

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil



EFFECTOS DE LA CASEÍNA COMO ADITIVO EN LAS RESISTENCIAS MECÁNICAS
PARA EL DESARROLLO DE MORTEROS.

RODRIGO IVÁN CID CID

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía: **Ing. Felipe González Monsalve.**

Profesor Informante: **Ing. Guillermo Bustamante Laissle.**

Concepción, mayo 2017

Resumen

La presente investigación tiene como propósito principal, ver la efectividad de la caseína como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas en el desarrollo morteros. Además, confeccionar dosificaciones adecuadas que permitan identificar los efectos de la caseína.

La caseína proveniente de la leche bovina, es una de las proteínas presentes en la leche. Dentro de sus principales propiedades están la adherencia, manejabilidad, resistencia mecánica, resistencia al agua, entre otras. Se obtuvo artesanalmente, mediante un proceso de separación con una fuente ácida, en este caso vinagre de manzana. Obteniéndose la caseína en forma sólida para su utilización.

Se generaron probetas RILEM, las cuales se sometieron a ensayos de resistencia a flexión y resistencia a compresión. Todo esto, teniendo como base la norma chilena **NCh 158. Of 1967** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile). Los valores de resistencia promedio obtenidos, ya sea resistencia promedio a flexión, como resistencia promedio a compresión, presentan una disminución en comparación con morteros tradicionales.

Estos resultados son negativos, quedando la posibilidad de una nueva, más amplia y exhaustiva investigación para el desarrollo de nuevos morteros para la industria de la construcción, mediante un estudio, en primera instancia enfocado en el área química de los materiales, considerando las propiedades individuales de la caseína, como también de otros aditivos y así poder realizar mejores morteros y/u hormigones.

Abstract

The main purpose of this research is to see the effectiveness of casein as an additive to improve mechanical properties in the development of mortars. In addition, to make adequate dosages that allows identify the effects of casein.

Casein come from bovine milk, is one of the proteins present in milk. Within its main properties are adhesion, handling, mechanical resistance, resistance to water, among others. it was obtained by hand, through a process of separation with an acid source, in this case apple vinegar. The casein is obtained in solid form for use. The casein is obtained in solid form for use.

RILEM specimens were generated, which were tested for flexural strength and compressive strength. All this, based on the Chilean norm **NCh 158. Of 1967** "*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*" Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile). The values of average resistance obtained, either average resistance to flexion, or average resistance to compression, present a decrease compared to traditional mortars.

These results are negative, with the possibility of a new, more extensive and exhaustive investigation for the development of new mortars for the construction industry, through a study, in the first instance focused on the chemical area of the materials, considering the individual properties of casein, as well as other additives and thus to make better mortars and/or concrete.

Con todo mi amor a mi madre y a mi padre que está en el cielo.

Agradecimientos

En primera instancia a Dios por haber puesto este desafío en mi vida, darme la inteligencia y sabiduría de poder llevarlo a cabo.

A mi familia por apoyarme incondicionalmente en este camino, en especial a mi madre por su inmenso esfuerzo y amor que me brindó, ya que en un momento de su vida tuvo que ser padre y madre a la vez, y que sin ella no habría sido posible. A mi hermana por su cariño y generosidad en todo sentido. A mis tíos que confiaron y siempre me ayudaron. a mis abuelos por su sabiduría. A mis amigos más cercanos, por su sincera amistad, por los consejos y siempre estar presente en momentos de dificultad.

Al profesor Ingeniero Civil Felipe González, por su ayuda, sus conocimientos y paciencia para poder desarrollar este trabajo. Y así mejorar también como ingeniero.

Al Ingeniero Civil Manuel Chávez, por facilitar equipos e instalaciones de laboratorio para la realización de esta investigación.

Índice de Contenidos

Resumen.....	ii
Capítulo 1	1
1.1.- Objetivos.....	1
1.1.1.- Objetivo general.....	1
1.1.2.- Objetivos específicos	1
1.2.- Introducción.....	2
1.3.- Antecedentes.....	6
1.3.1.- Reseña histórica del cemento.....	6
1.3.2.- Reseña histórica de los morteros	10
1.3.3.- Reseña histórica de los aditivos	17
1.3.4.- Algunos aditivos y Dosificaciones	19
Capítulo 2.....	22
2.- Marco teórico.....	22
2.1.- Hipótesis	22
2.2.- Materiales.....	23
2.2.1.- Agua.....	23
2.2.2.- Cemento	23
2.2.3.- Arena normal	24
2.2.4.- Caseína.....	28
2.2.5.- Mortero normal.....	30
2.3 Equipos.....	30
2.3.1.- Balanza.....	30
2.3.2.- Matraz aforado	32
2.3.3.- Moldes	32
2.3.4.- Mezcladora.....	34
2.3.5.- Mesa de compactación.....	36
2.3.6.-Máquina para ensayo de flexión	37

2.3.7.- Máquina para ensayo de compresión.....	38
2.3.8.- Cámara de curado	41
2.4.- Dosificaciones.....	42
2.5.- Fabricación de morteros.	44
2.5.1.- Acondicionamiento.....	45
2.5.2.- Pesada de los materiales	45
2.5.3.- Mezcla.....	46
2.5.4.- Probetas.....	46
2.5.5.- Ensayos	49
Capítulo 3	53
3.- Resultados.....	53
3.1.- Introducción.....	53
3.2.- Pesos	53
3.3.- Densidad	55
3.4.- Resistencia a flexión.....	57
3.5.- Resistencia a compresión.....	59
3.6.- Resistencia y Densidad.....	61
3.7.- Agua absorbida	62
3.8.- Trabajabilidad.....	64
3.9.- Fraguado	65
Capítulo 4.....	66
4.- Conclusiones.....	66
4.1.- Recomendaciones	68
Referencias bibliográficas.....	69
Anexos	72

Índice de Figuras

Figura 1. Caseína en estado sólido y en forma de grumos.....	3
Figura 2. Pirámides de Guiza.....	7
Figura 3. Plaza del foro Romano en Ostia, en Pompeya y Herculano, Italia.....	12
Figura 4. Mortero de pega en albañilería.....	16
Figura 5. Mortero de estuco en albañilería.....	16
Figura 6. Intraplast, Presentación de 0.85kg. en el mercado chileno, Sika Chile.....	21
Figura 7. Cemento Biobío especial, en su versión 42.5kg en el mercado chileno, Chile. ...	24
Figura 8. Curva granulométrica de la arena Biobío.....	27
Figura 9. Gráfico % de masa retenida (%) vs. Abertura de tamiz (mm) de arena Biobío. ...	28
Figura 10. Balanza SNOWREX; BB - 310.....	31
Figura 11. Balanza SNOWREX; BB - 3100.....	32
Figura 12. Molde RILEM 4x4x16 cm.....	34
Figura 13. Dimensiones de la paleta y recipiente de mezcladora eléctrica.....	35
Figura 14. Esquema de mesa de compactación.....	37
Figura 15. Máquinas y equipos para ensayos RILEM.....	40
Figura 16. Centro de control PC-42-D para ensayos RILEM.....	41
Figura 17. Cámara de curado.....	42
Figura 18. Muestras de mortero desmoldadas y etiquetadas.....	49
Figura 19. Ensayo a flexión de probeta de mortero.....	50
Figura 20. Ensayo a compresión de probeta de mortero.....	51
Figura 21. Gráfico de Pesos promedio de las dosificaciones de morteros.....	54
Figura 22. Gráfico de Densidades promedio de las dosificaciones de morteros.....	56
Figura 23. Gráfico de Resistencia promedio a flexión de morteros a 7 y 28 días.....	58
Figura 24. Gráfico de Resistencia promedio a Compresión de morteros a 7 y 28 días.....	60
Figura 25. Gráfico de Resistencia promedio vs. Densidad promedio de morteros.....	62
Figura 26. Gráfico de porcentaje de absorción promedio de morteros a 28 días.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Algunos usos tecnológicos de la caseína.	4
Tabla 2. Granulometría establecida en norma chilena NCh 158. Of 67.	25
Tabla 3. Granulometría arena Biobío.....	26
Tabla 4. Detalles de balanzas electrónicas.....	31
Tabla 5. Velocidades de la paleta de la mezcladora según NCh 158. Of 67.	35
Tabla 6. Detalle de dosificaciones.	44
Tabla 7. Pesos promedio.	54
Tabla 8. Densidades promedio.....	55
Tabla 9. Resistencias promedio a flexión	57
Tabla 10. Resistencia promedio a Compresión.....	59
Tabla 11. Resistencia promedio y densidad promedio.....	61
Tabla 12. Agua absorbida	63

Capítulo 1

1.1.- Objetivos

1.1.1.- Objetivo general

Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de morteros modificados mediante la incorporación de un aditivo (caseína). Además, desarrollar dosificaciones, para así poder comparar los resultados con morteros normalizados (cemento, agua y arena).

1.1.2.- Objetivos específicos

- 1) Verificar la resistencia mecánica a flexión de los morteros.
- 2) Verificar la resistencia mecánica a compresión de los morteros.
- 3) Desarrollar dosificaciones adecuadas que permitan una buena confección de morteros modificados mediante la adición de caseína.

1.2.- Introducción

Para la realización de cualquier proyecto de ingeniería y/o construcción se evalúan siempre cuáles serán las mejores alternativas al momento de establecer qué tipo de materiales se utilizarán para cada una de las actividades asociadas a dicho proyecto, generalmente se llevará a cabo la selección de materiales conocidos, que ya han sido probados y generan una confianza abalada por la calidad de estos en la historia de la construcción de un país.

Hoy en día, los avances tecnológicos en el área de la construcción han permitido una reducción importante ya sea en los costos de producción, en los tiempos de los procesos, además de una mejora en la calidad de la construcción. De la mano con estos avances y evolución que ha tenido la construcción, surge la necesidad de investigar y averiguar sobre nuevos materiales como también aleaciones entre materiales existentes para mejorar aún más los materiales ya existentes y los procesos asociados.

Existe un material del cual se posee información y registros de su utilización de modo industrial y en la producción de morteros y por ende en la construcción. Este material es la caseína.

Caseína(s): La caseína (del latín caseus, "queso") es una fosfoproteína (un tipo de heteroproteína) presente en la leche y en algunos de sus derivados (productos fermentados como el yogur o el queso). Las caseínas son las principales proteínas de la leche. Se sintetizan exclusivamente en la glándula mamaria, y en la leche se encuentran en su mayor parte formando agregados multimoleculares conocidos como "micelas de caseína". En la leche de vaca, las caseínas representan alrededor del 80% del total de proteínas. Se encuentran en la fase soluble asociada al calcio (fosfato de calcio), en un complejo que se ha denominado caseinógeno.

La caseína es obtenida por la coagulación de la leche con ayuda de un ácido. La cuajada obtenida se limpia de los residuos mediante varios lavados y es escurrida, secada y triturada.



Figura 1. *Caseína en estado sólido y en forma de grumos.*

(Fuente: Elaboración propia).

Dentro de sus usos, además de usarse directamente como adhesivo en la elaboración de productos alimentarios (derivados lácteos y cárnicos, panes y productos de repostería, etc.), la caseína se utiliza en la elaboración de productos no alimentarios: pegamentos y pinturas, cubiertas protectoras, plásticos¹.

¹ Revilla R. Aurelio; “*Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis*”, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 1982.

Tabla 1. Algunos usos tecnológicos de la caseína.		
Producto	Propiedad	Aplicación
Envoltura	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de formar películas • Adherencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Pintura • Tinta • Papel • Embalaje • Acabado del cuero • Envoltura textil
Adhesivo	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Fuerza de adhesión • Resistencia al agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Cola con base acuosa
Plástico	<ul style="list-style-type: none"> • Buen procesado • Resistencia mecánica • Resistencia al agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico rígido • Plástico desechable • Fibra • Película/lámina de envoltura en embalajes
Surfactante	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión superficial • Estabilidad de interfase 	<ul style="list-style-type: none"> • Emulgente, detergente

La caseína también estaría siendo incorporada como aditivo junto a morteros y/u hormigones pudiendo generar efectos positivos en éstos. Por lo mismo nace el interés de verificar si se justifica el uso de la caseína como aditivo, que es lo que se realizará en esta investigación. Se tiene información del uso de la caseína en morteros, mejorando la trabajabilidad, todo esto según: “*GASPAR-TEBAR, D; Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Normativa: clasificación y definiciones, Barcelona, España, 1985; “Productos o sustancias que modifican la reología de los hormigones, morteros o pastas;*

- Mejoran la trabajabilidad: Alginatos; bentonitas; cales grasas; caseína; cenizas volantes; diatomeas (harina fósil); puzolanas molidas, etc”.

También otro de los efectos provocados en morteros u hormigones por la caseína sería, el aumentando el tiempo de fraguado, es decir, manteniendo la mezcla fluida más tiempo².

De lo mencionado anteriormente, lo principal es la búsqueda para un mejoramiento de los materiales presentes en la construcción y por ende el proceso de evolución de ésta.

Para el desarrollo de la presente investigación la metodología a utilizar es recabar la información, seguido por la ejecución de los procesos de ensayos, la obtención y análisis de resultados para luego terminar con las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

² Ing. Gerardo A. Rivera L; Concreto Simple, Capítulo 11, aditivos para morteros o concretos, Universidad del Cauca, Colombia.

1.3.- Antecedentes

1.3.1.- Reseña histórica del cemento

Desde los tiempos antiguos, incluso antes de Cristo (A.C.), existen las primeras utilizaciones de mezclas similares a los morteros u hormigones, en su objetivo, ya que en esos años aún no se había descubierto el cemento y se hacían mezclas de arcillas con piedras para la confección de estructuras pequeñas³.

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

Dentro de los conglomerantes hidráulicos entran también los cementos de horno alto, los puzolánicos y los mixtos, teniendo todos éstos un campo muy grande de empleo en hormigones para determinados medios, así como los cementos aluminosos "*cementos de aluminato de calcio*", que se aplican en casos especiales.

