



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INCIDENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE (CEMENTO-CAL) EN EL RETEMPLADO DE UN MORTERO HIDRÁULICO

Ricardo González Willianson

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

Facultad de Arquitectura

Área curricular de Construcción y Hábitat

Medellín, Colombia

2015

INCIDENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE (CEMENTO-CAL) EN EL RETEMPLADO DE UN MORTERO HIDRÁULICO

Ricardo González Willianson

Trabajo final para optar el título de:
Magíster en Construcción (Modalidad Profundización)

Director:
Ph.D. Juan Carlos Ochoa Botero

Línea de Investigación:
Tecnología

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
Facultad de Arquitectura
Área curricular de Construcción y Hábitat
Medellín, Colombia
2015

A Sara, Natalia, Juan Felipe, y Ana Cecilia

Agradecimientos

Al grupo de investigación en cemento y materiales de construcción por su apoyo en el préstamo de equipos y laboratorio.

A la Dirección de Investigación y Extensión de la Facultad de Arquitectura por su apoyo en la formación de nuevos investigadores.

Resumen

El reemplado consiste en adicionar agua para recuperar la consistencia de la mezcla antes de iniciar su fraguado. El agua adicionada por reemplado es función del agua perdida por evaporación antes del fraguado inicial, y su relación varía según la dosificación del material cementante.

El objetivo de la investigación fue identificar cómo incide la dosificación del material cementante (cal/cemento) sobre el reemplado de un mortero hidráulico. Para conseguirlo, fue necesario, en distintos tiempos de reemplado, encontrar la cantidad de agua que recuperaba la consistencia de la mezcla, así como su relación con el agua evaporada, al cambiar la proporción de cal en el material cementante.

En consecuencia, se prepararon morteros con tres proporciones de cal en relación al material cementante: 5%, 10% y 25%. Se evaluaron tres tiempos de reemplado: 1,5 horas, 2,5 horas, y 3,5 horas. A su vez, se consideraron dos condiciones de evaporación en cada tiempo de reemplado: media (CE1) y alta (CE2). Los morteros se fabricaron para una consistencia especificada: fluidez de 110%.

Se concluyó que en condiciones similares de evaporación, la proporción del material cementante incide sobre el reemplado de la siguiente manera: al incrementar el contenido de cal de 5% a 10% se necesitó adicionar mayor cantidad de agua para recuperar la fluidez inicial de 110%, pero al seguir aumentando la cal hasta el 25%, la tendencia se invirtió, reflejando el efecto de la retención de agua producida por la cal sobre la evaporación; este comportamiento se observó en todos los tiempos de reemplado.

Los resultados encontrados proponen una posible relación entre la velocidad de evaporación y el contenido de cal en el material cementante.

Palabras clave: (Reemplado, consistencia, fluidez, evaporación, mortero, cal).

Summary

The retempering consists in adding water to recover the consistency of the mixture before it starts setting. The water added by retempering is a function of the water lost to evaporation before the initial setting, and its ratio varies depending on the dosage of the cementing material.

The aim of the research was to identify how this affects the dosage of cementitious material (lime / cement) on retempering a hydraulic mortar. To achieve this, it was necessary, in different periods of retempering, to find the amount of water recovered by the consistency of the mixture, as well as the relationship with the evaporated water, when changing the proportion of lime in the cementitious material.

Consequently, mortars were prepared with three proportions of lime relative to cementitious material: 5%, 10% and 25%. Three periods of retempering were evaluated, 1,5 hours, 2,5 hours, and 3,5 hours. In addition two conditions of evaporation were considered in each period of retempering: medium (EC1) and high (CE2). The mortars were made to a specified consistency: fluidity of 110%.

It was concluded that under similar conditions of evaporation, the proportion of cementitious material affects the retempering as follows: when increasing the lime content from 5% to 10% more water was needed to recover the initial fluidity of 110%, but in further increasing the lime content to 25%, the trend was reversed; this behavior was observed in all the periods of retempering.

The results suggest a possible relationship between the evaporation rate and the lime content in the cementitious material.

Keywords: (retempering, consistency, fluidity, evaporation, mortar, lime).

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de Figuras	XI
Lista de tablas	XII
Glosario.....	XIII
Introducción.....	1
1. Preliminares.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Pregunta general	4
2. Estado de la cuestión.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Hipótesis.....	6
2.3 Marco teórico.....	7
2.3.1 Componentes del mortero.....	8
2.3.2 Dosificación del mortero.....	9
2.3.3 Propiedades del mortero.....	9
3. Objetivos y justificación	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos.....	13
3.2.1 Objetivo 1.....	13
3.2.2 Objetivo 2.....	13
3.2.3 Objetivo 3.....	13
3.2.4 Objetivo 4.....	13
3.3 Resultados esperados	14
3.4 Justificación	14
3.5 Delimitación del estudio	15
4. Experimental.....	17
4.1 Materiales empleados.....	19
4.1.1 Cemento	19
4.1.2 Cal	20
4.1.3 Agua	21
4.1.4 Agregado fino.....	22
4.1.5 Mortero	24
4.2 Equipos	25
4.2.1 Tamizadora	25
4.2.2 Balanza.....	27
4.2.3 Amasadora electromecánica	27
4.2.4 Mesa de sacudidas	28
4.2.5 Aparato de Vicat.....	29

4.3	Procedimientos experimentales.....	30
4.3.1	Granulometría del agregado fino	31
4.3.2	Mezclado de mortero con amasadora electromecánica	32
4.3.3	Tiempo de fraguado del mortero.....	34
4.3.4	Consistencia del mortero fresco.....	36
5.	Resultados y discusión	39
5.1	Granulometría del agregado fino	39
5.2	Fluidez <i>versus</i> Agua inicial de amasado.....	40
5.3	Tiempos de fraguado y período de retemplado	42
5.4	Condición de evaporación	43
5.5	Fluidez <i>versus</i> Agua de adición por reemplado	45
5.6	Agua de evaporación <i>versus</i> Agua de adición por reemplado	54
5.7	Efecto del material cementante en el reemplado del mortero	58
6.	Conclusiones y recomendaciones	64
6.1	Conclusiones.....	64
6.2	Recomendaciones.....	65
A.	Anexo: Normas para morteros de revestimiento.....	67
	Bibliografía	70

Lista de Figuras

Figura 1. Imagen Cemento	19
Figura 2. Imagen Cal apagada	21
Figura 3. Imagen Agua	21
Figura 4. Imagen Composición porcentual del agregado fino	23
Figura 5. Gráfica Curva granulométrica para el árido de enfoscado (RPE-3-NTE)	23
Figura 6. Imagen Mortero	24
Figura 7. Imagen Tamizadora.....	26
Figura 8. Imagen Balanza – Termómetro/Higrómetro	27
Figura 9. Imagen Amasadora	28
Figura 10. Imagen Mesa de sacudidas	29
Figura 11. Imagen Aparato de Vicat	30
Figura 12. Imagen Granulometría del agregado fino.....	32
Figura 13. Imagen Amasada del mortero.....	33
Figura 14. Imagen Tiempo de fraguado del mortero	35
Figura 15. Imagen Consistencia del mortero	37
Figura 16. Gráfica Fluidéz versus Agua inicial/Material cementante	41
Figura 17. Gráfica Cal/Material cementante versus Agua inicial/Material cementante ...	42
Figura 18. Gráfica Condición de evaporación para cada periodo de reemplado	45
Figura 19. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 5% - Cemento 95%)	48
Figura 20. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 10% - Cemento 90%)	50
Figura 21. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 25% - Cemento 75%)	53
Figura 22. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 5%).....	55
Figura 23. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 10%).....	56
Figura 24. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 25%).....	57
Figura 25. Gráfica Efectos del material cementante en el reemplado	59
Figura 26. Gráfica Dosificación de cal (5% al 10%)	61
Figura 27. Gráfica Dosificación de cal (10% al 25%)	62
Figura 28. Proporciones de agua.....	63

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición química del cemento (porcentajes)	19
Tabla 2. Características del cemento utilizado	20
Tabla 3. Análisis químico del agua (red de Medellín EPM)	21
Tabla 4. Características del agregado fino	22
Tabla 5. Granulometría del agregado fino	22
Tabla 6. Granulometría de la arena para enfoscado (RPE_3-NTE).....	24
Tabla 7. Dosificación de mezclas. Proporción de materiales en peso	25
Tabla 8. Tipos de mezcla para ensayos. Relación por peso.....	39
Tabla 9. Dosificación de la arena por tamaño de grano	39
Tabla 10. Fluides para diferente proporción en el material cementante.....	40
Tabla 11. Tiempos de fraguado para el mortero (Cementante/Árido=1/4)	42
Tabla 12. Período de reemplado	43
Tabla 13. Rango de (Agua evaporada/ Material cementante) en cada tiempo de reemplado, para las condiciones de evaporación CE1 y CE2	44
Tabla 14. Ensayos de fluides propuestos para cada dosificación.....	46
Tabla 15. Ensayos de fluides (Cal/Mc 5% - Cemento/Mc 95%).....	47
Tabla 16. Ensayos de fluides (Cal 10% - Cemento 90%)	49
Tabla 17. Ensayos de fluides (Cal 25% - Cemento 75%)	52
Tabla 18. Efecto del material cementante en el reemplado	60

Glosario

Alicatado es un revestimiento que consiste en una loseta o azulejo fijado a la pared mediante una interfaz que le provee la adhesión.

Fábrica es un paramento conformado por piezas de ladrillo cerámico, bloque de hormigón o piedra de origen natural.

Material cementante se refiere a los materiales encargados del proceso de fraguado y endurecimiento de las mezclas, que, al contacto con el agua, sufren un proceso de consolidación de naturaleza química, a partir del cual se unen las partículas y se cohesionan el conjunto (cal hidráulica y cemento).

Mortero es una “mezcla de materiales cementantes, agregado fino y agua, que puede contener aditivos” (PCA, 2004, 402). Al endurecer, adquiere rigidez y resistencia.

Paramento es la superficie de los elementos constructivos, ya sean verticales u horizontales, que conforman el espacio arquitectónico. Los exteriores son aquellos expuestos a fenómenos meteorológicos y los interiores, cuando se encuentran protegidos de los agentes atmosféricos.

Retemplado es el proceso de adición de agua a un mortero preparado que ha perdido fluidez, con el propósito de hacerlo manejable.

Revestimiento es la “capa o cubierta con la que se resguarda o adorna una superficie”, según el diccionario de la Academia Española de la Lengua. Es todo tratamiento superficial aplicado sobre un paramento constructivo con el objeto de mejorar sus propiedades.

Revoque es el mortero que se aplica en una o varias capas de forma continua en un paramento exterior previamente enfoscado; su función es aportar el aspecto decorativo.

Introducción

El comportamiento en el tiempo (durabilidad) de un revestimiento fabricado con mortero hidráulico (revoque) depende del material utilizado, la dosificación de la mezcla, el tipo de superficie de soporte, la compatibilidad mortero-soporte, el grado de intervención por retemplado y la presión ejercida al colocarlo, además de las condiciones ambientales (evaporación) como también de los agentes agresores.

Durante la ejecución de un mortero de revoque (enfoscado), se pierde manejabilidad en la mezcla. “La manejabilidad está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico” [1]. Esta pérdida de consistencia no es una constante, y depende tanto de las condiciones ambientales (evaporación) como de los materiales que componen el mortero (agregado, cementante y agua). El operario modifica la mezcla al adicionarle agua (retemplado) para recuperar su fluidez antes de aplicarla, lo cual altera su dosificación inicial y algunas de sus propiedades.

Esta investigación responde a las siguientes preguntas: ¿Cuál es el tiempo máximo para aplicar un mortero de recubrimiento sin que pierda su consistencia inicial? ¿Cuánta agua debe adicionarse a la mezcla para recuperar su fluidez inicial (retemplado) antes de ser aplicada? ¿Cuántas adiciones de agua (tiempos de retemplado) se pueden hacer sin que la mezcla pierda sus propiedades? ¿Cuánto varía la relación Agua/Material cementante del mortero en cada nivel de retemplado? ¿Cómo incide la evaporación en el proceso de retemplado del mortero? ¿Qué efectos tiene relación cal/cemento sobre la evaporación en los diferentes tiempos de retemplado?

Para lograr el objetivo propuesto, se realizó un diseño experimental que consistió en preparar mezclas de mortero con distintas dosificaciones, se expusieron a condiciones ambientales variables y se evaluaron en diferentes tiempos de retemplado. A las muestras se les adicionó agua para recuperar su manejabilidad en cada tiempo de retemplado y se midió la fluidez con el fin de determinar el efecto sobre su consistencia, pues esta permite conocer el grado de intervención que ha sufrido la mezcla.

En cuanto a la dosificación, se probaron tres proporciones diferentes de cal en relación al material cementante total: 5%, 10% y 25%.

El período de reemplado equivale al tiempo que transcurre entre la preparación y el momento en que se interviene la mezcla cuando se adiciona agua antes de aplicarla; estos tiempos se determinaron una vez conocidos los tiempos del fraguado inicial de las dosificaciones: 1,5 horas, 2,5 horas y 3,5 horas, fueron los tiempos propuestos.

La consistencia del mortero se evaluó a partir de una medida en la mesa de sacudidas (fluidez). Como valor inicial para el mortero de revestimiento (enfoscado) se especificó una fluidez del 110%. Al intervenir las muestras para recuperar su manejabilidad, se adicionaba agua buscando regresar a la consistencia especificada, de tal forma que los valores de fluidez obtenidos en los ensayos se ubicaran entre el 100% (límite inferior) y el 120% (límite superior).

Durante el estudio se tuvo presente la evaporación como variable en cada tiempo de reemplado; en consecuencia, se sometieron las muestras a dos condiciones de evaporación diferentes. El cambio de masa en la mezcla permitió conocer la variación de la humedad por evaporación sobre el mortero antes de reemplarlo.

Para encontrar el efecto de la proporción del material cementante (cal/cemento) en el reemplado del mortero, fue necesario relacionar el agua perdida por evaporación con el agua de adición que recuperaba la consistencia inicial en cada tiempo de reemplado. Al variar la dosificación de la cal, la tendencia en la adición de agua se invirtió cuando su proporción superó el 10% del material cementante total; es decir, cuando la proporción de cal se incrementó del 5% al 10% se requirió mayor cantidad de agua para restablecer la fluidez inicial, pero cuando aumentó del 10% al 25% fue necesaria menor cantidad de agua de adición. La retención de agua debida a la cal presente en la mezcla se relaciona con el agua libre susceptible a ser evaporada en el mortero.

1. Preliminares

La durabilidad del mortero de revestimiento está determinada por las características del soporte (sustrato), los materiales a combinar, la dosificación de la mezcla, la proporción del material cementante (cal/cemento), la gradación del árido utilizado, el grado de retemplado en la colocación, además de las condiciones de curado.

Factores como la evaporación, la hidratación del mortero y el reemplado, modifican el contenido de agua libre al interior de la mezcla antes de ser colocada.

La cantidad de agua adicionada por reemplado se asocia con la manejabilidad del mortero al momento de su aplicación. Para valorar el efecto del material cementante en el reemplado de un mortero hidráulico se necesita conocer, además del agua inicial de amasado, la cantidad de agua perdida por evaporación, así como el agua que recupera la fluidez inicial de la mezcla al momento de ser intervenida.

1.1 Planteamiento del problema

Al diseñar un mortero hidráulico compuesto por cal, cemento, agregado natural y agua, para ser fabricado en obra y aplicado como revoque (enfoscado), debe tenerse presente los siguientes aspectos:

- Para el material cementante: El agua retenida en el mortero antes de reemplar la mezcla determina su grado de intervención; es decir, la proporción de cal en el material cementante modifica la retención de agua en la mezcla y altera la cantidad que se debe adicionar para restablecer su manejabilidad.
- Sobre las condiciones ambientales: La relación inicial Agua/Material cementante se modifica por el efecto de la evaporación sobre la mezcla antes de ser reemplada; el viento, la humedad y la temperatura son sus principales responsables. El agua de adición depende del grado de evaporación que sufre la mezcla antes de ser intervenida.

- En la colocación: Entre la preparación del mortero y su aplicación hay un tiempo durante el cual se pierde humedad por evaporación y/o por hidratación; la mezcla se interviene para recuperar su manejabilidad. El momento de la intervención determina el tiempo de reemplado al que se somete.

El proceso de reemplado altera la dosificación inicial del mortero; la evaporación modifica la relación Agua/Material cementante en la mezcla y produce variaciones significativas en la fluidez del mortero, la cual hay que recuperar adicionando agua.

Al momento de dosificar el agua para un mortero de revestimiento (enfoscado), es necesario responder los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es el rango de fluidez que debe presentar la mezcla para ser manejable y cuál el período de reemplado a considerar?
- ¿Cómo incide la relación del material cementante (cal/cemento) sobre la cantidad de agua retenida antes de someter la mezcla al proceso de reemplado?
- ¿Qué relación se presenta entre el agua perdida por evaporación y la cantidad de agua que se requiere adicionar para recuperar la consistencia inicial al reemplar la mezcla?
- ¿Cómo incide la relación del material cementante (cal/cemento) sobre la cantidad de agua adicionada, teniendo en cuenta el grado de evaporación en cada tiempo de reemplado?

1.2 Pregunta general

Se plantea, entonces, la pregunta general:

¿Cómo incide la proporción del material cementante (cal/cemento) en la dosificación inicial del mortero, y qué efecto tiene sobre el agua de adición cuando se interviene la mezcla para recuperar su fluidez, teniendo en cuenta el grado de evaporación en cada tiempo de reemplado?

2. Estado de la cuestión

Los revestimientos tienen como función proteger el paramento de las agresiones ambientales y mecánicas, y pueden ser continuos –cuando se confeccionan con mezclas fluidas, como en el caso de los morteros– o discontinuos –cuando se forman a partir de placas fijadas al paramento mediante anclajes [2].

Ahora bien, el diseño de mezclas en morteros tiene como propósito obtener condiciones específicas para proporcionar un determinado comportamiento en estado fresco (fluidez, retención de agua, etc.) y en estado endurecido (adherencia, resistencia, etc.). Las variaciones en la cantidad de los insumos alteran las propiedades del mortero [3].

2.1 Antecedentes

El revestimiento con mortero obliga a un soporte estable pero, a la vez, compatible con la mezcla. Por otra parte, la dosificación de diseño debe garantizar una fijación al soporte, de tal manera que resista los esfuerzos y demás exigencias previstas para su uso.

La relación entre material cementante y agregado en la mezcla tiene que ver con el uso y agresión que el mortero vaya a recibir durante su vida útil. Las proporciones por peso 1:2 y 1:3 se emplean para enfoscados y enlucidos hidrófugos; para alicatados se usa 1:4 y 1:5, y para revoque interior 1:6 y 1:7 [4].

Durante la puesta en obra del mortero, es práctica común adicionar agua a la mezcla que ha perdido consistencia, con el fin de recuperarla y poderla trabajar. En condiciones de obra, se encontró que la pérdida de fluidez era notable después de transcurridos 45 minutos de preparada la mezcla [5]. Este proceso de retemplado modifica la condición inicial de la mezcla y afecta algunas propiedades del mortero.

Con respecto a la adición de cal, hasta un 10% en relación al peso del cemento provee mejoras en plasticidad, manejabilidad y retención de agua del mortero fresco, además de aumentar la capacidad de absorber deformaciones [6].

Al tener la cal mayor superficie específica que el cemento, requiere más cantidad de agua para recubrir el área de contacto; al almacenar o retener más agua, se genera mejor lubricación entre las partículas haciendo el mortero más manejable. La forma plana de las partículas de cal permite que resbalen entre ellas, permaneciendo en contacto unas con otra; esta acción brinda mayor viscosidad a la mezcla.

