial aumenta con el porcentaje de HDPE, alcanzando su valor máximo en la mezcla con 50 % de HDPE sin refuerzo (Uncoated), debido a la menor absorción de agua de estos agregados. No obstante, a medida que se incrementa la cantidad de fibras MSF (de 0,25 % a 1 %), la trabajabilidad disminuye progresivamente en todos los niveles de HDPE. Todas las mezclas incorporan un 20 % de sílice fumada (SF, *silica fume*), un aditivo mineral ultrafino que mejora la densificación de la matriz cementicias. Además, las barras del gráfico están clasificadas según el porcentaje de reemplazo del agregado grueso por HDPE: C10 % (10 %), C30 % (30 %) y C50 % (50 %), lo que permite comparar el efecto acumulativo de cada variable. Esto refleja cómo la inclusión simultánea de sílice fumada y fibras, si bien aporta beneficios estructurales, también incrementa la fricción interna y reduce la fluidez de la mezcla. Esta figura sirve como un apoyo visual para comprender el delicado equilibrio entre los diferentes componentes de refuerzo y su impacto en el comportamiento del hormigón fresco.

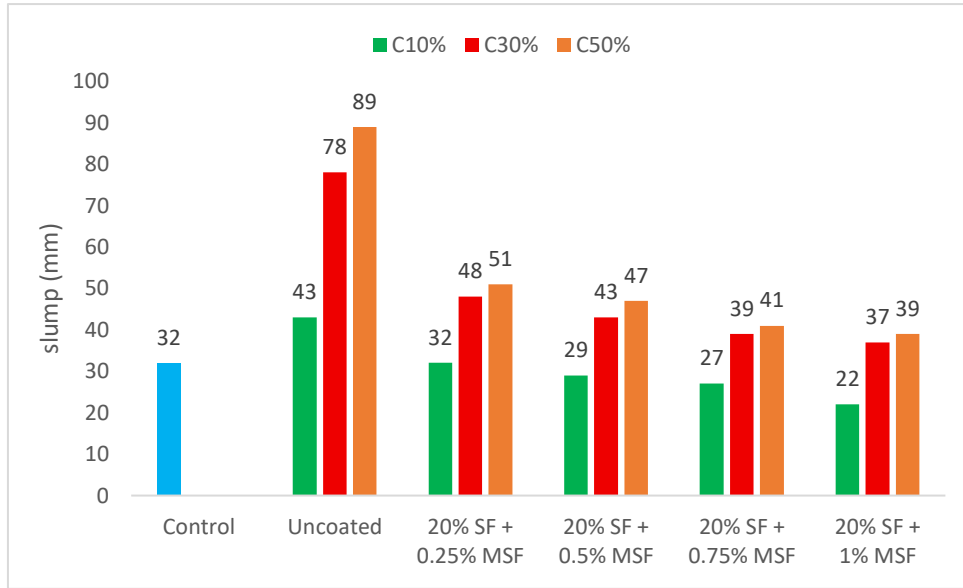


Figura 2.5 variación en la trabajabilidad del hormigón con 10%, 30% y 50% de HDPE junto con 20% de sílice y MSF en el rango de 0,25%-1%;
 fuente:(Abbas & Qureshi, 2025)

En conjunto, los tres estudios revisados coinciden en que la granulometría del árido fino es un parámetro crítico para controlar tanto la resistencia mecánica como la manejabilidad del mortero. Además, respaldan que un diseño adecuado de la mezcla considerando finura, relación agua/cemento y posibles adiciones minerales es clave para lograr una matriz cementicias compacta, homogénea y duradera.

2.4 Conclusión

Los estudios revisados confirman que la granulometría del árido fino influye de manera decisiva en la trabajabilidad y la resistencia a compresión del mortero. Una distribución de partículas más fina tiende a generar una matriz cementicias más densa y compacta, lo que se traduce en un aumento significativo de la resistencia mecánica. Sin embargo, este efecto positivo puede ir acompañado de una pérdida de trabajabilidad, debido al mayor contacto entre partículas y a la necesidad de más agua o aditivos para mantener la fluidez deseada.

Los estudios de (Tayeh *et al.*, 2022), (Gottlieb *et al.*, 2018) y Abbas y (Abbas y Qureshi, 2025) coinciden en que el control preciso de la granulometría, junto con el uso estratégico de aditivos

minerales como la sílice, permiten optimizar la estructura interna del mortero, mejorar su durabilidad y aumentar la fiabilidad de su evaluación técnica. En consecuencia, el diseño de mezclas cementicias requiere un enfoque integral, que considere no solo el cumplimiento normativo, sino también las interacciones entre granulometría, proporciones de mezcla y técnicas de confección.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan los diseños experimentales desarrollados con el objetivo de analizar la sensibilidad de las propiedades del mortero frente a variaciones en los materiales y procesos de confección. Se describen las etapas previas a la ejecución de los ensayos, las cuales corresponden a la caracterización de las propiedades físicas de las arenas empleadas, con el fin de establecer condiciones iniciales controladas y comparables para las distintas mezclas.

Posteriormente, se detallan los ensayos realizados, abarcando las variables analizadas en cada etapa, las dosificaciones empleadas, la preparación de probetas y el procedimiento de evaluación de resultados. Los datos obtenidos en esta investigación permitirán evaluar el comportamiento y desempeño de las mezclas cementicias bajo condiciones monitoreadas, y comprender cómo las variaciones en los materiales y procesos de confección influyen en las propiedades del mortero tanto en estado fresco como endurecido.

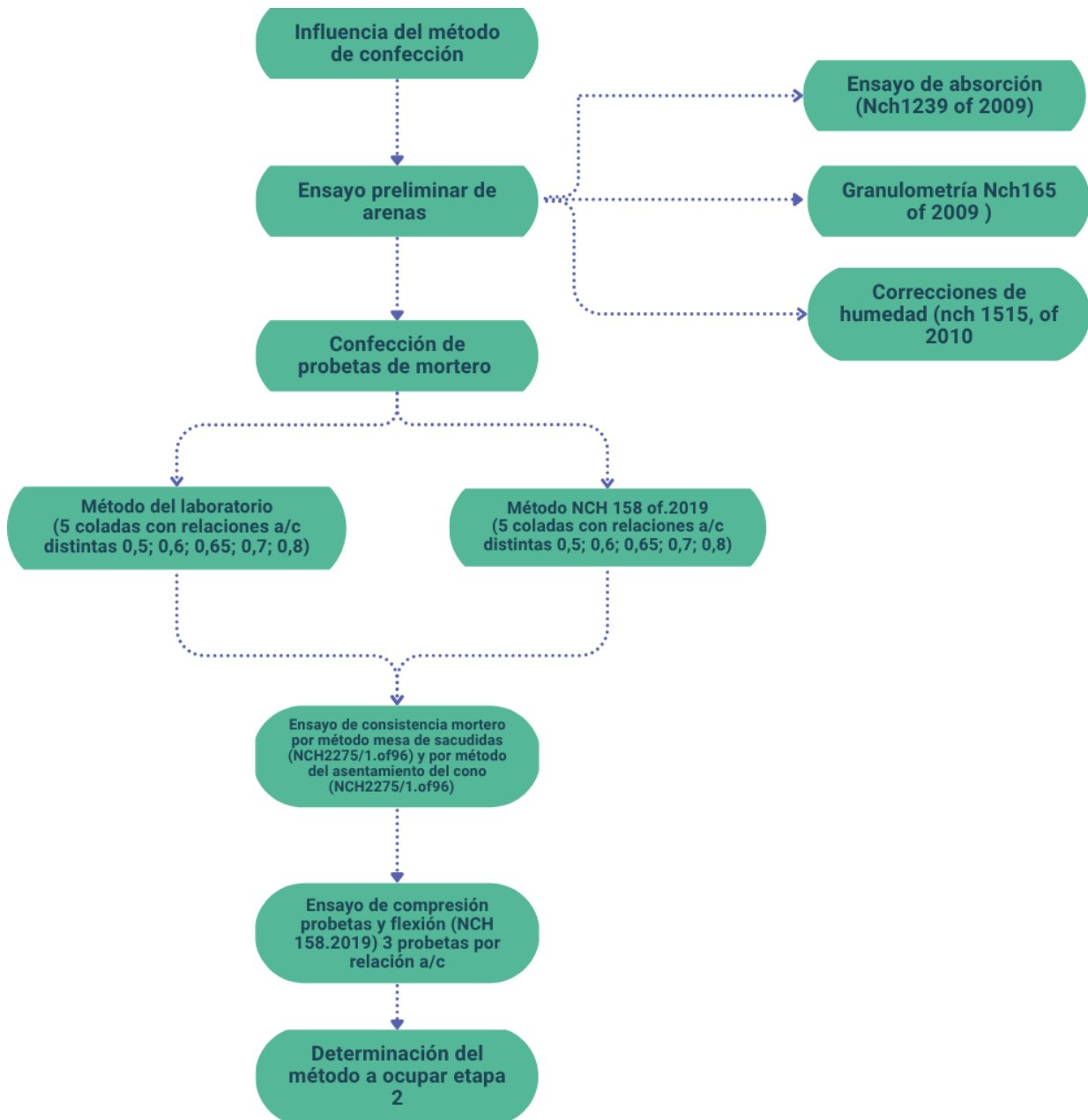
3.2 Estrategia de experimentación

En primera instancia, se llevó a cabo una caracterización física de las arenas utilizadas, considerando parámetros como el módulo de finura, la absorción de agua y la granulometría, siguiendo los procedimientos establecidos en las normativas vigentes. Esta etapa fue clave para asegurar condiciones iniciales homogéneas y comparables entre mezclas, permitiendo aislar el efecto real de las variables estudiadas.

Posteriormente, se desarrollaron tres diseños experimentales, cada uno enfocado en evaluar el efecto de variables específicas sobre las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido.

El primer diseño experimental consistió en la comparación del comportamiento del mortero confeccionado mediante dos métodos distintos: el método tradicional de laboratorio y el método especificado por la norma NCh158(INN, 2019). Para ello, se confeccionaron un total de 72 especímenes, distribuidos en 36 probetas por cada método de confección. En cada método se evaluaron cinco relaciones agua/cemento distintas (0.5; 0.6; 0.65; 0.7; 0.8), con el objetivo de observar

el comportamiento de la curva de resistencia a la compresión en función del contenido de agua. Las resistencias fueron determinadas a las edades de 7 y 28 días, tanto en flexión como en compresión. Para cada relación A/C y edad, se utilizaron tres probetas por condición, garantizando así la representatividad y confiabilidad de los resultados.



esquema evaluación para Influencia del método de confección

El segundo diseño experimental tuvo como objetivo evaluar el efecto del tipo de árido sobre el comportamiento del mortero. Para ello, se seleccionaron tres arenas de distinta granulometría: una

arena fina y una arena gruesa artificialmente generadas en los extremos de la banda normativa, junto con una arena tipo que se encuentra centrada dentro del rango especificado. Se confeccionaron un total de 36 especímenes, considerando dos relaciones agua/cemento (0.6 y 0.65) y 12 probetas por tipo de arena. De igual forma, las resistencias fueron determinadas a los 7 y 28 días mediante ensayos de compresión y flexión, utilizando tres probetas por combinación de variables.

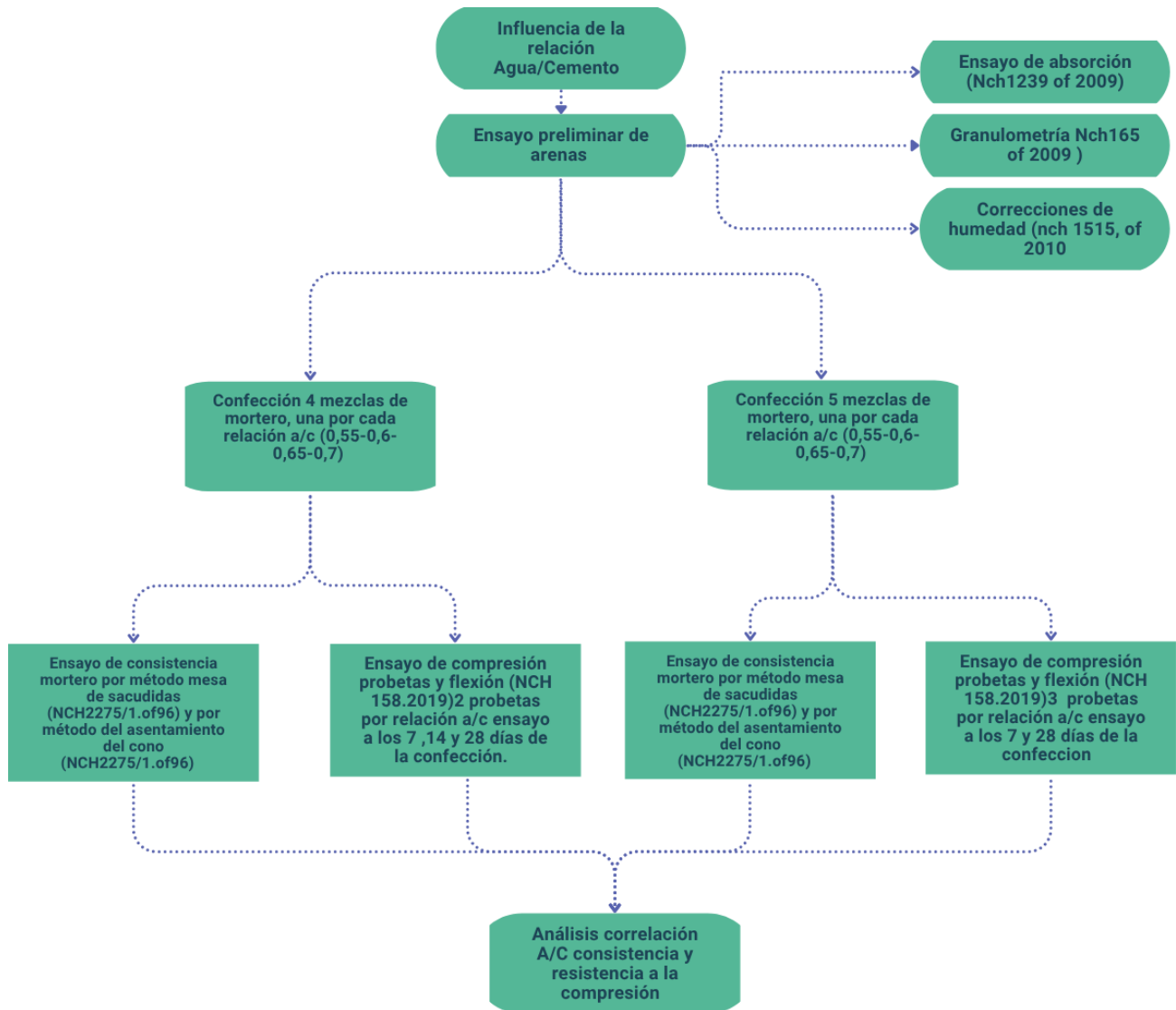


impacto del tipo de árido

El tercer diseño experimental correspondió a un análisis específico de la influencia de la relación agua/cemento sobre las propiedades del mortero, utilizando para ello una única arena de granulometría media de origen comercial. El objetivo principal fue estudiar la correlación entre la consistencia en estado fresco y la resistencia mecánica en estado endurecido, bajo condiciones controladas de confección. Para ello, se confeccionaron 30 probetas, distribuidas en cinco relaciones agua/cemento

(0.50; 0.55; 0.60; 0.65; 0.70), con seis especímenes por cada dosificación. Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron a los 7 y 28 días de curado, utilizando tres especímenes por cada edad, lo que permitió evaluar el efecto directo del contenido de agua sobre el desempeño mecánico del mortero.