Los cementos se emplean para producir morteros y hormigones cuando se mezclan con agua y áridos, naturales o artificiales, obteniéndose con ellos elementos constructivos prefabricados o contruidos "*in situ*".

Hace 5.000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indios.

³ Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (I.E.C.A.), *El Cemento, Historia del Cemento*.

Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales. Una de las construcciones más antiguas y emblemáticas realizadas por los egipcios son las pirámides de Guiza llevadas a cabo alrededor del 2570 A.C. Estructuras realizadas principalmente con piedra caliza y cal⁴.



Figura 2. Pirámides de Guiza.

(Fuente: E. Vidaud; De la Historia del Cemento, México, 2013).

En Troya y Micenas, dice la historia que, se emplearon piedras unidas por arcilla para construir muros, pero, realmente el hormigón confeccionado con un mínimo de técnica aparece en unas bóvedas construidas cien años A.C.

Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva. En Puteoli conocido hoy como Pozzuoli se encontraba un depósito de estas cenizas, de aquí que a este cemento se le llamase "cemento de puzolana".

⁴ E. Vidaud; *De la Historia del Cemento*, México 2013

Hasta el siglo XVIII puede decirse que los únicos conglomerantes empleados en la construcción fueron los yesos y las cales hidráulicas, sin embargo, es durante este siglo cuando se despierta un interés notable por el conocimiento de los cementos.

John Smeaton, ingeniero de Yorkshire (Inglaterra), al reconstruir en 1758 el faro de Eddystone en la costa de Cornish, se encuentra con que los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas y que la presencia de arcilla en las cales, no sólo las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella⁵.

Puede decirse con acierto que el primer padre del cemento fue Vicat a él se debe el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad y que propuso en 1817. Vicat fue un gran investigador y divulgador de sus trabajos; en 1818 publicó su "*Recherches experimentales*" y en 1828 "*Mortiers et ciments calcaires*". En estos trabajos marca la pauta a seguir en la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. El sistema de fabricación que empleó Vicat fue el de vía húmeda y con él marcó el inicio del actual proceso de fabricación. Este gran científico en 1853 empieza a estudiar la acción destructiva del agua de mar sobre el mortero y hormigón.

En 1824, Joseph Aspdin, un constructor de Leeds en Inglaterra, daba el nombre de cemento portland y patentaba un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las bajas temperaturas empleadas en la cocción⁶.

⁵ E. Vidaud; *De la Historia del Cemento*, México 2013

⁶ Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (I.E.C.A.), *El Cemento, Historia del Cemento*.

En 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin en el que se había logrado una parcial sintetización por elección de una temperatura adecuada de cocción. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres⁷.

Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson quien en 1845 logra conseguir temperaturas suficientemente altas para clinkerizar a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima.

El intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos, diques, etc., en la segunda mitad del siglo XIX, da una importancia enorme al cemento y las fábricas de éste, especialmente las de cemento natural, empiezan a extenderse por doquier.

Es a partir de 1900 cuando los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cementos naturales.

Actualmente, el cemento portland ha llegado a una gran perfección y es el material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón⁸.

Las investigaciones llevadas a cabo por los padres del cemento Michaelis y Le Chatelier, en 1870 y 1880, fueron fundamentales y muy meritorias para el desarrollo de este material. En ellas se apoya toda la investigación actual que emplea técnicas de análisis muy sofisticadas y rápidas.

⁷ Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (I.E.C.A.), *El Cemento, Historia del Cemento*.

⁸ E. Vidaud; *De la Historia del Cemento*, México 2013

1.3.2.- Reseña histórica de los morteros

1.3.2.1.- Morteros prehistóricos

La cal como ligante y el mortero de cal se mencionan ya en la Biblia (Deuteronomio 5-27,2), El descubrimiento de las propiedades ligantes de la cal es tema de especulación. Algunos autores (Furlan, 1975) renuncian a datar los primeros morteros de cal, mientras que otros (Malinowski, 1991) lo sitúan muy al comienzo de la Historia del hombre, cuando éste empezó a usar el fuego para calentarse en cuevas de rocas calizas o cuando se preparaba la comida en hogares construidos de dicho material. La caliza calcinada se apagaba en contacto con la humedad o la lluvia, y el polvo resultante tenía propiedades ligantes de materiales.

Una de las primeras aplicaciones de la cal apagada fue como tinte en pinturas en cuevas (Malinowski, 1991). En Turquía, en la villa neolítica de Çatal Hüyük (6.000 A.C.) el “enyesado” que recubre suelos y muros, y que sirve de soporte a pinturas y al modelado de animales en los templos, es una arcilla blanca autóctona aplicada tal cual; en cuanto al mortero de tierra, utilizado para la construcción de las paredes, negro y rico en cenizas y restos de huesos, todavía no disponía de un auténtico ligante⁹.

1.3.2.2.- Morteros Egipcios

Los egipcios fueron los primeros en utilizar el yeso para el mampostado de los bloques de la pirámide de Keops (hacia 2600 a. A.C.) (Furlan, 1975). El uso de mortero de yeso queda casi exclusivamente limitado en la Antigüedad, a los morteros egipcios (Martinet, 1992; Ragai, 1988; Ragai, 1987; Ragai, 1989; Ghorab, 1986) y algún otro caso

⁹ José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España, 2005.

aislado señalado en la literatura (Frizot, 1975). Sólo en Grecia se ha encontrado el yeso como ligante en las paredes del Palacio de Micenas y entre los bloques gigantes del antiguo fondeadero de Kition, en Chipre (600 a. A.C.) (Malinowski, 1982)¹⁰.

Se puede afirmar que fue en Egipto donde se logró en la Antigüedad el mayor conocimiento del yeso, de su preparación y aplicaciones, y también donde prácticamente se utilizó por primera vez el yeso puro como mortero.

1.3.2.3.- Morteros Griegos

Puede afirmarse que el empleo de la cal como ligante tiene su origen en el período neolítico y que el uso del mortero de cal propiamente dicho corresponde a los griegos y romanos (Furlan, 1975; Malinowski, 1991), Las excavaciones realizadas atestiguan que los constructores griegos conocían los ligantes artificiales desde épocas muy remotas (Furlan, 1975), lo que corrobora la hipótesis del origen neolítico del mortero de cal. Sin embargo, la utilización del mortero de cal en Grecia para la construcción de muros es muy posterior, finales del siglo II o principio del siglo I A.C. (casas de Délos y de Théra) (Furlan, 1975). En anteriores construcciones, las piedras estaban unidas por un mortero hecho simplemente de tierra y de arcilla (Orlandos, 1968). Ya desde el siglo VII A.C., los constructores griegos hubieron de recurrir a la técnica de estucos y de revestimientos para disimular el aspecto rudo de ciertos materiales como la toba y la caliza, Vitruvio admira el enlucido griego, similar al mármol, en el Palacio de Croesus y el pulimentado de los emplastes, base de pinturas y frescos¹¹.

^{10 11} José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España, 2005.

1.3.2.4.- Morteros Romanos

Los romanos heredaron de los griegos la técnica de añadir a la mezcla diversas sustancias que favorecían las características del mortero. Por ejemplo, con frecuencia se añadía lava ligera como agregado, como lo demuestran los morteros hallados en el Foro Romano en Ostia, en Pompeya y Herculano. La gran durabilidad de estos morteros pulidos se explica por la baja absorción y desorción de agua del agregado; al actuar de igual forma para la entrada de aire, afecta también al hinchamiento y a la contracción del mortero. Se puede señalar, por tanto, que la civilización romana mejoró los procedimientos de fabricación de la cal y las técnicas de aplicación de su mortero¹².



Figura 3. Plaza del foro Romano en Ostia, en Pompeya y Herculano, Italia.

(Fuente: http://www.nationalgeographic.com.es/viajes/grandes-reportajes/los-tesoros-del-foro-romano-2_7293).

¹² José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España, 2005.

1.3.2.5.- Morteros Medievales

De acuerdo a las investigaciones realizadas sobre los morteros de la Edad Media, puede indicarse que en este período no hubo ningún progreso técnico notable. Hay un acontecimiento histórico previo de gran importancia en el posterior devenir de las técnicas de construcción, la caída del Imperio Romano. Los constructores medievales, con lógicas variaciones regionales, continuaron elaborando morteros con los mismos ingredientes que lo hacían los romanos, aunque probablemente sin una selección tan cuidadosa de los materiales, y continuaron también aplicándolos de forma parecida, aunque, como ya se ha indicado, no tan esmeradamente como lo hicieron los súbditos del Imperio Romano¹³.

Los morteros medievales en Francia, en los siglos IX, X y XI, son, generalmente, de calidad muy mediocre, a pesar de la presencia, a veces, de tejo. Hay que señalar que el tejo puede desempeñar dos funciones bien distintas. Por su naturaleza porosa, los pequeños fragmentos de tierra cocida hacen a los morteros más permeables al aire y así permiten una mejor carbonatación de la cal. Por otra parte, ciertas arcillas cocidas pueden tener una actividad puzolánica. No obstante, la “reactividad” es a menudo muy débil o nula, porque depende de la naturaleza de la arcilla y de la temperatura de cocción. Los mejores resultados se obtienen generalmente para temperaturas por debajo de la temperatura de cocción de ladrillos y tejas. En consecuencia, la adición de tejo no mejora necesariamente la calidad de un mortero (Furlan, 1975).

Al principio del siglo XIII, razones de economía impusieron a veces restricciones a los constructores. Se veían obligados a utilizar muy poca cal y la arena aparecía, a veces, mezclada con tierra; de ahí que los morteros de las catedrales de Laon, Troyes, Chalon-sur-Marne y Sées sean de muy baja calidad (Furlan, 1975). Por el contrario, en los siglos XIV y XV, raramente se emplearon las gravas gruesas; se utilizaba sobre todo

¹³ José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España, 2005.

arena de planicie, que parece que en ocasiones era lavada para quitarle toda traza de arcilla y de tierra. Estas medidas permitían la fabricación de un mortero de mucha mejor calidad.

Algunos autores (Hennig y Bleck, 1968) consideran que no existe fundamento alguno para la creencia persistente de que se adicionaron proteínas animales a los morteros medievales. De hecho, para estos autores, la adición de tales sustancias como la clara de huevo, leche, caseína o sangre, no está atestiguada en la literatura histórica; por otra parte, estos investigadores han examinado muestras de morteros de los siglos XI al XVII en Alemania, y nunca han podido establecer la presencia de materias orgánicas¹⁴.

1.3.2.6.- Morteros Modernos

Hasta el siglo XVIII no se inicia la fabricación de ligantes hidráulicos, susceptibles de endurecer bajo el agua. Los griegos, como ya se ha visto, supieron crear morteros estables al agua por medio de materiales tales como la tierra de Santorin y el tejo. Los romanos generalizaron el uso de los morteros de cal y puzolana. La mayor estabilidad en agua de las masas así obtenidas se debe a una reacción más o menos lenta entre la cal, la sílice coloidal y la alúmina, contenidas en los productos mencionados, con formación de hidrosilicatos e hidroaluminatos, cuya naturaleza es comparable a la de los productos que se obtienen por hidratación de los ligantes hidráulicos modernos (Furlan, 1975; Rassinieux, 1989). El fenómeno más importante para la larga duración de los morteros romanos parece ser la protección de la matriz del ligante calcáreo debido a la baja permeabilidad del mortero a los agentes agresivos, unido al desarrollo de reacciones puzolánicas y a la formación en la superficie de una costra protectora de carbonato (Rassinieux, 1989).

¹⁴ José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España, 2005.

1.3.2.7.- Morteros actuales

Los cementos producidos a partir de 1850 lo fueron con métodos modernos, moliendo la cal y la arcilla en un molino húmedo y calcinando la mezcla a temperaturas entre 1300° y 1500° C. La caliza se convierte así en cal viva, que se une químicamente con la arcilla formando un clinker de cemento Portland. Después de volver a moler y calcinar, el clinker blanco caliente se deja enfriar y se añade una pequeña cantidad de yeso para prolongar el tiempo de fraguado.

La Exposición Universal de 1851, permitió una demostración del nuevo producto, lo que le dio una gran publicidad. Desde ese momento, la mayor parte de los fabricantes de ligantes practican la calcinación a alta temperatura, y la cal fue reemplazada progresivamente por el cemento.

Las principales objeciones al uso de cales hidráulicas, cementos naturales y especialmente cemento Portland se basan en su alta resistencia, su carácter más bien impermeable y el riesgo de transferencia de sales solubles, en concreto sales de sodio, que alteran los materiales de construcción (Furlan, 1975; Ashurst, 1983).

Desde el final del siglo XIX, los principios generales de la fabricación del cemento Portland no han cambiado apenas. Sin embargo, se ha asistido a una evolución técnica y científica muy importante, que ha llevado a la preparación de ligantes aplicables a situaciones muy específicas, que han abierto un enorme campo en la investigación de estos materiales.

Finalmente se tiene que el mortero es un compuesto de materiales que juntos forman un material homogéneo de uso común en proyectos de construcción como edificación, proyectos habitacionales, entre otros. Está constituido por una cantidad de cemento siendo este el aglomerante, una cantidad de áridos y una cantidad de agua.

Dentro de sus usos principales esta para pegar elementos como ladrillos en la albañilería, piedras, bloques de hormigón. También es altamente usado en revestimientos de paredes, como material de estuco o para relleno en espacios que quedan vacíos.

Hoy en día existen productos de morteros que vienen preparados con dosificaciones establecidas y solo basta adicionar el agua necesaria para la elaboración de éste. Sin embargo, en este caso se realizará la confección completa de los morteros en laboratorio.



Figura 4. *Mortero de pega en albañilería.*

(Fuente: <http://jhonrodrigueztecml.blogspot.cl/2015/10/semana-11-y-12.html>).



Figura 5. *Mortero de estuco en albañilería.*

(Fuente: <http://jhonrodrigueztecml.blogspot.cl/2015/10/semana-11-y-12.html>).