La consistencia del mortero de recubrimiento presenta buena manejabilidad cuando la valoración del ensayo en la mesa de flujo se encuentra entre 100% y 120%. Los morteros de construcción deben tener una fluidez 20% mayor que la obtenida en laboratorio, debido a la absorción inmediata de los mampuestos al contacto con el mortero, aunque es difícil la verificación de esta propiedad al momento de la colocación [3]. La fluidez del mortero en estado plástico es determinante para una buena adherencia, por lo cual se propone que deba mantenerse en el rango entre 95% y 110%.

Investigaciones anteriores [6], al estudiar la adhesión en morteros hidráulicos sobre superficie cerámica, concluyeron que: a) lo importante para lograr una adherencia suficiente es controlar la fluidez en el mortero, y garantizar una retención de agua cercana al 70%; b) la relación entre el volumen total del material cementante (cemento y cal) y el volumen de árido debe estar entre 0,3 y 0,4; c) la relación del volumen de cal hidráulica con el volumen de cemento debe estar alrededor de 0,25, y d) la absorción del material cerámico no debe ser mayor del 15%.

2.2 Hipótesis

Entre la preparación del mortero y su aplicación transcurre un tiempo durante el cual la mezcla pierde consistencia debido, en parte, a la evaporación del agua de amasado y, en algunos casos, al aumento de viscosidad de la pasta por efecto del inicio de fraguado.

El reemplado es una práctica que se puede cuantificar e indica la cantidad de agua que el operario debe adicionar a la mezcla para recuperar su trabajabilidad (manejabilidad).

La variación en la proporción del material cementante (cal/cemento) modifica las propiedades del mortero en estado fresco. La cal actúa como retenedor natural y permite mayores tiempos de fraguado; más aún, mejora la manejabilidad del mortero: a mayor

contenido de cal en la dosificación del mortero se requiere mayor cantidad de agua de amasado para obtener igual consistencia en la mezcla inicial.

La retención de agua en la mezcla antes de ser retemplada, resulta de las proporciones del material cementante y presenta una relación inversa respecto del agua por añadir en el proceso de reemplado.

Para recuperar la fluidez inicial en cada tiempo de reemplado, el agua por adicionar varía de acuerdo con el contenido de cal. Para igual condición de evaporación, la cantidad requerida de agua por adicionar es proporcional al contenido de cal en el material cementante.

2.3 Marco teórico

El área de conocimiento en la investigación es la Tecnología y, específicamente, la Ciencia de Materiales. Se requiere indagar sobre las propiedades del mortero y los efectos que producen el cemento, la cal y el agua como variables en la dosificación, así como la influencia del medio sobre la evaporación de la mezcla.

El mortero hidráulico para revestimiento es una mezcla de agua, arena, cemento y cal, sin adiciones ni aditivos. El aglutinante (cemento y cal) ocupa entre el 20% y el 30% del volumen de la mezcla, y confiere propiedades de adherencia y cohesión al mortero [7].

Para garantizar la estabilidad del mortero de recubrimiento es necesario verificar la variación dimensional en estado endurecido, debido a su alta relación área/volumen (bajo espesor), así como comprobar el mecanismo de adherencia en el contacto mortero-soporte y revisar la relación de esfuerzos internos por efecto de la retracción hidráulica, contracción por secado y cambios de temperatura [8].

Los morteros difieren mucho de los concretos en cuanto a su manejabilidad, métodos de colocación y condiciones de curado; por lo tanto, no se puede asumir que sus prácticas de evaluación sean similares [3].

2.3.1 Componentes del mortero

Los componentes del mortero hidráulico objeto del estudio fueron: cemento Pórtland, cal aérea, agregado natural y agua.

El volumen que ocupan los componentes del mortero, en la dosificación de las mezclas, es así [7]:

El cemento Pórtland es el principal componente del mortero y ocupa entre el 13% y el 20% del volumen de la mezcla; aporta adherencia y cohesión, propiedades que proveen la resistencia mecánica.

La Cal es un plastificante natural que, al mezclarlo en proporciones entre el 6,5% y el 10% del peso de cemento, permite obtener mejoras en la plasticidad, manejabilidad y retención de agua en estado plástico; el mortero adquiere además la capacidad de absorber deformaciones. Tales condiciones le confieren al mortero mixto (cal-cemento) un llenado fácil y completo de toda la superficie del sustrato, pues posibilitan una amplia extensión de adherencia, como también mayores tiempos de fraguado [6].

El agua ocupa entre el 20% y el 30% del volumen de la mezcla; es el elemento que hidrata el material cementante y le permite aglutinar; la hidratación requiere de 0,40 gramos de agua por gramo de cemento y queda fija en la pasta, mientras que otra parte queda atrapada entre los vacíos y el resto es evaporable [12].

El aire atrapado en la mezcla puede ser liberado en el proceso de compactación; sin embargo, siempre queda aire residual que alcanza a ocupar un volumen del 8% en la mezcla. A medida que aumenta el contenido en aire (12% a 18%, según ASTM C-270), mejora la trabajabilidad del mortero, pero disminuye la resistencia mecánica, la adherencia y la impermeabilidad.

El agregado fino puede ocupar entre el 53% y el 67% del volumen de la mezcla. La resistencia del mortero se afecta de acuerdo con su origen, textura y forma geométrica.

El agregado de origen natural debe estar libre de arcilla, partículas deleznable, impurezas y materia orgánica; tampoco debe presentar reactividad potencial álcali-sílice

y/o álcali-carbonato. El árido proporciona armazón y estabilidad volumétrica al material cementante compensando la retracción en el proceso de endurecimiento [9].

2.3.2 Dosificación del mortero

Para fijar la proporción Material cementante/Agregado se recurrió a las recomendaciones presentadas en la normativa correspondiente, donde debe tenerse en cuenta los usos a los que vayan a estar expuestos los morteros. Las buenas prácticas constructivas recomiendan relaciones entre el cemento Pórtland y el agregado en función del uso y agresión que va a soportar el mortero.

El proceso de adicionar agua para recuperar la fluidez fractura las uniones internas del mortero donde se ha iniciado la hidratación, lo cual altera la dosificación inicial de la mezcla, condición que se refleja en sus propiedades [10]; esta práctica modifica la fluidez en estado plástico y la adherencia en estado endurecido.

Las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) son de aplicación común en las obras de construcción; allí se especifican las proporciones en peso entre el cemento y la arena: a) para enfoscados, de 1:2 y 1:3; b) para revoques, 1:3, 1:4 y 1:6 [11].

2.3.3 Propiedades del mortero

Las propiedades de los morteros varían según los componentes y las proporciones utilizadas en su dosificación. El diseño de mezcla se hace en función del uso y protección requeridos durante su vida útil.

El estudio de los morteros hidráulicos implica la caracterización de dos estados físicos muy diferentes: el “estado fresco” (mortero plástico) y el “estado endurecido” (mortero rígido).

Las propiedades resistentes y durables del mortero las provee el cemento hidráulico; la cal contribuye a la manejabilidad, retención de agua y plasticidad. La inclusión de cal en el mortero mejora las condiciones de adherencia; relación que se debe evidenciar en el cambio de dosificación del material cementante (cal/cemento). La disminución de

cemento altera la cantidad de elementos de fijación en la pasta del cementante, relación que debe cuidarse [12].

Dentro del alcance de esta investigación se propone valorar la consistencia del mortero en estado plástico, esta se verá afectada en forma directa por la proporción de la cal en el material cementante (cal/cemento), así como por la evaporación en los distintos tiempos de reemplado.

- **Estado plástico**

La propiedad esencial del mortero en estado plástico es su consistencia, cualidad necesaria para posibilitar el trabajo, poder esparcirlo con facilidad y adherirse a la superficie vertical de un paramento, de tal suerte que se logre un contacto completo con las irregularidades del soporte. Esta condición está subordinada a la cohesión, plasticidad, y retentividad en la mezcla [3].

La facilidad de colocación y compactación del mortero está determinada por su consistencia, manejabilidad y cohesión; su desgaste se deriva de la relación Agua/Material cementante, ya que las condiciones de la pasta fresca se afectan por la velocidad de hidratación y contracción térmica. Los cambios volumétricos obedecen a la exudación, retracción y asentamiento plástico [13].

La *Fluidez* es la medida de la viscosidad del mortero, es decir, qué tan dura o blanda es la mezcla en estado plástico. Para un mortero de revestimiento, el valor de fluidez debe estar alrededor de 110%, medido en la mesa de sacudidas [3].

La *Trabajabilidad* es la capacidad que tiene el mortero fresco de ser compactado y colocado sin que se segregue; esta propiedad mejora al adicionar cal hasta un 10% del contenido de cemento; también al aumentar la cantidad de agua y finos en la mezcla [6].

El *Tiempo de uso* se determina como el lapso durante el cual el mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin requerir adición de agua (reemplado). Para definirlo se tienen en cuenta la velocidad de fraguado y el endurecimiento del cemento empleado, así como la cantidad de agua presente en la mezcla, pues un aumento en la

relación Agua/Material cementante disminuye la velocidad de fraguado, con lo que se mejora la trabajabilidad [13].

- **Estado endurecido**

En estado endurecido, el mortero necesita desarrollar propiedades que favorezcan la adhesión con la unidad de albañilería y su resistencia a los agentes externos. Las características a verificar del mortero son: compacidad, peso unitario, condiciones de curado y secado, resistencia mecánica, durabilidad, contracción por secado, efectos térmicos y apariencia.

Por *Compacidad* se entiende la capacidad de acomodamiento de las partículas dentro de la mezcla; es decir, define la cantidad de materia sólida en volumen absoluto: a mayor compacidad mayor peso unitario [13].

La *Densidad* del mortero en estado endurecido está definida por las propiedades de sus componentes; puede verse afectada por la granulometría, la dosificación y la relación Agua/Material cementante.

El mortero, una vez endurecido, debe atender las tensiones provocadas por movimientos diferenciales del soporte, así como las generadas por cambios ambientales, impactos y agresiones externas [8]. La Resistencia mecánica del mortero no debe ser superior a la del soporte; además, debe ser suficientemente flexible para acompañar pequeños movimientos térmicos o estructurales del soporte.

La *Resistencia a compresión* da una idea de la cohesión interna del mortero e indica su capacidad de soportar presiones sin disgregarse. La Cohesión se relaciona con el grado de estanquidad que pueda desarrollar el mortero.

La *Resistencia a tracción* mide la fuerza que oponen las partículas a separarse. La *Succión*, como medida de la avidez de agua en la superficie de contacto, transporta los elementos que proporcionan anclaje en la interface; estos son los responsables de la resistencia a tracción en el mortero del revestimiento [14].

La *Resistencia de adherencia* es la capacidad de oponerse a las tensiones normales y tangenciales en la interface mortero-soporte, entendida como la resistencia del mortero a despegarse del soporte [13].

La *Absorción* de agua determina la permeabilidad de un enfoscado. A su vez, está supeditada a la estructura capilar del material (cantidad- configuración); por tanto, cuanto más compacto sea, menor será la red capilar y menor absorción se presentará [7].

3. Objetivos y justificación

3.1 Objetivo general

Identificar, como incide la dosificación del material cementante (cal/cemento) cuando se retempla un mortero hidráulico para recuperar su consistencia inicial, antes de fraguar.

3.2 Objetivos específicos

A continuación se presentan los objetivos específicos de la investigación:

3.2.1 Objetivo 1

Obtener, para diferentes proporciones del material cementante (cal/cemento), la cantidad de agua que logra una fluidez específica (110%) en la mezcla, antes de someter el mortero al proceso de retemplado.

3.2.2 Objetivo 2

Encontrar, para una fluidez específica (110%) y diferentes proporciones del material cementante (cal/cemento), el agua perdida por evaporación y la cantidad de agua adicional que requiere el mortero para recuperar su consistencia inicial, cuando se somete a distintos tiempos de retemplado.

3.2.3 Objetivo 3

Cuantificar, para una fluidez específica (110%) y diferentes proporciones del material cementante (cal/cemento), la relación entre el agua evaporada y el agua de adición que recupera la consistencia en cada tiempo de retemplado.

3.2.4 Objetivo 4

Identificar el efecto de la proporción del material cementante (cal/cemento) sobre el agua de adición que recupera la consistencia inicial del mortero, considerando la pérdida de agua por evaporación en cada tiempo de retemplado.

3.3 Resultados esperados

- Para todas las dosificaciones: valorar la pérdida de agua por evaporación en la mezcla, además de obtener el agua necesaria para recuperar la fluidez en cada tiempo de reemplado propuesto.
- Para la combinación del material cementante (cal/cemento): obtener la relación entre el agua inicial de amasado y la fluidez para las diferentes proporciones de material cementante. Al incrementar el porcentaje de cal respecto al cemento se aumenta la cantidad de agua inicial de amasado; el agua retenida por la cal puede alterar la tasa de evaporación en la mezcla.
- Para la evaporación: identificar una posible relación entre las proporciones del material cementante (cal/cemento) y la tasa de evaporación.
- Para cada tiempo de reemplado: encontrar la relación entre el agua de adición por reemplado y la pérdida de agua por evaporación para las diferentes dosificaciones.
- Para la metodología del diseño: indicar una posible corrección sobre la dosificación del mortero, por el efecto del reemplado.

3.4 Justificación

Al diseñar un mortero de revestimiento es necesario considerar el tipo de servicio que va a prestar y tener en cuenta los agentes agresivos que ha de soportar durante su vida útil (durabilidad). El buen comportamiento de la estructura integrada no puede inferirse de las características aisladas del mortero o del soporte, sino que está supeditado al grado de unión o adhesión entre ellos.

La poca protección brindada a los insumos del mortero durante la puesta en obra, la falta de corrección por evaporación en el diseño de la mezcla, su escaso curado, el poco o ningún seguimiento a la medida del añadido de agua así como a los tiempos de colocación, son alertas que obliga mirar con especial atención los procesos de verificación durante la construcción.

En muchas ocasiones, cuando se trata de producir en obra el mortero y dosificar sus componentes, no se tiene en cuenta el efecto del retemplado sobre el comportamiento de sus propiedades en estado endurecido. El diseño de mezcla no contempla una corrección por retemplado, ni se verifica la retención de agua del mortero antes de ser intervenido.

El control de calidad del mortero elaborado en obra se refiere, por lo general, a ensayos sobre muestras tomadas al momento de su preparación que, no corresponden a la realidad del mortero colocado cuando ha sufrido retemplado. Para valorar el mortero que recibe el soporte, más no el fabricado, es necesario que la toma de muestras se realice en el lugar de la puesta en obra y corresponda con la mezcla que se aplica.

El escaso control a pie de obra, por parte del personal responsable de asegurar la calidad, especialmente en cuanto al uso de materiales y al impacto en la vida de servicio (durabilidad), no ha posibilitado retroalimentar la actividad de forma dinámica y, se ha perdido mucha parte de la experiencia adquirida en el tiempo.

Hasta ahora no se han divulgado estudios que permitan relacionar para las condiciones locales la pérdida de agua por evaporación con el tipo de intervención al que se somete una mezcla de mortero antes de ser aplicada. Tampoco se corrige el diseño de la mezcla por el efecto que le imprime el agua adicionada cuando se retempla el mortero. Al modificar la relación Agua/Material cementante se altera la consistencia en estado fresco y la adherencia proyectada al estado endurecido.

3.5 Delimitación del estudio

El material cementante del mortero está conformado por combinaciones de cemento Pórtland y cal; la proporción cal/cemento es una variable en el ejercicio. El tipo de cemento y el tipo de cal son invariantes.

La proporción entre el agregado y el material cementante es una constante en el estudio.

El origen del agregado y su granulometría no son factores variables en la investigación; por lo tanto, fue necesario establecer una sola fuente de material y definir una

granulometría de diseño que cumpla las condiciones específicas de una mezcla para enfoscado (revoque).

Otra variable que se presenta en el estudio tiene que ver con la intervención del operario sobre el mortero, al adicionar agua para mejorar su manejabilidad durante la colocación de la mezcla. Se identifican, entonces, diferentes periodos de reemplado.

La consistencia del mortero es la propiedad a medir en forma experimental; se determina por medio del ensayo de flujo en la mesa de sacudidas. Todos los ensayos se limitan a un rango de fluidez entre 100% y 120%.

La evaporación se mide por la pérdida de masa en la mezcla antes de adicionarle el agua que recupera la manejabilidad del mortero.

4. Experimental

Durante la investigación se implementó un diseño experimental que permitió identificar la incidencia del material cementante (cal/cemento) en el retemplado de un mortero hidráulico (revoque), antes de ser aplicado. Para conseguirlo, se tuvo en cuenta el efecto de la evaporación sobre el agua adicional que recuperó la manejabilidad de la mezcla al retemplarla.

- **Diseño experimental**

Para determinar el efecto de la dosificación del mortero cuando se intervino al retemplarlo, fue necesario: a) obtener la relación entre el agua inicial de amasado y la fluidez de la mezcla para diferentes proporciones del material cementante; b) encontrar la cantidad de agua evaporada, antes de someter la mezcla al proceso de retemplado; c) valorar la cantidad de agua por adicionar en cada periodo de retemplado, cuando se recuperaba su fluidez inicial; d) finalmente, encontrar la relación entre el agua evaporada y el agua de adición que recuperaba la consistencia en cada tiempo de retemplado.

- **Metodología en el diseño experimental**

Los morteros preparados debían cumplir con un valor de escurrimiento previo, que es la condición de manejabilidad para la puesta en obra. La medida del escurrimiento para los ensayos se limitó dentro del rango 100% a 120% de fluidez obtenida en la mesa de sacudidas, de acuerdo con la norma UNE_EN_1015-3.

Para elaborar los morteros, la consistencia se especificó en 110% de fluidez y correspondió con el valor medio del rango de trabajo.

La relación en peso entre el material cementante y el agregado propuesto fue 1:4, permaneciendo constante durante el estudio: a mayor cantidad de cal menor cantidad de cemento.

Para cada dosificación del material cementante (cal/cemento), fue necesario obtener en el rango de fluidez especificado (100% a 120%), la función que relaciona el agua inicial de amasado con su correspondiente la fluidez. Conocida la cantidad de agua que

correspondió a la fluidez especificada de 110% en cada dosificación, se pudieron elaborar los diferentes morteros a reemplar.

Ahora bien, antes de intervenir la mezcla con un proceso de reemplado fue preciso valorar la retención del agua en el mortero, considerando tanto la evaporación como el tiempo de fraguado, de tal manera que luego se pudiera relacionar la pérdida de agua con el agua de adición que recuperaba la fluidez especificada en cada dosificación.

El período de reemplado se definió después de conocer el tiempo inicial de fraguado en las distintas dosificaciones de material cementante. Se determinaron tres tiempos de reemplado antes de cumplirse el tiempo de fraguado inicial. En cada tiempo de reemplado se debió encontrar la cantidad de agua que era preciso adicionar, con el fin de recuperar la consistencia inicial de la mezcla (fluidez especificada del 110%).

Una vez que se conoció, en cada dosificación de mortero, el agua requerida para elaborar la mezcla con un valor de escurrimiento especificado y la cantidad por adicionarle que recuperaba su fluidez en cada tiempo de reemplado para diferentes estados de evaporación, se pudo cuantificar la relación entre el agua de evaporación y el agua de adición por reemplado; lo que equivalía a identificar el efecto del material cementante (cal/cemento) cuando se reemplaza un mortero hidráulico.

- **Factores que intervienen en el diseño experimental**

El cemento Pórtland, la cal, el origen del árido, la granulometría del agregado natural y la fluidez especificada para el análisis, fueron factores que no presentaron variaciones.