Adicionalmente, y debido a limitaciones logísticas relacionadas con la disponibilidad de tiempo y moldes, se ejecutó una segunda campaña experimental complementaria, enfocada en las relaciones agua/cemento 0.55; 0.60; 0.65 y 0.70. En esta etapa se elaboraron 24 probetas, las cuales fueron sometidas a ensayos de compresión a los 7, 21 y 28 días de curado, utilizando dos especímenes por cada edad. Esta estrategia permitió ampliar la base de datos y obtener una representación más completa del comportamiento del mortero a lo largo del tiempo, facilitando el análisis de la evolución de la resistencia mecánica durante el proceso de curado.



3.3 Materiales a emplear

El mortero es un material compuesto cemento y arena que adquiere resistencia al interactuar con agua. El agua suministrada durante la confección corresponde al agua potable de la red, considerada apta para la fabricación de hormigones y morteros según la NCh1498 (INN, 2022).

3.3.1 Cemento

Se utilizó cemento Bío-Bío especial, proporcionado por el Departamento de Ingeniería Civil. Este cemento es de clase puzolánico y grado corriente, adquirido en el comercio local en presentaciones de 25 kg. De acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante, cumple con los requisitos de la NCh148 (INN, 2021). La Figura 3.1 muestra el cemento empleado en la confección de las probetas utilizadas en el estudio.



Figura 3.4 Cemento utilizado para la confección de probetas
 Fuente: CBB Cemento (2024)

3.3.2 Áridos

Al tratarse de mezclas de mortero, se utilizó exclusivamente arena como agregado natural para la confección de probetas, para eso se emplearon tres tipos de árido fino para abordar las variables propuestas en los diseños experimentales

Tabla 3.1 Tipos de Árido Fino

Tipo de arena	Descripción	Propósito del estudio
Arena fina artificial	Generada en el laboratorio mediante selección granulométrica para representar el límite inferior de la banda granulométrica.	Evaluar su influencia en consistencia y resistencia comprándola con la arena media
Arena media	Arena tipo, con una granulometría promedio dentro del rango normativo	Usada como mezcla base y referencia estándar
Arena gruesa artificial	Generada en el laboratorio mediante selección granulométrica para representar el superior de la banda granulométrica.	Evaluar su influencia en consistencia y resistencia comprándola con la arena media

A cada tipo de arena se le determinaron propiedades como el módulo de finura, absorción de agua, densidad y granulometría, de acuerdo con las normas NCh1239(INN., 2009b) y NCh165(INN., 2009a)



Figura 3.5 Arena utilizada para la confección de probetas de mortero

3.4 Confección de mortero

En esta etapa se elaboraron las mezclas de mortero correspondientes a los cuatro diseños experimentales definidos previamente. El objetivo principal fue evaluar cómo distintas variables, tales como el método de confección, el tipo de árido fino, la relación agua/cemento y el tiempo de reposo desde la mezcla, influyen en las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido.

Todas las mezclas fueron preparadas en el Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, en jornadas separadas según el diseño experimental correspondiente. En cada jornada se llevaron a cabo la dosificación, mezclado, moldeado y curado de las probetas, siguiendo procedimientos estandarizados.

Para la confección, se utilizó una mezcladora de eje vertical para morteros y moldes prismáticos de $40 \times 40 \times 160$ mm, según los requerimientos establecidos por la normativa vigente. El procedimiento varió según el método de confección aplicado, diferenciándose entre el método tradicional de laboratorio y el especificado por la NCh158 (INN,2019).

En el caso del método de laboratorio, se comenzó con una etapa de mezclado en seco de los materiales sólidos, es decir, cemento y árido fino, los cuales se homogenizaron en la mezcladora. Luego, se incorporó el agua de manera gradual: primero se añadió el 80% del volumen total, lo que permitió amortiguar la mezcla sin generar segregación; posteriormente, se incorporó el 20% restante para alcanzar la consistencia final deseada. La mezcla se completó con un minuto adicional de mezclado continuo, obteniendo así una masa homogénea y de buena consistencia.

Para el método normativo NCh158 (INN,2019), se comenzó vertiendo el agua en el recipiente, incorporando inmediatamente el cemento. Luego se puso en marcha el mezclador a velocidad lenta y, transcurridos 30 segundos, se añadió la arena normal de forma gradual durante un período de 30 segundos. A continuación, se cambió a velocidad rápida y se mantuvo durante otros 30 segundos. Posteriormente, el mezclador se detuvo durante 90 segundos, durante los cuales, en los primeros 15 segundos, se raspó el mortero adherido a las paredes del recipiente utilizando una espátula plástica, y luego se cubrió el recipiente hasta completar el tiempo de reposo. Finalmente, se reinició el mezclado a velocidad rápida durante 1 minuto adicional, completando así el procedimiento especificado por la norma.

Una vez completado el mezclado en ambos métodos, los moldes fueron rellenos en tres capas, compactando cada una mediante vibración en la mesa vibradora. Las probetas se mantuvieron en sus moldes por 24 a 72 horas, dependiendo de la jornada de curado, y posteriormente fueron desmoldadas y trasladadas a la sala de curado con ambiente húmedo y controlado hasta el momento de los ensayos a las edades programadas (7 y 28 días).

En cada jornada de confección se trabajó con un conjunto definido de variables en el ANEXO 3.1 DOSIFICACIÓN se muestra la dosificación utilizada para cada diseño:

- En el primer diseño experimental, se confeccionaron 72 probetas para evaluar la diferencia entre el método de confección tradicional y el establecido por la NCh158 (INN, 2019), aplicando cinco relaciones A/C (0,50 a 0,80).
- En el segundo diseño, se prepararon 36 probetas con tres tipos distintos de arena (fina, media y gruesa), utilizando dos relaciones A/C (0,60 y 0,65).
- En el tercer diseño se confeccionaron 30 probetas en una primera jornada, con cinco relaciones agua/cemento (0,50 ;0,55 ;0,6 ;0,65 ;0,70) y ensayos a los 7 y 28 días. Luego se elaboraron 24 probetas adicionales, con cuatro relaciones A/C (0,55 ;0,6 ;0,65 ;0,70), ensayadas a los 7, 21 y 28 días, para complementar el análisis de la evolución de la resistencia.

Todas las confecciones se llevaron a cabo siguiendo los mismos criterios de dosificación, volumen de mezcla y condiciones ambientales, con el fin de reducir al mínimo cualquier influencia externa en los resultados.

3.4.1 Ensayos de morteros en estado fresco

Los ensayos para determinar la consistencia de las mezclas fueron realizados conforme a los procedimientos establecidos en las normas NCh2257/1 (INN, 1996a) y NCh2257/3 (INN, 1996b), utilizando los equipos normativos correspondientes. Figura 3.6 muestra el equipo de ensayo de mesa de sacudidas y la Figura 3.7 el equipo de ensayo del cono.



Figura 3.6 Flow Table del Laboratorio de Hormigones



Figura 3.7 Ensayo de cono reducido para morteros

3.4.2 Ensayos de morteros en estado endurecido

Los ensayos de resistencia a la flexión y compresión se realizaron conforme a los procedimientos establecidos en la norma NCh158 (INN, 2019), utilizando los equipos disponibles en el Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la Facultad de Ingeniería. Las probetas fueron sometidas a ensayos mecánicos a los 7, 21 y 28 días de curado, según el tipo de análisis, con el objetivo de evaluar el desarrollo de resistencia del mortero en estado endurecido bajo distintas condiciones experimentales. El equipo utilizado para la determinación de la resistencia a la flexión se muestra en Figura 3.8, mientras que el equipo empleado para los ensayos de compresión se presenta en Figura 3.9. En cada combinación experimental ya fuera por tipo de método de confección, tipo de árido fino o relación agua/cemento se ensayaron tres probetas por condición, lo que permitió obtener resultados representativos y comparables para el análisis estadístico y técnico.



Figura 3.8 Máquina de ensayo a flexión para morteros



Figura 3.9 Máquina de ensayo a compresión para morteros

Finalmente, se realizó un análisis gráfico de los resultados obtenidos a los 7, 21 y 28 días de curado, según correspondiera al tipo de ensayo, con el objetivo de comparar la evolución de la resistencia en función de las variables estudiadas. Este análisis permitió identificar tendencias definidas y evaluar el efecto de cada variable sobre el comportamiento mecánico del mortero, tomando como referencia las condiciones base establecidas en cada diseño experimental.

3.5 Conclusión

El desarrollo del capítulo permitió establecer una base experimental robusta para evaluar la sensibilidad de las propiedades del mortero frente a distintas variables de materiales y procesos de confección. Las tres etapas diseñadas (método de confección, tipo de árido fino, relación agua/cemento) fueron estructuradas cuidadosamente para aislar los efectos particulares de cada factor, asegurando condiciones comparables entre mezclas.

Se implementaron metodologías normalizadas para la caracterización física de los materiales NCh163(INN., 2024), así como para la confección y curado de probetas NCh158(INN, 2019), garantizando la consistencia en los ensayos de estado fresco y endurecido. En particular, se logró

establecer un control preciso sobre variables críticas como la granulometría del árido fino y la dosificación del agua, elementos que condicionan directamente la manejabilidad inicial del mortero y su resistencia mecánica posterior. Asimismo, la aplicación paralela de dos métodos de confección distintos normativo y tradicional de laboratorio permitió contrastar prácticas habituales con los protocolos establecidos por la normativa chilena, generando evidencia útil para su validación o ajuste

4. RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo experimental descrito en el Capítulo 3. Se incluyen los datos correspondientes a los ensayos en estado fresco y endurecido para las distintas mezclas de mortero evaluadas, considerando las variables de método de confección, tipo de árido fino, relación agua/cemento y evolución de la consistencia en el tiempo.

Los resultados se organizan de acuerdo con cada diseño experimental, y permiten analizar el efecto de cada variable sobre la consistencia y resistencia del mortero. Esta información será utilizada para establecer relaciones comparativas y evaluar la factibilidad de aplicación de las mezclas ensayadas.

4.2 Granulometría del árido fino

Se utilizaron tres tipos de árido fino, diferenciados según su posición dentro de la banda granulométrica establecida por la norma NCh165 (INN., 2009a) Estas arenas fueron preparadas y caracterizadas mediante el procedimiento descrito el Capítulo 3.2, determinando el porcentaje de masa retenida en cada tamiz y construyendo las curvas granulométricas correspondientes. Se consideró una arena fina, ajustada al límite inferior de la banda; una arena tipo, ubicada en el centro del rango normativo; y una arena gruesa, alineada con el límite superior. Esta caracterización permitió asegurar que cada tipo de árido se encontraba dentro de los rangos permitidos por la normativa, y proporcionó una base objetiva para evaluar su influencia en el comportamiento del mortero, los porcentajes retenidos en cada tamiz para cada tipo de árido se encuentra en el ANEXO 4.1 GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO.

La Figura 4.1 muestra la curva granulométrica de la arena fina confeccionada manualmente en laboratorio. Para ello, se seleccionaron partículas específicas de cada tamiz con el fin de ajustar la curva al límite inferior de la banda normativa NCh165(INN., 2009a) Esta distribución permite analizar el comportamiento del mortero utilizando un árido de granulometría extrema en la fracción fina

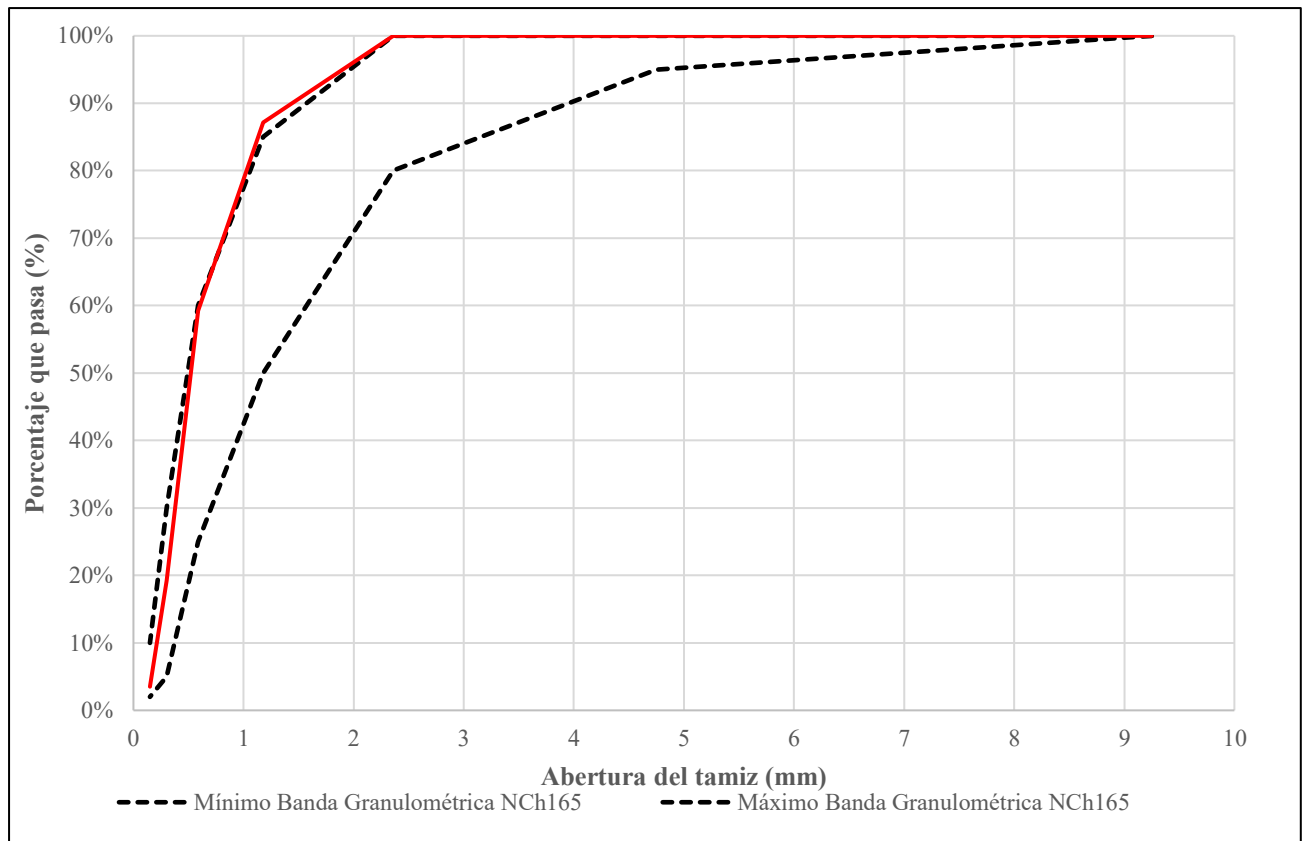


Figura 4.1 Banda granulométrica para árido fino

La Figura 4.2 se presenta a continuación la curva granulométrica de la arena tipo, situada en el centro del rango normativo. Esta distribución representa una granulometría promedio y es utilizada como referencia base en los ensayos comparativos del estudio.