1.3.3.- Reseña histórica de los aditivos

Después de que Joseph Apsdin patenta el conocido cemento portland, éste adquiere mayor importancia a través del tiempo por su gran utilización en construcciones de esa época.

Para optimizar tanto su docilidad como su desempeño en obra, se le van haciendo mejoras, es así como estas mejoras se ven muy reflejadas tanto para los hormigones como para los morteros frescos o endurecidos.

Es así como entre los años 1873 a 1890 se le incorpora al Cemento Portland un porcentaje de yeso crudo o cloruro de calcio, esto produjo un cambio muy importante en este tipo de cemento, ya que se obtuvo un fraguado más regular y uniforme¹⁵.

La primera incorporación de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones quedó registrada en el año 1873, pero, aunque fue utilizada masivamente desde ese momento, ayudando a la calidad de los hormigones y de los morteros, recién en el año 1885 se le otorga la patente legal del producto.

Avanzando un poco más en la historia, exactamente a principios del 1900, se comenzó a considerar la incorporación de otros tipos diferentes de aditivos en estudio, esta vez le correspondió hacer su aparición al silicato de sodio, en conjunto con diversos jabones que por sus características tenían como tarea la de impermeabilizar los diversos tipos de hormigones¹⁶.

¹⁵ Rosario López; “*Aditivos para la Producción de Concreto*”. Memoria de título, Universidad de Sonora, México, 2007.

¹⁶ Zabaleta, Hernán; Montegu, Jorge; “*Manual de Aditivos: Adiciones y Protecciones del Hormigón*”. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago, Chile, 1990.

En el año 1905 se comienza la incorporación definitiva de los fluatos o fluosilicatos, los cuales tenían como importante función la de endurecer las superficies de las diferentes estructuras que se construían en la época.

Además de todos estos aditivos ya incorporados, nunca se dejó de estudiar nuevas alternativas para seguir mejorando la calidad de los sistemas constructivos y de los hormigones en general, es por ello que en esta época ya se empezó a denotar la característica especial que tenía el azúcar al ser incorporada a la mezcla del hormigón, el azúcar provocaba un retardo en el fraguado, con lo cual se abren nuevas opciones al momento de construir con grandes cantidades de hormigón.

Dado lo anterior los aditivos pueden definirse como sustancias químicas o minerales que se agregan a la mezcla de hormigón, mortero o pasta de cemento, para modificar varias de sus propiedades. La Norma Chilena NCh. 2182 define al aditivo como material agregado al hormigón en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física, química o físico-química.

En el año 1942 en Chile se instaló la primera fábrica de aditivos químicos para el hormigón. Principalmente se comenzó con aditivos acelerantes de fraguado e impermeabilizantes. Luego con el tiempo se incluyen aditivos reductores de agua como también los conocidos aditivos plastificantes. Más adelante se suman aditivos incorporadores de aire, retardadores de fraguado y aceleradores de fraguado.

Durante el transcurso del año 1960, se inició el uso masivo de los aditivos Plastificantes, producto que hoy en día es el más utilizado en todo el mundo, debido a su capacidad que tienen estos aditivos de reducir el agua de amasado y por consiguiente se obtienen hormigones mucho más resistentes, compactos y durables.

En el año 1970 nace un nuevo aditivo que remece el mercado, este aditivo es el superplastificante y su propiedad principal es crear hormigones más fluidos y de mayor resistencia, haciéndolos muy versátiles.

En los comienzos del año 1980, se introdujo en Chile el uso masivo del microsílíce, material puzolánico que usado con los aditivos superplastificantes permite tener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón. Con este material se confeccionan los hormigones de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa. Estos extraordinarios hormigones se han utilizado en Chile en pavimentos sometidos a fuerte abrasión en minería y obras hidráulicas.

En la actualidad la industria de los aditivos sigue desarrollando nuevos productos para mejorar las propiedades de los morteros y hormigones.

1.3.4.- Algunos aditivos y Dosificaciones

De acuerdo a lo mencionado anteriormente de la caseína, tenemos como sus principales usos, para plásticos y pinturas, por sus propiedades plastificantes y de adherencia. En consecuencia, se espera que la caseína aporte estas propiedades a los morteros en estudio. Sin embargo, existe incertidumbre de los efectos finales que la caseína causará en el mortero normal. Por lo mismo se detalla a continuación algunos aditivos presentes en el mercado chileno con sus principales características, respectivas dosificaciones y recomendaciones de uso.

- Intraplast(Sika): Expansor para mezclas de cemento.

Aditivo en polvo que contiene plastificantes especiales y productos expansores finamente molidos, que actúa sobre las mezclas como expansor, defloculante y plastificante.

Dosis recomendada: Intraplast se debe agregar distribuido uniformemente en el cemento o en el árido fino, en dosis de 2% del peso del cemento ¹⁷.

¹⁷ *Intraplast, ficha técnica, Sika Chile, mayo 2016*

- Sika Stabilizer 4R - CL(Sika): Estabilizador para hormigón y mortero.
Sika Stabilizer 4R - CL es un aditivo para hormigón que incrementa la estabilidad y cohesión de las mezclas de hormigón y mortero.
Dosis recomendada: 0.1 – 1.0% respecto al peso del cemento¹⁸.
- Sika Viscocrete P-100 CL(Sika): Hiperplastificante en Polvo de Alta Eficiencia.
Sika Viscocrete P-100 CL es un aditivo en polvo de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez y máxima reducción de agua, especialmente diseñado para hormigón proyectado.
Dosis recomendada: 0.1 a 0.8 kg. para 100 kg. de cemento (0.1% - 0.8% respecto al peso del cemento)¹⁹.
- SikaTard CL(Sika): Aditivo estabilizador de la hidratación del cemento.
SikaTard CL es un aditivo desarrollado para controlar la hidratación del cemento. De esta forma, las mezclas de hormigón pueden estabilizarse durante largos períodos de tiempo sin perder su calidad.
Dosis recomendada: En función de la trabajabilidad y del retraso de fraguado requerido, la dosis a utilizar estará comprendida entre el 0.2% y el 2% del peso del cemento²⁰.

¹⁸ Sika Stabilizer 4R- CL, ficha técnica, Sika Chile, agosto 2010

¹⁹ Sika Viscocrete P-100 CL, ficha técnica, Sika Chile, julio 2010

²⁰ SikaTard CL, ficha técnica, Sika Chile, mayo 2014

- Sika ViscoCrete-5100 CL(Sika): Reductor de agua de alta eficiencia.
Sika ViscoCrete-5100 CL es un aditivo de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada.
Dosis recomendada: Sika ViscoCrete-5100 CL se utiliza en dosis de 0.3% a 1.5% del peso del cemento, dependiendo del efecto deseado ²¹.

Uno de los aditivos más comunes de la marca Sika en Chile es, el mencionado anteriormente Intraplast. Presente en el mercado en la versión más pequeña de 0.85 kg, con un rendimiento aproximado para 1 bolsa de cemento de 42.5 kg.



Figura 6. *Intraplast, Presentación de 0.85kg. en el mercado chileno, Sika Chile.*

(Fuente: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/303909/Bolsa-0.85-kg.-Intraplast/303909>).

Si bien la norma chilena **NCh 2182. Of 1995** “*Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile), no establece una dosis máxima de aditivo, dejando este ítem a recomendación del fabricante del aditivo, la cantidad máxima de aditivo no debería superar el 5% con respecto al peso del cemento.

²¹ *Sika ViscoCrete-5100 CL, ficha técnica, Sika Chile, diciembre 2016*

Capítulo 2

2.- Marco teórico

En este capítulo se recopila toda la información bibliográfica correspondiente a la fabricación de morteros, sobre el aditivo utilizado en estos, las dosificaciones más comunes que se utilizan y los ensayos normalizados que se realizarán a las muestras. Para la fabricación de morteros y los ensayos normalizados se tiene como base la norma chilena **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile) que forma parte fundamental de los pasos a seguir para el buen desarrollo de esta investigación.

La presente norma anteriormente mencionada establece procedimientos para desarrollar muestras de mortero en general y obtener las resistencias a la flexión y a la compresión de los morteros de cemento.

2.1.- Hipótesis

Existen registros del uso de caseína anteriormente mencionado, que se adicionará como aditivo en la confección de morteros. En base a esto, se pretende establecer que la caseína que se incluirá en la fabricación de los nuevos tipos de morteros, aumente las capacidades resistentes de morteros normalizados. Por ende, existe la necesidad de comprobar los efectos que se generará en los morteros.

Se pretende generar conclusiones solidas ya sea positivamente para el desarrollo de nuevos o negativamente para decidir si se necesita seguir investigando y/o no recomendar el uso de caseína.

2.2.- Materiales

2.2.1.- Agua

El agua que se usará para la fabricación de los morteros debe ser potable como se establece en la norma chilena **NCh 409/1 of 2005** “*Agua potable – parte 1 – requisitos*” (INN-Chile).

La norma que rige para el agua a utilizar se refiere a los requisitos de calidad que debe cumplir el agua en el territorio nacional. De esta forma se aplica agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento del país para el desarrollo de las muestras de mortero.

El agua potable será la proporcionada por el laboratorio de geomateriales de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC).

2.2.2.- Cemento

El cemento que se usará en la confección de las probetas deberá conservarse en envase cerrado y protegerse de la humedad hasta el momento del ensayo.

El cemento para la confección de las probetas será el cemento Biobío especial puzolánico. La norma chilena que rige las características del cemento es la **NCh148 of 68** “*Cemento -Terminología, clasificación y especificaciones generales*” (INN-Chile). El cemento deberá conservarse en un envase cerrado para protegerse de la humedad hasta el momento del ensayo.



Figura 7. *Cemento Biobío especial, en su versión 42.5kg en el mercado chileno, Chile.*
(Fuente: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/301094/Cemento-Especial-42.5-kg/301094>).

2.2.3.- Arena normal

La arena a utilizar es arena normal Biobío. Arena natural, cuarzosa, de granos redondeados y limpia. Se cuenta con su respectiva granulometría que cumple los términos exigidos por la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile).

La composición granulométrica de la arena será tal que sus tamizados de resultados estén comprendidos dentro de los valores de la tabla 2.

Tabla 2. Granulometría establecida en norma chilena NCh 158. Of 67.

Abertura tamices (mm)	Designación tamices (NCh)	Retención acumulada (%)
0.074	-15	98 ± 2
0.149	-11	88 ± 5
0.50	-4	67 ± 5
1.00	0	33 ± 5
1.68	3	5 ± 5
2.00	4	0

(Fuente: NCh 158. Of 67, Instituto Nacional de Normalización, Chile).

- La verificación de la granulometría de la arena se hará por tamizado de una muestra representativa de 100 g de arena por cada uno de los tamices que aparecen en la tabla 2. El tamizado se continuará hasta que a través de cada tamiz pase menos de 0.5 g por minuto ²².
- La arena estará dividida en tres fracciones: fina, media y gruesa. La fracción fina pasará totalmente por el tamiz de 0.50 mm de abertura; la fracción media estará comprendida entre los tamices de 0.50 mm y 1.00 mm de abertura; la fracción gruesa quedará retenida totalmente en el tamiz de 1.00 mm de abertura ²³.
- Cada fracción tendrá una composición granulométrica tal que, mezclándolas por partes iguales en peso, se obtenga una arena de la composición granulométrica indicada en la tabla 2 ²⁴.

²² ²³ ²⁴ **NCh 158. Of 1967** “Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)

- Si fuera indispensable se podrá usar otra división de la arena siempre que la combinación de las fracciones de una granulometría cumpla con lo anotado en la tabla 2 y que no haya peligro de segregación en ninguna de las fracciones ²⁵.

El registro de la granulometría completa de la arena Biobío se presenta a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3. Granulometría arena Biobío.

Tamiz Nº	Abertura tamiz (mm)	Masa retenida (gr)	Masa que pasa (gr)	% Retenido	% Que pasa
3/8	10	0	515.7	0.0	100.0
¼	6.3	0.7	515	0.1	99.9
4	4.75	3.3	512.4	0.6	99.2
8	2.36	25.6	490.1	5.0	94.3
10	2	11.7	504	2.3	92.0
20	0.85	100.8	414.9	19.5	72.4
30	0.6	169.1	346.6	32.8	39.7
40	0.425	117.8	397.9	22.8	16.8
60	0.25	79.6	436.1	15.4	1.4
100	0.15	6.8	508.9	1.3	0.1
200	0.075	0.3	515.4	0.1	0.0

(Fuente: Puga, 2012).

²⁵ NCh 158. Of 1967 “Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)

Y se plasmó la información contenida de la tabla 3 en el siguiente gráfico:

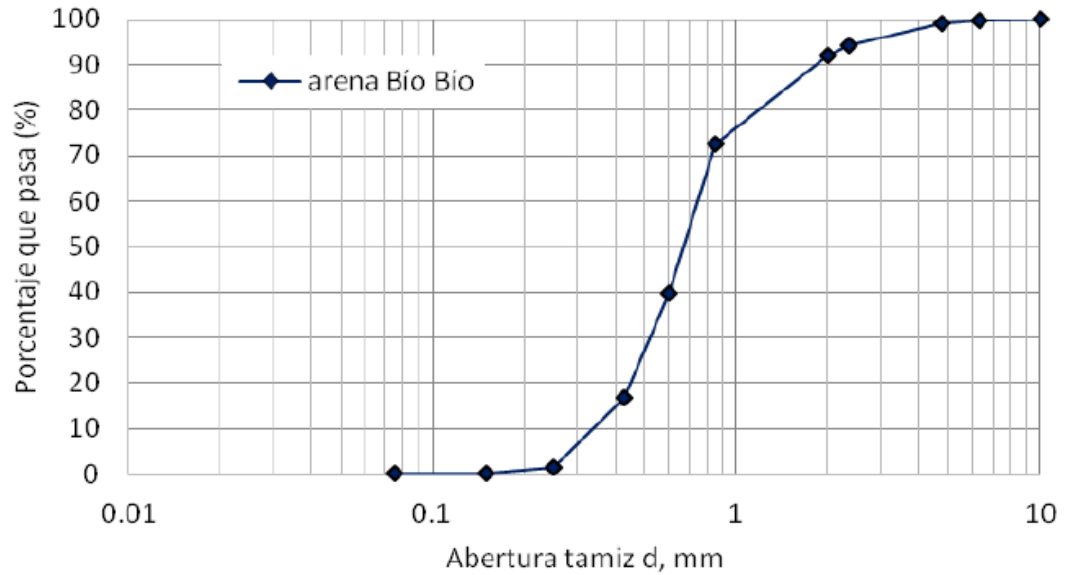


Figura 8. Curva granulométrica de la arena Biobío.