La relación del material cementante (cal/cemento), la evaporación y los periodos de reemplado fueron variables en el ejercicio.

- **Actividades previas**

Las actividades previas determinadas en el estudio fueron: a) la granulometría del árido utilizado; b) la dosificación (cal/cemento) del material cementante considerado; c) la proporción entre el material cementante y el árido; d) el rango en la consistencia del mortero preparado, medida como porcentaje de flujo en la mesa de sacudidas; e) el valor

especificado para la fluidez ; f) las condiciones de evaporación propuestas para los ensayos; g) los tiempos de retemplado para evaluar las mezclas.

4.1 Materiales empleados

Los materiales utilizados para elaborar los morteros objeto de estudio se seleccionaron de acuerdo con la normativa contenida en la sección “Revestimientos de Paramentos Enfoscados” de las “Normas Tecnológicas de la Edificación” (RPE_NTE).

4.1.1 Cemento

Las mezclas de mortero se elaboraron con cemento de alta resistencia inicial o Pórtland gris tipo III/350, suministrado por la empresa Argos de la planta “Río Claro (Antioquia-Colombia)”. La composición química del cemento de alta resistencia inicial se detalla en la **Tabla 1** y el proceso de pesado se observa en la **Figura 1**.

Tabla 1. Composición química del cemento (porcentajes)

Composición química del cemento Tipo III/350									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PF*	RI**
22-29	6-13	1-3	47-60	1-5	1-4	0-1	0-1	1-4	<3

* Pérdida al fuego ** Residuo insoluble



Figura 1. Imagen Cemento

Las características del cemento fueron suministradas por el laboratorio del proveedor y se transcriben en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Características del cemento utilizado

Caracterización del cemento Tipo III/350	VALOR	NORMA
Superficie específica Blaine (m ² /kg)	375	NTC_33
Residuo en tamiz #200 (%)	9,7	NTC_226
Gravedad específica	3,1	NTC_221
Consistencia normal (%)	23,4	NTC_110
Tiempo de fraguado (min.)	75	NTC_118
Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	33,5	NTC_220

(NTC = Norma Técnica Colombiana)

Norma RPE_1-NTE (enfoscado): cemento P-250 o P-350.

4.1.2 Cal

Para las diferentes dosificaciones del material cementante se adicionó cal aérea tipo M, suministrada por la empresa Promical con las siguientes características:

- Granulometría: Residuo retenido malla #30 menor al 0,5%
Residuo retenido malla #200 menor al 15%
- Composición: Óxido de calcio y magnesio (base no volátil); mayor al 95%
Óxido de calcio y magnesio (base volátil); mayor al 71,2%
Residuos insolubles; menor del 1,75%
Humedad máxima 0,75%
Dióxido de carbono; menor del 5%

Norma RPE_2-NTE (enfoscado): para mortero mixto, cal apagada en polvo (UNE_41066), cal aérea tipo I (UNE_41067), cal hidráulica tipo I (UNE_41068).

La cal aérea carbonata con mayor lentitud y le da plasticidad al mortero. En la **Figura 2** se observa el proceso de pesaje para la cal.



Figura 2. Imagen Cal apagada

4.1.3 Agua

En la preparación de los morteros se utilizó el agua de la red potable que suministra la empresa EPM en la ciudad de Medellín, cuyo análisis promedio se indica en la **Tabla 3**. El proceso de pesado se observa en la **Figura 3**.

Tabla 3. Análisis químico del agua (red de Medellín EPM)

Cloruros (mg/l)	Ca y Mg (mg/l) de CaCO ₃	Sulfatos (mg/l)	Conductividad μS/cm	pH
93	480	298	939	7,88



Figura 3. Imagen Agua

4.1.4 Agregado fino

Los áridos utilizados corresponden al depósito aluvial del río Negro en el municipio de Rionegro (Antioquia). La arena usada en la fabricación de morteros se procesa en la cantera “Planta Arenas y Triturados del Oriente”.

La caracterización del agregado fino para morteros se realizó mediante el procedimiento presentado en la norma UNE_EN_13139. En la **Tabla 4** se presenta la caracterización del agregado fino utilizado.

Tabla 4. Características del agregado fino

Caracterización del Agregado fino	VALOR	NORMA
Peso unitario seco (g/cm ³)	1,36	NTC_92
Peso unitario compactado (g/cm ³)	1,44	NTC_92
Absorción (%)	1,45	NTC_237
Gravedad específica (SSS)	2,69	NTC_237
Módulo de finura	2,52	NTC_77

(NTC = Norma Técnica Colombiana)

La granulometría propuesta en la **Tabla 5** se obtuvo mediante tamizado de arena machacada; se combinaron las cantidades adecuadas por tamaño de grano de acuerdo con los valores recomendados en la Norma RPE_3-NTE (enfoscado); de esta manera, el agregado fino presentó uniformidad en todas las muestras, con módulo de finura constante. Los porcentajes en peso del material retenido por tamices se presentan en la **Figura 4**.

Tabla 5. Granulometría del agregado fino

tamiz (mm)	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
% que pasa la malla	100	75	47,5	22,5	7,5	0

Módulo de finura 2,52

Para el control granulométrico se procedió así: a) el material se procesó mediante tamizadora mecánica; b) se separó por número de tamiz para ser secado en horno; c) una vez seco, se empacó en bolsas de polietileno con sello hermético; d) se obtuvo el material para la mezcla al combinar por peso los diferentes tamaños de agregado según la dosificación presentada en la **Tabla 5**.

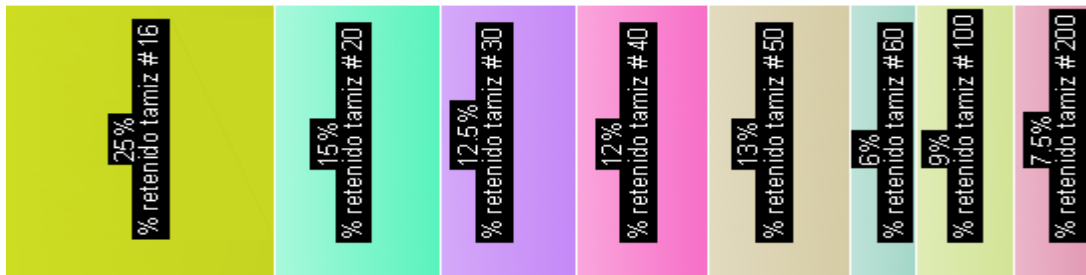


Figura 4. Imagen Composición porcentual del agregado fino

En la **Figura 5** se muestra la gráfica correspondiente a la granulometría que especifica la Norma RPE_3-NTE (enfoscado) para el árido utilizado en morteros de revestimiento (enfoscado). Se presentan los límites superior e inferior de la norma y se grafica la granulometría definida para el estudio.

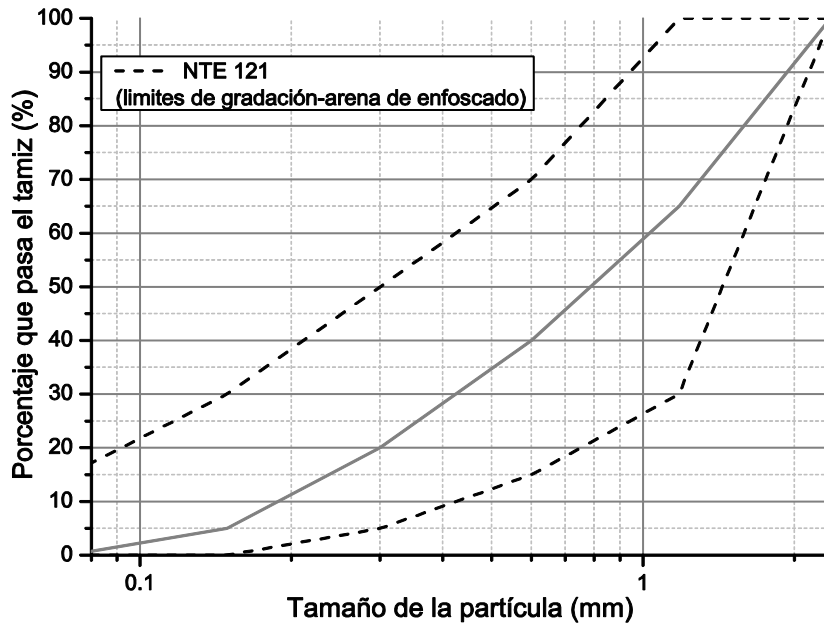


Figura 5. Gráfica Curva granulométrica para el árido de enfoscado (RPE-3-NTE)

Norma RPE_3-NTE (enfoscado): material procedente de río, mina o machaqueo, que debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Contenido de materia orgánica: disolución ensayada según UNE_7082
- Contenido de otras impurezas: mica, yeso, feldespato y pirita, menor del 2 %
- Forma del grano: redonda o poliédrica
- Tamaño máximo del árido: 2,5 mm
- Volumen de huecos: inferior al 35% (verter agua en un recipiente con arena)
- Granulometría: porcentaje que pasa de acuerdo a lo especificado se presenta en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Granulometría de la arena para enfoscado (RPE_3-NTE)

tamiz (mm)	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
% pasa (en peso)	100	100-30	70-15	50-5	30-0	15-0

4.1.5 Mortero

El tamaño del agregado y el grosor de acabado para el mortero de enfoscado se determinaron de acuerdo con la Norma RPE_3-NTE (enfoscado). Para el estudio, se estableció el espesor de enfoscado en 15 mm \pm 1 mm; como tamaño máximo del árido se seleccionó la malla de tamiz 2,5 mm. El proceso de pesaje se observa en la **Figura 6**.



Figura 6. Imagen Mortero

La **Tabla 7** muestra las dosificaciones en peso propuestas para llevar a cabo los diferentes ensayos dentro del estudio.

Tabla 7. Dosificación de mezclas. Proporción de materiales en peso

Descripción de la mezcla	Cemento	Cal	Arena
Mezcla A (C-5)	19%	1%	80%
Mezcla B (C-10)	18%	2%	80%
Mezcla C (C-25)	15%	5%	80%

Norma RPE_4-NTE: Para mortero mixto, la relación de material cementante y agregado fino (mc/af) para enfoscados en revestimientos interiores es de 1:4.

Norma RPE_3-NTE: El espesor de enfoscado para terminación sin revestimiento posterior es de 15 mm \pm 1 mm. El tamaño máximo del árido es 2,5 mm.

Mortero formado por:

- cemento según RPE_1-NTE
- cal según RPE_2-NTE
- agregado fino según RPE_3-NTE
- agua según EFH_3-NTE

4.2 Equipos

Para realizar los ensayos propuestos en el estudio se utilizaron equipos especializados, homologados para cada procedimiento. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín. A continuación se detallan los diferentes equipos utilizados.

4.2.1 Tamizadora

Para separar por tamaño de grano el material árido, se utilizó una tamizadora. Esta consiste en una serie de platos cuyo fondo está compuesto de una malla cuadrada con diferentes aberturas. Los platos se ensamblan según la dimensión de la abertura, de

menor a mayor. Así, cuando se vierte el material sobre el plato superior, las partículas cuyo tamaño supera la abertura de la malla en que está, quedan retenidas, pasando el resto de material, de menor dimensión, al plato inmediatamente inferior y así sucesivamente. El ajuste de ensamble de los diferentes platos debe ser hermético. La torre de tamices se cierra por encima con una tapa, mientras en la parte inferior se coloca un plato cerrado de tal manera que allí se deposite el material fino que pasa todos los filtros.

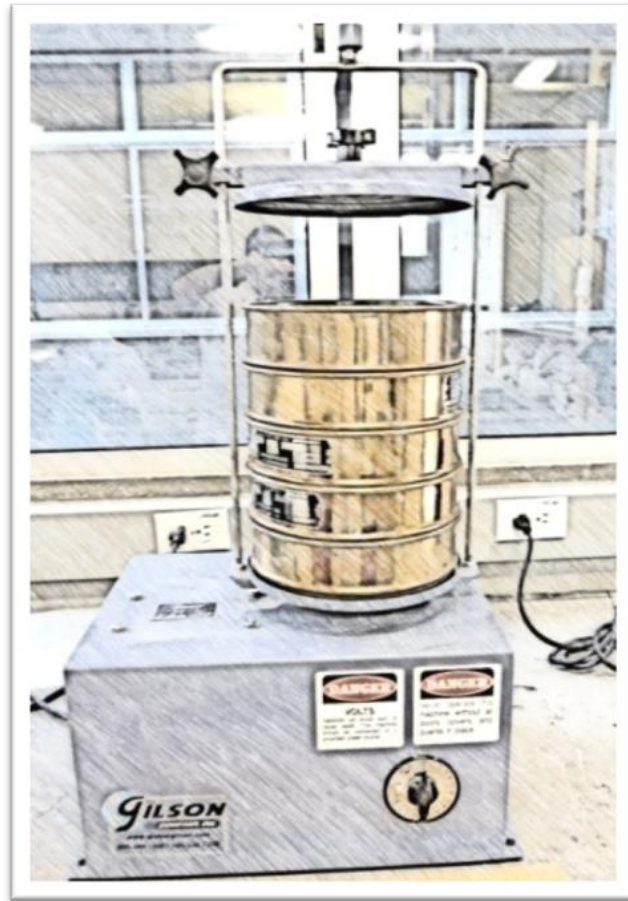


Figura 7. Imagen Tamizadora

Las dimensiones de abertura de las mallas que conforman la tamizadora para morteros, según la norma EN_1015-1, son: 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, y 0,63 mm.

4.2.2 Balanza

La balanza electrónica permite medir con precisión las masas correspondientes a las muestras utilizadas en la experimentación. En este caso, se contó con una balanza electrónica modelo ST-1200, con capacidad máxima de 2.400 g y mínima de 500 mg. Su escalón de verificación es de 100 mg y su rango de tara de -1.200 g.

Para registrar las condiciones ambientales de humedad y temperatura durante los ensayos, se utilizó un equipo digital de mediana precisión de la marca Extech.

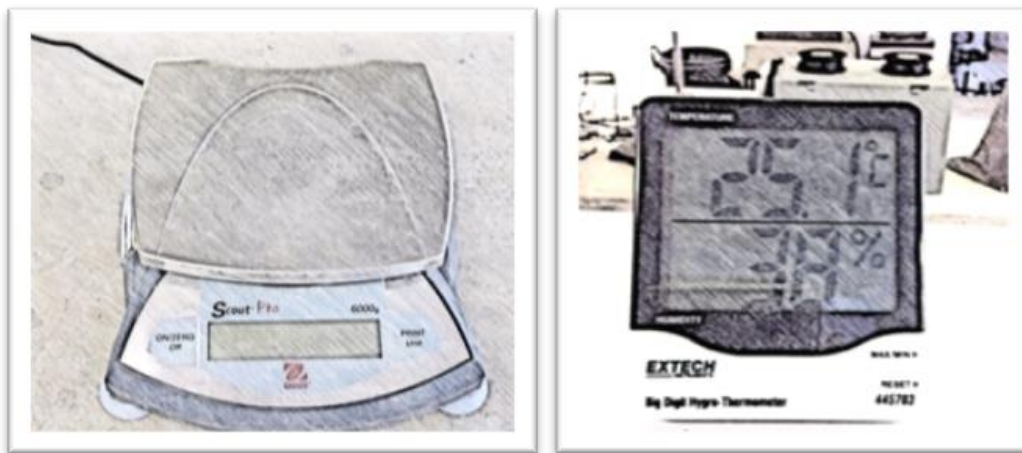


Figura 8. Imagen Balanza – Termómetro/Higrómetro

4.2.3 Amasadora electromecánica

Para la elaboración de morteros se utilizó una amasadora con recipiente de acero de cinco litros de capacidad. Esta se fija firmemente al bastidor durante el amasado; también, contiene una pala de acero accionada por motor eléctrico a velocidades controladas, con movimiento de rotación sobre su propio eje y de traslación tipo planetario alrededor del eje del recipiente, ambos en sentidos opuestos. Las velocidades de rotación son: lenta, de 140 r.p.m.; media, de 210 r.p.m., y rápida, de 280 r.p.m.

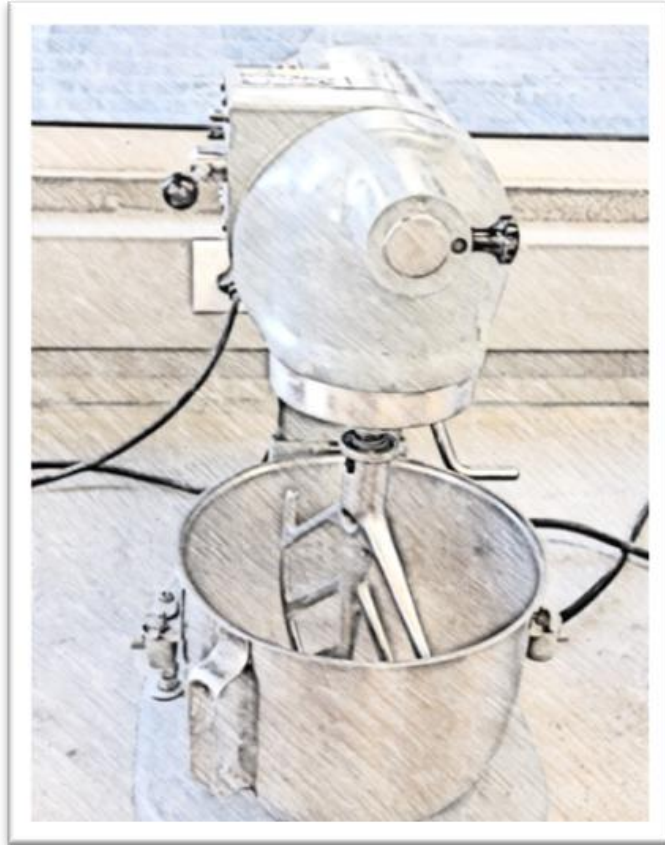


Figura 9. Imagen Amasadora

4.2.4 Mesa de sacudidas

Para evaluar la consistencia del mortero fresco se utilizó la “mesa de sacudidas”, que consiste en una placa rígida montada en un bastidor de fundición, fijado directamente sobre una base horizontal estable sin ningún tipo de soporte. La placa de la mesa de sacudidas debe tener un disco de 300 mm de diámetro y de 4 mm de espesor. En la superficie superior del disco se debe grabar un círculo de 100 mm de diámetro y 0,5 mm de profundidad, con el fin de facilitar el centrado del molde. Al accionar la mesa, el eje horizontal gira a velocidad constante. El disco es levantado 10 mm mediante una leva de acero cuyo diámetro aumenta de manera regular después de girar 240°. El eje del elevador se deja caer sin ningún obstáculo.



Figura 10. Imagen Mesa de sacudidas

El material se dispuso mediante el llenado del molde troncocónico de 60 mm de altura, con diámetros interiores de 100 mm en la base y 70 mm en la parte superior. Los planos que contienen los bordes, superior e inferior, son perpendiculares al eje del molde. El espesor de la pared es de 2 mm.

Para compactar el material dentro del molde se usó un pisón de madera de 40 mm de diámetro y 200 mm de longitud. La masa del pisón fue de 0,250 kg.

4.2.5 Aparato de Vicat

Para obtener los tiempos del fraguado en los morteros, se usó el aparato de Vicat, el mismo que se usa en pastas, pero con diferente masa en el adaptador que soporta la aguja.