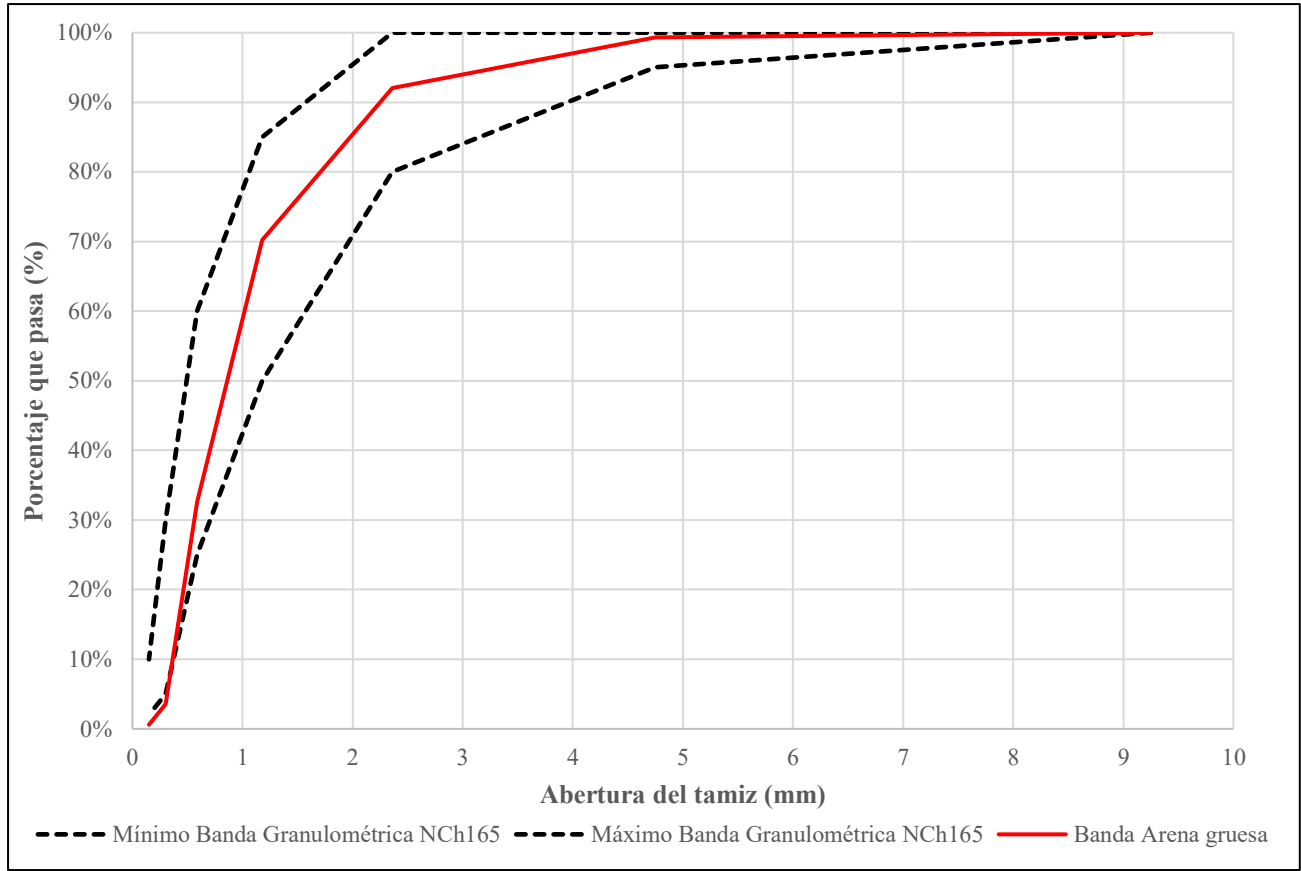


Figura 4.2 Banda granulométrica para árido medio

La Figura 4.3 se presenta la curva granulométrica de la arena gruesa, también confeccionada manualmente mediante la selección controlada de partículas. Esta mezcla fue diseñada para situarse en el borde superior de la banda granulométrica permitida por la norma NCh165 (INN, 2009a), con el objetivo de evaluar el efecto de un árido más grueso sobre la consistencia y la resistencia del mortero.

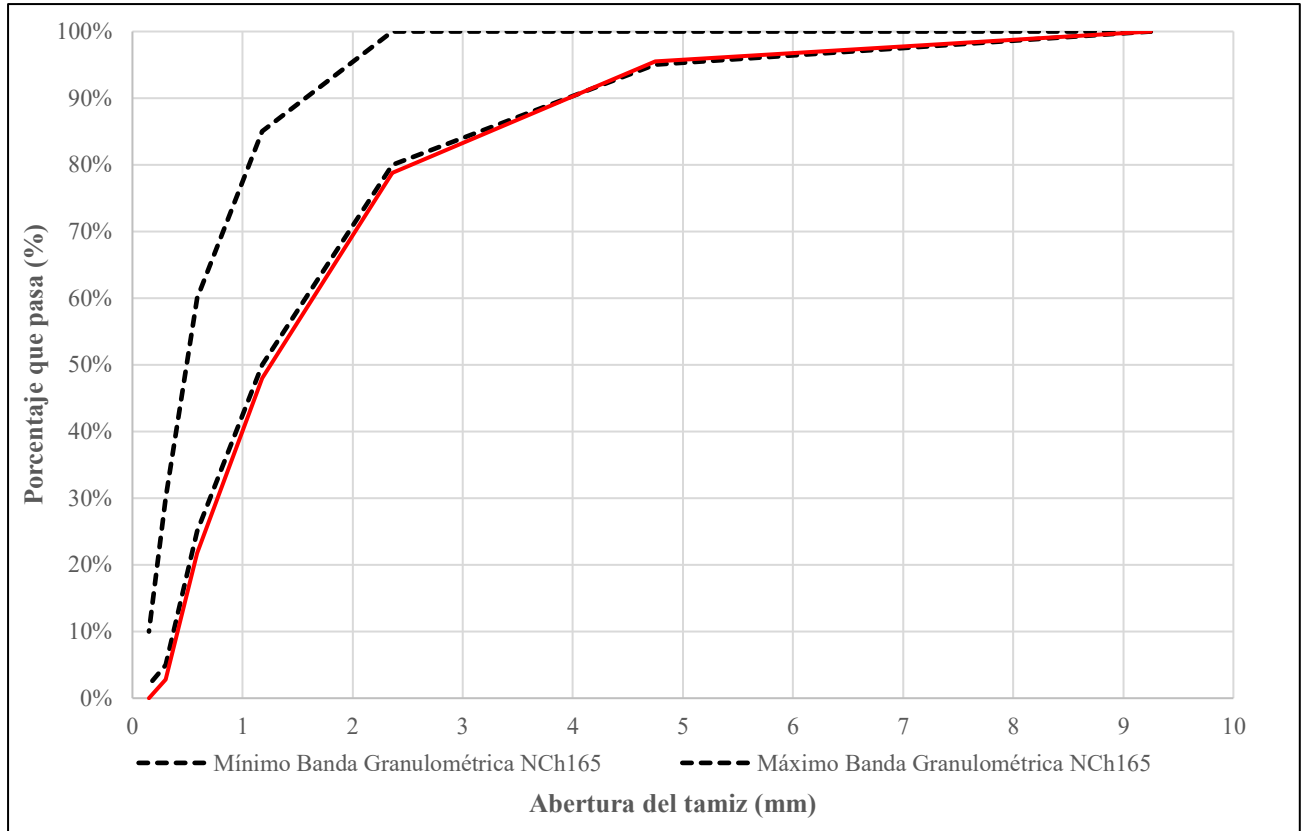


Figura 4.3 Banda granulométrica para árido grueso

4.3 Morteros

Se realizaron ensayos en estado fresco y endurecido para todas las mezclas de mortero, obteniendo información con respecto a su consistencia y sus resistencias a flexión y compresión. Las mezclas se diseñaron de acuerdo con proporciones normalizadas y manteniendo constante el tipo de cemento, mientras que las variables materiales y de proceso se modificaron según el enfoque de cada diseño experimental.

4.4 Ensayo de consistencia: *Flow Table*

Para analizar la fluidez de la mezcla, se utilizó la *Flow Table*, un equipo que permite determinar la consistencia de los morteros mediante el método de extensión en la mesa de sacudidas. El procedimiento se llevó a cabo de acuerdo con lo especificado en la norma NCh2257/1 (INN, 1996a).

La Figura 4.4 presenta los resultados del ensayo de consistencia mediante la mesa de sacudidas para mezclas confeccionadas con arena de granulometría media en ambos días de confección. Se muestran los valores promedio de escurrimiento obtenidos al variar la relación agua/cemento, permitiendo observar cómo esta relación influye en la consistencia del mortero en estado fresco. De acuerdo con los criterios de clasificación establecidos en la norma NCh2256 (INN, 2013), se observa que la mezcla con relación $A/C = 0,55$ alcanza escurrimientos de 176 mm y 190 mm, correspondientes a una consistencia plástica. Las mezclas con $A/C = 0,60$ presentan valores de 214 mm y 210 mm, también dentro del rango plástico, pero cercanos al umbral superior (220 mm). Por su parte, las mezclas con $A/C = 0,65$ y $0,70$ alcanzan escurrimientos de 230 mm–231 mm y 250 mm en ambos días, superando el límite de 220 mm y clasificándose como de consistencia fluida.

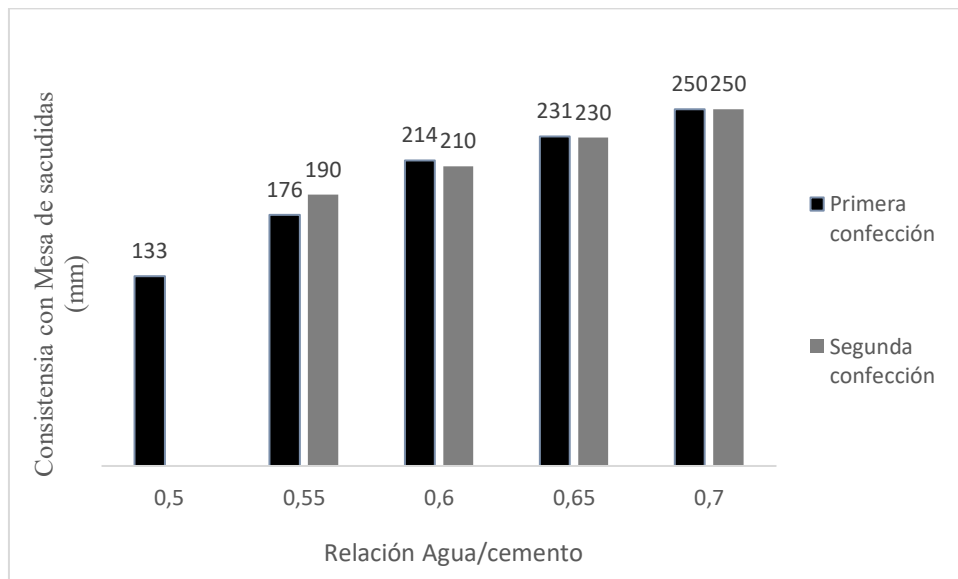


Figura 4.4 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento usando arena media medido con método mesa de sacudidas

En la Figura 4.5 se muestran los valores de consistencia obtenidos en el ensayo con la mesa de sacudidas para mezclas elaboradas con tres tipos de arena: fina, media y gruesa. Este gráfico permite comparar directamente el efecto de la granulometría del árido fino sobre la consistencia del mortero, manteniendo constante la relación agua/cemento. Según la clasificación establecida por la norma NCh 2256(INN., 2013), se observa que para una relación $a/c = 0,60$, la mezcla con arena fina (182,8 mm) se encuentra dentro del rango de consistencia plástica, mientras que las mezclas con arena media (210,5 mm) y arena gruesa (235,0 mm) se ubican en el límite superior del rango plástico y en el rango de consistencia fluida, respectivamente. En el caso de la relación $a/c = 0,65$, la mezcla con arena fina (217,25 mm) aún se mantiene dentro del rango de consistencia plástica, mientras que las mezclas con arena media (232,25 mm) y arena gruesa (247,4 mm) superan los 220 mm, clasificándose como de consistencia fluida.

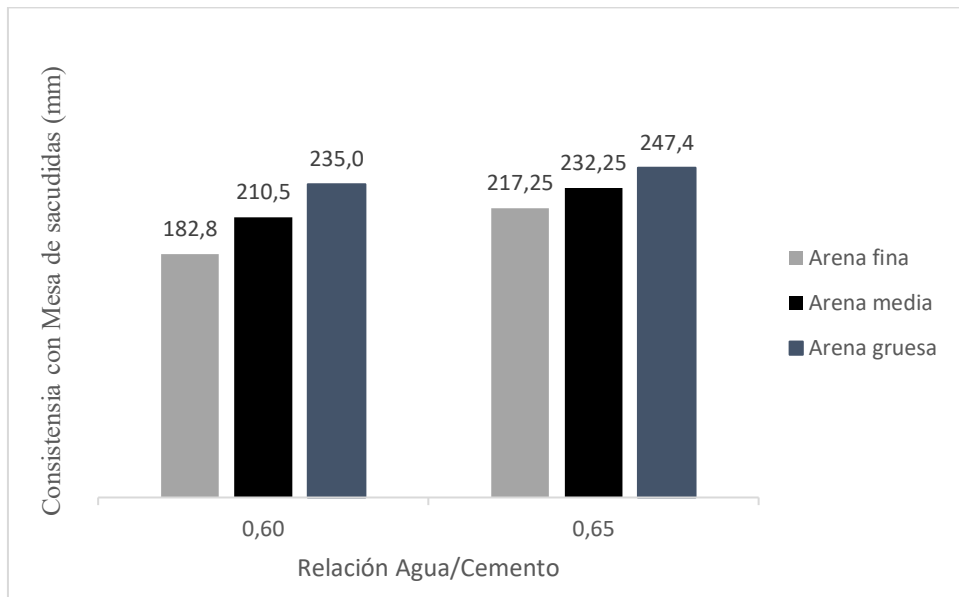


Figura 4.5 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento utilizando cada tipo de arena

4.5 Ensayo de consistencia: Método del asentamiento del cono

La consistencia de los morteros se determinó mediante el método del cono reducido, que permite medir la disminución de la altura del mortero. El procedimiento se realizó conforme a lo establecido en la norma NCh2257/3 (INN,1996b).

La Figura 4.6 presenta los resultados del ensayo de consistencia mediante el asentamiento del cono para mezclas confeccionadas con dos métodos distintos: el método tradicional de laboratorio y el establecido por la norma NCh158(INN, 2019). El gráfico permite observar cómo el procedimiento de mezclado influye en la consistencia del mortero, manteniendo dos constantes de relación Agua/Cemento. De acuerdo con la clasificación establecida en la norma NCh 2256 (INN, 2013), las mezclas con relación a/c de 0,50 presentan una consistencia seca, mientras que aquellas con a/c de 0,60 y 0,65 se sitúan dentro o muy próximas al rango de consistencia plástica. Por su parte, las mezclas con relaciones a/c de 0,70 y 0,80 alcanzan valores que las ubican claramente dentro de la categoría de consistencia fluida.