(Fuente: Puga, 2012).

El resto de información queda expresado en el gráfico que se muestra a continuación, mostrándose en el porcentaje de arena retenida versus la abertura del tamiz.

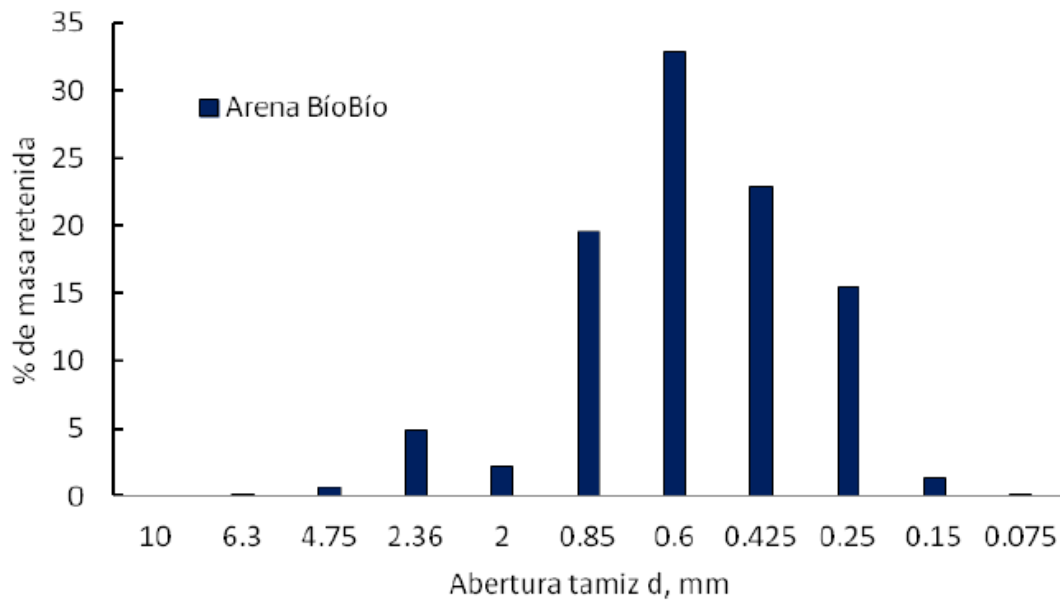


Figura 9. Gráfico % de masa retenida (%) vs. Abertura de tamiz (mm) de arena Biobío.
(Fuente: Puga, 2012).

2.2.4.- Caseína

Éste material mencionado en un comienzo de origen orgánico proveniente de la leche se obtendrá de forma artesanal. La leche que se necesita para poder obtener una mejor calidad de caseína es la leche descremada ya que en ella se eliminó la mayor parte de la materia grasa. Para poder llegar a su estado y forma final será necesario seguir los siguientes pasos:

- a) Colocar la proporción necesaria de leche en un depósito y luego empezar a calentarla a temperatura baja.
- b) Luego a la leche se le debe agregar una cantidad de algún tipo de formula ácida para poder así pueda producirse la separación entre la parte líquida y la parte sólida de ésta. En este caso se utilizará vinagre blanco por cada 100 ml de leche serán

necesarios 10 ml de vinagre en consecuencia por cada litro de leche serán 100 ml de vinagre blanco.

- c) Revolver la mezcla y esperar a que se produzca la separación.
- d) Una vez terminado el proceso de separación filtrar la mezcla con papel filtro y un embudo.
- e) Luego que se filtró el exceso de líquidos se lleva a cabo un lavado con agua de la caseína obtenida.
- f) Se deja escurrir el exceso de agua por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente.
- g) Luego de esto se registra el peso de la caseína húmeda.

Información obtenida y recopilada según 2 fuentes principales^{26 27}.

²⁶ Revilla R. Aurelio; “*Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis*”, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 1982.

²⁷ Silvia Cerdeira, Helena Ceretti y Eduardo Reciulschi.; *Aplicaciones de conceptos de Química orgánica y biotecnología tradicional a diferentes proyectos*; https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml_get_e2a9e55d-7bf9-48b6-9276-8b9bb01999ca/15008-edi/data/a8bfb064-c850-11e0-804d-e7f760fda940/index.htm).

2.2.5.- Mortero normal

El mortero normal se preparará según la norma mencionada anteriormente **NCh 158. Of 1967** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile), en la que se establece la siguiente dosificación:

- Cemento: 2 partes.
- Arena normal seca: 6 partes.
- Agua: 1 parte.

2.3 Equipos

Se detalla el mínimo de equipos necesarios para dar cumplimiento a la ejecución de todos los procedimientos para el desarrollo efectivo de las probetas de mortero. La mayoría de los equipos son proporcionados por el laboratorio de Geomateriales de Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC).

2.3.1.- Balanza

La balanza tendrá una capacidad de 1000 gramos como mínimo y una sensibilidad recíproca de 1gr/div²⁸.

Las balanzas a utilizar serán 2. Y se detallan a continuación:

²⁸ **NCh 158. Of 1967** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)

Tabla 4. Detalles de balanzas electrónicas.

Marca	Modelo	Capacidad	Dimensiones Plataforma
SNOWREX	BB-310	310 grs. x 0.01grs.	Ø 118mm
SNOWREX	BB-3100	3100 grs. x 0.1grs.	180mm x 140mm

(Fuente http://www.industrialcenter.cl/catalogo/balanza-snowrex-modelo-bb-analiticas_442/).



Figura 10. Balanza SNOWREX; BB - 310.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 11. Balanza SNOWREX; BB - 3100.

(Fuente: Elaboración propia).

2.3.2.- Matraz aforado

Para medir el agua se usará un matraz aforado de 250 ml de capacidad que estará calibrado por vaciado a 20 °C, con una tolerancia de ± 1 ml ²⁹.

2.3.3.- Moldes

- Los moldes serán de material que no sea atacado por el mortero de cemento.
- Estarán divididos en tres compartimientos prismáticos, que permitan confeccionar tres probetas.

²⁹ NCh 158. Of 1967 “Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)

- Las divisiones interiores de cada uno de los compartimientos de los moldes serán las siguientes:

Longitud: $l = 160 \text{ mm}$, tolerancia $\pm 0.4 \text{ mm}$;

Ancho: $a = 40 \text{ mm}$, tolerancia $\pm 0.1 \text{ mm}$;

Altura: $h = 40 \text{ mm}$, tolerancia $\pm 0.4 \text{ mm}$;

- Las paredes de los moldes serán de espesor superior o igual a 6 mm.
- Las caras interiores serán planas con aproximación de 0.02 mm.
- Las caras internas formaran entre si ángulos de 90° con tolerancias de $\pm 0.5^\circ$.
- Los moldes usados cuyos defectos sean iguales o superiores al doble de las tolerancias indicadas anteriormente, deberán ser reemplazados.
- Los moldes estarán provistos de un marco metálico superpuesto para facilitar el llenado, el cual constará de tres compartimientos prismáticos de 20 a 40 mm de altura, cuya abertura inferior sea aproximadamente coincidente con la de los moldes, a la cual sobrepasará en una magnitud no superior a 0.4 mm.

Considerando lo que se mencionó anteriormente, las probetas serán preparadas en moldes RILEM de 4x4x16 cm (ver figura 12), dando cumplimiento a lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile).



Figura 12. Molde RILEM 4x4x16 cm.

(Fuente: Elaboración propia).

2.3.4.- Mezcladora

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento” (INN-Chile). Se tiene:

- La mezcladora será de accionamiento eléctrico.
- Estará compuesta de un recipiente de acero inoxidable, de 3.75 litros aproximadamente de capacidad de la forma y dimensiones indicadas en la figura 10, el cual deberá poder fijarse en una altura conveniente con respecto a la paleta.
- Tendrá una paleta, de la forma y dimensiones indicadas en la figura 13 con un movimiento de rotación alrededor de su propio eje, y un movimiento planetario alrededor del eje del motor.

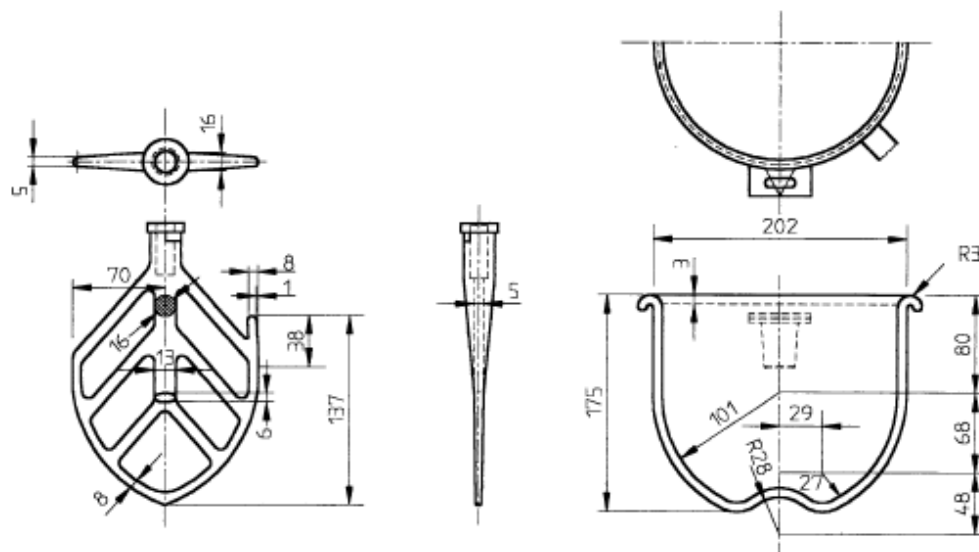


Figura 13. Dimensiones de la paleta y recipiente de mezcladora eléctrica.

(Fuente: NCh 158. Of 67, Instituto Nacional de Normalización, Chile).

- La paleta funcionara a las velocidades que se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Velocidades de la paleta de la mezcladora según NCh 158. Of 67.

	Rotación de la paleta (r.p.m.)	Revolución planetaria (r.p.m.)
Velocidad lenta	140 ± 5	62 ± 5
Velocidad rápida	285 ± 10	125 ± 10

(Fuente: NCh 158. Of 67, Instituto Nacional de Normalización, Chile).

- En posición de partida y durante la marcha, debe haber una distancia libre de alrededor de 2.5 mm entre la paleta y el fondo del recipiente y alrededor de 0.4 mm entre aquella y la pared de éste.

2.3.5.- Mesa de compactación

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

- La mesa de compactación estará constituida por una plancha metálica horizontal, unida a un dispositivo accionado por un motor que le comunique un movimiento de subida hasta una altura de 15 mm y la deje caer libremente desde esa altura, a razón de una caída por segundo.
- La mesa tendrá dispositivos de sujeción para fijar firmemente los moldes.
- El peso del conjunto de la parte móvil de la mesa, molde, dispositivo superpuestos y de sujeción será de 20 ± 1 Kg.
- El aparato se fijará en una base de hormigón de dimensiones apropiadas. Las planchas base de los dos marcos que soportan la leva, y el eje alrededor del cual se efectúa la rotación de la mesa se fijarán a la base de hormigón mediante 4 pernos de anclaje cada uno, y al fijarlos se colocará una capa delgada de mortero rico en cemento entre las planchas base y la base de hormigón, para asegurar un contacto perfecto.
- La base de hormigón se colocará sobre 4 soportes de goma de 10 · 10 cm y 1 cm de espesor. La mesa permanecerá horizontal al estar en reposo, y la normal común a través del punto de contacto de la pieza que cae y del tope, será vertical. La superficie que golpea y el tope mismo se reemplazarán cuando dejen de cumplir la condición antes mencionada. Se usarán rodamientos de bolas en los ejes alrededor de los cuales se efectúa la rotación de la mesa y de la leva. Si se usan rodamientos sencillos el juego de los ejes en ellos será inferior o igual a 0.1 mm.

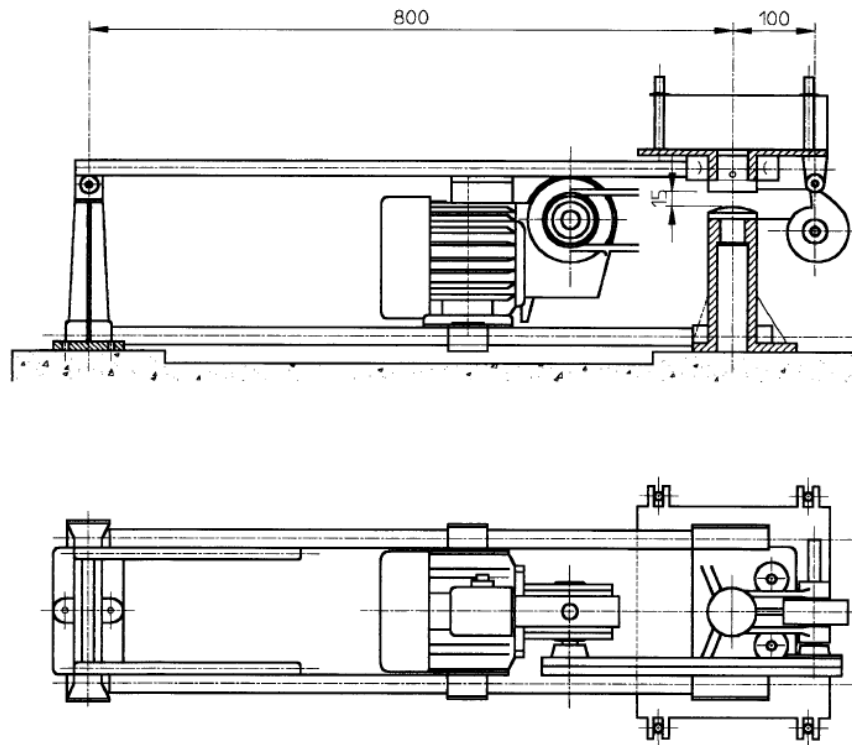


Figura 14. Esquema de mesa de compactación.