El aparato consta de un armazón con un vástago móvil provisto de una sonda de Tetmayer, un indicador y un freno. El vástago se puede fijar en cualquier posición mediante un tornillo. El indicador es ajustable y se mueve sobre una escala graduada en milímetros. La aguja de metal tiene longitud de $50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, diámetro de $1,13 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ y masa total con el adaptador de $1.000 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$.



Figura 11. Imagen Aparato de Vicat

El mortero a ensayar se vertió en un molde soportado sobre una base de vidrio. El molde tiene forma troncocónica de $40 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$ de altura con diámetros interiores de $70 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ y $80 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ superior e inferior, respectivamente. La base de vidrio plano es de mayor dimensión que el molde con un espesor mínimo de $2,5 \text{ mm}$.

4.3 Procedimientos experimentales

Los ensayos propuestos se ejecutaron siguiendo los protocolos establecidos en la normativa correspondiente.

La granulometría propuesta se obtuvo al separar por tamaño el agregado fino mediante el uso de la tamizadora. Una vez seleccionado el material se llevó al horno para secarlo a temperatura de $120^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Luego se empacó en bolsas de polietileno con sello hermético, marcándolas con el número de tamiz y se colocó en un lugar protegido con ambiente controlado de humedad y temperatura. La humedad de la arena se evaluó antes de fabricar el mortero; para todas las muestras el valor se mantuvo entre el 9,8% y el 10,3%.

En la elaboración de los morteros a reemplazar, el agua inicial de amasado correspondió con la cantidad que lograba la fluidez especificada de $110\% \pm 10\%$. Las mezclas así preparadas se sometieron a diferentes tiempos de reemplado, indagando por la cantidad de agua con la cual se lograba recuperar la fluidez de 110%, teniendo en cuenta el efecto de la evaporación. Luego se obtuvo la relación entre el agua perdida por evaporación y el agua adicionada en distintos tiempos de reemplado para cada dosificación. Finalmente, se pudo identificar la incidencia del material cementante en el reemplado del mortero hidráulico.

A continuación se describen los procedimientos utilizados durante la ejecución de los diferentes ensayos.

4.3.1 Granulometría del agregado fino

Objetivo: Determinar la distribución de tamaños en una muestra de material árido que ha de ser utilizado como aglomerante en la mezcla de mortero.

Fundamento: Con el fin de realizar la prueba, se acoplaron varios tamices en serie, con aberturas crecientes, uno encima de otro, y con un recipiente de fondo. La muestra se colocó en el tamiz superior; se agitó la columna de filtros hasta que el movimiento no produjera modificación alguna de las masas retenidas por cada malla, las cuales, finalmente, se pesaron.

Equipos: -balanza
 -tamices de ensayo
 -estufa

Normativa: -La muestra de mortero fresco se obtuvo según UNE_EN_1015-2
-El agregado fino se tamizó según UNE_EN_196-1



Figura 12. Imagen Granulometría del agregado fino

Procedimiento: El material se secó al aire, antes de separar la muestra de prueba.

Para la selección por tamizado se procedió de la siguiente manera:

- La muestra se extendió en una capa delgada sobre una bandeja y se secó en estufa a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- El proceso de secado continuó hasta que dos pesadas consecutivas de la muestra, con intervalo de dos horas, no difirieran en más de 0,2 g.
- Luego se montaron los módulos de malla con las aberturas 2,5 mm, 1,25 mm, 0,63 mm, 0,32 mm, 0,16 mm, y 0,08mm.
- Se colocó la mezcla seca sobre la serie de tamices, previamente acoplada, y se agitó de forma continua durante 1 minuto, sin forzar al material para que pasara a través de cada malla. Debió asegurarse que pasara por cada filtro más del 0,2% de la masa total de la muestra.
- Finalmente, se determinó la masa de la fracción retenida en cada tamiz.

4.3.2 Mezclado de mortero con amasadora electromecánica

Objetivo: Especificar un procedimiento operatorio en la fabricación de morteros para ensayo, a partir de los componentes secos y líquidos.

Equipos: -amasadora electromecánica
 -recipiente en acero de 5 litros
 -pala en acero para mezclar

Fundamento: con el fin de garantizar uniformidad en el mezclado del mortero, se utilizó un sistema electromecánico para revolver los materiales. Los insumos se colocaron en el recipiente y se vertió el agua de amasado; siguiendo el procedimiento de mezclado se obtuvo el material amasado.

Normativa: -La muestra de mortero fresco se obtuvo según UNE_EN_1015-2
 -El mortero fresco se mezcló según UNE_EN_196-1

Procedimiento: Las cantidades de material se dispusieron de acuerdo con la dosificación de diseño, antes de mezclarlas en la amasadora mecánica. El contenido de sólidos para cada muestra pesó entre 1,8 kg y 2,0 kg.



Figura 13. Imagen Amasada del mortero

Una vez preparados los materiales a mezclar, se procedió del siguiente modo:

- Se pesaron los materiales de acuerdo con su dosificación de diseño.
- Se introdujo en el recipiente de la amasadora los componentes sólidos secos del mortero: el agregado fino, el cemento y la cal.
- Se añadió la cantidad de agua predeterminada durante un lapso de 30 s, mientras la amasadora funcionó a velocidad lenta.
- El amasado continuó a velocidad lenta durante 60 s.
- Se detuvo la amasadora y durante 30 s se recogieron con espátula los productos no mezclados que se encontraron en el borde y en el fondo del recipiente.
- Se continuó amasando durante 60 s a velocidad media. La duración total del amasado fue de 3 min y 30 s.

4.3.3 Tiempo de fraguado del mortero

Objetivo: Aplicar un método de ensayo con el fin de determinar el tiempo inicial de fraguado en los morteros.

Fundamento: El tiempo inicial de fraguado se determinó observando la penetración de una aguja en el mortero de referencia hasta que se alcanzó un valor especificado.

Equipos: -amasadora electromecánica
 -mesa de sacudidas
 -aparato de Vicat

Normativa: -La muestra de mortero fresco se obtuvo según UNE_EN_1015-2
 -El mortero fresco se mezcló según UNE_EN_196-1
 -La consistencia se logró según UNE_EN_1015-3
 -El tiempo de fraguado se alcanzó según UNE_EN_480-2

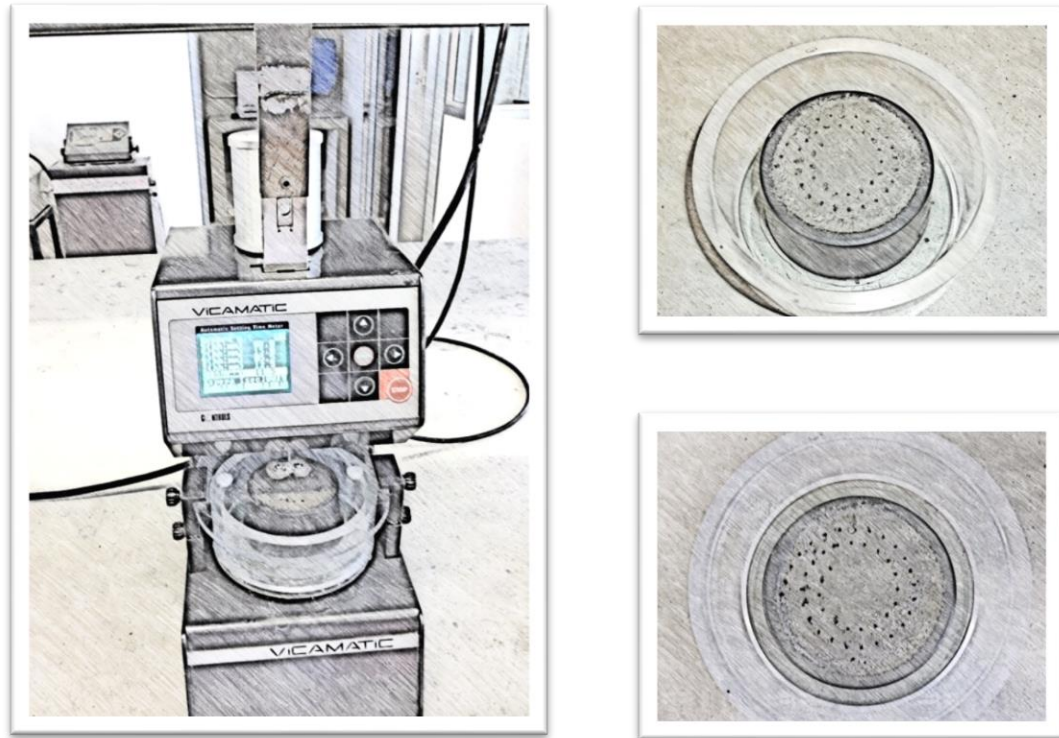


Figura 14. Imagen Tiempo de fraguado del mortero

Procedimiento: Antes de realizar el ensayo, se encontró el valor de escurrimiento de la mezcla, de acuerdo con la norma UNE_EN_1015-2. Los tiempos de fraguado se contabilizaron desde el momento en que se mezcló el agua con los materiales secos.

Para obtener el tiempo de principio de fraguado se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se preparó la mezcla de acuerdo con la dosificación especificada y el escurrimiento definido.
- Se calibró el aparato de Vicat bajando la aguja hasta que estuviera en contacto con la placa base y se ajustara la puesta en cero de referencia en la escala.
- Se vertió el mortero en el molde y se llenó hasta rebosar, sin compactar ni vibrar. Se eliminó el exceso de material mediante enrasado suave, de forma que se obtuviera una superficie superior lisa.
- Se introdujeron el molde lleno y la placa base en la cámara húmeda mientras se preparaba el equipo de penetración.

- Después de un tiempo adecuado se colocó el molde en el aparato de Vicat, se bajó la aguja suavemente hasta hacer contacto con la superficie del mortero, se soltó la aguja y se tomó la lectura cuando la penetración terminó o cuando transcurrieron 30 s después de la liberación de la aguja. Se registró el tiempo.
- El ensayo se repitió a intervalos regulares. El principio del fraguado ocurrió cuando la distancia entre la aguja y la placa base fue de $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.
- Para determinar el final de fraguado se continuó el ensayo de penetración de la sonda hasta que la aguja no se hundió más de 2,5 mm en el mortero.

4.3.4 Consistencia del mortero fresco

Objetivo: Determinar, por medio del valor del escurrimiento, la consistencia de los morteros frescos amasados. La consistencia proporciona una medida de la deformación del mortero fresco cuando se somete a un determinado tipo de esfuerzo.

Fundamento: El valor del escurrimiento se determinó con la medida del diámetro medio de una muestra de mortero fresco, colocado, con ayuda de un molde específico, sobre el disco de una mesa de sacudidas; allí se sometió a un número fijo de sacudidas verticales, levantando la mesa y dejándola caer libremente desde una altura prefijada.

Equipos: -amasadora electromecánica
 -mesa de sacudidas
 -molde troncocónico

Normativa: -La muestra de mortero fresco se obtuvo según UNE_EN_1015-2
 -El mortero fresco se mezcló según UNE_EN_196-1
 -La consistencia se alcanzó según UNE_EN_1015-3

Procedimiento: Antes de comenzar el ensayo, con un paño húmedo se limpió el disco de la mesa de sacudidas, así como la superficie interior y los bordes del molde.

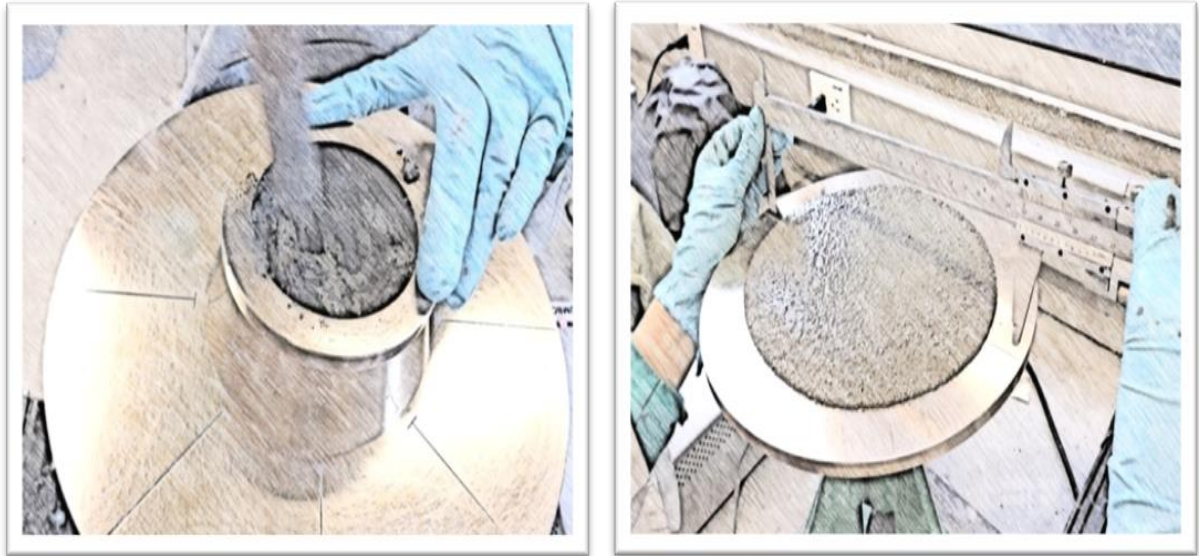


Figura 15. Imagen Consistencia del mortero

Cuando el mortero a ensayar se hubo fabricado en la amasadora, se procedió de la siguiente manera:

- Se colocó el molde troncocónico en el centro del disco de la mesa de sacudidas.
- El mortero se introdujo en el molde en dos capas; cada una se compactó con diez golpes de pisón para asegurar un llenado uniforme del molde; este se sostuvo firmemente con la mano sobre el disco durante toda la operación.
- Se eliminó el exceso de mortero con la regla para enrasar; se limpió y se secó la superficie del disco, con el fin de eliminar el agua que pudiera quedar alrededor del borde inferior del molde.
- Después de 15 s se levantó el molde, lenta y verticalmente, y se le imprimieron 15 sacudidas a la mesa, con una frecuencia constante de una sacudida por segundo; el mortero se extendió sobre el disco.
- Con el calibrador se midió el diámetro del mortero en dos direcciones perpendiculares entre sí y se anotaron los resultados con una exactitud de 1 mm.

5. Resultados y discusión

Para realizar los diferentes ensayos, se prepararon morteros variando la dosificación del material cementante. Las condiciones ambientales del laboratorio durante los ensayos fueron: a) humedad de $50\% \pm 5\%$; y b) temperatura de $24,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. La relación entre la arena y el material cementante fue de 4 a 1 en peso y se mantuvo constante; esta proporción se recomienda para enfoscados de morteros (revoque), norma RPE_4-NTE (Revestimiento de Paramentos Enfoscados-Normas Técnicas para Edificaciones).

En la **Tabla 8** se presentan las distintas dosificaciones utilizadas; la proporción del material cementante se realizó por peso y sus valores se tomaron de acuerdo con las recomendaciones presentadas en la norma RPE_4-NTE.

Tabla 8. Tipos de mezcla para ensayos. Relación por peso

	Material cementante	
	Cemento	Cal
	(%)	(%)
mezcla A	95%	5%
mezcla B	90%	10%
mezcla C	75%	25%

5.1 Granulometría del agregado fino

El agregado fino se dispuso de acuerdo con lo recomendado en la norma RPE_3-NTE; la dosificación para las muestras de ensayo aparece en la **Tabla 9**. La arena se preparó mezclando en la amasadora, durante un minuto a velocidad lenta, la cantidad indicada por cada tamaño y se empacó en bolsas herméticas hasta el momento de ser requerida.

Tabla 9. Dosificación de la arena por tamaño de grano

tamiz (mm)	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
% en peso	0%	25%	27,50%	25%	15%	7,50%
Masa (g)	0	300	330	300	180	90

Muestra de agregado fino para 1200 g

Módulo de finura 2,52

Cada muestra para el ensayo de flujo en la mesa de sacudidas se preparó con base en 300 g de material cementante mezclados con 1200 g de arena procesada.

5.2 Fluidez *versus* Agua inicial de amasado

Al diseñar un mortero para una fluidez específica de trabajo, se debe conocer el agua inicial de amasado que obtenga dicha consistencia. La fluidez inicial especificada para los morteros a evaluar fue de 110%, de acuerdo con lo presentado en el capítulo 4.

Para conocer la relación entre la fluidez y la cantidad de agua inicial de amasado, fue necesario construir la función entre estos parámetros; para lograrlo, se realizaron ensayos con diferentes adiciones de agua de tal modo que se encontrara la fluidez de respuesta en la mesa de sacudidas dentro del rango especificado (100% a 120%), para las diferentes proporciones del material cementante. Con esos valores, utilizando la metodología de mínimos cuadrados, se consiguieron los coeficientes del polinomio que mejor representaba los resultados para las distintas dosificaciones. Una vez que esta se encontró, se pudo proyectar la cantidad de agua inicial de amasado que obtendría la fluidez especificada para las diferentes mezclas.

En la **Tabla 10** se pueden apreciar los valores de fluidez que corresponden con las diferentes relaciones Agua inicial/Material cementante, a partir de las funciones ajustadas. En la primera columna aparece la relación Agua inicial/Material cementante (a/mc), que va desde 0,88 a 1,0. En las columnas siguientes se observa los valores de la fluidez en porcentaje para cada dosificación.

Tabla 10. Fluidez para diferente proporción en el material cementante

Fluidez en porcentaje			
(a/mc) *	Porcentaje de Cal en el Material cementante		
	5%	10%	25%
0,90	100%		
0,92	109%	103%	
0,93	112%	109%	103%
0,95	120%	115%	110%
0,97	124%	120%	116%
0,98			120%

* Relación (Agua inicial/Material cementante)

Como se presenta en la **Tabla 10**, la fluidez aumentó al incrementar la relación Agua inicial/Material cementante en todas las dosificaciones estudiadas. Ante mayor contenido de cal en el material cementante, se requirió más cantidad de agua para lograr un valor de fluidez equivalente.

Los anteriores resultados graficados en la **Figura 16**, indican la tendencia de la relación Agua inicial/Material cementante al incrementar la fluidez: en rangos de fluidez alta (A) se necesitó mayor cantidad de agua que en rangos de fluidez baja (B) para lograr un mismo incremento en todas las dosificaciones.

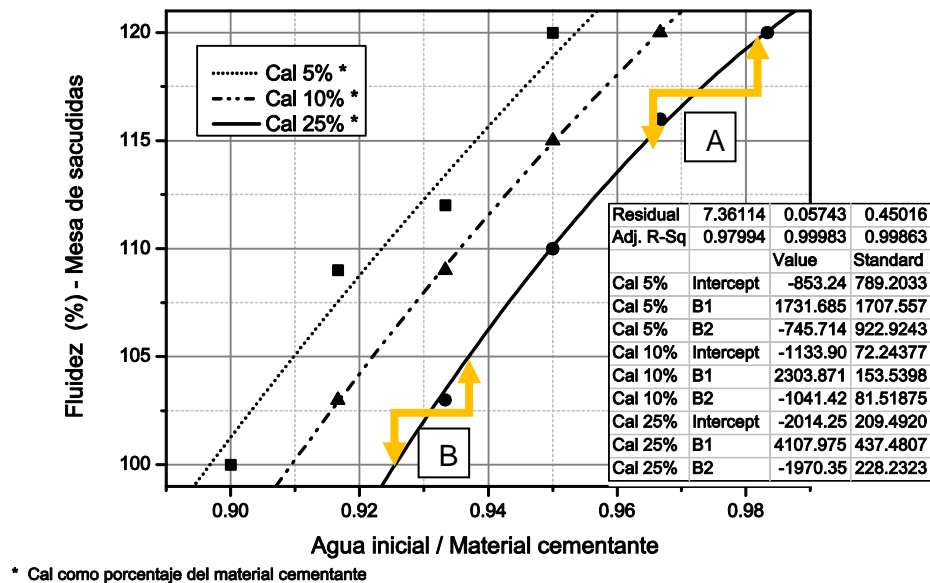


Figura 16. Gráfica Fluidez versus Agua inicial/Material cementante

En la **Figura 17** se presenta la cantidad de agua que garantizó una fluidez inicial de 100%, 110%, y 120% para las dosificaciones estudiadas.