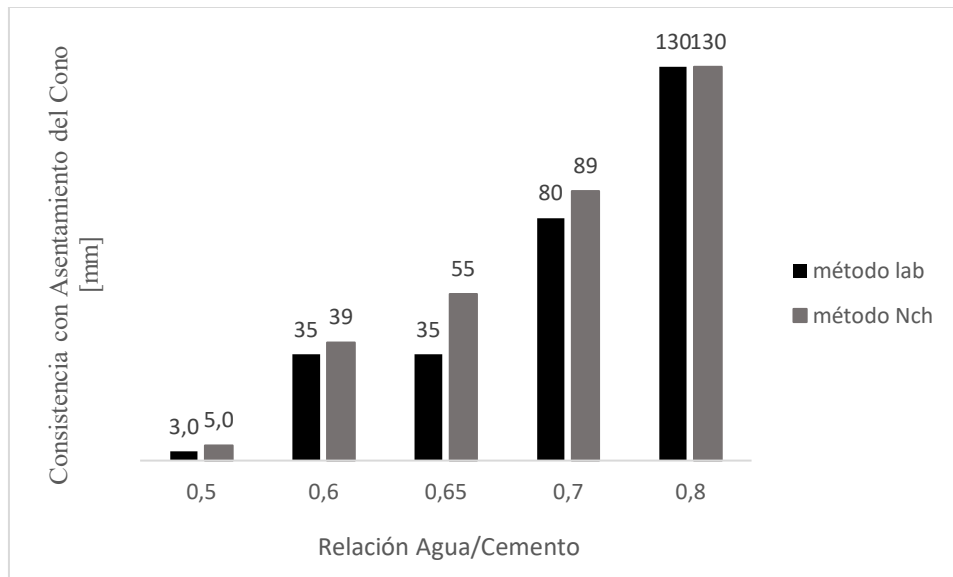


Figura 4.6 Consistencia medida a través del asentamiento del cono para cada método de confección con distintas relaciones Agua/ Cemento

En la Figura 4.7 se muestran los valores de asentamiento obtenidos para mezclas elaboradas con los tres tipos de arena evaluados: fina, media y gruesa. Este ensayo permite identificar el efecto de la granulometría del árido fino sobre la consistencia del mortero utilizando el método del cono reducido para dos relaciones Agua /Cemento distintas. De acuerdo con la clasificación establecida en la norma

NCh 2256 (INN, 2013), se observa que solo la mezcla confeccionada con arena fina y relación $a/c = 0,60$ alcanza una consistencia plástica, mientras que el resto de las combinaciones evaluadas presentan asentamientos superiores a los 30 mm, clasificándose mayoritariamente como morteros de consistencia fluida.

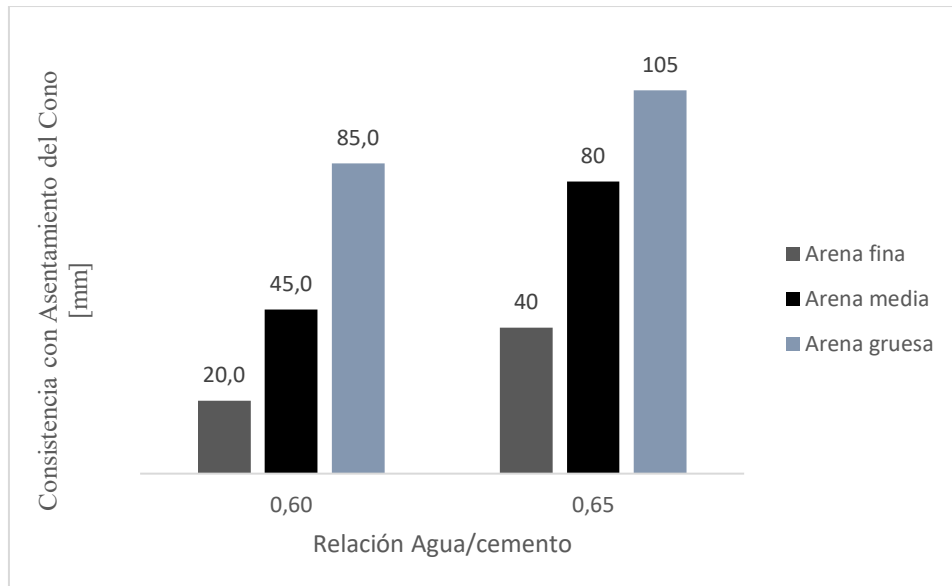


Figura 4.7 Consistencia medida a través del asentamiento del cono para cada tipo de arena utilizando 2 relaciones Agua/Cemento

La Figura 4.8 muestra los resultados del asentamiento del cono para mezclas elaboradas con arena de granulometría media, evaluando distintas relaciones agua/cemento. Este análisis permite establecer la relación entre el contenido de agua y la consistencia del mortero empleando un árido tipo. Según los criterios de la norma NCh 2256 (INN, 2013), las mezclas con relaciones a/c de 0,50 y 0,55 presentan una consistencia seca, mientras que la mezcla con $a/c = 0,60$ se encuentra dentro del límite inferior del rango plástico. Por su parte, las mezclas con relaciones de 0,65 y 0,70 superan ampliamente los 30 mm de asentamiento, clasificándose como de consistencia fluida.

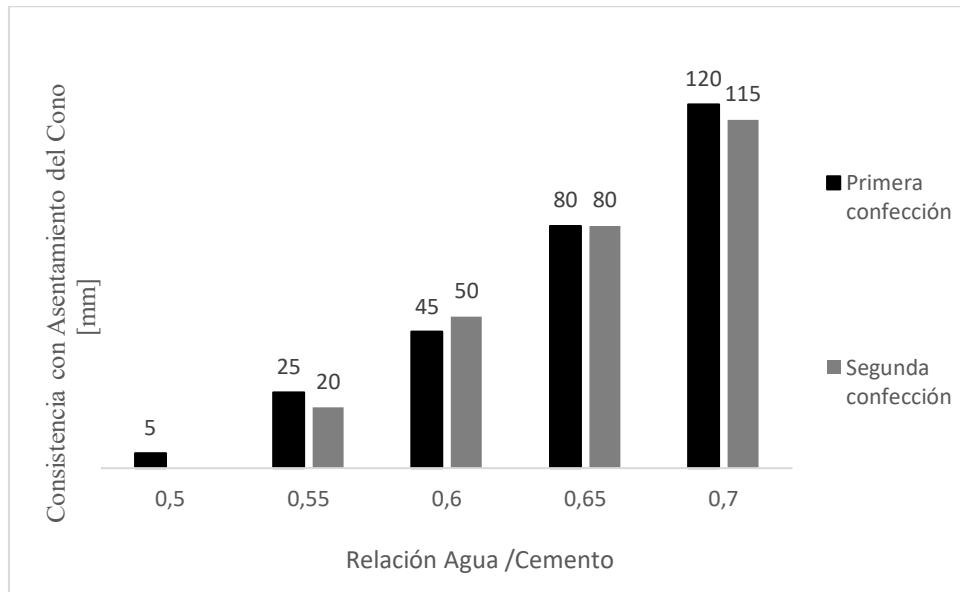


Figura 4.8 Consistencia para distintas relaciones Agua/Cemento usando arena media medido con método asentamiento del cono

4.6 Ensayo de la consistencia en el tiempo

Con el objetivo de evaluar la evolución de la fluidez del mortero luego de su confección, se diseñó un estudio complementario enfocado en medir la pérdida de consistencia en función del tiempo transcurrido. Este análisis se realizó mediante la técnica de mesa de sacudidas, en intervalos de 0, 10, 20 y 30 minutos desde el momento de la mezcla.

Las confecciones se realizaron utilizando arena de granulometría fina, bajo condiciones controladas, y con cuatro relaciones agua/cemento: 0,55; 0,60; 0,65 y 0,70. Para cada relación A/C se midió el escurrimiento del mortero en la mesa de sacudidas en los tiempos mencionados.

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.9 , donde se observa una clara disminución en la extensión del mortero con el paso del tiempo, independientemente de la relación A/C utilizada.

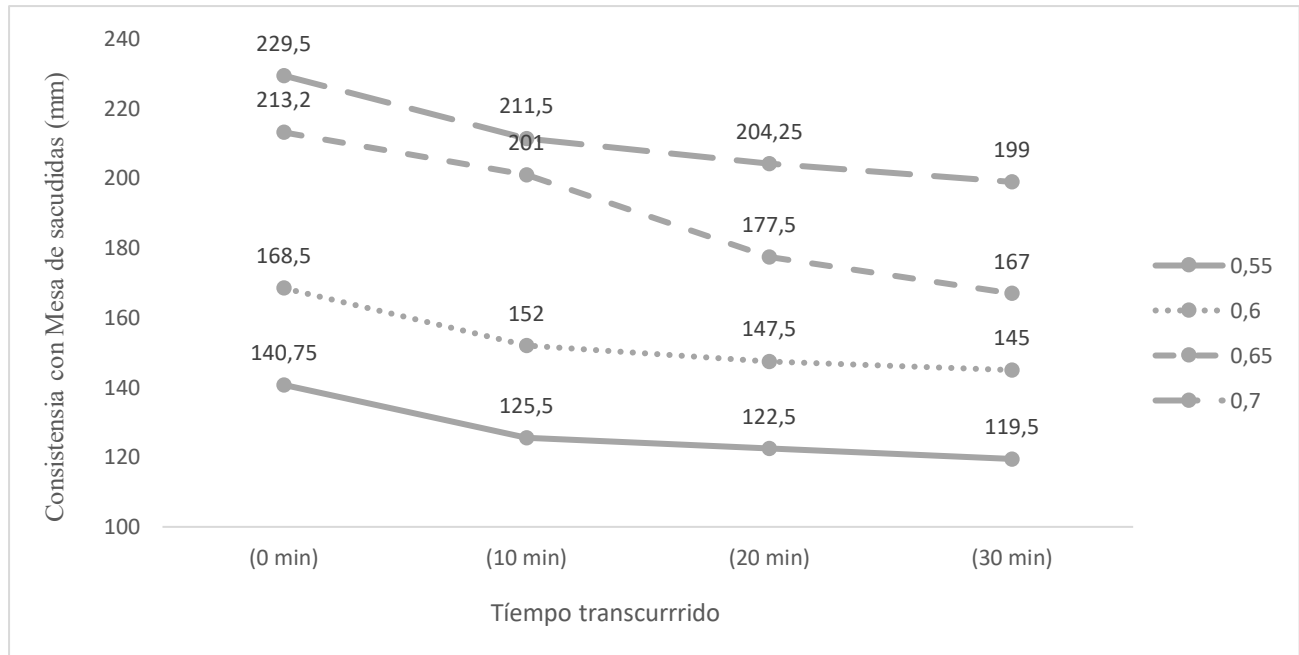


Figura 4.9 Consistencia medida a través del escurrimiento de la mezcla en un tiempo de 30 min

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la disminución de consistencia a los 30 minutos desde la confección fue significativa en todos los casos, aunque con porcentajes ligeramente distintos según la relación agua/cemento: un 13% para $A/C = 0,55$; un 21% para $A/C = 0,60$; un 14% para $A/C = 0,65$; y un 15% para $A/C = 0,70$. A pesar de que las mezclas partieron con diferentes niveles de fluidez, el descenso relativo de la consistencia fue comparable entre ellas, lo que sugiere que el principal factor responsable de esta pérdida es el proceso de hidratación temprana del cemento. Este proceso reduce progresivamente el contenido de agua libre en la mezcla, ya que el agua comienza a ser consumida internamente para formar productos hidratados, lo que genera un aumento en la viscosidad del sistema. Por lo tanto, la pérdida de consistencia no se debe únicamente a una evaporación o absorción externa, sino a una reorganización interna del agua dentro de la microestructura del mortero.

4.7 Ensayo de compresión

El análisis de la resistencia a la compresión de las distintas probetas se llevó a cabo conforme al procedimiento establecido en la norma NCh158 (INN,2019).

La Figura 4.10 presenta los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos para mezclas de mortero elaboradas mediante dos métodos de confección distintos: el tradicional de laboratorio y el

especificado por la norma NCh158 (INN,2019). En ambos casos se evaluaron cinco relaciones agua/cemento (de 0,50; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8), y las probetas fueron ensayadas a los 7 y 28 días. Esta figura permite analizar cómo influyen tanto el método de confección como el contenido de agua en el desarrollo de resistencia del mortero.

En cuanto a la consistencia de las mezclas ensayadas, y según la clasificación establecida por la NCh2257/1 (INN, 1996), se observa que las relaciones agua/cemento entre 0,50 y 0,60 corresponden a una consistencia de tipo seca (asentamiento < 10 mm), mientras que a partir de una relación A/C de 0,65 en adelante, las mezclas se clasifican dentro del rango de consistencia fluida (asentamiento > 30 mm). Es importante señalar que el método del cono reducido utilizado presenta limitaciones para captar con precisión la zona intermedia o plástica de consistencia (10–30 mm), por lo cual esta transición debe interpretarse con cautela (ver Figuras 4 para mayor detalle).

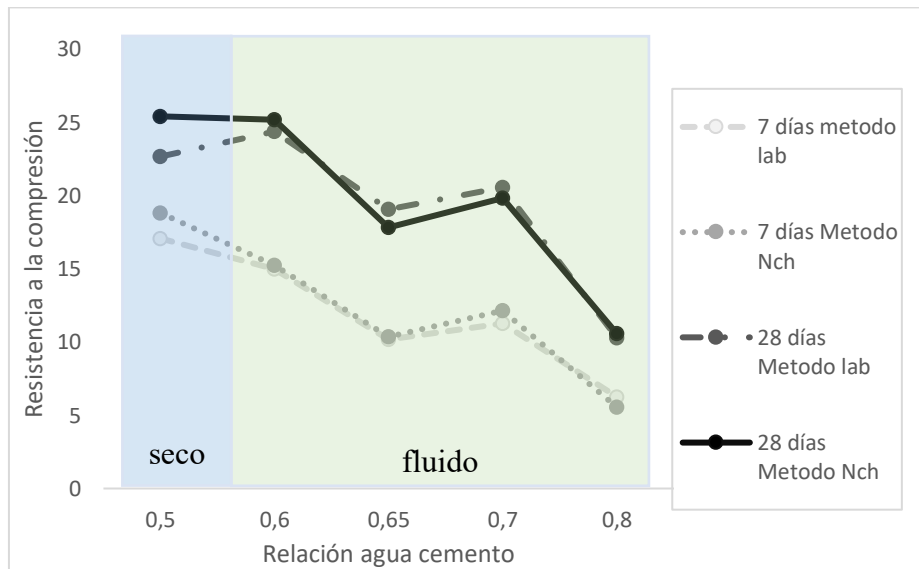


Figura 4.10 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para cada método de confección con 5 relaciones Agua/Cemento distintas

En la Figura 4.11 se presentan los resultados promedio de resistencia a la compresión obtenidos para mezclas confeccionadas con tres tipos de arena: fina, media y gruesa. Cada tipo de árido fue evaluado utilizando dos relaciones agua/cemento distintas (0,60 y 0,65), y las probetas fueron ensayadas a los 7 y 28 días. Esta figura permite analizar el efecto combinado de la granulometría del árido fino y del contenido de agua sobre la resistencia del mortero.

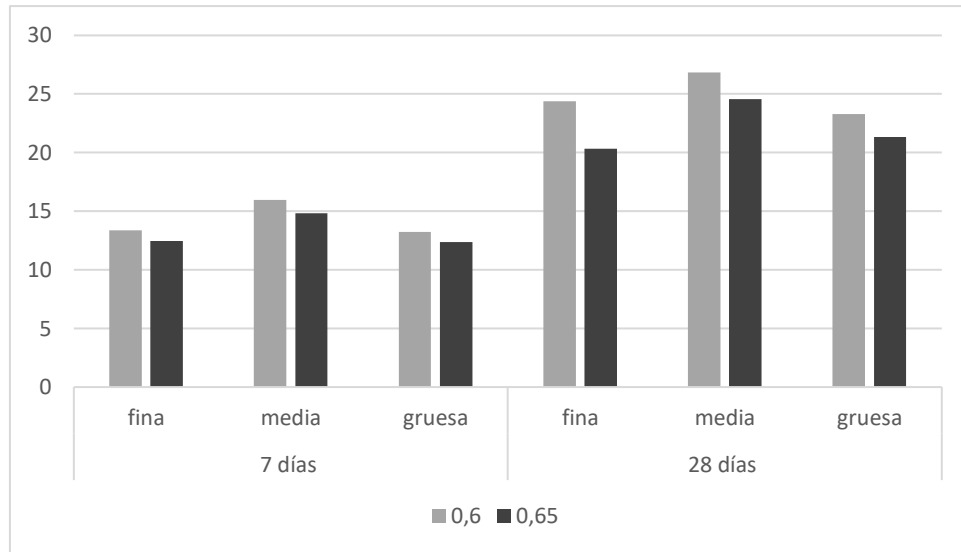


Figura 4.11 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para cada tipo de arena seleccionada con 2 relación Agua / Cemento distintas

La Figura 4.12 expone los valores promedio de resistencia a la compresión para morteros confeccionados con arena media y distintas relaciones agua/cemento para el primer día de ensayo del tercer diseño experimental. Los ensayos fueron realizados a los 7 y 28 días, con el objetivo de identificar cómo el contenido de agua afecta directamente la resistencia mecánica del material bajo condiciones controladas.