(Fuente: NCh 158. Of 67, Instituto Nacional de Normalización, Chile).

2.3.6.-Máquina para ensayo de flexión

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento” (INN-Chile). Se tiene:

- La máquina de ensayo tendrá una precisión superior o igual a 1%.
- Tendrá dos rodillos de 10 mm situados a una distancia de 100 mm ó de 106,7 mm. tendrá, además, un rodillo equidistante de los de apoyo y de igual diámetro que ellos.

- Los rodillos serán móviles alrededor de su centro para permitir una repartición uniforme de las cargas.

2.3.7.- Máquina para ensayo de compresión

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

- La máquina de ensayo tendrá una precisión superior o igual a $\pm 1,5\%$ en todo el intervalo de cargas utilizado en los ensayos.
- El dispositivo para colocar las probetas tendrá un sistema de placas, el cual se coloca entre los platillos de la máquina de ensayo a compresión y que consta de dos placas de presión, rectangulares, de las dimensiones siguientes:
 - a) espesor superior o igual a 10 mm;
 - b) ancho de $40 \pm 0,1$ mm;
 - c) longitud superior a 40 mm.
- Las placas serán de acero, de dureza Vickers superior o igual a 600 o de carburo de tungsteno. Estarán guiadas sin frotamiento y una de ellas será solidaria con un sistema de rótula y podrá inclinarse ligeramente.
- Las caras de las placas serán planas con una tolerancia de 0,01 mm en la superficie de contacto.

Las máquinas y equipos para los ensayos de flexión y compresión serán proporcionadas por la Universidad Andrés Bello sede Talcahuano, departamento de Ingeniería Civil.

Los dispositivos digitales para el ensayo RILEM son desarrollados por la empresa Pinzuar Ltda. Modelos PC-42-1 y PC-42-D son empleados para determinar la resistencia a la flexión y compresión en muestras prismáticas de morteros de cemento hidráulico.

Los aparatos están constituidos por un mecanismo para aplicación de la fuerza sobre la muestra, diseñados acorde con las especificaciones de la norma y una celda de carga conectada a un indicador digital el cual cuenta con funciones para guardar el valor máximo de la fuerza medida, cambiar las unidades de indicación y mostrar directamente el esfuerzo o resistencia de la muestra.

Los aparatos están calibrados para dar las lecturas de fuerza y/o resistencia directamente en unidades del Sistema Internacional de Unidades, (kN) / (MPa) y se puede seleccionar para mostrar unidades imperiales (lbf) / PSI.

Los dispositivos se pueden emplear en una máquina cuya capacidad y precisión sean adecuadas para la realización de los ensayos.

Respecto a la información mencionada de los equipos para ensayos de flexión y compresión, se obtuvo del manual de usuario desarrollada por el fabricante Pinzuar³⁰

³⁰ Pinzuar Ltda; Máquinas para ensayo de concretos PC-42-1 y PC-42-D, Información técnica, manual de usuario, Pinzuar Ltda, Bogotá, Colombia, 2009

Pinzuar Ltda. ha desarrollado softwares especializados para el registro de ensayos RILEM, realizados en las máquinas PC-42-1 y PC-42-D. El centro de control y resto de equipos utilizados para los ensayos se muestra a continuación:



Figura 15. Máquinas y equipos para ensayos RILEM.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 16. Centro de control PC-42-D para ensayos RILEM.

(Fuente: Elaboración propia).

2.3.8.- Cámara de curado

La cámara de curado proporcionada por el laboratorio de geomateriales de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC) será la desarrollada por la empresa ControlsGroup, modelo 55-CO193/B.



Figura 17. *Cámara de curado.*

(Fuente: Elaboración propia).

2.4.- Dosificaciones

Luego de obtener antecedentes, se procedió a realizar pruebas de tanteo para definir las dosificaciones. Se realizaron muestras en las que se utilizaron distintas adiciones de caseína, probando un aumento gradual, para observar el efecto en el mortero en estado fresco.

La caseína que se utilizó en las pruebas de tanteo y luego para el desarrollo final de las muestras, se usó en estado húmedo. Al realizarse la mezcla de amasado, la caseína se desintegró por completo, por lo tanto, fue necesario considerar una corrección en la cantidad de agua.

Considerando las pruebas realizadas, por cada litro de leche se obtienen aproximadamente 150 gramos de caseína húmeda, esta caseína húmeda se dejó secar hasta

que perdió todo el exceso de agua, la cantidad de caseína obtenida después de esto fue aproximadamente 50 gramos de caseína seca.

En consecuencia, se tiene que la cantidad de exceso de agua en la caseína húmeda, es aproximadamente dos tercios del total del peso.

Se efectuaron adiciones de caseína a la mezcla de mortero normal, en porcentajes de 3%; 5%; 10% y 15%; con respecto al peso del cemento, obteniéndose efectos claros de fluidez en la condición de estado fresco del mortero.

Para los casos de 15% y 10% de caseína en la mezcla, se produce una fluidez excesiva en el producto final de mortero modificado.

Para los casos de 5% y 3% de caseína en la mezcla, se produce una fluidez notoria aun para el 5% en el producto final de mortero modificado. Para el 3% si bien es notorio el efecto aun, no se considera una fluidez excesiva.

Teniendo en referencia lo mencionado anteriormente en los antecedentes previos, recomendaciones y las normas consultadas, se establece agregar la cantidad de 0.5%; 0.75%; 1% y 2% de aditivo respecto al peso del material aglomerante principal (en este caso es el cemento) para desarrollar las pruebas necesarias para satisfacer los objetivos de esta investigación.

Se tiene 5 distintos tipos de dosificaciones, las cuales se mencionan a continuación:

- a) Mortero normal. (Dosificación A)
- b) Mortero más caseína (0.5% del peso del cemento). (Dosificación B)
- c) Mortero más caseína (0.75% del peso del cemento). (Dosificación C)
- d) Mortero más caseína (1% del peso del cemento). (Dosificación D)
- e) Mortero más caseína (2% del peso del cemento). (Dosificación E)

Se pretende desarrollar una cantidad de 3 muestras por cada una de las dosificaciones mencionadas anteriormente para cada una de las edades de cada mortero. Estas serán ensayadas a 7 y 28 días. Se realizarán probetas por cada una de las dosificaciones. Por lo tanto, será una cantidad de 15 muestras a ensayar a flexión y 30 muestras a compresión.

Las dosificaciones para los morteros con sus respectivos aditivos se muestran a continuación:

Tabla 6. Detalle de dosificaciones.

	Agua (ml)	Agua con caseína húmeda (ml)	Cemento (g)	Arena (g)	Caseína seca (g)	Caseína húmeda (g)
Dosificación A	250	-	500	1500	-	-
Dosificación B	250	245	500	1500	2.5	7.5
Dosificación C	250	242.5	500	1500	3.75	11.25
Dosificación D	250	240	500	1500	5	15
Dosificación E	250	230	500	1500	10	30

(Fuente: Elaboración propia).

2.5.- Fabricación de morteros.

Para llevar a cabo el desarrollo de muestras de los morteros se realiza todo según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). En efecto se tiene:

2.5.1.- Acondicionamiento

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

- La temperatura de la sala se mantendrá entre 18°C y 27°C.
- La humedad relativa de la sala no será inferior a 50%.
- Los materiales y aparatos usados en la preparación del mortero deberán estar a una temperatura entre 18°C y 27°C.
- La cámara de curado estará constituida de tal modo que pueda conservarse en ella una humedad relativa superior o igual a 90%, en ella se mantendrá una temperatura de 23°C ± 2°C.

2.5.2.- Pesada de los materiales

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

- Se pesarán separadamente 500 g de cemento, 500 g de arena normal fina, 500 g de arena normal media y 500 g de arena normal gruesa y se medirán 250 ml de agua.
- Los materiales se dejarán en envases separados junto a la mezcladora.

2.5.3.- Mezcla

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

- Estando el mezclador en posición de partida se verterá el agua en el recipiente y a continuación se agregará el cemento.
- Se pondrá en marcha el mezclador a la velocidad lenta.
- Después de 30 s de la puesta en marcha se agregará gradualmente la arena, primero la fracción fina, a continuación, la media y finalmente la gruesa. Esta operación deberá hacerse en 30 s.
- Se cambiará a velocidad rápida que se mantendrá durante 30 s.
- Se detendrá el mezclador durante 1 min 30 s. En los primeros 15 s se raspará el mortero adherido a la pared del recipiente con una espátula de goma o plástico no atacable empujándolo hacia el fondo. Después se tapaná el recipiente por el tiempo restante (1 min 15 s).
- Se pondrá en marcha el mezclador con la velocidad rápida durante 1 min.

2.5.4.- Probetas

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

2.5.4.1.- Preparación

- El molde se cubrirá interiormente con una delgada capa de aceite. Las uniones exteriores deberán sellarse. Por ejemplo, con una mezcla de tres partes de parafina con una de colofón.
- El molde y el marco se fijarán sobre la mesa de compactación.
- Se introducirá en cada uno de los compartimentos una primera capa de alrededor de 320 g de mortero, directamente desde el mezclador. Esta capa se nivelará por medio de una espátula plana con dos movimientos de ida y vuelta apoyándose sobre el borde superior del dispositivo superpuesto.
- Se hará funcionar la mesa de golpes dando 60 caídas en 60 s.
- Se colocará una segunda capa de mortero igual aproximadamente a la anterior, la cual se enrasará y compactará en la misma forma.
- Se sacará el molde y se retirará el marco. Se enrasará el mortero con la arista de una regla metálica, mantenida en posición casi vertical, que se desplazará con un movimiento de sierra, perpendicularmente a la longitud del molde.
- Se emparejará la superficie alisándola con la regla que se mantendrá débilmente inclinada sobre la horizontal.
- Se identificarán las probetas.

2.5.4.2.- Conservación

- Los moldes se cubrirán con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación de agua.
- Los moldes se trasladarán a la cámara de curado que se mantendrá en las condiciones descritas en anteriormente.
- Las probetas que se romperán a las 24 horas se desmoldarán 15 a 20 min antes del ensayo. Las demás probetas se desmoldarán entre 20 y 24 horas después de haberlas moldeado. Si el mortero no ha adquirido suficiente resistencia para desmoldarlo sin peligro de deterioro, el desmolde puede postergarse 24 horas, pero debe anotarse en el informe.
- Las probetas desmoldadas se limpiarán suavemente y se pesarán.
- Las probetas desmoldadas se sumergirán en posición vertical, en agua detenida, saturada en cal, a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del ensayo. El agua deberá tener libre acceso sobre todas las caras de las probetas El agua deberá renovarse por mitades cada 30 días. El volumen del agua de conservación será por lo menos 4 veces el del total de las probetas contenidas.
- Las probetas se sacarán del agua menos de 15 min antes del ensayo. Si es necesario para satisfacer esta condición, las probetas se transportan a las máquinas de ensayo en un recipiente lleno de agua.

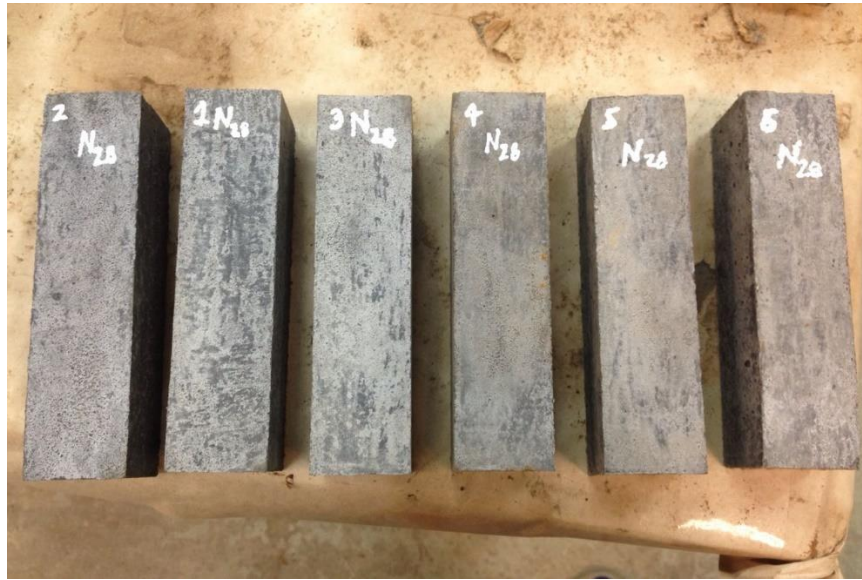


Figura 18. *Muestras de mortero desmoldadas y etiquetadas.*

(Fuente: Elaboración propia).

2.5.5.- Ensayos

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

2.5.5.1.- Flexión

- La probeta se apoyará, en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina a flexión.
- La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/s.

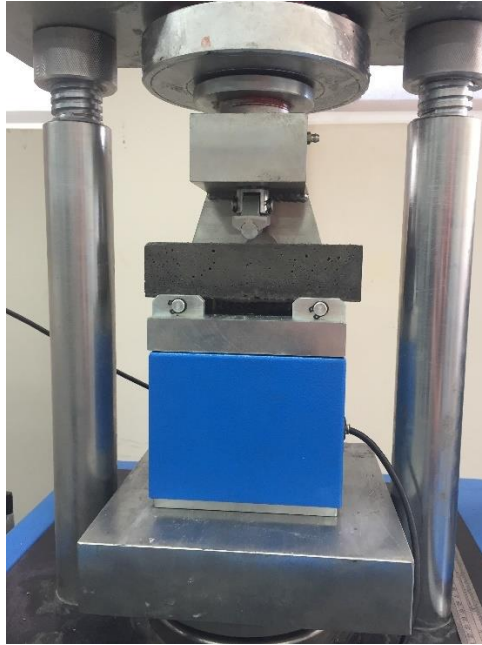


Figura 19. *Ensayo a flexión de probeta de mortero.*

(Fuente: Elaboración propia).