A mayor concentración de cal se incrementa la superficie específica total del material cementante, requiriendo mayor cantidad de agua para obtener el mismo valor de fluidez inicial en la mezcla.

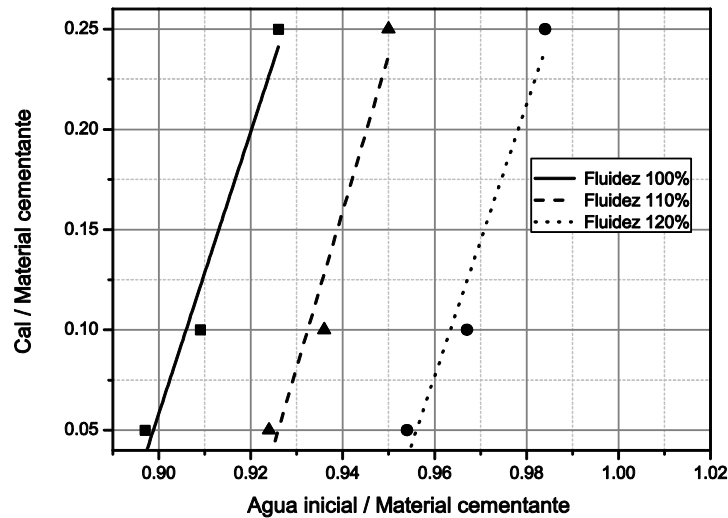


Figura 17. Gráfica Cal/Material cementante versus Agua inicial/Material cementante

Como se observa en la **Figura 17**, al incrementar la proporción de cal en el material cementante se hizo necesario también aumentar la relación Agua inicial/Material cementante para mantener el mismo valor de fluidez inicial; esto lo puede explicar la propiedad natural de la cal como retenedora de agua.

5.3 Tiempos de fraguado y período de reemplado

El período de reemplado durante el cual se consideró adecuado intervenir la mezcla, dependió del tiempo de fraguado inicial. Para conocer los tiempos de fraguado inicial de las distintas dosificaciones, se realizaron pruebas con el aparato de Vicat para la fluidez especificada de 110%; los resultados se presentan en **Tabla 11**.

Tabla 11. Tiempos de fraguado para el mortero (Cementante/Árido=1/4)

	Aa/Mc **		Material cementante		Tiempo de fraguado	
			Cemento	Cal	Inicial	Final
			(%)	(%)	(h:m)	(h:m)
mezcla A		0,915	95%	5%	4:15	5:10
mezcla B		0,929	90%	10%	4:40	5:50
mezcla C		0,948	75%	25%	5:05	6:35

(Aa/Mc) ** Agua de amasada/ Material cementante

Al incrementar la proporción de cal aérea en el material cementante, se disminuye el índice de hidraulicidad del mortero; como consecuencia de lo anterior se aumenta el tiempo de fraguado de la mezcla.

El ensayo para obtener los tiempos de fraguado en morteros no permite variar las condiciones de evaporación sobre la mezcla, por lo tanto, se debió considerar esta limitación al determinar los tiempos a reemplazar. Por esta razón los tiempos de reemplazo considerados son menores que el tiempo de fraguado inicial obtenido. En los ensayos se determinaron como tiempos de reemplazo los propuestos en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Período de reemplado

Retemplado	
Período	Tiempo (horas)
1	1,50
2	2,50
3	3,50

La variación en la consistencia del mortero antes de iniciar su fraguado, no corresponde a la pérdida de viscosidad de la pasta, sino con el cambio en la relación Agua/Material cementante como efecto de la evaporación sobre la mezcla.

5.4 Condición de evaporación

La mezcla pierde humedad desde su fabricación hasta el momento en que se interviene para recuperar su consistencia. La cantidad de agua necesaria para recobrar la humedad disipada es función del grado de evaporación que sufre la mezcla en cada periodo de reemplado. La evaporación, a su vez, depende de las condiciones ambientales durante la puesta en obra, y su medida es tan variable que puede cambiar en cualquiera de los periodos de reemplado.

El agua de adición se relaciona directamente con el agua evaporada en cada periodo de reemplado. Para obtener el efecto de la evaporación sobre el agua de adición, fue necesario valorar dos condiciones de evaporación en cada tiempo de reemplado. Se generaron dos ambientes donde las condiciones de evaporación fueran diferentes, los cuales se denominaron: “Condición de evaporación 1” (CE1 - evaporación media) y

“Condición de evaporación 2” (CE2 - evaporación alta). El agua perdida se obtuvo por la diferencia de masa que presentaron las mezclas al someterlas a las diferentes condiciones de evaporación.

Para simular las distintas condiciones ambientales de evaporación, durante los ensayos se dispuso un ventilador mecánico a una distancia fija de las muestras. Se hizo variar la velocidad de operación del ventilador durante los distintos tiempos de reemplado, lo que produjo cambios en las condiciones del viento y, por consiguiente, un efecto directo sobre la evaporación del agua en la mezcla. A la condición CE1 le correspondió la velocidad media y a la condición CE2 la velocidad alta.

Tabla 13. Rango de (Agua evaporada/ Material cementante) en cada tiempo de reemplado, para las condiciones de evaporación CE1 y CE2

Condición de evaporación (CE)			
Retemplado		(Agua evaporada/ Material cementante)	
Período	Tiempo (horas)	CE 1	CE 2
1	1,5	0,030 - 0,080	0,060 - 0,120
2	2,5	0,080 - 0,125	0,105 - 0,165
3	3,5	0,125 - 0,165	0,145 - 0,200

Los límites de las condiciones de evaporación en cada tiempo de reemplado, se determinaron una vez se ensayaron todas las muestras. Con los valores obtenidos de evaporación en cada tiempo de reemplado se establecieron los rangos que se presentan en la **Tabla 13**. Para la condición de evaporación alta (CE2) el rango de los valores encontrados es mayor que en la condición de evaporación media (CE1), en todos los tiempos de reemplado.

Para cada tiempo de reemplado se relacionó la pérdida de agua como una proporción del material cementante; esta varió en función del agua de adición y de la proporción de cal en el material cementante.

En la **Figura 18** se grafican los valores presentados en la **Tabla 13**. Para cada condición de evaporación se trazaron los límites en que se encontraron los valores obtenidos durante los ensayos, en los diferentes tiempos de reemplado.

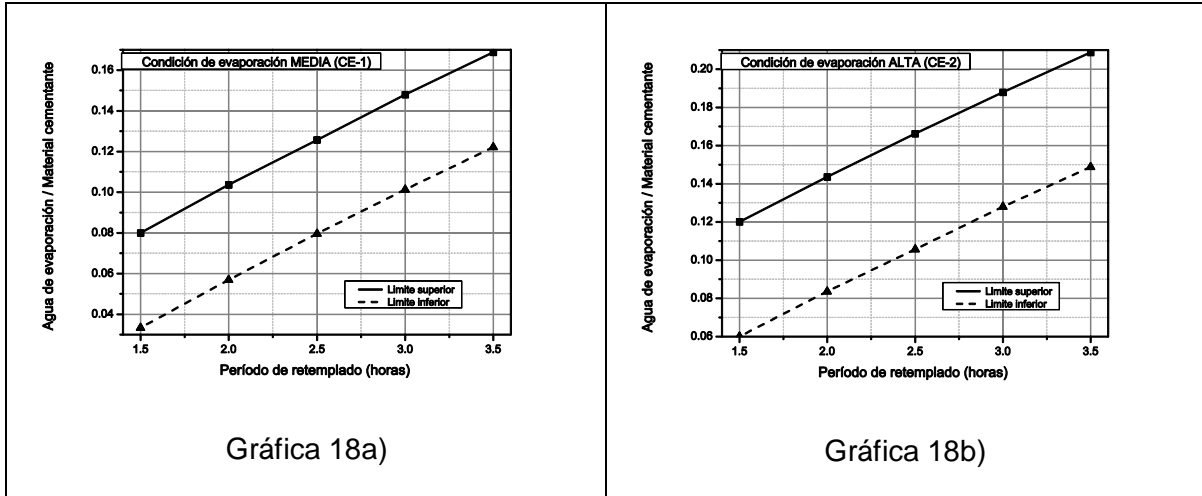


Figura 18. Gráfica Condición de evaporación para cada periodo de reemplado
a) Condición de evaporación 1, b) Condición de evaporación 2

La capacidad del mortero de mantenerse húmedo depende además de las condiciones ambientales, del grado de retención de agua que le provee la cal a la mezcla.

La pérdida de agua por evaporación y el tiempo de reemplado presentaron una relación directa, es decir, a medida que aumentaba una, se incrementa el otro.

5.5 Fluides *versus* Agua de adición por reemplado

Para obtener la cantidad de agua que se necesitaba adicionar en cada tiempo de reemplado y recuperar la manejabilidad del mortero, fue necesario conocer la función que relacionara la fluidez y el agua de adición en las diferentes dosificaciones. Por cada muestra se realizaron cuatro ensayos de dos unidades, para buscar el polinomio de segundo orden que mejor ajustara los resultados y luego con la función encontrada se calculo el agua de adición que alcanzara el valor especificado de 110% en fluidez.

Las pruebas para cada dosificación se efectuaron teniendo en cuenta las condiciones de evaporación propuestos en la **Tabla 13**, por lo tanto, en cada tiempo de reemplado se ensayaron dos tipos de muestras preparadas así: una, con fluidez inicial de 100% y, otra, con fluidez inicial de 120%. Al encontrar el agua de reemplado en los umbrales del 100% y 120% de fluidez inicial, se cubrió el rango de valores para la fluidez especificada de 110%.

Las condiciones de las mezclas fueron las siguientes: para las tres proporciones de cal en el material cementante (5%, 10% y 25%) se evaluaron dos tipos de fluidez inicial: 100% y 120%. Para cada fluidez inicial se tuvieron en cuenta tres tiempos de reemplado: 1,5 horas, 2,5 horas y 3,5 horas. Para cada tiempo de reemplado se consideraron dos condiciones de evaporación: CE 1 (evaporación media) y CE 2 (evaporación alta).

Tabla 14. Ensayos de fluidez propuestos para cada dosificación

Tipo de mezcla		mezcla A			mezcla B			mezcla C				
Condición de evaporación		CE 1						CE 2				
		Relación (Agua/Material cementante)										
		0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37
Retemplado	1,5 horas											
	2,5 horas											
	3,5 horas											

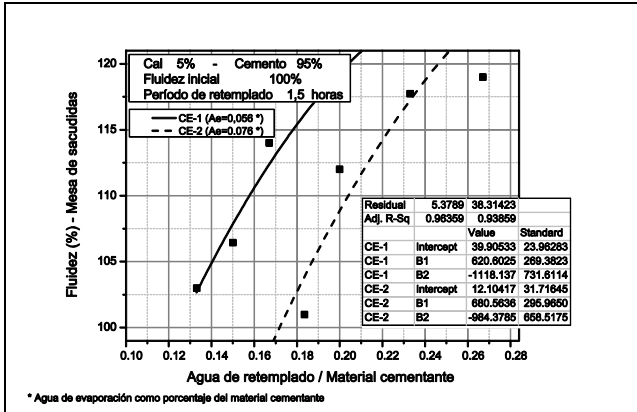
El formato que permitió recoger los valores obtenidos en los ensayos de fluidez, para cada tipo de dosificación del material cementante, se presenta en la **Tabla 14**. Este formato se utilizó para las muestras fabricadas con fluidez inicial de 100% y de 120% en forma independiente.

Los resultados obtenidos se muestran en las **Tablas 15, 16 y 17**. Estas tablas se dividen en dos sectores verticales: en la parte izquierda se presentan los datos correspondientes a la mezcla con fluidez inicial de 120%, y, a la derecha, cuando la fluidez inicial fue de 100%, en cada tiempo de reemplado. A su vez, cada una de estas columnas comprende dos sectores horizontales: en la sección superior se relacionan los resultados conseguidos cuando la evaporación se encontró dentro de la condición CE1 y, en la sección inferior, cuando pertenecía a la condición CE2. Para cada sector, las cantidades del agua de adición se tomaron como porcentaje del material cementante.

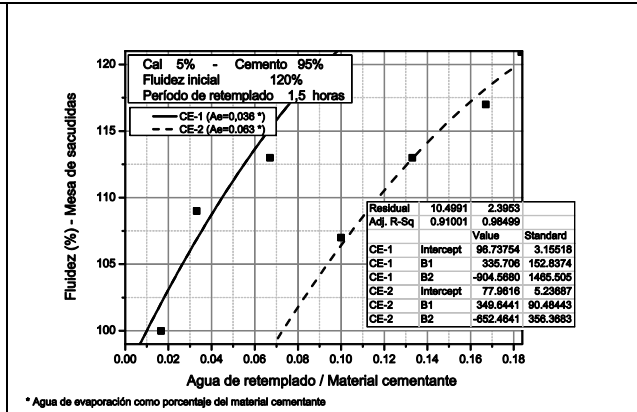
Tabla 15. Ensayos de fluidez (Cal/Mc 5% - Cemento/Mc 95%)

Proporción de cal en el Cementante (5%)							
Fluidez inicial de 120%				Fluidez inicial de 100%			
Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas	Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas
Evaporación				Evaporación			
CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.036	0.090	0.113	evaporación	0.056	0.083	0.126
Fluidez (%)	(Agua reemplado/Material cementante)			Fluidez (%)	(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.092	0.169	0.193	120%	0.204	0.242	0.293
110%	0.045	0.129	0.151	110%	0.158	0.192	0.249
100%	0.010	0.095	0.114	100%	0.125	0.151	0.222
desviación	2.1%	7.7%	4.8%	desviación	5.4%	1.8%	3.8%
Evaporación				Evaporación			
CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.063	0.113	0.136	evaporación	0.076	0.113	0.160
Fluidez (%)	(Agua reemplado/Material cementante)			Fluidez (%)	(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.182	0.213	0.247	120%	0.246	0.294	0.354
110%	0.117	0.170	0.199	110%	0.204	0.243	0.316
100%	0.073	0.131	0.155	100%	0.172	0.200	0.288
desviación	4.1%	6.2%	3.7%	desviación	2.9%	4.6%	2.1%

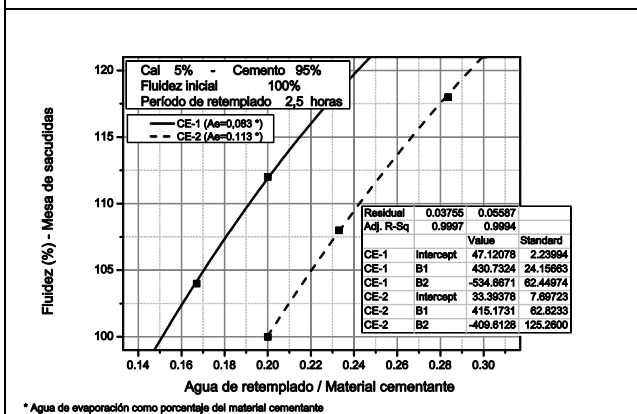
En la **Tabla 15** se presentan los valores de las funciones ajustadas para los flujos de las mezclas reempladas cuando la proporción de cal en el material cementante era del 5%. Las distintas relaciones entre fluidez y agua de adición que se encontraron fueron tabuladas para los diferentes periodos de reemplado. Allí también se indica en cada grupo de muestras la evaporación promedio que se registró. Los resultados obtenidos para la fluidez especificada del 110% presentaron una desviación inferior al 8% con respecto a su polinomio de ajuste.



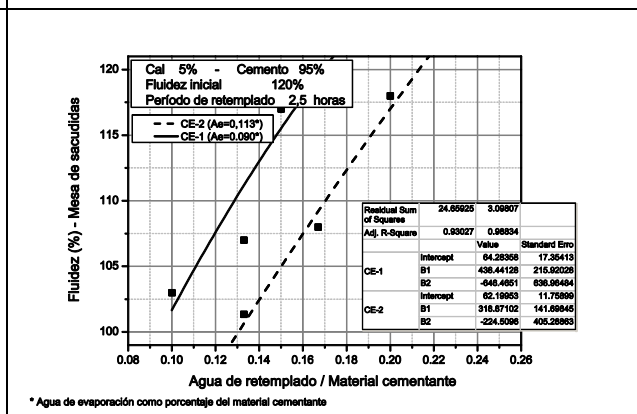
Gráfica 19a)



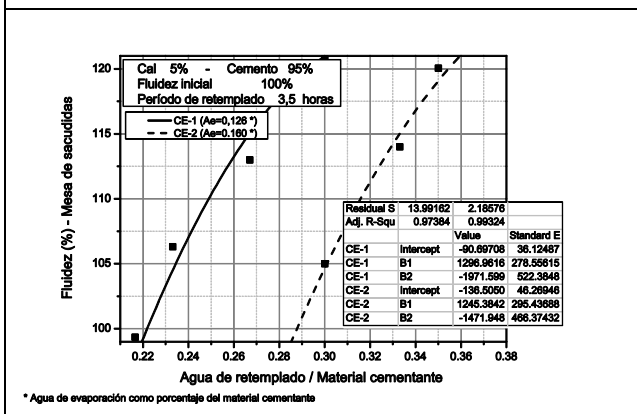
Gráfica 19d)



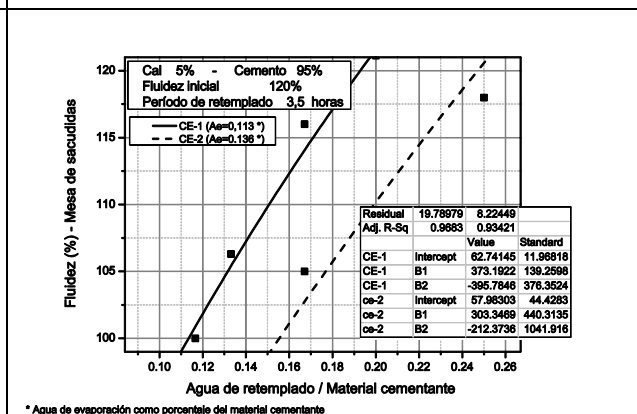
Gráfica 19b)



Gráfica 19e)



Gráfica 19c)



Gráfica 19f)

Figura 19. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 5% - Cemento 95%)

- a) Fluidez inicial 100% - Retemplado 1,5 h, b) Fluidez inicial 100% - Retemplado 2,5 h,
- c) Fluidez inicial 100% - Retemplado 3,5 h, d) Fluidez inicial 120% - Retemplado 1,5 h,
- e) Fluidez inicial 120% - Retemplado 2,5 h, f) Fluidez inicial 120% - Retemplado 3,5 h.