Según la clasificación definida por el método de mesa de sacudidas, se puede observar que las mezclas con relaciones agua/cemento de 0,50 y 0,55 presentan una consistencia seca (asentamiento < 10 mm), mientras que la relación 0,60 se ubica en el rango de consistencia plástica (10–30 mm) y las relaciones 0,65 y 0,70 corresponden a mezclas de consistencia fluida (asentamiento > 30 mm).

Cabe destacar que, si bien el método del cono reducido fue utilizado para determinar la consistencia, presenta ciertas limitaciones para captar con precisión el rango intermedio (plástico), ya que las diferencias de asentamiento son más sutiles en este tramo. Por esta razón, el método de la mesa de sacudidas se considera más sensible y adecuado para evaluar la consistencia de morteros, especialmente cuando se busca caracterizar con mayor resolución la transición entre estados secos, plásticos y fluidos.

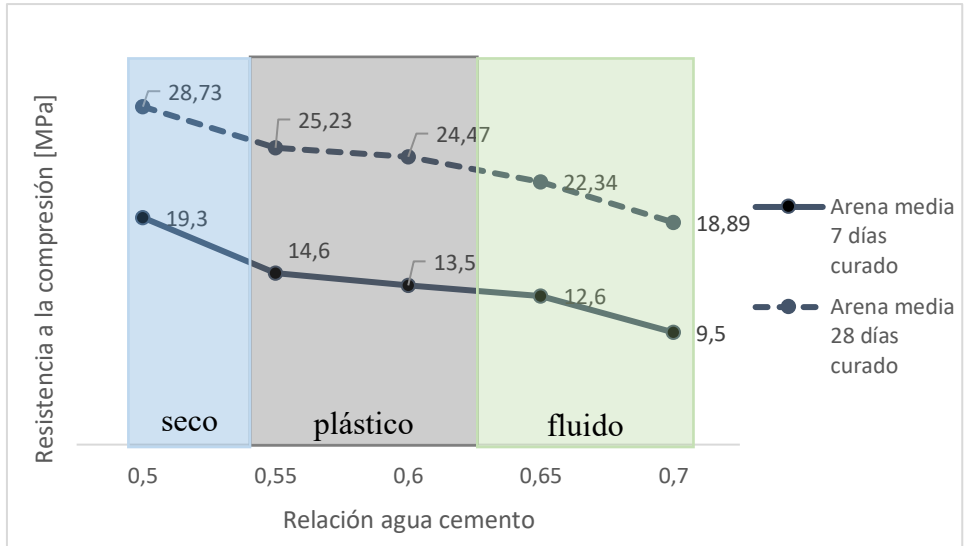


Figura 4.12 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para una arena media tipo para el primer día de ensayo

La Figura 4.13 expone los valores promedio de resistencia a la compresión para morteros confeccionados con arena media y distintas relaciones agua/cemento para el segundo día de ensayo del tercer diseño experimental. Los ensayos fueron realizados a los 7 ,21 y 28 días, con el objetivo de identificar cómo el contenido de agua afecta directamente la resistencia mecánica del material bajo condiciones controladas.

En este caso, a diferencia del primer día de ensayo, se observa que no se incluyeron mezclas con relaciones agua/cemento de 0,50, lo que implica la ausencia del rango de consistencia seca (asentamiento < 10 mm). Esta decisión metodológica se debió a restricciones logísticas durante la ejecución de la campaña experimental, particularmente en cuanto a la disponibilidad de moldes y tiempo de curado. Por ello, se priorizó el estudio de relaciones agua/cemento más altas (entre 0,55 y 0,70), correspondientes a los rangos de consistencia plástica y fluida, que son los más representativos para condiciones reales de aplicación del mortero.

En el ANEXO 4.2 RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN se presentan los resultados individuales de cada probeta sometida a ensayos de resistencia a la compresión.

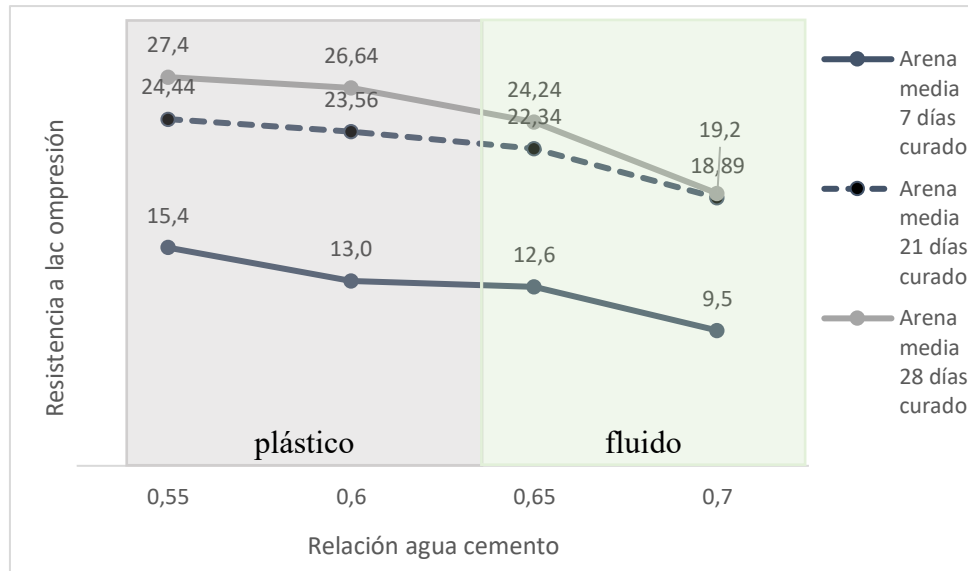


Figura 4.13 Resultados promedio de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días para una arena media tipo para el segundo día de ensayo

4.8 Factibilidad de aplicación

La factibilidad de aplicación de los morteros evaluados en esta investigación se analizó conforme a lo establecido en la normativa chilena NCh2256 (INN, 2013), la cual clasifica los morteros en función de su consistencia y resistencia para distintas aplicaciones, ya sea como revestimiento o mortero de junta para albañilería.

Tabla 4.1 Aplicaciones según normativa

RESISTENCIA MÍNIMA	CONSISTENCIA	
	PLÁSTICO	FLUIDO
	Cono: 10mm - 30mm Flow Table: (180mm - 220mm)	>220 mm >30 mm
0,5 MPa	REVESTIMIENTO INTERIOR (NCh 2256/1:2013) <ul style="list-style-type: none"> Ladrillo hecho a mano o bloque celular 	
2 MPa		
4 MPa	REVESTIMIENTO EXTERIOR (NCh 2256/1:2013) <ul style="list-style-type: none"> Ladrillo hecho a mano o bloque celular REVESTIMIENTO (NCh 2256/1:2013) <ul style="list-style-type: none"> Ladrillo hecho a máquina Bloque de hormigón Muro de hormigón 	-

Tabla 4.2 Aplicaciones según normativa (Continuación)

RESISTENCIA MÍNIMA	CONSISTENCIA	
	PLÁSTICO	FLUIDO
	Cono: 10mm - 30mm Flow Table: (180mm - 220mm)	>220 mm >30 mm
6 MPa	REVESTIMIENTO (NCh 2256/1:2013) <ul style="list-style-type: none"> • Bloques • Muro de hormigón 	
10 MPa	ALBAÑILERÍA CONFINADA (NCh 2123:1997 Mod 2003) <ul style="list-style-type: none"> • Ladrillo cerámico hecho a máquina con perforaciones en su masa (MqP) • Ladrillo cerámico hecho a máquina con huecos verticales (MqH) • Bloque de hormigón 	ALBAÑILERÍA ARMADA (NCh 1928:1993 Mod 2009) <ul style="list-style-type: none"> • Ladrillo cerámico • Bloques de hormigón
15 MPa	ALBAÑILERÍA CONFINADA (NCh 2123:1997 Mod 2003) <ul style="list-style-type: none"> • Ladrillo cerámico hecho a máquina compactado (MqM) 	

4.9 Conclusión

En este apartado se presentan las principales conclusiones obtenidas a partir del análisis experimental y comparativo desarrollado en esta memoria. Estas conclusiones sintetizan los efectos observados de la variación de los materiales y métodos de confección en las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, permitiendo validar los objetivos planteados inicialmente.

En el primer diseño experimental, que evaluó el efecto del método de confección (laboratorio vs. NCh158), se observó que ambos procedimientos entregaron resultados de consistencia similares, siendo la relación agua/cemento la variable dominante en la consistencia del mortero. Las mediciones de asentamiento obtenidas mediante el ensayo de cono reducido oscilaron entre 3 mm (para A/C = 0,5) y 130 mm (para A/C = 0,8), evidenciando un aumento progresivo de la fluidez a medida que se incrementa el contenido de agua. No obstante, en todos los casos los valores se encontraron fuera del rango de consistencia plástica definido por la NCh2256/1(INN., 2013) (10 a 30 mm), clasificándose como mezclas de consistencia seca o fluida según corresponda. A pesar de esto, las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días fueron elevadas, superando los 15 MPa en varias combinaciones,

especialmente en aquellas con relaciones A/C de 0,55 y 0,60, lo que permite clasificarlas como morteros Ma 15,0 y Ma 20,0 desde el punto de vista estructural.

En el segundo diseño experimental se estudió la influencia de la granulometría del árido fino sobre la consistencia y resistencia del mortero, utilizando arenas fina, media y gruesa con relaciones agua/cemento de 0,60 y 0,65. De acuerdo con la NCh2256/1 (INN., 2013), las mezclas con arena fina y media se aproximaron al rango de consistencia plástica en el ensayo de mesa de sacudidas (182,8–232,25 mm), mientras que los resultados del cono reducido (20–105 mm) revelaron que la mayoría de las mezclas, especialmente aquellas con arena gruesa, se clasifican como de consistencia fluida.

A pesar de no cumplir en todos los casos con los rangos normativos de consistencia, las resistencias a compresión alcanzadas fueron significativas, superando los 12 MPa a los 7 días y alcanzando entre 21 y 27 MPa a los 28 días. Esto permite clasificarlas como morteros Ma 20,0 según la norma, aptos para ser utilizados en obras de albañilería estructural de alta exigencia. En consecuencia, las mezclas con consistencia normativa son viables para muros de albañilería confinada con ladrillo compacto (MqM), mientras que aquellas de mayor fluidez pueden emplearse en aplicaciones de albañilería armada, como por ejemplo con ladrillos cerámicos hechos a máquina, compactos, que permiten relleno de celdas con mortero de alta fluidez y resistencia.

Finalmente, en el tercer diseño experimental se evaluó el comportamiento del mortero elaborado con arena media ante distintas relaciones agua/cemento, considerando su consistencia mediante los ensayos de cono reducido y mesa de sacudidas, así como su resistencia a compresión a los 7, 21 y 28 días. En el ensayo de mesa de sacudidas, las mezclas con relaciones A/C entre 0,55 y 0,60 se mantuvieron dentro del rango plástico establecido por la NCh2256/1 (INN, 2013) (180–220 mm), lo que sugiere su posible aplicación en usos normativos siempre que cumplan además con los requisitos de resistencia y adherencia. Por otro lado, las mezclas con relaciones A/C entre 0,65 y 0,70 presentaron valores entre 230 y 250 mm, clasificándose como morteros de consistencia fluida según la norma. En cuanto a los resultados del ensayo de cono reducido, todas las mezclas con A/C igual o superior a 0,60 superaron el límite superior del rango plástico (30 mm), alcanzando hasta 120 mm de asentamiento, por lo que se clasifican como mezclas de consistencia fluida de acuerdo con la NCh2256/1 (INN., 2013), quedando fuera de su clasificación normativa estándar.

A pesar de estas diferencias entre los métodos de ensayo, las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días fueron elevadas, superando consistentemente los 22 MPa para mezclas con A/C entre 0,55

y 0,60, permitiendo su clasificación como morteros Ma 20,0, adecuados para albañilería armada o confinada con unidades MqM. En el caso de las mezclas con relaciones A/C superiores a 0,65, si bien su consistencia excede los límites normativos, su alta resistencia permite su aplicación en contextos especiales de albañilería armada, tales como el relleno de celdas verticales en muros de bloques o ladrillos canalados, donde se insertan barras de refuerzo que posteriormente son confinadas mediante la inyección de mortero fluido, conforme a los procedimientos establecidos en la NCh1928.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de distintos materiales y métodos de confección sobre las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido, con énfasis en tres variables fundamentales: el método de confección, la granulometría del árido fino y la relación agua/cemento. La investigación se desarrolló mediante tres diseños experimentales que permitieron caracterizar y comparar sistemáticamente el desempeño del mortero bajo diferentes condiciones, generando evidencia útil para el diseño y control de mezclas cementicias en contextos constructivos reales. Este trabajo nace también del interés por contar con resultados más estandarizados y reproducibles en el laboratorio, que sirvan como base de referencia para ensayos futuros. Se buscó, además, establecer criterios técnicos que orienten futuras confecciones, especialmente considerando las características del suelo y los materiales disponibles localmente, de manera que las mezclas propuestas puedan adaptarse a condiciones reales de uso en la zona. Con ello, se apunta a reducir la alta variabilidad de resultados que históricamente se ha observado en los ensayos desarrollados en el laboratorio, avanzando hacia procedimientos más confiables, comparables y técnicamente sustentables.

En primer lugar, se comprobó que el método de confección influye de manera marginal sobre las propiedades del mortero. Si bien el procedimiento normativo ofreció una leve mejora en la consistencia y en la resistencia en mezclas más secas, las diferencias respecto al método tradicional de laboratorio resultaron estadísticamente poco significativas, por lo que ambos métodos pueden considerarse equivalentes en términos prácticos. Este hallazgo aporta flexibilidad en el ámbito de laboratorio y obra, permitiendo adaptar el procedimiento según disponibilidad de recursos sin comprometer la calidad del material. Adicionalmente, este diseño experimental permitió identificar que las mezclas con relaciones agua/cemento de 0,50 y 0,80 no resultan óptimas, ya que generaron muestras extremadamente secas y fluidas, respectivamente. Esta observación fue clave para descartar dichos extremos en futuros diseños experimentales, enfocando la investigación en rangos más estables y representativos del comportamiento real del mortero.