2.5.5.2.- Compresión

- Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservarán húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta al ensayo de compresión. Cada trozo obtenido del ensayo a flexión se ensayará a la compresión en una sección de 40·40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión.

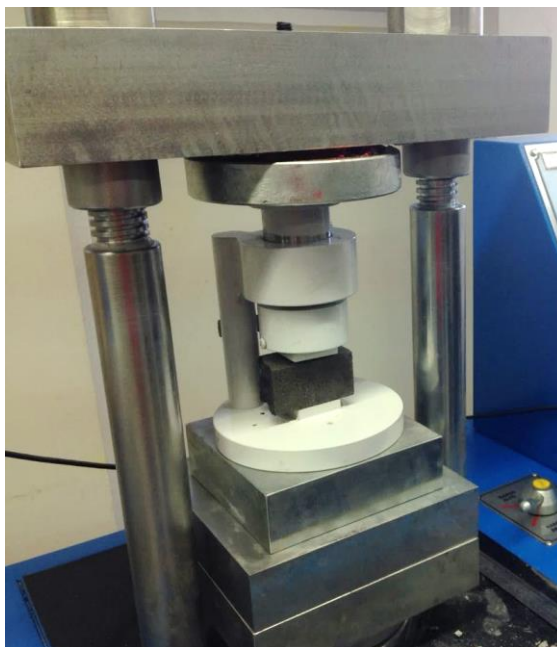


Figura 20. *Ensayo a compresión de probeta de mortero.*

(Fuente: Elaboración propia).

2.5.5.3.- Cálculo

Según lo establecido en la norma **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Se tiene:

La velocidad de carga será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/cm²/s. Hasta la mitad de la carga de ruptura la carga podrá aumentar a mayor velocidad, pero en todo caso la duración de cada ensayo será menor o igual en 10 s. Las resistencias se expresarán en kg/cm² y calculados para la flexión según 0,234 P ó 0,250 P, dependiendo de la distancia entre los apoyos según sea 100 mm ó 106,7 mm, siendo P, la carga total de ruptura expresada en kg.

- Las resistencias se determinarán en tres probetas como mínimo para cada edad para el ensayo de flexión y sus correspondientes 6 probetas para el ensayo de compresión. Se deben ensayar en cada fecha probetas de distintos moldes.
- La resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha.

Capítulo 3

3.- Resultados

3.1.- Introducción

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en concordancia a los procedimientos mencionados anteriormente, de esta forma se obtuvieron los parámetros necesarios para así poder establecer la posibilidad de posibles usos en un futuro del aditivo estudiado.

3.2.- Pesos

El primer parámetro registrado fue el peso de las probetas a ensayar. Es importante plasmar esta información, ya que nos indica el efecto de la caseína, ya sea para el caso de disminuir o aumentar el peso de las probetas con respecto a un mortero normal. Se establece que el desmolde y registro de pesos se realizó a los 5 días de realizadas las muestras.

Una vez determinado el peso promedio para cada una de las dosificaciones, se tiene la siguiente información:

Tabla 7. Pesos promedio.

Tipo de Mortero	Peso promedio(grs.)
Mortero Normal	564.5
Mortero Caseína 0.5%	525.4
Mortero Caseína 0.75%	511.2
Mortero Caseína 1%	486.6
Mortero Caseína 2%	455.6

(Fuente: Elaboración propia).

Y se grafica a continuación:

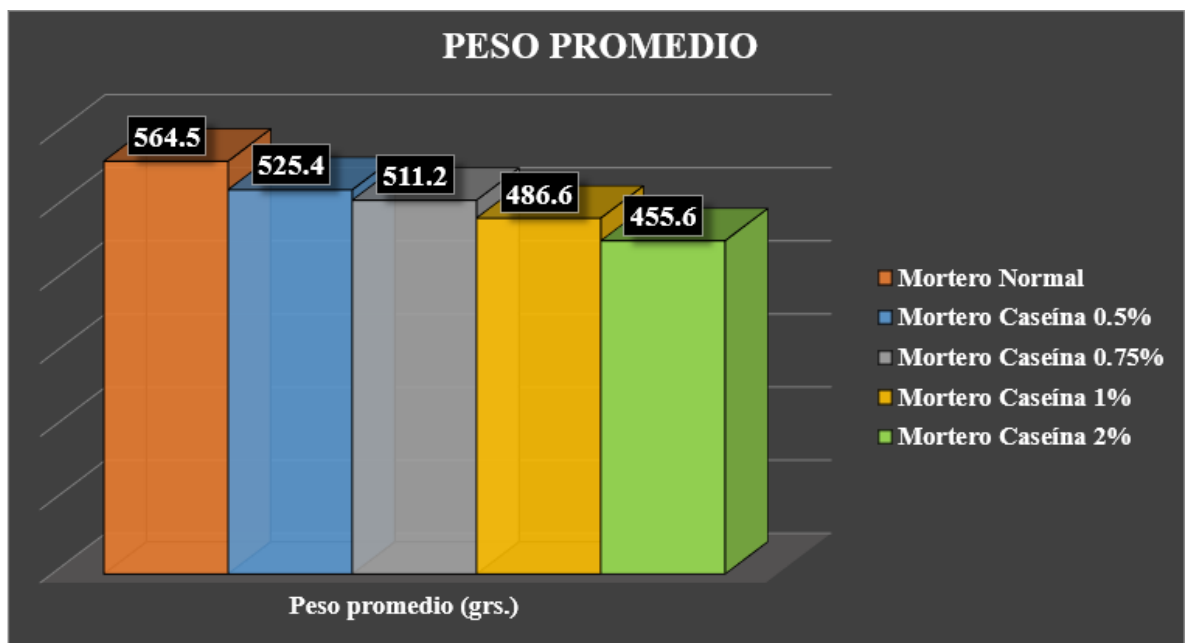


Figura 21. *Gráfico de Pesos promedio de las dosificaciones de morteros.*

(Fuente: Elaboración propia).

Se puede observar la figura 21, que representa el peso promedio de las muestras de cada una de las dosificaciones estudiadas, siendo solo la primera la de mortero normal y todas las demás modificadas en las cuales se adicionó la caseína. A medida que aumenta el porcentaje de aditivo, se tiene una disminución del peso promedio de las muestras. Para la dosificación que contiene un 0.5% de caseína con respecto al peso de cemento se observa un 7% en la disminución del peso promedio final. Mientras que para la dosificación con un 2% de caseína con respecto al peso de cemento se tiene un 20% de disminución en el peso promedio final. Todo esto en comparación a la dosificación de mortero normal.

3.3.- Densidad

Otro parámetro estudiado fue la densidad, que está relacionada directamente a los pesos promedio que se obtuvieron. Se define la densidad como el peso promedio distribuido en un volumen uniforme determinado para cada dosificación

Tabla 8. Densidades promedio

Tipo de Mortero	Peso promedio(kg)	Volumen(m3)	Densidad Promedio (kg/m3)
Mortero Normal	0.565	0.000256	2205
Mortero Caseína 0.5%	0.525	0.000256	2052
Mortero Caseína 0.75%	0.511	0.000256	1997
Mortero Caseína 1%	0.487	0.000256	1901
Mortero Caseína 2%	0.456	0.000256	1780

(Fuente: Elaboración propia).

Los datos obtenidos se muestran en el siguiente gráfico:

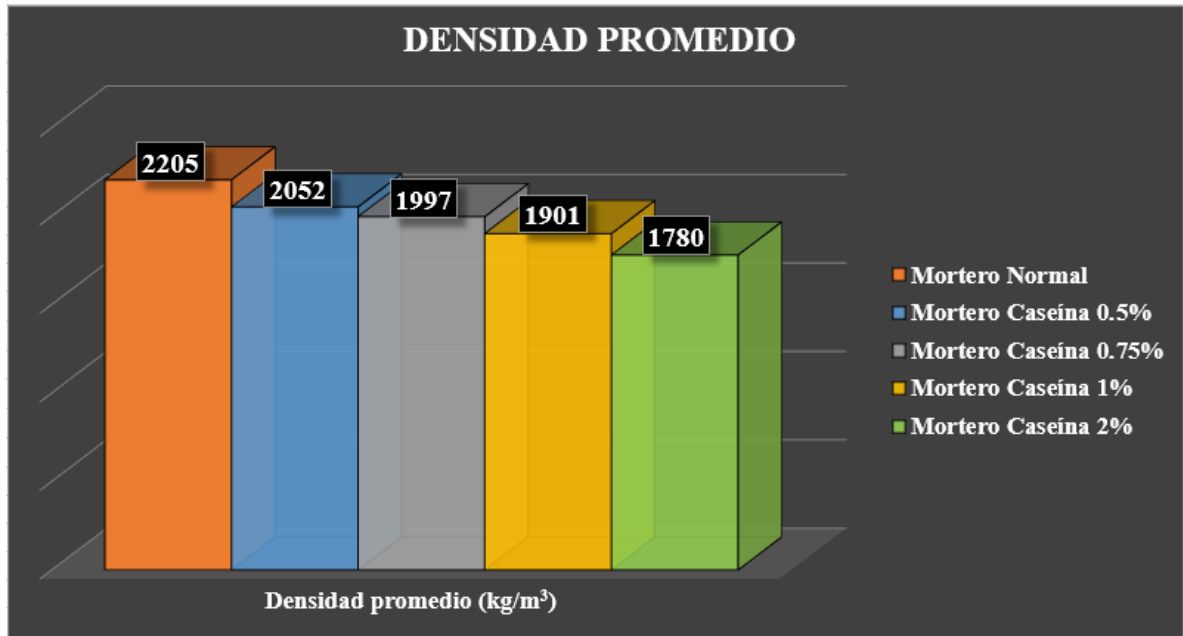


Figura 22. Gráfico de Densidades promedio de las dosificaciones de morteros.

(Fuente: Elaboración propia).

En la figura 22, se puede observar una disminución clara de las densidades promedio para las dosificaciones de morteros con caseína en comparación con la dosificación de mortero normal. Esta variación en las densidades se da en la misma proporción obtenida en los resultados de pesos ya que se refiere a los mismos datos de pesos promedio distribuidos en un volumen único. Las disminuciones en densidades para los morteros desarrollados con caseína van desde un 7% a un 20% respecto al mortero normal para las dosificaciones de 0.5% y 2% respectivamente.

3.4.- Resistencia a flexión

Otro de los parámetros medidos es la resistencia a flexión, siendo este uno de los principales y por ende más importantes, ya que los productores de morteros y/o hormigones venden resistencia, por lo tanto, éste parámetro es de suma relevancia para tomar una decisión con respecto al uso de la caseína como aditivo en ésta investigación. A continuación, se muestran los resultados de resistencia promedio a flexión.

Tabla 9. Resistencias promedio a flexión

Tipo de Mortero	Resistencia promedio a Flexión (kg/cm ²) (7 días)	Resistencia promedio a Flexión (kg/cm ²) (28 días)
Mortero Normal	41	45
Mortero Caseína 0.5%	33	26
Mortero Caseína 0.75%	16	17
Mortero Caseína 1%	25	14.4
Mortero Caseína 2%	18	14

(Fuente: Elaboración propia).

La información obtenida se plasma en el siguiente gráfico:

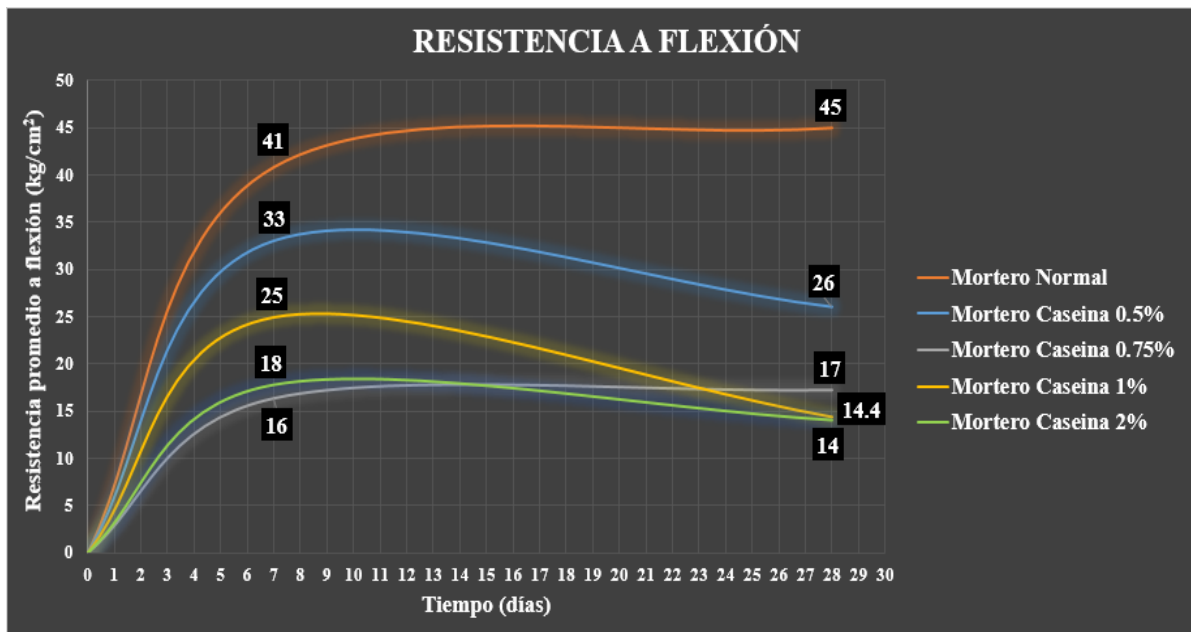


Figura 23. Gráfico de Resistencia promedio a flexión de morteros a 7 y 28 días.