Tabla 16. Ensayos de fluidez (Cal 10% - Cemento 90%)

Proporción de cal en el Cementante (10%)							
Fluidez inicial de 120%				Fluidez inicial de 100%			
Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas	Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas
Evaporación				Evaporación			
CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.046	0.100	0.123	evaporación	0.056	0.093	0.136
Fluidez (%)				Fluidez (%)			
	(Agua reemplado/Material cementante)				(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.118	0.198	0.279	120%	0.212	0.302	0.384
110%	0.083	0.161	0.246	110%	0.166	0.238	0.317
100%	0.049	0.128	0.214	100%	0.126	0.183	0.266
desviación	7.6%	5.7%	7.3%	desviación	9.2%	3.2%	4.5%
Evaporación				Evaporación			
CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.070	0.113	0.166	evaporación	0.080	0.126	0.163
Fluidez (%)				Fluidez (%)			
	(Agua reemplado/Material cementante)				(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.175	0.227	0.324	120%	0.256	0.371	0.421
110%	0.130	0.185	0.288	110%	0.213	0.332	0.370
100%	0.096	0.153	0.257	100%	0.169	0.287	0.324
desviación	10.8%	5.8%	4.2%	desviación	7.7%	6.1%	3.3%

Los resultados presentados en la **Tabla 15** se grafican en la **Figura 19**. Se observa que, en todos los tiempos de reemplado se requirió mayor cantidad de agua para lograr igual fluidez en la condición CE2 que en la condición CE1 (ver **Tabla 15**).

Cuando la mezcla se elaboró con una fluidez inicial de 100% fue necesaria menor cantidad de agua adicional para lograr un incremento equivalente en la consistencia, con respecto a mezclas elaboradas con una fluidez inicial de 120%.

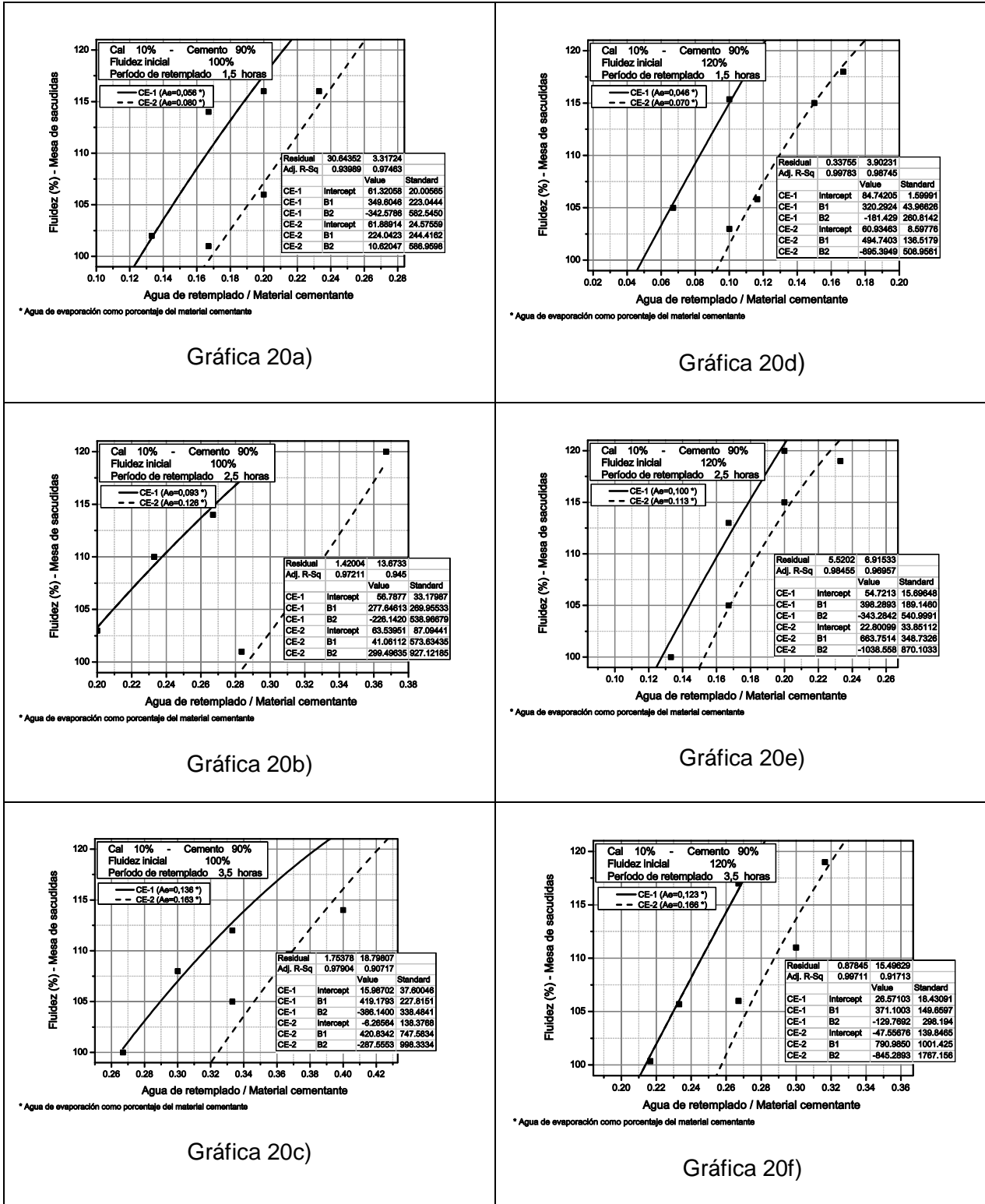


Figura 20. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 10% - Cemento 90%)

- a) Fluidéz inicial 100% - Retemplado 1,5 h,
- b) Fluidéz inicial 100% - Retemplado 2,5 h,
- c) Fluidéz inicial 100% - Retemplado 3,5 h,
- d) Fluidéz inicial 120% - Retemplado 1,5 h,
- e) Fluidéz inicial 120% - Retemplado 2,5 h,
- f) Fluidéz inicial 120% - Retemplado 3,5 h.

En la **Tabla 16** se presentan los valores de las funciones ajustadas para los flujos de las mezclas retempladas cuando la proporción de cal en el material cementante era del 10%. Las distintas relaciones entre fluidez y agua de adición que se encontraron fueron tabuladas para los diferentes periodos de reemplado. Allí también se indica en cada grupo de muestras la evaporación promedio que se registró. Los resultados obtenidos para la fluidez especificada del 110% presentaron una desviación inferior al 11% con respecto a su polinomio de ajuste.

Las relaciones expuestas en la **Tabla 16** se grafican en la **Figura 20**. Como puede apreciarse, en todos los tiempos de reemplado se requirió mayor cantidad de agua para lograr igual fluidez en la condición CE2 que en la condición CE1 (ver **Tabla 16**).

Cuando la mezcla se elaboró con fluidez inicial de 100% fue necesaria mayor cantidad de agua adicional para lograr un incremento equivalente en la consistencia, con respecto a mezclas elaboradas con fluidez inicial de 120%; este comportamiento se invirtió respecto al caso anterior donde la proporción de cal en el material cementante era del 5%.

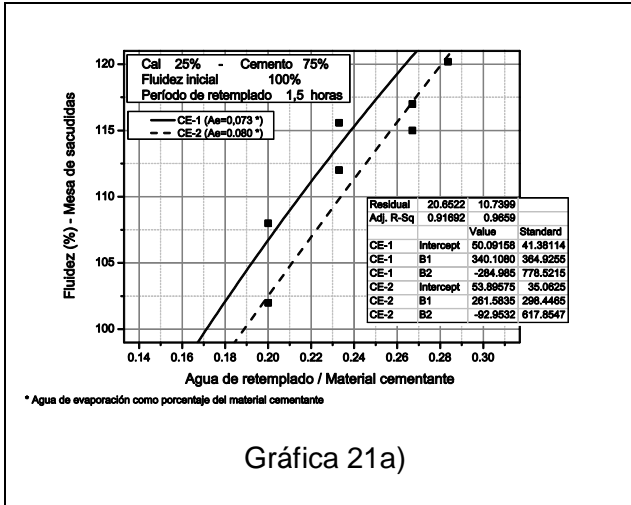
Las relaciones contempladas en la **Tabla 17** se presentan en la **Figura 21**. Como se puede ver, en todos los tiempos de reemplado se requirió mayor cantidad de agua para lograr igual fluidez en la condición CE2 que en la condición CE1 (ver **Tabla 17**).

En la **Tabla 17** se presentan los valores de las funciones ajustadas para los flujos de las mezclas retempladas cuando la proporción de cal en el material cementante era del 25%. Las distintas relaciones entre fluidez y agua de adición que se encontraron fueron tabuladas para los diferentes periodos de reemplado. Allí también se indica en cada grupo de muestras la evaporación promedio que se registró. Los resultados obtenidos para la fluidez especificada del 110% presentaron una desviación inferior al 15% con respecto a su polinomio de ajuste.

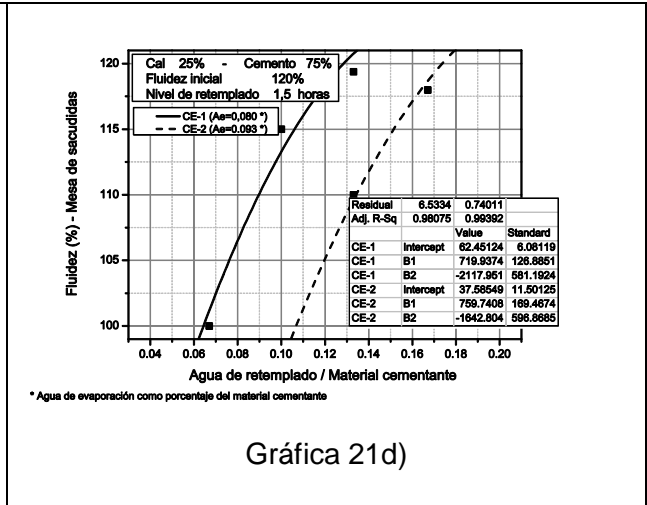
Tabla 17. Ensayos de fluidez (Cal 25% - Cemento 75%)

Proporción de cal en el Cementante (25%)							
Fluidez inicial de 120%				Fluidez inicial de 100%			
Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas	Retemplado	1,50 horas	2,50 horas	3,50 horas
Evaporación				Evaporación			
CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 1	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.080	0.126	0.173	evaporación	0.073	0.100	0.146
Fluidez (%)				Fluidez (%)			
	(Agua reemplado/Material cementante)				(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.129	0.207	0.304	120%	0.264	0.302	0.365
110%	0.090	0.166	0.267	110%	0.215	0.240	0.315
100%	0.065	0.139	0.240	100%	0.172	0.195	0.274
desviación	12.8%	7.2%	1.5%	desviación	2.4%	4.2%	14.9%
Evaporación				Evaporación			
CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)			CE 2	(Agua evaporada/Material cementante)		
evaporación	0.093	0.133	0.186	evaporación	0.080	0.140	0.173
Fluidez (%)				Fluidez (%)			
	(Agua reemplado/Material cementante)				(Agua reemplado/Material cementante)		
120%	0.174	0.219	0.327	120%	0.281	0.382	0.421
110%	0.135	0.179	0.285	110%	0.234	0.324	0.371
100%	0.107	0.155	0.256	100%	0.189	0.279	0.327
desviación	2.6%	6.0%	1.2%	desviación	2.8%	5.3%	2.7%

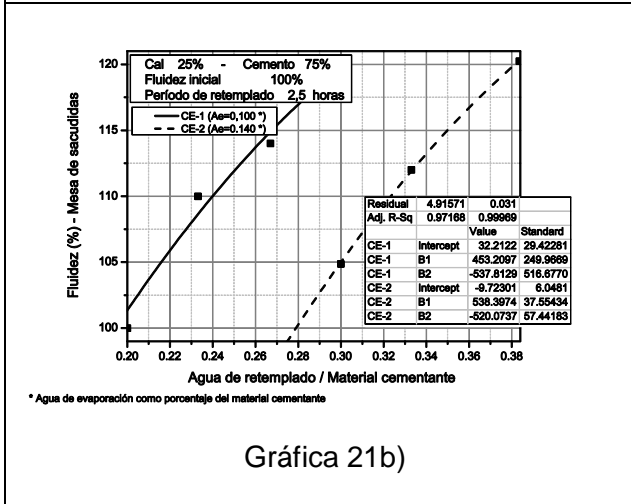
Cuando la mezcla se elaboró con fluidez inicial de 100% fue necesaria mayor cantidad de agua adicional para lograr un incremento equivalente en la consistencia, con respecto a mezclas elaboradas con fluidez inicial de 120%; este comportamiento fue similar al caso anterior donde la proporción de cal en el material cementante era del 10%.



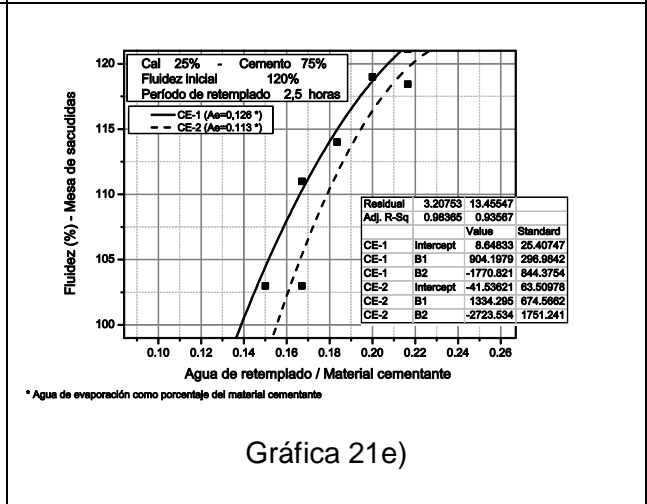
Gráfica 21a)



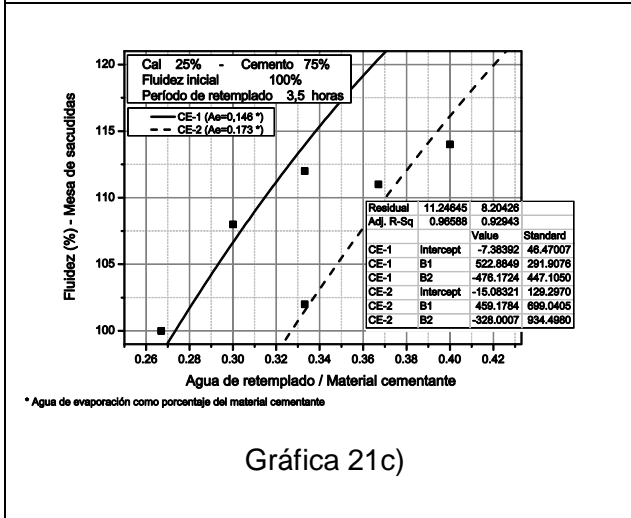
Gráfica 21d)



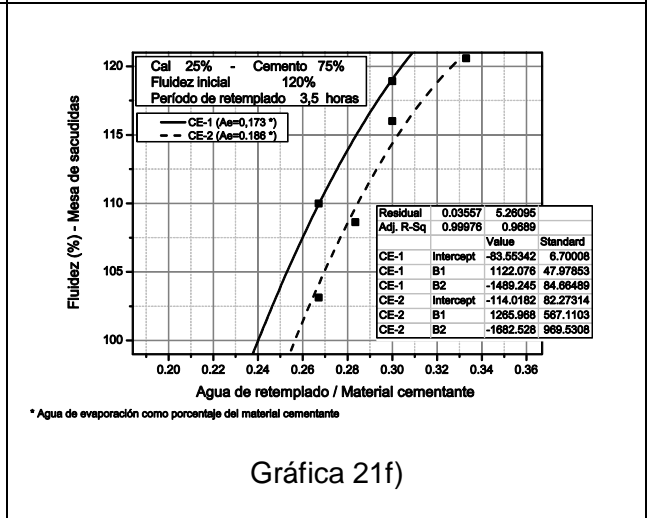
Gráfica 21b)



Gráfica 21e)



Gráfica 21c)



Gráfica 21f)

Figura 21. Gráfica Ensayos de fluidez (Cal 25% - Cemento 75%)

- a) Fluidez inicial 100% - Retemplado 1,5 h, b) Fluidez inicial 100% - Retemplado 2,5 h,
- c) Fluidez inicial 100% - Retemplado 3,5 h, d) Fluidez inicial 120% - Retemplado 1,5 h,
- e) Fluidez inicial 120% - Retemplado 2,5 h, f) Fluidez inicial 120% - Retemplado 3,5 h.

En todos los tiempos de reemplado se requirió mayor adición de agua para restablecer la consistencia cuando la mezcla se había preparado con una fluidez inicial menor. La cantidad de agua de adición fue aumentando a medida que se incrementaba el tiempo de reemplado.

5.6 Agua de evaporación *versus* Agua de adición por reemplado

El agua por adicionar al mortero cuando se reemplaza depende de la consistencia que presente la mezcla antes de ser intervenida. Como los tiempos de reemplado considerados en el estudio fueron inferiores al tiempo de fragado inicial del mortero, se consideró que la evaporación fue la variable que afectó de forma predominante la intervención por reemplado en la investigación.

Si se quiere determinar el efecto del material cementante en el mortero, se debe conocer la relación entre el agua perdida por evaporación y el agua de adición que recupera la consistencia de la mezcla, para una fluidez especificada.

Con el ejercicio proyectado en el apartado anterior, para cada tiempo de reemplado se pudo obtener la relación entre el agua de adición que correspondió al 110% de fluidez y el agua perdida por evaporación antes de intervenir la mezcla.

En la **Figura 22** se relaciona la adición de agua por reemplado con el agua perdida por evaporación en morteros que contenían el 5% de cal, para una fluidez inicial de 100% y de 120%, en todos los tiempos de reemplado. Se observa que al aumentar el tiempo de reemplado se requirió mayor adición de agua, además se incrementa la dispersión en los resultados. La **Figura 22d** recoge las relaciones entre el agua de evaporación y el agua de adición para la fluidez especificada de 110% en los diferentes periodos de reemplado; tales valores correspondieron con los promedios presentados en las **Figuras 22a, 22b, y 22c**.

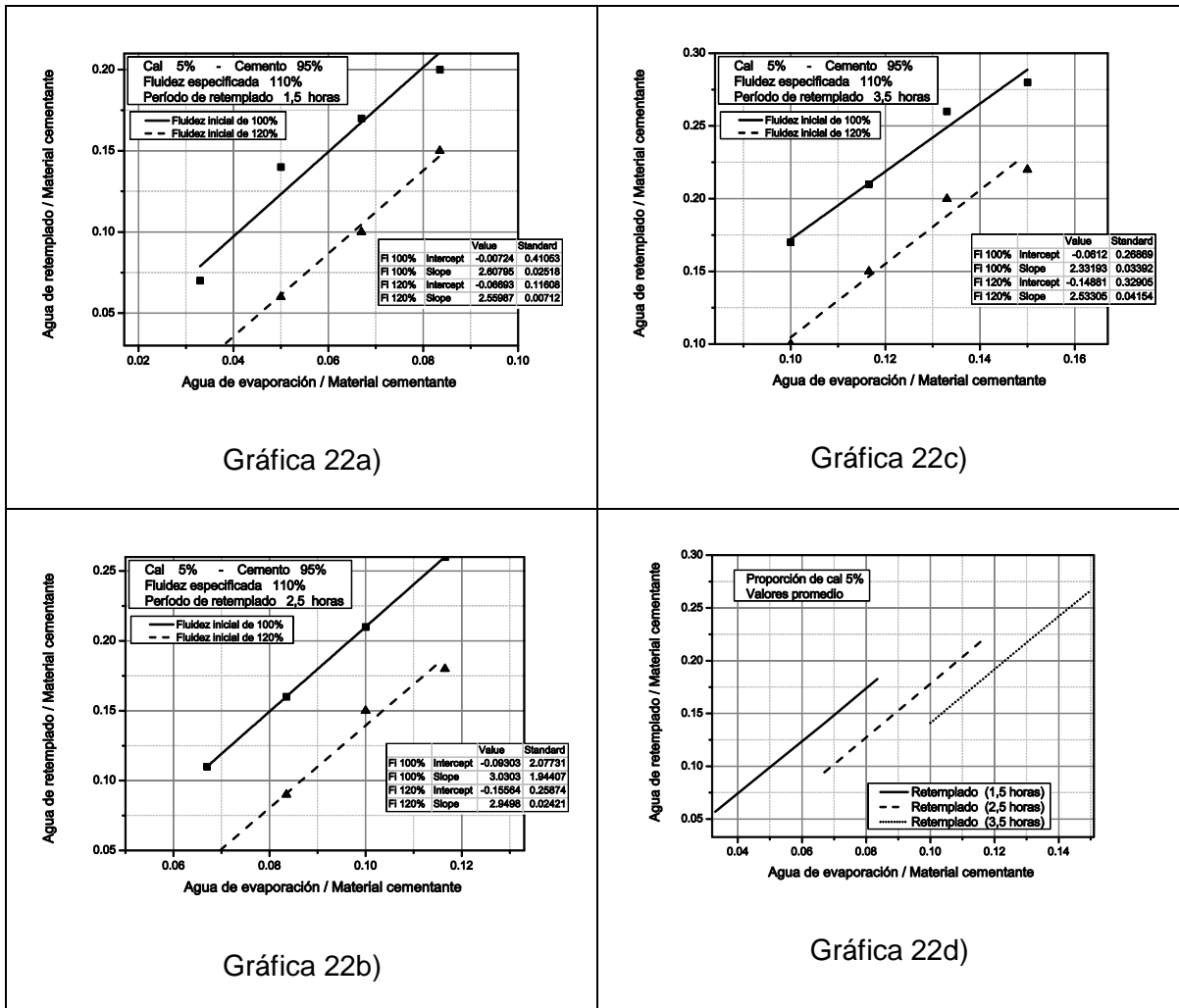


Figura 22. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 5%)
 a) Retemplado 1,5 horas, b) Retemplado 2,5 horas,
 c) Retemplado 3,5 horas, d) Valores promedio – Fluidéz inicial 110%.