Respecto a la granulometría del árido fino, los resultados mostraron que se trata de una variable altamente sensible, con efectos directos tanto en la consistencia como en la resistencia mecánica del mortero. Las arenas gruesas mejoraron la fluidez de la mezcla en estado fresco, mientras que las finas aumentaron la resistencia a compresión a los 28 días. La arena media, por su parte, presentó un

comportamiento balanceado, logrando un buen equilibrio entre consistencia y desempeño estructural, lo que la posiciona como una alternativa óptima para aplicaciones generales. Sin embargo, durante la ejecución de los ensayos se identificó una alta variabilidad en la granulometría de la arena comercial utilizada en el laboratorio, observándose diferencias significativas entre distintas bolsas del mismo proveedor. Esta variabilidad impactó directamente en los resultados obtenidos, generando inconsistencias entre confecciones que, en teoría, debían presentar comportamientos similares. En varias ocasiones fue necesario confeccionar manualmente una arena media, utilizando tamices y seleccionando fracciones específicas para garantizar uniformidad. Este hecho evidencia la necesidad de controlar de manera más estricta la calidad del árido fino, y se plantea como un criterio prioritario a considerar en futuras confecciones experimentales.

La relación agua/cemento fue la variable con mayor incidencia. Se evidenció que un aumento progresivo en la relación A/C mejora la consistencia, pero puede conllevar una reducción en la resistencia si se superan ciertos umbrales. Las relaciones entre 0,55 y 0,60 entregaron los mejores resultados globales, permitiendo alcanzar consistencias dentro del rango plástico normativo y resistencias a compresión superiores a 22 MPa, aptas para aplicaciones en albañilería estructural, tanto confinada como armada. Asimismo, se verificó que varias de las mezclas ensayadas particularmente aquellas con arena media y relaciones A/C intermedias cumplen los requisitos de la norma NCh2256 para morteros Ma 15,0 y Ma 20,0, lo que confirma su factibilidad de uso en muros portantes, revestimientos estructurales y rellenos de celdas.

En conjunto, los hallazgos obtenidos en esta investigación validan la importancia de controlar de forma precisa variables como el contenido de agua, la selección del árido fino y el procedimiento de mezclado, para asegurar la calidad y desempeño de los morteros. Además, se destaca el valor de este tipo de estudios para fortalecer el conocimiento técnico en el área de la tecnología del hormigón, optimizar recursos y contribuir al desarrollo de materiales más eficientes y duraderos.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el efecto de otras variables, como la temperatura de curado, el tipo de cemento (proveedor) y la incorporación de aditivos, así como realizar estudios de durabilidad a largo plazo que permitan proyectar el comportamiento del mortero bajo condiciones ambientales agresivas. Además, se plantea la necesidad de extender estos estudios al comportamiento del hormigón, evaluando cómo el método de confección y el tipo de árido fino afectan sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Esta línea de trabajo sería de

gran utilidad para el laboratorio, ya que permitiría establecer parámetros técnicos comparables entre morteros y hormigones, fortaleciendo así el control de calidad y la toma de decisiones en proyectos constructivos reales.

REFERENCIAS

- Abbas, S. N., & Qureshi, M. I. (2025). Improved fresh and hardened properties of concrete with high density polyethylene aggregates: Role of silica fume, steel fibers, macro synthetic fibers and variation of water cement ratio. *Materials Chemistry and Physics: Sustainability and Energy*, 2, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.macse.2025.100010>
- Gottlieb, C., Günther, T., & Wilsch, G. (2018). Impact of grain sizes on the quantitative concrete analysis using laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 142, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.02.004>
- Instituto Nacional de Normalización. (1996a). NCh2257/1:1996. *Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 1: Método del extendido en la mesa de sacudidas*. Santiago, Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1996b). NCh2257/3:1996. *Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 3: Método del asentamiento del cono*. Santiago, Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009a). NCh 165:2009. *Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría*. Santiago, Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009b). NCh1239:2009. *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh2256/1:2013. *Morteros - Parte 1: Requisitos*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2019). NCh 158:2019. *Cemento - Ensayo de compresión*. Santiago, Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2021). NCh 148:2021. *Cemento - Terminología, clasificación y requisitos generales*. Santiago, Chile: INN.

- Instituto Nacional de Normalización. (2022). NCh 1498:2022. *Hormigón y mortero - Agua de amasado - Requisitos. Santiago, Chile: INN.*
- Instituto Nacional de Normalización. (2024). NCh163:2024. *Áridos para hormigones y morteros - Requisitos. Santiago, Chile: INN.*
- Tayeh, B. A., Akeed, M. H., Qaidi, S., & Bakar, B. H. A. (2022). Influence of sand grain size distribution and supplementary cementitious materials on the compressive strength of ultrahigh-performance concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01495>

ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ODS-2 : Hambre cero.
- ODS-3 : Salud y bienestar.
- ODS-4 : Educación de calidad.
- ODS-5 : Igualdad de género.
- ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ODS-13 : Acción por el clima.
- ODS-14 : Vida Submarina.
- ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

La presente memoria de título se vincula con los ODS 9, 11 y 12. A través del análisis de sensibilidad de variables de materiales y métodos de confección en mezclas cementicias, se promueve la optimización de recursos y el diseño de materiales más eficientes, contribuyendo a la mejora de la infraestructura (ODS 9). Los resultados permiten orientar la producción de morteros con propiedades controladas y reproducibles, lo que fomenta prácticas de construcción más sostenibles en entornos urbanos (ODS 11). Asimismo, al identificar mezclas que requieren menos agua y presentan mayor durabilidad, se impulsa una producción más responsable y eficiente, reduciendo desperdicios y promoviendo un uso racional de los materiales (ODS 12).

ANEXO 3.1 DOSIFICACIÓN

La dosificación del mortero está determinada por la proporción entre los materiales que lo componen. Las variaciones en esta relación inciden directamente en las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Para el cálculo de los volúmenes de mezcla, se asumió una densidad promedio del mortero de 2.200 kg/m³. A partir de esta base, se estableció una relación fija cemento: arena de 1:3 en masa, mientras que la cantidad de agua se ajustó según el diseño experimental, modificando la relación agua/cemento con el objetivo de evaluar su influencia en la consistencia y resistencia del material.

Tabla A.3.1.0.1 dosificación propuesta para primer diseño experimental para el método que dicta la NCh 158

Dosificación final:	MASA					
	RELACION AGUA /CEMENTO					
Componente	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	Total
Cemento [kg]	1,296	0,864	1,296	0,864	0,864	5,184
Arena seca [kg]	3,888	2,592	3,888	2,592	2,592	15,552
Agua final [kg]	0,648	0,518	0,8424	0,605	0,692	3,3054
Número de especímenes	9	6	9	6	6	36

Tabla A.3.1.0.2 dosificación propuesta para primer diseño experimental para el método ocupado en el laboratorio

Dosificación final:	MASA					
	RELACION AGUA /CEMENTO					
Componente	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	Total
Cemento [kg]	1,296	0,864	1,296	0,864	0,864	5,184
Arena seca [kg]	3,888	2,592	3,888	2,592	2,592	15,552
Agua final [kg]	0,648	0,518	0,8424	0,605	0,692	3,3054
Número de especímenes	9	6	9	6	6	36

Tabla A.3.1.0.3 Dosificación propuesta para el segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una relación agua/cemento 0,6

Dosificación final	Confección para relación agua cemento 0,6			
	Tipo de arena			
Componente	Fina	Media	Gruesa	Total
Arena (kg)	2,592	2,6593	2,592	7,8433
agua (kg)	0,527	0,5029	0,5244	1,5111
Cemento	0,864	0,864	0,864	2,592
Numero de especímenes	6	6	6	18

Tabla A.3.1.0.4 Dosificación propuesta para el segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una relación agua/cemento 0,6

Dosificación final	Confección para relación agua cemento 0,65			
	Tipo de arena			
Componente	Fina	Media	Gruesa	Total
Arena (kg)	2,592	2,659	2,592	7,8433
Agua (kg)	0,5676	0,5460	0,5702	1,6407
Cemento	0,873	0,864	0,876	2,592
Numero de especímenes	6	6	6	18

Tabla A.3.1.0.5 dosificación para tercer diseño experimental (relación agua/cementó) para el primer día de confección

Dosificación final	Confección para arena media					
	Relación Agua/cemento					
Relación	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	Total
Arena (kg)	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	14,255
Agua (kg) corregida con humedad	0,5322	0,57972	0,62726	0,67478	0,7223	2,592
Cemento	1,064	1,054	1,0454	1,0381	1,0318	4,752
Numero de especímenes	6	6	6	6	6	30

Tabla A.3.1.0.6 dosificación para tercer diseño experimental (relación agua/cementó) para el segundo día de confección

dosificación final	Confección para arena media día lunes				
	relación Agua/cemento				
relación	0,55	0,6	0,65	0,7	Total
Arena (kg)	2,591	2,591	2,591	2,591	
Agua (kg) sin corrección de humedad	0,475	0,5181	0,5613	0,6045	
Cemento	0,864	0,864	0,864	0,864	
Numero de especímenes	6	6	6	6	

ANEXO 4.1 GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO

El procedimiento se llevó a cabo de acuerdo con lo especificado en la norma NCh 165:2009

Tabla A.4.0.1.1 (granulometría árido fino límite inferior de la banda)

Tamiz	Abertura (mm)	Material retenido (g)	Material retenido acumulado (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	Mínimo Banda (%)	Máximo Banda (%)
Nº2	9,25	0	0	0,0%	0	100%	100%	100%
Nº4	4,75	0	0	0,0%	0,0%	100%	95%	100%
Nº8	2,36	0	0	0,0%	0,0%	100%	80%	100%
Nº16	1,18	64,1	64,1	12,9%	12,9%	87%	50%	85%
Nº30	0,6	139,1	203,2	27,9%	40,8%	59%	25%	60%
Nº50	0,3	199,2	402,4	40,0%	80,7%	19%	5%	30%
Nº100	0,15	78,5	480,9	15,8%	96,5%	4%	0%	10%
Residuo	-	17,5	498,4	3,5%	100,0%	0%	-	-

Tabla A.4.1.2 granulometría árido fino árido medio

Tamiz	Abertura (mm)	Material retenido (g)	Material retenido acumulado (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	Mínimo Banda (%)	Máximo Banda (%)
Nº2	9,25	0	0	0,0%	0	100%	100%	100%
Nº4	4,75	3,2	3,2	0,6%	0,6%	99%	95%	100%
Nº8	2,36	36,6	39,8	7,3%	7,9%	92%	80%	100%
Nº16	1,18	109,3	149,1	21,8%	29,8%	70%	50%	85%
Nº30	0,6	188,3	337,4	37,6%	67,4%	33%	25%	60%
Nº50	0,3	145,6	483	29,1%	96,5%	4%	5%	30%
Nº100	0,15	14,7	497,7	2,9%	99,4%	1%	0%	10%
Residuo	-	2,6	500,3	0,5%	99,9%	0%	-	-

Tabla A.4.1.3 granulometría árido fino límite superior de la banda

Tamiz	Abertura (mm)	Material retenido (g)	Material retenido acumulado (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	Mínimo Banda (%)	Máximo Banda (%)
Nº2	9,25	0	0	0,0%	0	100%	100%	100%
Nº4	4,75	22,3	22,3	4,5%	4,5%	96%	95%	100%
Nº8	2,36	83,7	106	16,8%	21,2%	79%	80%	100%
Nº16	1,18	153,5	259,5	30,7%	52,0%	48%	50%	85%
Nº30	0,6	131,1	390,6	26,3%	78,2%	22%	25%	60%
Nº50	0,3	94,7	485,3	19,0%	97,2%	3%	5%	30%
Nº100	0,15	14	499,3	2,8%	100,0%	0%	0%	10%
Residuo	-		499,3	0,0%	100,0%	0%	-	-

ANEXO 4.2 RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN

El análisis de la resistencia a la compresión se llevó a cabo conforme a la norma NCh158 (INN,2019).

Tabla A.4.2.1 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero patrón con relación agua/cemento 0,5

PATRÓN (laboratorio) (0,5)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m ³
7 Días	P1	602,1	P1-1	18,48	17,69	17,08	2352,0
			P1-2	16,90			
	P2	600,4	P2-1	17,91	17,36		2345,3
			P2-2	16,81			
	P3	588	P3-1	14,89	16,20		2296,9
			P3-2	17,51			
28 Días	P1	591,6	P1-1	23,90	22,88	22,66	2310,9
			P1-2	21,85			
	P2	587,1	P2-1	16,11	20,12		2293,4
			P2-2	24,12			
	P3	587,1	P3-1	24,65	24,99		2293,4
			P3-2	25,33			

Tabla A.4.2.2 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero según norma Nch 158 con relación agua/cemento 0,5

PATRÓN (NCH158) (0,5)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m ³
7 Días	P1	592	P1-1	17,36	18,20	18,82	2312,5
			P1-2	19,04			
	P2	588	P2-1	19,93	20,03		2296,9
			P2-2	20,13			
	P3	593,8	P3-1	17,54	18,23		2319,5
			P3-2	18,91			
28 Días	P1	584,2	P1-1	27,17	28,10	25,42	2282,0
			P1-2	29,02			
	P2	572,3	P2-1	24,26	24,06		2235,5
			P2-2	23,85			
	P3	576,4	P3-1	25,54	24,10		2251,6
			P3-2	22,65			

Tabla A.4.2.3 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero patrón con relación agua/cemento 0,6

PATRÓN (laboratorio) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	576,2	P1-1	14,89	14,47	14,98	2250,8
			P1-2	14,05			
	P2	580,9	P2-1	15,67	15,11		2269,1
			P2-2	14,54			
	P3	583,2	P3-1	14,90	15,38		2278,1
			P3-2	15,85			
28 Días	P1	576,0	P1-1	26,11	25,43	24,38	2250,0
			P1-2	24,75			
	P2	575,2	P2-1	22,39	23,08		2246,9
			P2-2	23,77			
	P3	581,2	P3-1	25,05	24,63		2270,3
			P3-2	24,21			

Tabla A.4.2.4 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero según norma Nch158 con relación agua/cemento 0,6

PATRÓN (NCH158) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	574,6	P1-1	15,97	15,40	15,23	2244,5
			P1-2	14,82			
	P2	574,8	P2-1	14,98	15,11		2245,3
			P2-2	15,23			
	P3	568,6	P3-1	15,69	15,18		2221,1
			P3-2	14,66			
28 Días	P1	576,2	P1-1	25,13	24,49	25,20	2250,8
			P1-2	23,85			
	P2	582,5	P2-1	26,01	25,42		2275,4
			P2-2	24,82			
	P3	582,6	P3-1	25,72	25,69		2275,8
			P3-2	25,65			

Tabla A.4.2.5 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero patrón con relación agua/cemento 0,65

PATRÓN (laboratorio) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	582,7	P1-1	10,11	10,19	10,19	2276,2
			P1-2	10,26			
	P2	576,6	P2-1	10,38	10,03		2252,3
			P2-2	9,68			
	P3	579,9	P3-1	10,26	10,35		2265,2
			P3-2	10,44			
28 Días	P1	572,9	P1-1	19,38	19,32	19,07	2237,9
			P1-2	19,26			
	P2	576,7	P2-1	19,59	19,30		2252,7
			P2-2	19,00			
	P3	573,1	P3-1	18,45	18,61		2238,7
			P3-2	18,76			

Tabla A.4.2.6 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero según norma Nch158 con relación agua/cemento 0,65

PATRÓN (NCH158) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	582,7	P1-1	10,29	10,22	10,35	2276,2
			P1-2	10,15			
	P2	579,6	P2-1	9,97	10,03		2264,1
			P2-2	10,09			
	P3	582,2	P3-1	10,58	10,80		2274,2
			P3-2	11,02			
28 Días	P1	590,0	P1-1	17,34	17,12	17,83	2304,7
			P1-2	16,90			
	P2	587,7	P2-1	17,11	17,61		2295,7
			P2-2	18,10			
	P3	588,9	P3-1	18,70	18,75		2300,4
			P3-2	18,80			

Tabla A.4.2.7 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero patrón con relación agua/cemento 0,7