(Fuente: Elaboración propia).

En la figura 23, se tiene para la dosificación de mortero normal un aumento progresivo de la resistencia promedio a flexión con respecto avanza el tiempo, ya sea primero a los 7 días, obteniéndose 41 kg/cm^2 y luego también después a los 28 días obteniéndose 45 kg/cm^2 , siendo este un 9% aproximadamente. Sin embargo, las demás dosificaciones, en las cuales está presente la caseína, se refleja primero un aumento en los primeros 7 días, obviamente debido al endurecimiento natural que adquieren las mezclas producidas con agua y cemento, en una correcta graduación, pero aun así inferior a la dosificación correspondiente a mortero normal. Luego desde los 7 a 28 días se refleja una disminución en la resistencia promedio a flexión, siendo la dosificación que tiene un 0.5% de caseína con respecto al peso del cemento, la que presenta un mejor resultado. Esta disminución es de un 7% respecto a la misma dosificación y de un 53% con respecto a la dosificación de mortero normal. Todas dosificaciones que quedan y que tienen una cantidad de caseína en la mezcla muestran resultados inferiores de resistencia promedio a flexión,

llegando incluso a una diferencia del 80% con respecto a la dosificación de mortero normal a los 28 días.

3.5.- Resistencia a compresión

Los hormigones tienden a presentar una mayor resistencia promedio a compresión con respecto a la resistencia promedio a flexión, siendo este parámetro medido de igual o mayor importancia. De acuerdo a lo obtenido se tienen los siguientes resultados:

Tabla 10. Resistencia promedio a Compresión

Tipo de Mortero	Resistencia promedio a Compresión (kg/cm ²) (7 días)	Resistencia promedio a Compresión (kg/cm ²) (28 días)
Mortero Normal	140	188
Mortero Caseína 0.5%	108	147
Mortero Caseína 0.75%	100	139
Mortero Caseína 1%	76	97
Mortero Caseína 2%	61	84

(Fuente: Elaboración propia).

En siguiente gráfico representa la información para la resistencia a compresión promedio.

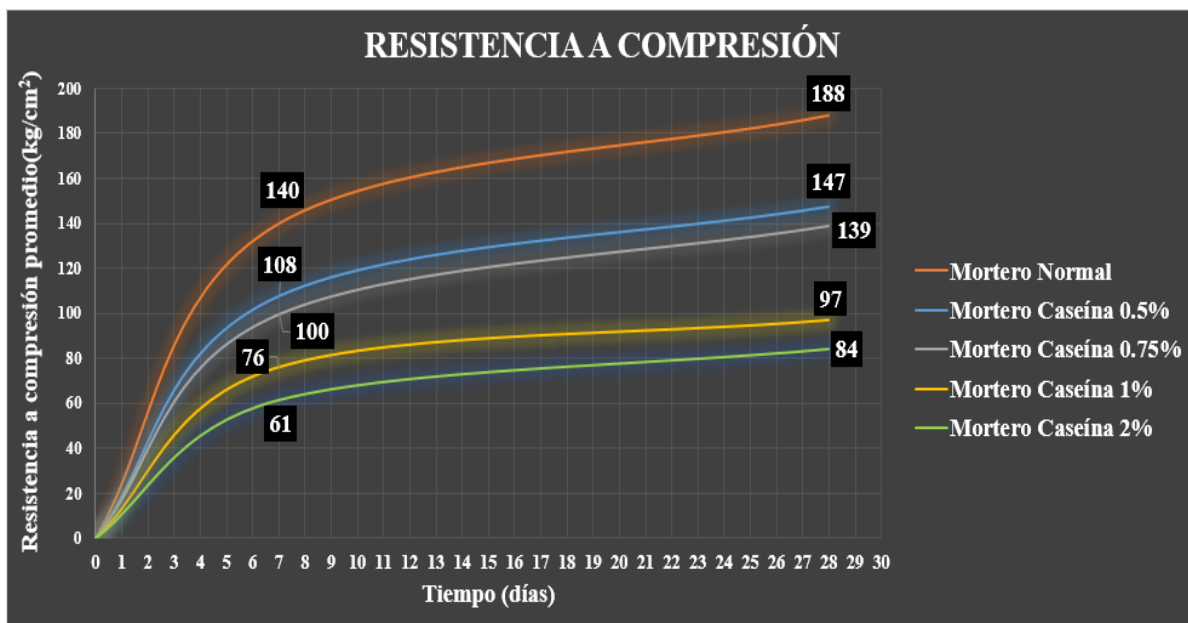


Figura 24. Gráfico de Resistencia promedio a Compresión de morteros a 7 y 28 días.

(Fuente: Elaboración propia).

Los resultados presentados anteriormente en la figura 24, muestran una tendencia acorde y razonable a lo que se ve generalmente en resistencias promedio a compresión en morteros u hormigones tradicionales. Esto concuerda con una resistencia adquirida a los 7 días y en concordancia, una resistencia mayor a los 28 días. Se tiene una resistencia a compresión promedio de 140 kg/cm² a los 7 días y 188 kg/cm² a los 28 días, esto corresponde a un aumento del 26% para la dosificación de mortero normal.

En comparación con la dosificación de mortero normal, la dosificación con caseína en su composición, que presenta el mejor resultado, es la que posee un 0.5% de caseína respecto al peso del cemento, ésta muestra una disminución en las resistencias promedio a compresión ya sea a los 7 días como a los 28 días. Se obtuvo 108 kg/cm² a los 7 días y 147 kg/cm² a los 28 días. Se tiene una disminución del 23% en la resistencia a compresión promedio a los 7 días y un 22% a los 28 días.

Para la peor dosificación con caseína como aditivo en un 2% con respecto al peso del cemento y también en comparación con la dosificación de mortero normal se

obtiene, 61 kg/cm² a los 7 días y 84 kg/cm² a los 28 días. Presentándose una disminución del 56% en la resistencia a compresión promedio a los 7 días y un 55% a los 28 días.

3.6.- Resistencia y Densidad

También se analizó los datos obtenidos de las resistencias en conjunto con las densidades, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 11. Resistencia promedio y densidad promedio

Tipo de Mortero	Resistencia promedio a Flexión (kg/cm ²) (28 días)	Resistencia promedio a Compresión (kg/cm ²) (28 días)	Densidad Promedio (kg/m ³)
Mortero Normal	45	188	2205
Mortero Caseína 0.5%	26	147	2052
Mortero Caseína 0.75%	17	139	1997
Mortero Caseína 1%	14.4	97	1901
Mortero Caseína 2%	14	84	1780

(Fuente: Elaboración propia).

De acuerdo a la información obtenida en la tabla 11, se tiene el siguiente gráfico:

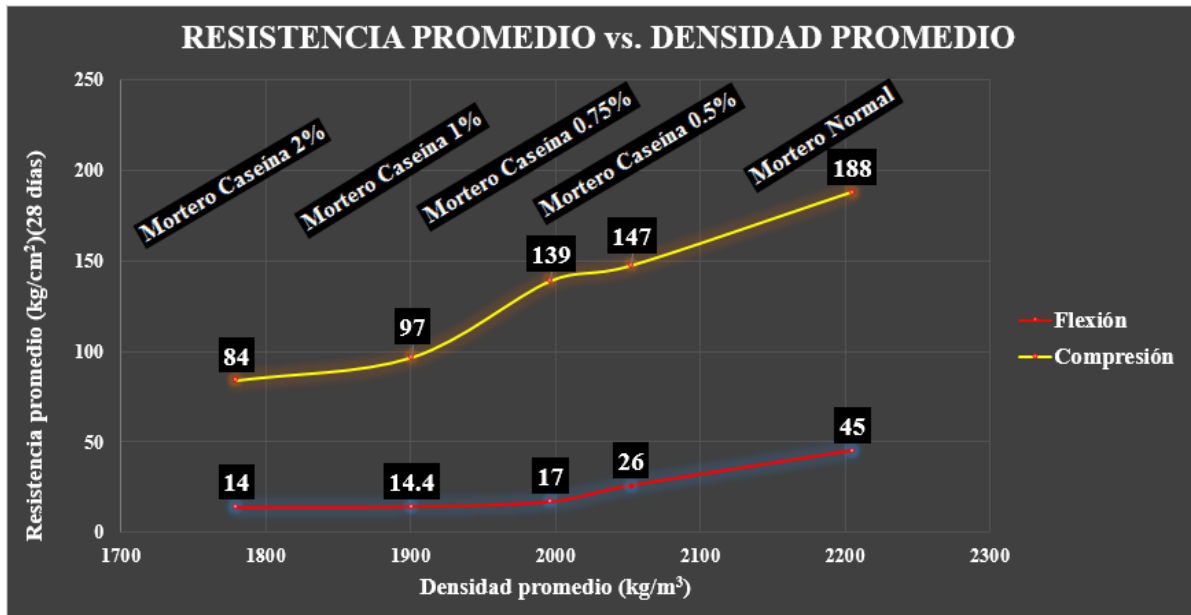


Figura 25. Gráfico de Resistencia promedio vs. Densidad promedio de morteros.

(Fuente: Elaboración propia).

Se puede observar en la figura 25, que las resistencias a flexión obtenidas son aproximadamente un 18% con respecto a las resistencias a compresión. También se tiene que, a medida de un aumento en la cantidad de caseína, se produce una disminución, tanto en las resistencias como en las densidades.

3.7.- Agua absorbida

Uno de los parámetros que se pudieron estudiar mediante los resultados de peso seco obtenidos una vez que se desmoldaron las muestras y también posteriormente después de haber pasado por la cámara de curado el peso húmedo, es el porcentaje promedio de agua absorbida estimada, presentándose lo siguiente.

Tabla 12. Agua absorbida

Tipo de Mortero	Peso seco (grs.)	Peso húmedo (grs.)	Agua absorbida(grs.)	Pocentaje de absorción (%)
Mortero Normal	564.8	575.8	10.9	1.9
Mortero Caseína 0.5%	526.4	539.8	13.4	2.5
Mortero Caseína 0.75%	511.7	527.5	15.8	3.0
Mortero Caseína 1%	480.3	499.2	18.9	3.8
Mortero Caseína 2%	441.0	463.9	22.9	4.9

(Fuente: Elaboración propia).

Lo recopilado en la tabla 12, queda reflejado gráficamente en la figura a continuación:

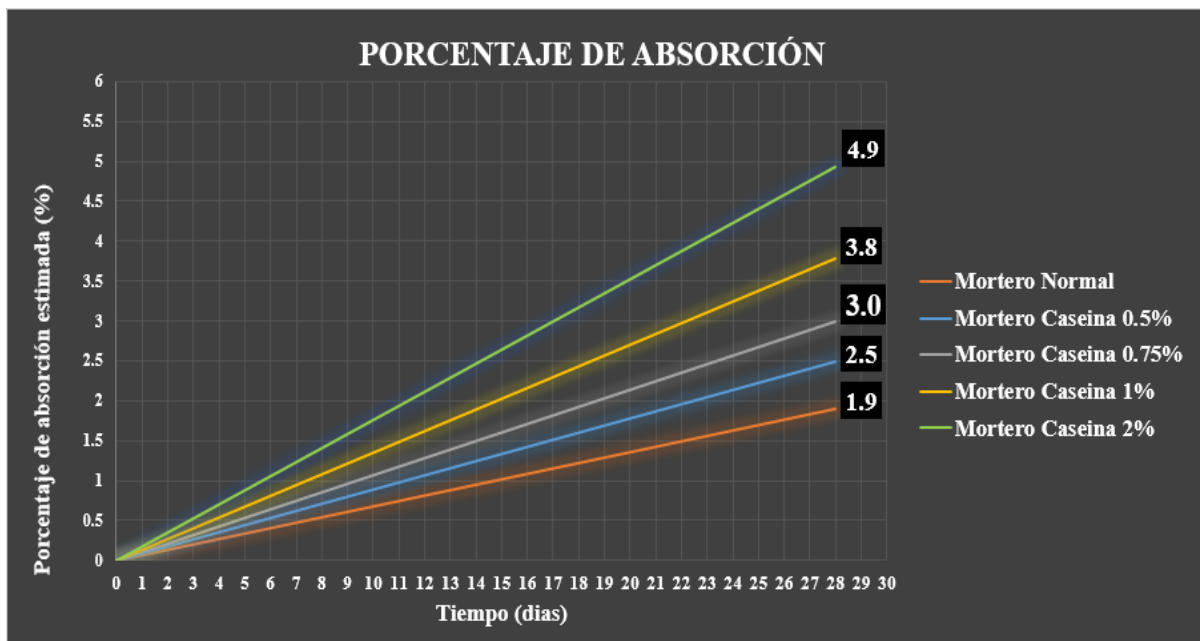


Figura 26. Gráfico de porcentaje de absorción promedio de morteros a 28 días.

(Fuente: Elaboración propia).

Se obtuvieron los porcentajes promedio de agua absorbida para cada una de las dosificaciones mediante el registro de peso seco y peso húmedo de las muestras. De

acuerdo a esto se tiene un 2% de agua absorbida promedio estimada que corresponde al mejor resultado, todo esto para la dosificación de mortero normal. Para las siguientes dosificaciones se reflejan porcentajes promedio de agua absorbida superiores.

En comparación con la dosificación de mortero normal, la dosificación con caseína que presenta un mejor resultado, nuevamente es la que posee un 0.5% de caseína respecto al peso del cemento, ésta presenta un 2.5% promedio de agua absorbida, lo que plasma un 20% más de agua absorbida.

También en comparación con la dosificación de mortero normal, la dosificación con el peor resultado, es la que tiene un 2% de caseína respecto al peso del cemento, ésta presenta un 5% promedio de agua absorbida, siendo un 60% más de agua absorbida.