En la **Figura 23** se relaciona la adición de agua por reemplado con el agua perdida por evaporación en morteros que contenían el 10% de cal, para una fluidéz inicial de 100% y de 120%, en todos los tiempos de reemplado. Se observa que al aumentar el tiempo de reemplado se requirió mayor adición de agua, además se incrementa la dispersión en los resultados. La **Figura 23d** recoge las relaciones entre el agua de evaporación y el agua de adición para la fluidéz especificada de 110% en los diferentes periodos de reemplado; tales valores correspondieron con los promedios presentados en las **Figuras 23a, 23b, y 23c**.

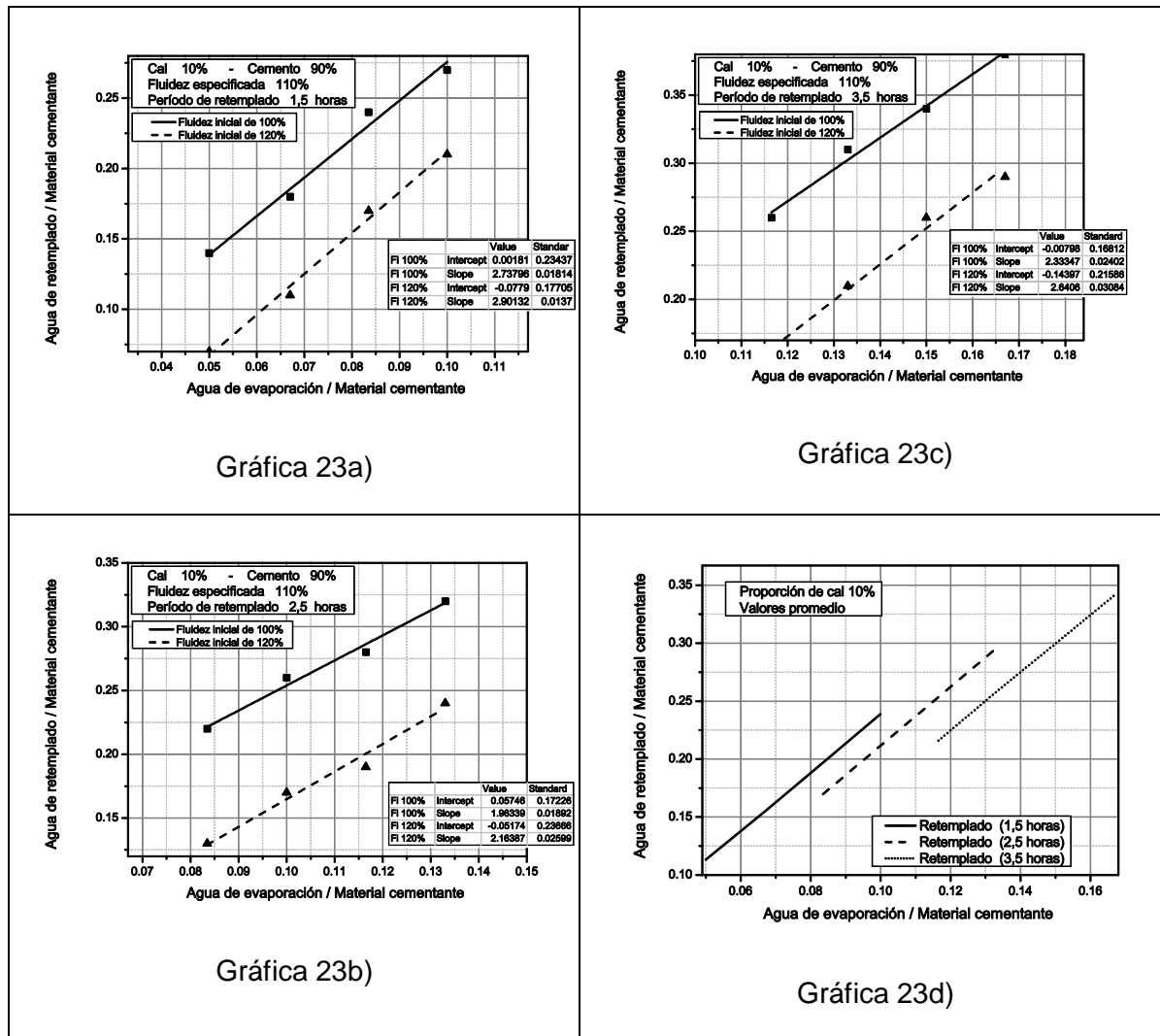


Figura 23. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 10%)
 a) Retemplado 1,5 horas, b) Retemplado 2,5 horas,
 c) Retemplado 3,5 horas, d) Valores promedio – Fluidez inicial 110%.

En todos los tiempos de reemplado se requirió mayor cantidad de agua de adición para igual medida de evaporación, cuando la proporción de cal paso del 5% al 10%.

En la **Figura 24** se relaciona la adición de agua por reemplado con el agua perdida por evaporación en morteros que contenían el 25% de cal, para una fluidez inicial de 100% y de 120%, en todos los tiempos de reemplado. Se observa que al aumentar el tiempo de reemplado se requirió mayor adición de agua, además se incrementa la dispersión en los resultados. La **Figura 24d** recoge las relaciones entre el agua de evaporación y el

agua de adición para la fluidez especificada de 110% en los diferentes periodos de reemplado; tales valores correspondieron con los promedios presentados en las Figuras 24a, 24b, y 24c.

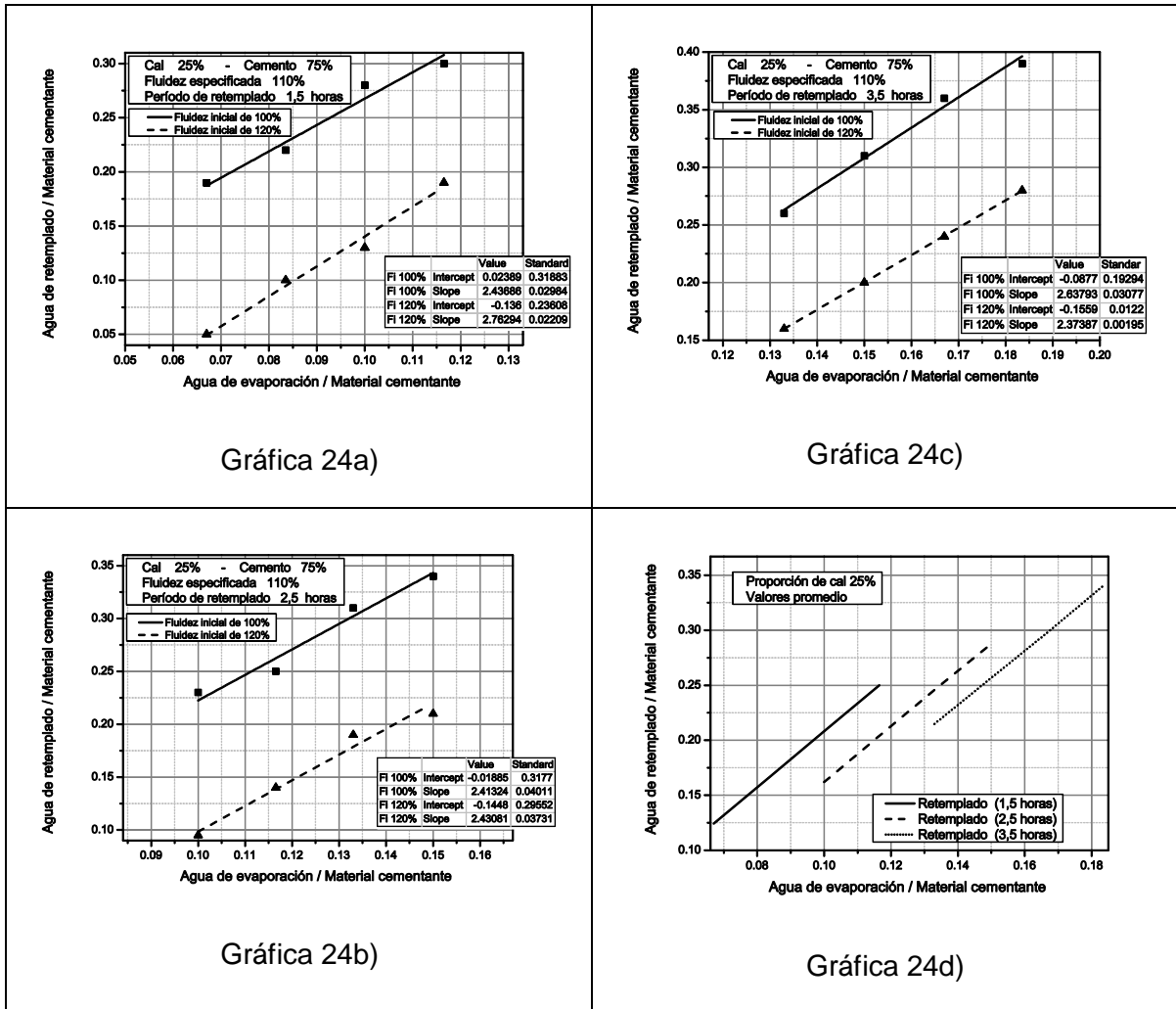


Figura 24. Gráfica Agua de evaporación versus Agua de reemplado (Cal 25%)
 a) Retemplado 1,5 horas, b) Retemplado 2,5 horas,
 c) Retemplado 3,5 horas, d) Valores promedio – Fluidez inicial 110%.

En todos los tiempos de reemplado se requirió menor cantidad de agua de adición para igual medida de evaporación, cuando la proporción de cal paso del 10% al 25%.

Para la misma dosificación de cal, entre dos tiempos consecutivos de reemplado se encontró una región donde los valores de evaporación son iguales en ambos tiempos; en esta zona siempre se requirió menor cantidad de agua de adición cuando los tiempos de reemplado fueron mayores.

En todos los tiempos de reemplado se verificaron ensayos con fluidez inicial de 110%; así, los valores del agua evaporada y el agua de adición para recuperar la consistencia especificada se obtuvieron dentro de los rangos presentados en las **Figuras 22, 23 y 24**.

Las muestras perdieron consistencia y peso durante el período de reemplado; esto se explica porque parte del agua de amasado se evaporó después de preparada la mezcla.

La relación Agua evaporada/Material cementante se incrementó a medida que se avanzaba en el período de reemplado para todas las muestras. El agua que participó en la hidratación durante el proceso de reemplado, afectó la humedad de la mezcla pero no su peso.

El rango de variación del agua adicionada aumentó en los tiempos mayores de reemplado para todas las proporciones de cal, es decir, hubo mayor dispersión en los valores encontrados a medida que se aumentaba el tiempo entre la fabricación del mortero y la intervención por reemplado.

5.7 Efecto del material cementante en el reemplado del mortero

Para identificar el efecto del material cementante sobre el reemplado de un mortero hidráulico, se analizó la variación del agua de adición respecto al agua de evaporación en los diferentes tiempos de reemplado, incrementando la cantidad de cal en el material cementante. Una vez registrados los datos, se estudió en forma independiente lo que sucedía cuando la cantidad de cal se incrementaba del 5% al 10% y cuando esto ocurría entre el 10% y el 25%, debido al cambio en la tendencia de los resultados.

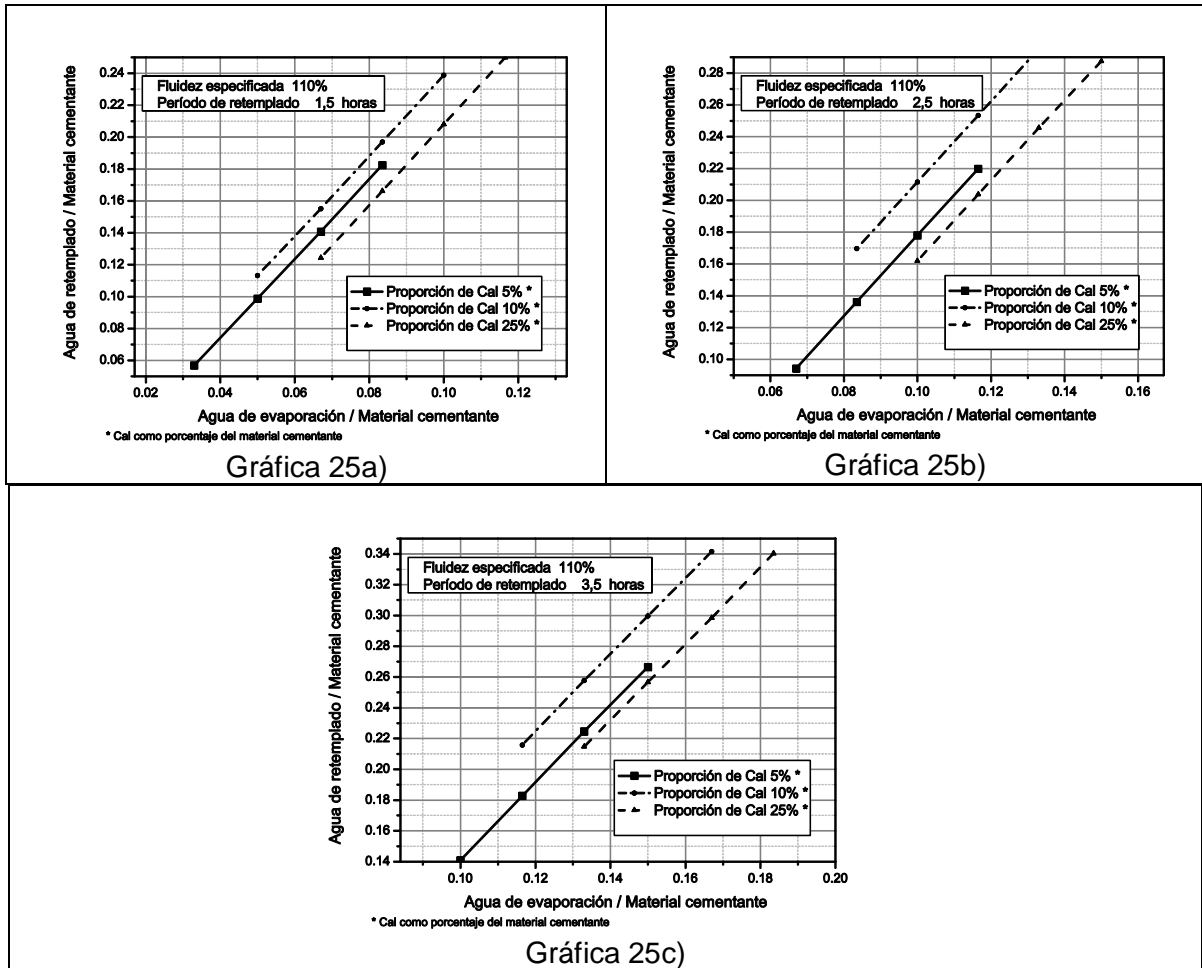


Figura 25. Gráfica Efectos del material cementante en el reemplado

En cada tiempo de reemplado se obtuvo, para las distintas dosificaciones de cal, el agua de adición que recuperaba la fluidez de 110%; luego se comparó el agua evaporada con el agua de reemplado y se graficaron en la **Figura 25** los valores promedios encontrados.

Al analizar la tendencia de los resultados, se escogió en cada tiempo de reemplado un valor común de evaporación para las funciones encontradas; con el valor escogido se calcularon las correspondientes cantidades de agua de adición que recuperó la fluidez al 110% y se compararon en las diferentes dosificaciones. Los datos se consignaron en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Efecto del material cementante en el reemplado

				Fluidez especificada 110%		
				Período de reemplado		
				1,5 horas	2,5 horas	3,5 horas
				(Agua evaporación/Material cementante)		
				0,075	0,105	0,140
				(Agua de reemplado/Material cementante)		
(Cal/Mc) *	5%	(Aa/Mc) **	0,915	0,160	0,190	0,243
	10%		0,929	0,176	0,224	0,275
	25%		0,948	0,145	0,174	0,231

(Cal/Mc) * Cal / Material cementante

(Aa/Mc) ** Agua de amasada/ Material cementante

En condiciones similares de evaporación, al incrementar el contenido de cal de 5% al 10% del material cementante, se necesitó adicionar mayor cantidad de agua para recuperar la fluidez especificada de 110%, pero al seguir aumentando la cal hasta el 25%, **la tendencia se invirtió**; este comportamiento se observó en todos los tiempos de reemplado (ver **Tabla 18**).

La cal actúa como retenedor natural de agua; este efecto se observó cuando se incrementó el porcentaje de cal de 10% al 25% del material cementante; en este caso se necesitó menor cantidad de agua para recuperar su consistencia. Lo anterior se puede explicar de la siguiente manera: es posible que la menor cantidad de agua requerida se deba a que decreció el agua perdida por evaporación; por su parte, la evaporación se hace menor cuando la retención de agua debida a la cal presente en la mezcla disminuye el agua libre susceptible de ser evaporada; en otras palabras, la cal retiene suficiente agua como para cambiar la velocidad de evaporación.

Cuando la cantidad de cal se incrementó de 5% al 10% del material cementante se necesitó mayor cantidad de agua, es decir, se presentó una mayor evaporación. Si se mantiene la hipótesis, se puede plantear que, en dicho intervalo, la cantidad de cal no retiene el suficiente líquido para cambiar el requerimiento de agua por reemplado y no se altera de forma considerable la velocidad de evaporación.