PATRÓN (laboratorio) (0,7)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	563,7	P1-1	10,91	10,79	11,29	2202,0
			P1-2	10,67			
	P2	564,5	P2-1	11,26	11,09		2205,1
			P2-2	10,91			
	P3	572,1	P3-1	11,36	11,99		2234,8
			P3-2	12,61			
28 Días	P1	568,5	P1-1	18,87	20,52	20,55	2220,7
			P1-2	22,17			
	P2	571,5	P2-1	20,09	20,04		2232,4
			P2-2	19,98			
	P3	575,2	P3-1	20,08	21,09		2246,9
			P3-2	22,10			

Tabla A.4.2.8 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero según norma Nch158 con relación agua/cemento 0,7

PATRÓN (NCH158) (0,7)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	570,9	P1-1	11,94	12,05	12,15	2230,1
			P1-2	12,15			
	P2	567,4	P2-1	11,54	11,79		2216,4
			P2-2	12,04			
	P3	560,8	P3-1	12,79	12,61		2190,6
			P3-2	12,42			
28 Días	P1	545,9	P1-1	20,27	20,31	19,83	2132,4
			P1-2	20,34			
	P2	546,1	P2-1	20,46	20,13		2133,2
			P2-2	19,80			
	P3	569,5	P3-1	19,59	19,05		2224,6
			P3-2	18,50			

Tabla A.4.2.9 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero patrón con relación agua/cemento 0,8

PATRÓN (laboratorio) (0,8)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	556,7	P1-1	6,84	6,38	6,26	2174,6
			P1-2	5,91			
	P2	555,5	P2-1	5,53	6,08		2169,9
			P2-2	6,63			
	P3	557,8	P3-1	6,71	6,32		2178,9
			P3-2	5,93			
28 Días	P1	551,6	P1-1	8,80	10,24	10,29	2154,7
			P1-2	11,67			
	P2	551,5	P2-1	10,15	10,36		2154,3
			P2-2	10,56			
	P3	552,0	P3-1	9,88	10,29		2156,3
			P3-2	10,70			

Tabla A.4.2.10 resultado resistencia a la compresión de probetas primer diseño experimental para mortero según norma Nch158 con relación agua/cemento 0,8

PATRÓN (NCH158) (0,8)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	561,5	P1-1	5,72	5,71	5,55	2193,4
			P1-2	5,70			
	P2	559,6	P2-1	5,66	5,56		2185,9
			P2-2	5,46			
	P3	558,7	P3-1	5,44	5,38		2182,4
			P3-2	5,31			
28 Días	P1	557,0	P1-1	10,72	10,78	10,58	2175,8
			P1-2	10,84			
	P2	556,6	P2-1	9,85	10,11		2174,2
			P2-2	10,37			
	P3	560,0	P3-1	10,35	10,84		2187,5
			P3-2	11,32			

Tabla A.4.2.11 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula fina mortero con relación agua/cemento 0,6

PATRÓN (ARENA FINA) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	573,9	P1-1	13,76	13,82	13,96	2241,8
			P1-2	13,87			
	P2	585,3	P2-1	13,77	14,20		2286,3
			P2-2	14,62			
	P3	582,3	P3-1	13,86	13,88		2274,6
			P3-2	13,90			
28 Días	P1	576,2	P1-1	23,32	23,81	24,40	2250,8
			P1-2	24,30			
	P2	587,5	P2-1	25,40	24,84		2294,9
			P2-2	24,28			
	P3	582,5	P3-1	24,89	24,55		2275,4
			P3-2	24,20			

Tabla A.4.2.12 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula media para mortero con una relación agua/cemento 0,6

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	588	P1-1	16,24	16,15	15,98	2296,9
			P1-2	16,05			
	P2	596,4	P2-1	16,32	16,33		2329,7
			P2-2	16,33			
	P3	591,8	P3-1	15,91	15,48		2311,7
			P3-2	15,04			
28 Días	P1	589,8	P1-1	26,82	26,95	26,86	2303,9
			P1-2	27,07			
	P2	593,8	P2-1	26,92	26,42		2319,5
			P2-2	25,91			
	P3	589,8	P3-1	27,11	27,21		2303,9
			P3-2	27,31			

Tabla A.4.2.13 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula gruesa, para mortero con una relación agua/cemento 0,6

PATRÓN (ARENA GRUESA) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	586,1	P1-1	13,63	13,63	13,24	2289,5
			P1-2	13,63			
	P2	581	P2-1	13,19	13,06		2269,5
			P2-2	12,92			
	P3	590	P3-1	13,37	13,03		2304,7
			P3-2	12,69			
28 Días	P1	603,2	P1-1	24,81	24,51	23,90	2356,3
			P1-2	24,20			
	P2	595,5	P2-1	23,03	23,30		2326,2
			P2-2	23,56			
	P3	595,6	P3-1	24,07	23,91		2326,6
			P3-2	23,74			

Tabla A.4.2.14 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula fina mortero con relación agua/cemento 0,65

PATRÓN (ARENA FINA) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	584,2	P1-1	12,28	12,34	12,47	2282,0
			P1-2	12,40			
	P2	592,4	P2-1	12,21	12,18		2314,1
			P2-2	12,15			
	P3	590,1	P3-1	13,07	12,88		2305,1
			P3-2	12,68			
28 Días	P1	567,5	P1-1	20,32	20,39	20,99	2216,8
			P1-2	20,46			
	P2	579,8	P2-1	20,62	20,66		2264,8
			P2-2	20,69			
	P3	585,2	P3-1	22,11	21,92		2285,9
			P3-2	21,73			

Tabla A.4.2.15 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula media para mortero con una relación agua/cemento 0,65

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	582,5	P1-1	14,68	14,79	14,83	2275,4
			P1-2	14,90			
	P2	589,7	P2-1	15,10	14,77		2303,5
			P2-2	14,43			
	P3	591,5	P3-1	14,81	14,93		2310,5
			P3-2	15,05			
28 Días	P1	576,8	P1-1	25,37	24,38	24,57	2253,1
			P1-2	23,39			
	P2	573,1	P2-1	25,07	24,87		2238,7
			P2-2	24,67			
	P3	568,7	P3-1	24,02	24,46		2221,5
			P3-2	24,89			

Tabla A.4.2.16 resultado resistencia a la compresión de probetas para segundo diseño experimental (granulometría del árido) para una arena con granulometría de partícula gruesa, para mortero con una relación agua/cemento 0,65

PATRÓN (ARENA GRUESA) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	591,6	P1-1	12,18	12,27	12,36	2310,9
			P1-2	12,36			
	P2	594,3	P2-1	12,78	12,42		2321,5
			P2-2	12,06			
	P3	591,9	P3-1	12,08	12,39		2312,1
			P3-2	12,69			
28 Días	P1	602,3	P1-1	23,19	22,17	21,94	2352,7
			P1-2	21,15			
	P2	594,6	P2-1	21,40	21,54		2322,7
			P2-2	21,68			
	P3	589,4	P3-1	21,85	22,11		2302,3
			P3-2	22,37			

Tabla A.4.2.17 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el primer día de confección con una relación agua cemento 0,5

PATRÓN (ARENA media) (0,5)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m³
7 Días	P1	563,6	P1-1	13,22	13,66	13,84	2201,6
			P1-2	14,09			
	P2	576,9	P2-1	14,09	13,87		2253,5
			P2-2	13,65			
	P3	565,9	P3-1	14,35	14,01		2210,5
			P3-2	13,66			
28 Días	P1	572,8	P1-1	23,50	23,90	23,73	2237,5
			P1-2	24,29			
	P2	577,4	P2-1	23,47	23,78		2255,5
			P2-2	24,08			
	P3	568,5	P3-1	22,88	23,52		2220,7
			P3-2	24,16			

Tabla A.4.2.18 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el primer día de confección con una relación agua cemento 0,55

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,55)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	566,5	P1-1	15,15	15,24	14,60	2212,9
			P1-2	15,32			
	P2	564,2	P2-1	14,47	14,26		2203,9
			P2-2	14,05			
	P3	563,5	P3-1	14,47	14,30		2201,2
			P3-2	14,12			
28 Días	P1	568,2	P1-1	23,93	24,28	25,23	2219,5
			P1-2	24,63			
	P2	566,2	P2-1	24,77	24,75		2211,7
			P2-2	24,72			
	P3	567,3	P3-1	26,37	26,67		2216,0
			P3-2	26,96			

Tabla A.4.2.19 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el primer día de confección con una relación agua cemento 0,6

PATRÓN (ARENA media) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	571,8	P1-1	14,01	13,79	13,54	2233,6
			P1-2	13,56			
	P2	573,9	P2-1	13,33	13,32		2241,8
			P2-2	13,30			
	P3	570,5	P3-1	13,57	13,52		2228,5
			P3-2	13,47			
28 Días	P1	555,0	P1-1	25,45	25,04	24,47	2168,0
			P1-2	24,62			
	P2	556,8	P2-1	23,64	23,66		2175,0
			P2-2	23,67			
	P3	556,1	P3-1	24,14	24,72		2172,3
			P3-2	25,30			

Tabla A.4.2.20 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el primer día de confección con una relación agua cemento 0,65

PATRÓN (ARENA media) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	557,3	P1-1	12,64	12,61	12,84	2177,0
			P1-2	12,58			
	P2	559,9	P2-1	13,61	13,52		2187,1
			P2-2	13,43			
	P3	555	P3-1	12,86	12,39		2168,0
			P3-2	11,92			
28 Días	P1	559,9	P1-1	23,66	22,97	22,92	2187,1
			P1-2	22,28			
	P2	559,4	P2-1	22,23	22,36		2185,2
			P2-2	22,49			
	P3	563,7	P3-1	24,31	23,44		2202,0
			P3-2	22,56			

Tabla A.4.2.21 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el primer día de confección con una relación agua cemento 0,7

PATRÓN (ARENA FINA) (0,7)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	557,1	P1-1	10,77	10,55	10,54	2176,2
			P1-2	10,32			
	P2	557	P2-1	10,40	10,41		2175,8
			P2-2	10,42			
	P3	561,6	P3-1	10,52	10,66		2193,8
			P3-2	10,80			
28 Días	P1	548,0	P1-1	18,77	18,69	19,08	2140,6
			P1-2	18,60			
	P2	550,6	P2-1	18,80	19,23		2150,8
			P2-2	19,65			
	P3	547,7	P3-1	19,12	19,33		2139,5
			P3-2	19,54			

Tabla A.4.2.21 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el segundo día de confección con una relación agua cemento 0,55

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,55)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	562,6	P1-1	14,82	15,33	15,38	2197,7
			P1-2	15,84			
	P2	568,8	P2-1	15,18	15,44		2221,9
			P2-2	15,69			
21 Días	P1	561	P1-1	23,51	23,67	24,44	2191,4
			P1-2	23,82			
	P2	566,7	P2-1	25,37	25,21		2213,7
			P2-2	25,05			
28 Días	P1	576,9	P1-1	28,20	27,85	27,40	2253,5
			P1-2	27,50			
	P2	569,3	P2-1	26,90	26,95		2223,8
			P2-2	27,00			

Tabla A.4.2.22 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el segundo día de confección con una relación agua cemento 0,6

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,6)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	568,9	P1-1	13,08	12,98	13,03	2222,3
			P1-2	12,87			
	P2	569,8	P2-1	13,12	13,08		2225,8
			P2-2	13,03			
21 Días	P1	574,9	P1-1	23,49	23,64	23,56	2245,7
			P1-2	23,78			
	P2	581,6	P2-1	23,35	23,48		2271,9
			P2-2	23,60			
28 Días	P1	575,7	P1-1	27,30	26,90	26,64	2248,8
			P1-2	26,50			
	P2	584	P2-1	27,50	26,37		2281,3
			P2-2	25,24			

Tabla A.4.2.23 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el segundo día de confección con una relación agua cemento 0,65

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,65)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 Días	P1	574	P1-1	12,78	12,89	12,64	2242,2
			P1-2	13,00			
	P2	575,3	P2-1	12,18	12,39		2247,3
			P2-2	12,59			
21 Días	P1	575,5	P1-1	21,36	21,34	22,34	2248,0
			P1-2	21,31			
	P2	573,8	P2-1	23,67	23,34		2241,4
			P2-2	23,00			
28 Días	P1	572,5	P1-1	23,98	23,83	24,24	2236,3
			P1-2	23,67			
	P2	568,2	P2-1	24,51	24,66		2219,5
			P2-2	24,80			

Tabla A.4.2.24 resultados resistencia a la compresión de probetas para tercer diseño experimental (relación Agua/cemento) para el segundo día de confección con una relación agua cemento 0,7

PATRÓN (ARENA MEDIA) (0,7)							
Propiedades de Probetas					Ensayo		
Edad	Probeta	Peso	Probeta	Resistencia	Resist. Prom	Resist. Prom GLOBAL	Densidad kg/m3
7 días	P1	560,2	P1-1	9,60	9,72	9,54	2188,3
			P1-2	9,84			
	P2	560,1	P2-1	9,45	9,35		2187,9
			P2-2	9,25			
21 días	P1	563,1	P1-1	19,09	18,52	18,89	2199,6
			P1-2	17,94			
	P2	567,8	P2-1	19,59	19,27		2218,0
			P2-2	18,94			
28 días	P1	566,7	P1-1	17,71	18,99	19,62	2213,7
			P1-2	20,26			
	P2	569,1	P2-1	20,26	20,26		2223,0
			P2-2	20,25			

ANEXO 4.3 EVALUACIÓN DE PÉRDIDA DE CONSISTENCIA EN EL TIEMPO PARA ARENA FINA

El presente diseño experimental aborda de forma complementaria dos líneas de investigación en torno al comportamiento del mortero en estado fresco y endurecido. Por un lado, se analiza la evolución de la consistencia del mortero con el paso del tiempo desde su confección, junto con la pérdida de humedad mediante un procedimiento de secado por horno microondas. En esta línea, se propone una experiencia en la cual se utilizan cuatro recipientes de vidrio resistentes al calor, cada uno con 100 gramos de mortero. Las muestras son introducidas al microondas en diferentes momentos tras su confección: a los 0, 10, 20 y 30 minutos. Cada muestra se somete a un ciclo de secado de 5 minutos, con pesajes intermedios cada 2,5 minutos. Este procedimiento permite analizar cómo varía la masa en función del tiempo de exposición al calor y del tiempo de reposo de la mezcla, estimando así la pérdida progresiva de humedad.

Adicionalmente, se midió la consistencia de las mezclas a través del ensayo de *flow table* cada 10 minutos (0, 10, 20 y 30 minutos), para cada relación agua-cemento evaluada. Esto permitió observar directamente la pérdida de docilidad en función del tiempo, complementando los resultados de pérdida de humedad con una medición funcional de la fluidez del mortero en estado fresco.

Por otro lado, se estudia el efecto de diferentes relaciones agua-cemento (a/c) —0,55; 0,60; 0,65 y 0,70— sobre la resistencia a la compresión del mortero, con mediciones a los 7, 14 y 28 días de curado. Este enfoque busca evaluar el desempeño mecánico del material, relacionando el diseño de mezcla con su resistencia final.

Ambos estudios comparten una misma base experimental: una arena de granulometría fina, trabajada bajo condiciones controladas y conforme a normativas chilenas (como la NCh1239 y NCh158). Esta coincidencia justifica la integración de ambos enfoques en un solo documento, facilitando un análisis más completo que conecta variables como la consistencia inicial, la humedad disponible en la mezcla y su resistencia mecánica en el tiempo, aportando así una visión integral del comportamiento del mortero desde su estado fresco hasta su endurecimiento.

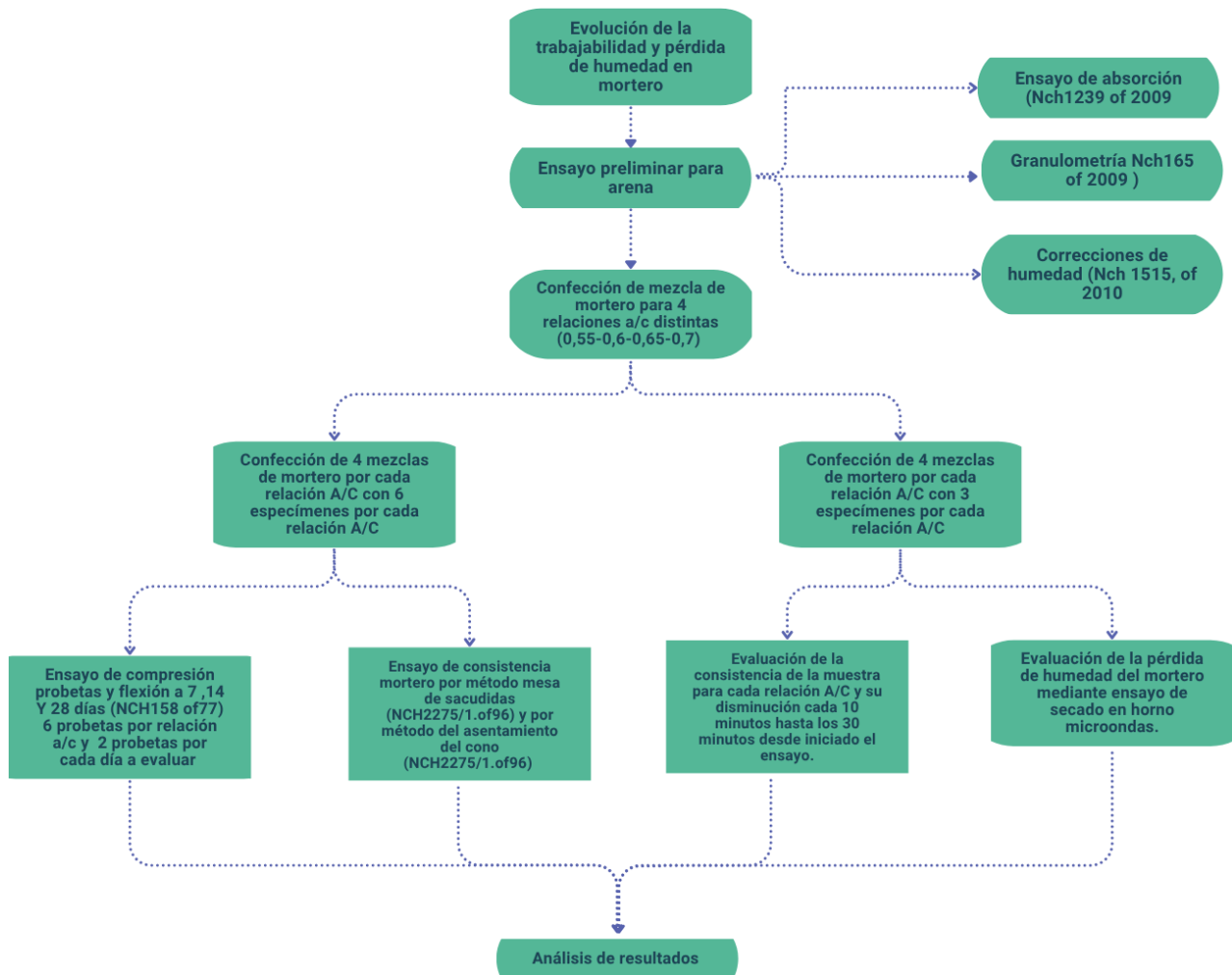


Figura 0.1 esquema evaluación de pérdida de consistencia en el tiempo para arena fina

Esta estrategia experimental permitió evaluar, de forma ordenada y controlada, la influencia de distintas variables sobre las propiedades del mortero, generando una base robusta de datos para el análisis de sensibilidad planteado en esta investigación.

Resultados:

La Figura 0.2 muestra la evolución de la consistencia del mortero en función del tiempo, medida con la mesa de sacudidas (INN, 1996a) los 0 ,10 ,20 y 30 minutos desde la confección. Las mezclas fueron preparadas con arena media y distintas relaciones agua/cemento. Esta figura permite analizar cómo la pérdida de humedad y los procesos de hidratación temprana afectan la consistencia de la mezcla con el paso del tiempo.

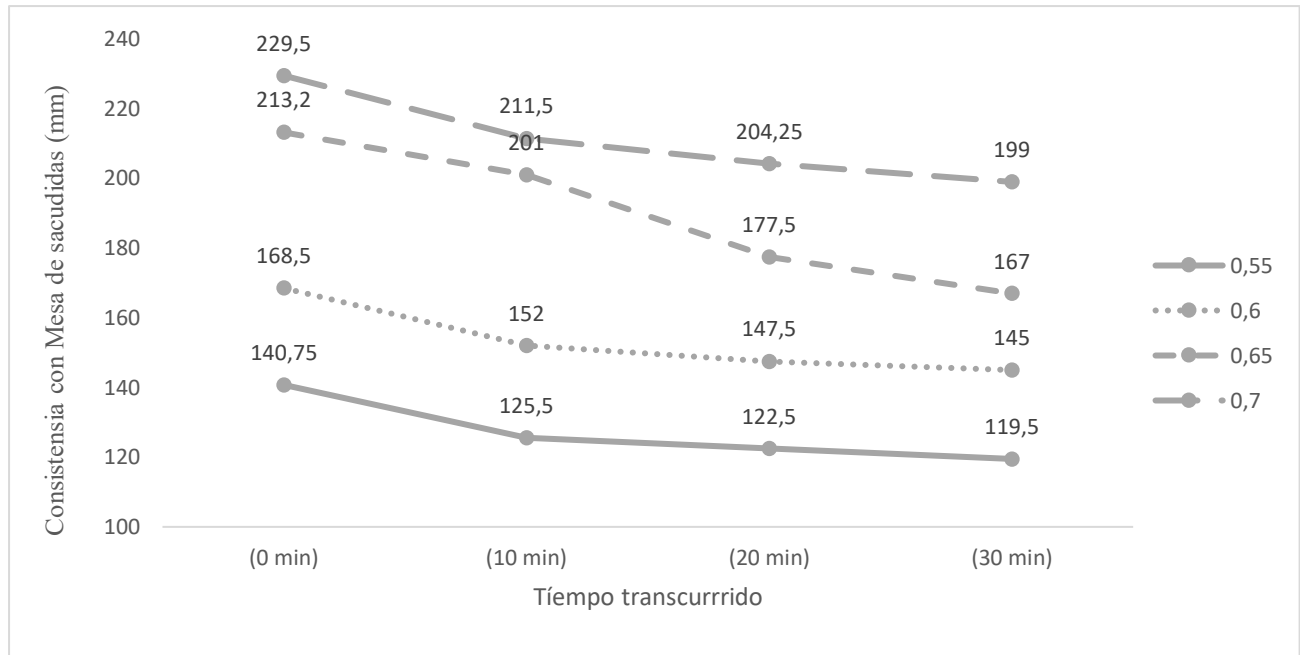


Figura 0.2 Consistencia medida a través del escurrimiento de la mezcla en un tiempo de 30 min

La Figura 0.3 siguiente muestra la evolución de la masa del mortero fresco en función del tiempo, determinada mediante el procedimiento de secado por horno microondas. Las mediciones se realizaron a los 0, 10, 20 y 30 minutos desde la confección de la mezcla, utilizando muestras de 100 gramos preparadas con arena media y distintas relaciones agua/cemento. Cada muestra fue sometida a un ciclo de secado de 5 minutos en microondas, con pesajes intermedios cada 2,5 minutos. Este ensayo permite observar cómo la pérdida de humedad, aunque progresiva, refleja no solo evaporación superficial, sino también procesos internos como la absorción por los áridos y la hidratación temprana del cemento. La reducción de masa registrada se relaciona directamente con la pérdida de agua libre disponible en la mezcla, lo que explica la disminución simultánea en el asentamiento documentada en los ensayos de consistencia.

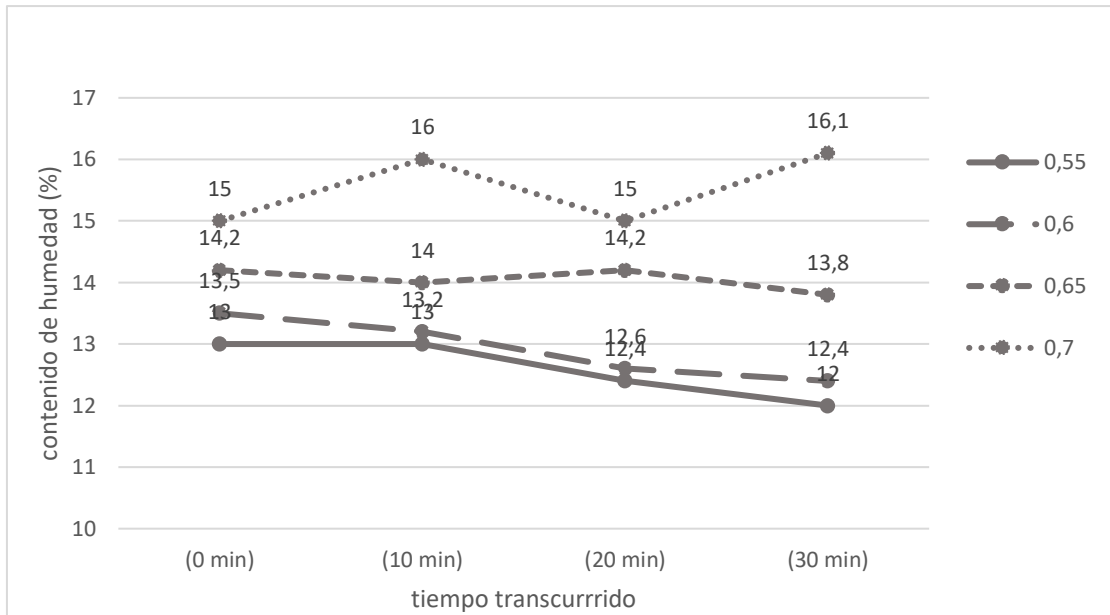


Figura 0.3 contenido de humedad en función del tiempo con secado en microondas

La Figura 0.4 expone los valores promedio de resistencia a la compresión para morteros confeccionados con arena fina y distintas relaciones agua/cemento. Los ensayos fueron realizados a los 7 , 14 y 28 días, con el objetivo de identificar cómo el contenido de agua afecta directamente la resistencia mecánica del material bajo condiciones controladas este tipo de arena.

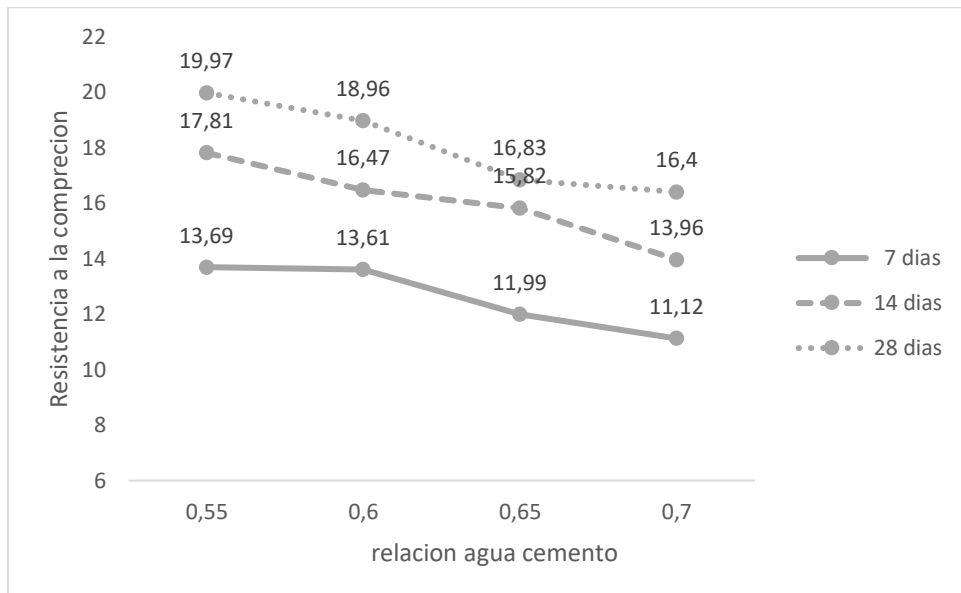


Figura 0.4 Resultados promedio de resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días para una arena fina tipo

Conclusión:

El motivo de este estudio fue comprender el comportamiento del mortero en estado fresco durante los primeros 30 minutos desde su confección, enfocándose en la pérdida de consistencia y su relación con el contenido de humedad. A través del uso del horno microondas como método práctico para estimar la pérdida de agua en muestras de mortero fresco, se observó que, si bien la masa total de agua no disminuye de forma drástica en ese período, la consistencia de la mezcla disminuye notablemente.

Esta reducción se explica porque el agua libre la que permite el movimiento entre partículas se consume rápidamente por absorción en los áridos y por las reacciones de hidratación temprana del cemento. Aunque la cantidad total de humedad no varíe significativamente, parte de esta agua deja de estar disponible, al quedar retenida en la estructura del cemento en forma de geles hidratados.

Este fenómeno, conocido como auto desecación interna, genera una pérdida de fluidez que no puede atribuirse únicamente a evaporación. Por ello, se confirma que la reorganización del agua en la mezcla es un factor determinante en la pérdida de consistencia, incluso cuando la masa no varía sustancialmente.

Los resultados obtenidos refuerzan la importancia de considerar el tiempo transcurrido entre la mezcla y la colocación del mortero como una variable crítica en su desempeño, especialmente en contextos constructivos donde la consistencia inicial es un parámetro clave de calidad.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento	: Departamento de Ingeniería Civil
Carrera	: Ingeniería Civil
Nombre del memorista	: Javier Jiménez Thambo
Título de la memoria	: Evaluación del impacto de materiales y métodos de confección en las propiedades en estado fresco y endurecido de mezclas cementicias de mortero
Fecha de la presentación oral	: 0 5 - 0 9 - 2 0 2 5
Profesor(es) Guía	: Luis Merino
Profesor(es) Revisor(es)	: Sebastián Calderón
Concepto	:
Calificación	:

Resumen

Esta memoria evalúa el impacto de variables clave en las propiedades en estado fresco y endurecido de mezclas cementicias de mortero, mediante tres diseños experimentales. Se analizó la influencia del tipo de arena (fina, media y gruesa), del método de confección (normativo y de laboratorio) y de relaciones agua/cemento entre 0,50 y 0,80. Se midieron la consistencia (mesa de sacudidas y asentamiento del cono reducido) y la resistencia a compresión y flexión a distintas edades.

Los resultados indican que la granulometría del árido fino tiene un efecto determinante en la trabajabilidad y resistencia del mortero. Las mezclas presentaron consistencias clasificadas como secas, plásticas o fluidas según el INN (2013), y resistencias a compresión que oscilaron entre 18 y 40 MPa. La relación agua/cemento mostró una correlación directa con la fluidez y una inversa con la resistencia, mientras que el método de confección no arrojó diferencias significativas.

Se concluye que controlar la granulometría del árido es clave para obtener mezclas reproducibles y eficientes, alcanzando clases Ma 15,0 y Ma 20,0 aptas para aplicaciones estructurales y de albañilería.