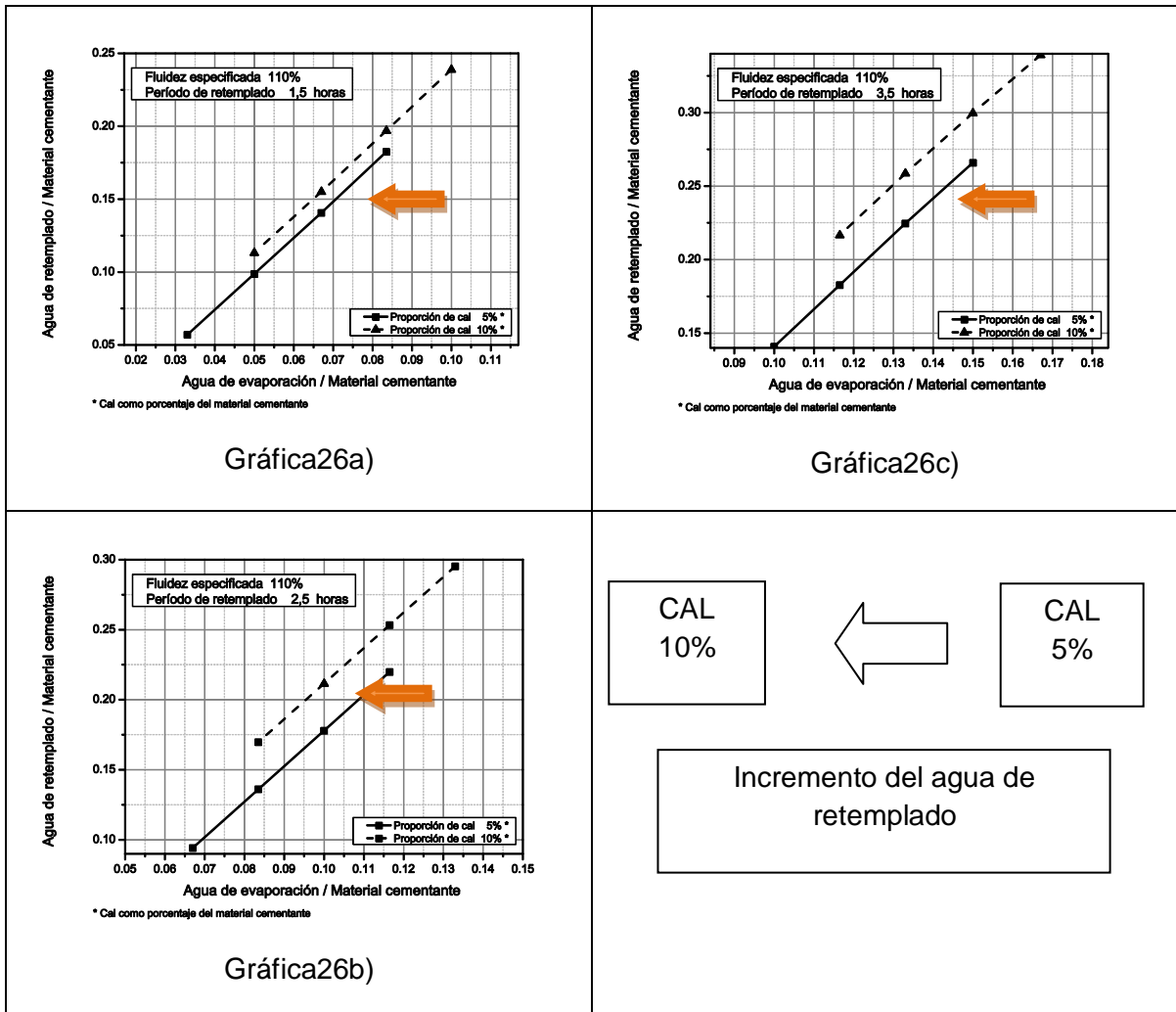


Figura 26. Gráfica Dosificación de cal (5% al 10%)
 a) Retemplado 1,5 horas, b) Retemplado 2,5 horas, c) Retemplado 3,5 horas.

El agua de adición por reemplado es función de la evaporación presente en la mezcla antes de ser intervenida. Los resultados encontrados proponen una posible relación entre la evaporación y el contenido de cal en el material cementante.

En la **Figura 26** se puede apreciar gráficamente la tendencia del comportamiento sobre los valores promedio del agua de adición al crecer la proporción de cal del 5% al 10% en el material cementante. Al aumentar el porcentaje de cal se necesitó adicionar más agua para recuperar la consistencia en todos los tiempos de reemplado. La función que

corresponde a mayor porcentaje de cal tiende a la izquierda como lo indica el sentido de las flechas en el gráfico.

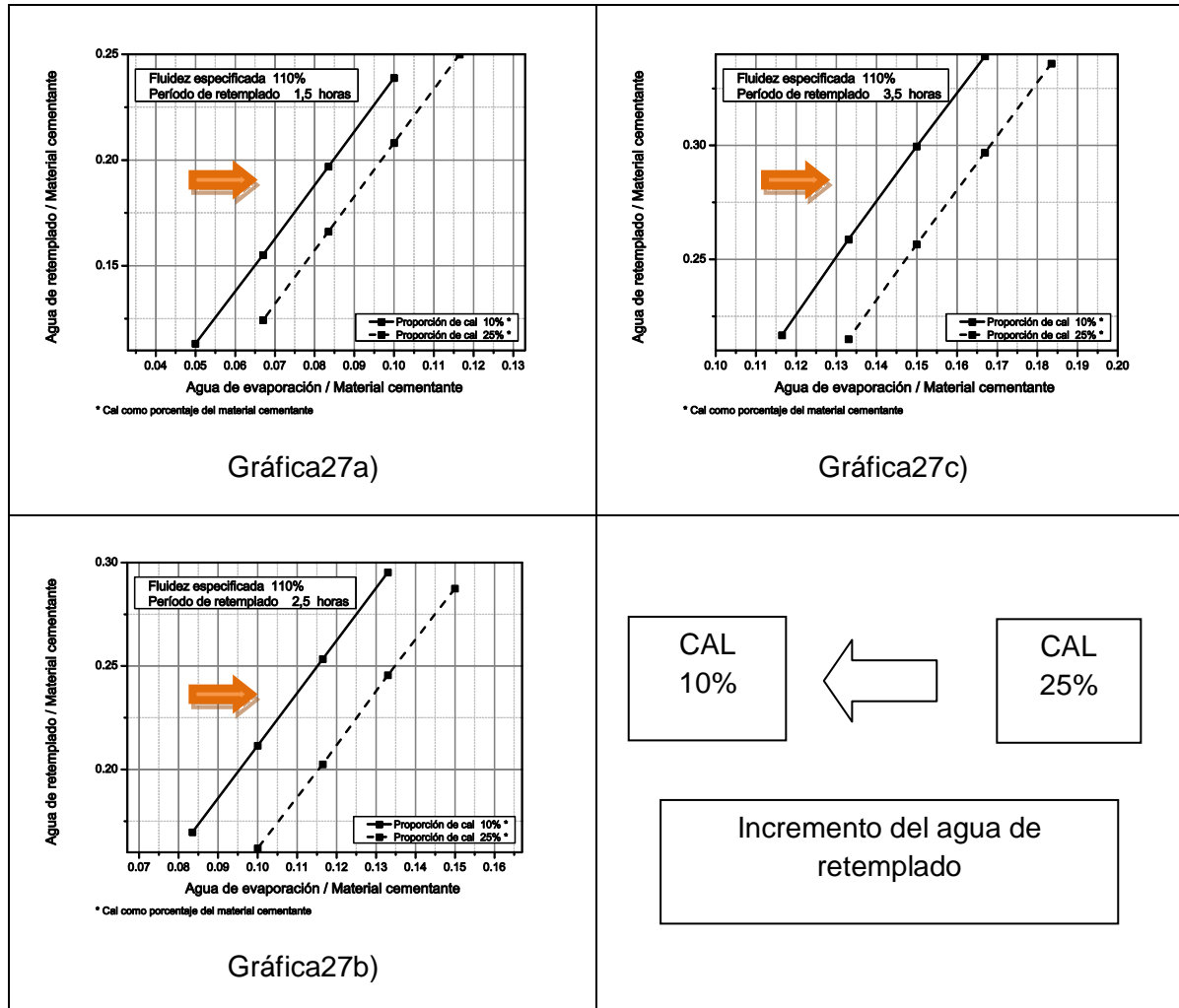


Figura 27. Gráfica Dosificación de cal (10% al 25%)

a) Retemplado 1,5 horas, b) Retemplado 2,5 horas, c) Retemplado 3,5 horas.

En la **Figura 27** se puede apreciar la tendencia del comportamiento sobre los valores promedio del agua de adición al incrementar la proporción de cal en el material cementante del 10% al 25%. Al aumentar el porcentaje de cal se necesitó adicionar menos agua para recuperar la consistencia en todos los tiempos de reemplado. La función que corresponde a mayor porcentaje de cal tiende a la derecha como lo indica el sentido de las flechas en el gráfico.

En la **Figura 28** se puede observar las proporciones de agua que participan en el ejercicio anterior. El agua de amasado inicial comprende el agua intersticial, el agua de manejabilidad, el agua de hidratación, y el agua de evaporación.

Fluidez especificada 110%

Período de retaplado: 2,5 horas

Agua de evaporación / Material cementante (0,100)

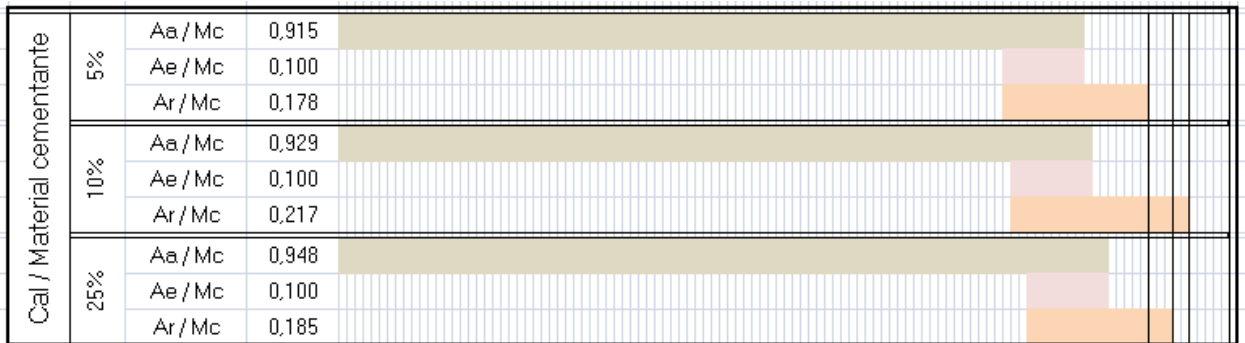


Figura 28. Proporciones de agua

- (Aa/Mc) Agua de amasada/ Material cementante
- (Ae/Mc) Agua evaporada/ Material cementante
- (Ar/Mc) Agua de retaplado/ Material cementante

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El presente estudio permitió conocer la cantidad de agua necesaria para obtener una fluidez especificada antes de intervenir el mortero por reemplado; además, se pudo medir el agua de adición que recuperó su fluidez inicial para diferentes tiempos de reemplado, teniendo en cuenta la evaporación en la mezcla.

Para todas las dosificaciones fue necesario obtener la pérdida de agua por evaporación en cada tiempo de reemplado. El grado de intervención efectuado sobre el mortero se consiguió al encontrar el agua de adición que recuperó la consistencia inicial para cada muestra; esto permitió evaluar la incidencia del material cementante en el reemplado del mortero.

La relación inicial entre el agua de amasado y la fluidez se registró para las diferentes dosificaciones. Al aumentar el contenido de cal en el material cementante, la muestra demandó mayor cantidad de agua para lograr un valor de fluidez equivalente.

En las diferentes dosificaciones, para todas las muestras, se alcanzó la cantidad adicional de agua que recuperaba su consistencia inicial; esto se logró en cada tiempo de reemplado para el rango de consistencia escogido, o sea, cuando la fluidez inicial fue de 100% y de 120%. En todos los casos se necesitó mayor adición de agua cuando la mezcla se preparó con una fluidez inicial de 100%.

Al cuantificar la relación entre el agua evaporada y el agua de adición en cada tiempo de reemplado para la consistencia especificada de 110%, fue necesario obtener los valores límites que cubrieran su rango de estudio, es decir, encontrar las relaciones cuando la fluidez inicial fue de 100% y de 120%, en las distintas dosificaciones. Esta proporción fue mayor a medida que se incrementaba el tiempo de reemplado.

Se identificó la relación entre el agua de evaporación y el agua de adición por reemplado. Para todas las dosificaciones, se presentó como una proporción directa en

los diferentes tiempos de reemplado. Se obtuvo mayor dispersión en los resultados a medida que se incrementaba el contenido de cal en el material cementante.

El requerimiento de agua para recuperar la fluidez durante el reemplado, dependió del contenido de cal en el cementante; el grado de evaporación en la mezcla fue función tanto de las condiciones propuestas en el laboratorio como de la retención de agua conseguida por la cal.

En las dosificaciones estudiadas, hay mayor pérdida de agua a medida que se aumenta el tiempo de reemplado. La cantidad de agua por adicionar fue mayor cuando aumentó el tiempo de reemplado.

Para todas las dosificaciones se presentó mayor grado de evaporación en las mezclas con fluidez inicial de 120% respecto a las que inician con 100%. Esto debido a la mayor cantidad de agua no combinada (agua de amasado) en el mortero.

6.2 Recomendaciones

Ahora bien, a partir de las tendencias demostradas en esta investigación se proponen algunas líneas para continuar el estudio:

- a. Cambios en la consistencia del mortero por variaciones de temperatura, humedad relativa y viento durante la puesta en obra. Humedad del mortero versus evaporación.
- b. Variaciones del agua de reemplado de acuerdo al rango especificado de fluidez.
- c. Injerencia de las condiciones de laboratorio sobre el ensayo de flujo en la mesa de sacudidas. Complementar con el "Cono de Marsh".
- d. Incidencia del porcentaje de cal en proporciones superiores al 25% del material cementante.

- e. Cuantificar el agua de consistencia normal en el material cementante ayudaría a corroborar la retención de agua en la cal.
- f. Obtención del punto de saturación de la cal para diferentes tipos de cemento en el material cementante.
- g. Influencia de las diferentes condiciones del reemplado sobre propiedades mecánicas del mortero en estado endurecido.

A. Anexo: Normas para morteros de revestimiento

Normas vigentes en morteros de albañilería

Diseño, preparación y aplicación del revoco exterior y del enlucido interior

UNE-EN 13914-1:2006.

Especificaciones de los morteros para albañilería

UNE-EN 998-1:2010. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido

UNE-EN 998-2:2012. Parte 2: Morteros para Albañilería

Cales para la construcción

UNE-EN 459-1:2011. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad

UNE-EN 459-2:2011. Parte 2: Métodos de ensayo

UNE-EN 459-3:2012. Parte 3: Evaluación de la conformidad

La normativa que contempla lo relativo a la fabricación de morteros en general es la siguiente:

UNE 7088:1955. Determinación de la compacidad en los áridos para morteros y hormigones

UNE 7131:1958. Determinación del contenido total de sulfatos en aguas de amasado para morteros y hormigones

UNE 7132: 1958. Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones

UNE 7133: 1958. Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones

UNE 7178: 1960. Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la Fabricación de morteros y hormigones

UNE 7234: 1971. Determinación de la acidez de aguas destinadas al amasado de morteros y hormigones, expresada por su pH.

UNE 7235:1971. Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones

UNE 7236.1971 Toma de muestras para el análisis químico de las aguas destinadas al amasado de morteros y hormigones

Norma Tecnológica de la edificación NTE-RPE/1974 «Revestimientos de paramentos enfoscados». Orden del Ministerio de la Vivienda. BOE nº 269 de 09/11. 1974

Métodos de ensayo de los morteros para albañilería

UNE-EN 1015-1:1999.Parte1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado)

UNE-EN 1015-2:1999.Parte2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo

UNE-EN 1015-3:2000. Parte3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)

UNE-EN 1015-4:1999. Parte 4: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por penetración del pistón)

UNE-EN 1015-6:1999. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco

UNE-EN 1015-7:1999. Parte 7: Determinación del contenido en aire en el mortero fresco

UNE-EN 1015-9:2000. Parte 9: Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco

UNE-EN 1015-10:2000. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido

UNE-EN 1015-11:2000. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido

UNE-EN 1015-12:2000. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecido aplicado sobre soportes

UNE-EN 1015-17:2001. Parte 17: Determinación del contenido en cloruros solubles en agua de los morteros frescos

UNE-EN 1015-18:2003. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido

UNE-EN 1015-19:1999. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido

UNE-EN 1015-21:2003. Parte 21: Determinación de la compatibilidad de los morteros de revoco mono capa con los soportes

Normas colombianas para morteros

ICONTEC. (1995). Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería / ICONTEC. 1995

ICONTEC (2003). NTC 3546 Concretos. Método de ensayo para determinar la evaluación en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería. Icontec: Bogotá

ICONTEC (2003). NTC 2240 Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería. Icontec: Bogotá

ICONTEC (2000). NTC 174 Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. Icontec: Bogotá

ICONTEC (2003). NTC 111 Concretos. Especificaciones para la mesa de flujo usada en ensayos de cemento hidráulico. Icontec: Bogotá

ICONTEC (2001). NTC 3459 Concretos. Agua para la elaboración de mortero. Icontec: Bogotá

ICONTEC (2000). NTC 127 Concretos. Método de ensayo para determinar impurezas orgánicas en los agregados finos sobre la resistencia del mortero. Icontec: Bogotá

ICONTEC (1966). NTC 30 Cemento Pórtland. Clasificación y nomenclatura. Icontec: Bogotá

ICONTEC (1982). NTC 31 Cemento. Definiciones. Icontec: Bogotá

Bibliografía

- [1] Sánchez, D. (1987). Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 413 p.
- [2] Granero, P. y G. Rodríguez. (2010). Estudio comparativo de morteros empleados como revoques en nuestro medio. Montevideo, Uruguay: Cinpar.
- [3] Gallegos, H. (1989). Albañilería estructural. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú, 483 pp.
- [4] Camuñas y Paredes, A. Materiales de construcción. Madrid: Latina Universitaria, 1974.
- [5] Salazar, A. (1985). Un método empírico para el proporcionamiento de mezclas de Mortero de Cemento Pórtland para albañilería, *Materiales de Construcción*, 35(197). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- [6] Astroza, M. y M. Muñoz. (2008). Estudio sobre resistencia de adherencia de la albañilería en Chile. Jornadas Suramericanas de Ingeniería Estructural, Santiago, Chile, 2008.
- [7] Sánchez, D.; Arango, J. F; Londoño, C.; Restrepo, R. y Tamayo, R. (2013). Manual de referencia para la instalación de revestimientos cerámicos - Pisos interiores y exteriores, y paredes en interiores. Medellín: Sánchez & Arango-Corona.
- [8] Joisel, A. (1972). Fisuras y grietas en morteros y hormigones. Barcelona: Técnicos Asociados.
- [9] Fernández C., M. Hormigón. Madrid: Servicio de Publicaciones, E.T.S. Ingenieros de Caminos, D.L. 1989.

-
- [10] Salamanca C., R. (1984). Dosificación de morteros. Diseño de mezclas de mortero. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC.
- [11] Junco P., C. (2012). Morteros aligerados con residuos de espumas rígidas de poliuretano. Obtención, caracterización y puesta en obra. Tesis para optar al título de doctor. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, España.
- [12] Kosmatka, S. H.; Kerkhoff, B.; Panarese, W. C. y Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Skokie, Illinois: PortlandCementAssociation. EE.UU. 468pp.
- [13] Rodríguez-Mora, Óscar. Morteros Guía General. AFAM. Madrid, 2003
- [14] Neville, A. M. (1999). Tecnología del concreto. México DF: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.