3.8.- Trabajabilidad

Se entiende por docilidad (trabajabilidad), la facilidad con que el hormigón y/o morteros pueden ser mezclados, transportados, colocados y compactados sin que se produzca segregación o que se pierda su homogeneidad y depende casi exclusivamente del valor de la razón agua/cemento (todas las dosificaciones $A/C=0.5$), para una dosis de cemento dada ³¹.

De acuerdo a esto los aditivos pueden modificar fuertemente la trabajabilidad sin que se modifique la relación agua/cemento y así no alterar la resistencia.

Mediante las pruebas previas en las que se tantearon cantidades distintas de caseína en la mezcla de mortero, se pudo observar un aumento directamente proporcional en la trabajabilidad de acuerdo a un aumento de la cantidad de caseína.

³¹ Curso de Laboratorista Vial volumen VI, El Hormigón y sus Componentes, Laboratorio Nacional de Vialidad

3.9.- Fraguado

Se define como fraguado, el proceso en que el mortero u hormigón endurece y pierde plasticidad, según norma chilena se consideran un tiempo de fraguado inicial y final al momento de la determinación del ensayo tiempo de fraguado.

Si bien no se realizó el ensayo en ensayo correspondiente, se hicieron pruebas previas de tanteo para el desarrollo de dosificaciones adecuadas. En consecuencia, se obtuvo registros del tiempo de fraguado. De las probetas realizadas se probaron dosificaciones con 5% caseína con respecto al peso de cemento, 10% de caseína y 20% de caseína. De las cuales la correspondiente al 5% de caseína presentó un tiempo de fraguado menor desarrollando endurecimiento y por ende resistencia a temprana edad. A medida que aumentaba la cantidad de caseína también aumentó el tiempo de fraguado.

Capítulo 4

4.- Conclusiones

Se desarrollaron 5 tipos de dosificaciones de las cuales en 4 estuvo presente la caseína como aditivo y 1 dosificación de mortero normal como establece la norma chilena **NCh 158. Of 67** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*” (INN-Chile). Con esto se puede realizar las comparaciones necesarias entre un mortero normal que se produce en la actualidad y un mortero con caseína como aditivo.

Considerando el registro de pesos promedio, y que las muestras estuvieron todas en las mismas condiciones, se puede establecer una tendencia clara de cómo la caseína provoca disminución en el peso promedio a los 28 días, pudiéndose ratificar a la caseína como aditivo incorporador de aire. Siendo esta una propiedad positiva en mortero u hormigones dependiendo del uso.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, en el capítulo 3, los resultados asociados a las propiedades mecánicas, ya sea la resistencia a flexión y compresión, inciden principalmente en la toma de decisiones de la caseína como aditivo. En consecuencia, para el caso de resistencia promedio a flexión, existe una clara disminución de la resistencia promedio a flexión tanto a los 7 días, como a los 28 días. Sin embargo, en la mayoría de las muestras con caseína, ocurre un fenómeno en que las resistencias promedio a flexión disminuyen desde los 7 días a los 28 días, debiendo estas aumentar con el paso del tiempo, perjudicando aún más las propiedades mecánicas en comparación con un mortero normal. Ahora para el caso de la resistencia promedio a compresión, se ve también una disminución de las resistencias en la mayoría de las muestras, pero a diferencia de la resistencia a flexión, todas las dosificaciones muestran una tendencia a adquirir resistencia a los 7 días y luego como se esperaba un aumento a los 28 días. Luego de esto, los resultados de muestras con caseína como aditivo, asociados a las resistencias promedio a flexión son los más

desfavorables, ya que presentan una disminución mayor en comparación con las resistencias promedio a compresión. También considerando a las muestras de mortero normal en comparación, la dosificación que presenta mejores resultados es la que contiene un 0.5% de caseína con respecto al peso del cemento, aun así, son resultados negativos tanto como para flexión, como para compresión.

Si bien no se realizó el ensayo de docilidad, se pudo observar los efectos asociados a la trabajabilidad que presentaron las muestras. De acuerdo a lo mencionado anteriormente la caseína aumenta la trabajabilidad en las muestras desarrolladas, pero altera las propiedades mecánicas, siendo esto posible por un negativo efecto de segregación.

Con respecto al tiempo de fraguado, de las dosificaciones finalmente realizadas se puede mencionar que se ven afectadas por la caseína, el aumento en la cantidad de caseína en las dosificaciones, es directamente proporcional al aumento en el tiempo de fraguado. Esto puede ser un efecto positivo según el uso que se requiera.

Considerando el hecho que la caseína produce un aumento en la docilidad podría considerarse a ésta como aditivo plastificante, y así reducir la relación agua/cemento para obtener morteros y/u hormigones más resistentes.

En resumen, la caseína como aditivo provoca una disminución en el peso final de un mortero, afecta negativamente las propiedades mecánicas (flexión y compresión), aumenta negativamente la capacidad de absorción, mejora la trabajabilidad, aumenta el tiempo de fraguado. Además, mencionar que cualquier uso de un aditivo significa un costo adicional en la producción de morteros u hormigones.

Finalmente, y basándose principalmente en el hecho de que se vean afectadas negativamente las propiedades mecánicas de las muestras de mortero, se concluye en desestimar el uso de caseína como aditivo para el desarrollo de nuevos morteros u hormigones.

4.1.- Recomendaciones

Si bien los resultados con respecto a los objetivos principales son categóricos, se puede hacer mención a algunos tópicos.

Se sugiere principalmente enfocado en posibles nuevas investigaciones más profundas con más aditivos individuales y en conjunto. Además, enfocada en un comienzo en una investigación química de los materiales y poder establecer que propiedades son más beneficiosas en conjunto con morteros u hormigones. Para esto se necesita un trabajo en conjunto con profesionales químicos y laboratorios adecuados, ya que en este caso no existían los medios ni instalaciones para poder realizar un trabajo más completo en esta área.

Por ende, no se recomienda el uso de caseína como aditivo para morteros u hormigones sin una nueva investigación previa con resultados positivos asociados a las propiedades mecánicas de éstos principalmente.

Referencias bibliográficas

- PIÑEIRO, Moisés; *Relación entre las Resistencias a Compresión de Hormigones a 7 y a 28 días*. Revista del IDIEM, Vol. 2, 1963.
- Venuat, Michael; *“Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones”*, editores técnicos asociados S.A. Barcelona 1972, España.
- GASPAR-TEBAR, D; *Aditivos para hormigones, morteros y pastas*. Normativa: clasificación y definiciones, Barcelona 1985, España.
- Ing. Gerardo A. Rivera L; *Concreto Simple, Aditivos para Morteros o Concretos*, Capítulo 11, Universidad del Cauca, Colombia.
- José Ignacio Álvarez Galindo, Antonio Martín Pérez y Pedro J. García Casado; *Historia de los Morteros, Artículos, Boletín Informativo, Materiales y Técnicas*, Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra 2005, España.
- Rosario López; *“Aditivos para la Producción de Concreto”*. Memoria de título, Universidad de Sonora, Sonora 2007, México.
- Zabaleta, Hernán; Montegu, Jorge; *“Manual de Aditivos: Adiciones y Protecciones del Hormigón”*. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago 1990, Chile.
- Revilla R. Aurelio; *“Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis”*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 1982.
- *Curso de Laboratorista Vial volumen VI, El Hormigón y sus Componentes*, Laboratorio Nacional de Vialidad, Santiago, Chile.
- Puga, P; *Estudio experimental del coeficiente de permeabilidad en arenas*, memoria de título, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción 2012, Chile.
- **NCh 148. Of 1968** *“Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales”*. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).

- **NCh 158. Of 1967** “*Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 163. Of 1979** “*Áridos para morteros y hormigones - Requisitos*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 164. Of 1976** “*Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 165. Of 1977** “*Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 170. Of 1985** “*Hormigón - Requisitos generales*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 409. Of 2005** “*Agua potable parte 1 requisitos*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 1019. Of 2009** “*Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 2182. Of 1995** “*Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 2183 Of 1992** “*Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación del tiempo de fraguado*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).
- **NCh 2256/1. Of 2001** “*Morteros - Parte 1: Requisitos generales*”. Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile).

Sitios web

- Miguel Calvo; *CASEINAS, Bioquímica de los Alimentos*, (<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/proteins/caseina.html>).
- QuimiNet; “*Caseína, una proteína de la leche*”, 28-07-2006 (<https://www.quiminet.com/articulos/caseina-una-proteina-de-la-leche-13367.htm>).

- Manuel Riesgo, S.A.; *Caseína acida industrial*, (<http://manuelriesgo.com/medios-ceras-gomas-resinas/772-caseina-acida-industrial-100-gr.html>).
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (I.E.C.A.), El Cemento, “*Historia del Cemento*”; (https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5).
- E. Vidaud; Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, “*De la Historia del Cemento*”, México D.F. México, 2013; (<http://www.revistacyt.com.mx/index.php/ingenieria/60-de-la-historia-del-cemento>).

Anexos

Tablas registros de pesos.

Mortero Normal	Peso(grs.)
Probeta N°1	566.2
Probeta N°2	562.2
Probeta N°3	562.2
Probeta N°4	559.7
Probeta N°5	564.6
Probeta N°6	559.9
Probeta N°7	564.0
Probeta N°8	559.9
Probeta N°9	563.4
Probeta N°10	564.3
Probeta N°11	572.7
Probeta N°12	575.0
Media	564.5
Máximo	575.0
Mínimo	559.7

Mortero Caseína 0.5%	Peso(grs.)
Probeta N°1	528.3
Probeta N°2	523.8
Probeta N°3	520.9
Probeta N°4	536.0
Probeta N°5	523.9
Probeta N°6	519.3
Media	525.4
Máximo	536.0
Mínimo	519.3

Mortero Caseína 0.75%	Peso(grs.)
Probeta N°1	516.6
Probeta N°2	506.0
Probeta N°3	509.2
Probeta N°4	508.1
Probeta N°5	515.5
Probeta N°6	511.5
Media	511
Máximo	516.6
Mínimo	506.0

Mortero Caseína 1%	Peso(grs.)
Probeta N°1	491.6
Probeta N°2	491.1
Probeta N°3	496.0
Probeta N°4	476.7
Probeta N°5	482.9
Probeta N°6	481.4
Media	486.6
Máximo	496.0
Mínimo	476.7

Mortero Caseína 2%	Peso(grs.)
Probeta N°1	464.7
Probeta N°2	466.8
Probeta N°3	479.2
Probeta N°4	443.1
Probeta N°5	435.5
Probeta N°6	444.4
Media	455.6
Máximo	479.2
Mínimo	435.5

Tablas resultados Resistencia a flexión (7 días).

Mortero Normal (7 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	1.70	1700	173.3	16	40.6	4.1
Probeta N°2	1.67	1670	170.2	16	39.8	4.1
Probeta N°3	1.77	1770	180.4	16	42.2	4.3
Media	1.71	1713.3	174.7	16	40.9	4.2
Máximo	1.77	1770	180.4	16	42.2	4.3
Mínimo	1.67	1670	170.2	16	39.8	4.1

Mortero Caseína 0.5% (7 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	1.31	1310	133.5	16	31.3	3.2
Probeta N°2	1.39	1390	141.7	16	33.2	3.4
Probeta N°3	1.45	1450	147.8	16	34.6	3.5
Media	1.38	1383.3	141.0	16	33.0	3.4
Máximo	1.45	1450	147.8	16	34.6	3.5
Mínimo	1.31	1310	133.5	16	31.3	3.2

Mortero Caseína 0.75% (7 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	0.98	980	99.9	16	23.4	2.4
Probeta N°2	0.57	570	58.1	16	13.6	1.4
Probeta N°3	0.50	500	51.0	16	11.9	1.2
Media	0.68	683.3	69.7	16	16.3	1.7
Máximo	0.98	980	99.9	16	23.4	2.4
Mínimo	0.50	500	51.0	16	11.9	1.2

Mortero Caseína 1% (7 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	1.07	1070	109.1	16	25.5	2.6
Probeta N°2	1.03	1030	105.0	16	24.6	2.5
Probeta N°3	1.04	1040	106.0	16	24.8	2.5
Media	1.05	1046.7	106.7	16	25.0	2.6
Máximo	1.07	1070	109.1	16	25.5	2.6
Mínimo	1.03	1030	105.0	16	24.6	2.5

Mortero Caseina 2% (7 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	0.49	490	49.9	16	11.7	1.2
Probeta N°2	0.94	940	95.8	16	22.4	2.3
Probeta N°3	0.80	800	81.5	16	19.1	1.9
Media	0.74	743.3	75.8	16	17.7	1.8
Máximo	0.94	940	95.8	16	22.4	2.3
Mínimo	0.49	490	49.9	16	11.7	1.2

Tablas resultados Resistencia a flexión (28 días).

Mortero Normal (28 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	1.67	1670	170.2	16	39.8	4.1
Probeta N°2	0.55	550	56.1	16	13.1	1.3
Probeta N°3	1.05	1050	107.0	16	25.1	2.6
Probeta N°4	2.34	2340	238.5	16	55.8	5.7
Probeta N°5	2.18	2180	222.2	16	52.0	5.3
Probeta N°6	2.32	2320	236.5	16	55.3	5.6
Probeta N°7	2.41	2410	245.7	16	57.5	5.9
Probeta N°8	2.16	2160	220.2	16	51.5	5.3
Probeta N°9	2.35	2350	239.6	16	56.1	5.7
Media	1.89	1892	192.9	16	45.1	4.6
Máximo	2.41	2410	245.7	16	57.5	5.9
Mínimo	0.55	550	56.1	16	13.1	1.3

Mortero Caseina 0.5% (28 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	1.25	1250	127.4	16	29.8	3.0
Probeta N°2	0.96	960	97.9	16	22.9	2.3
Probeta N°3	1.06	1060	108.1	16	25.3	2.6
Media	1.09	1090	111.1	16	26.0	2.7
Máximo	1.25	1250	127.4	16	29.8	3.0
Mínimo	0.96	960	97.9	16	22.9	2.3

Mortero Caseina 0.75% (28 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	0.64	640	65.2	16	15.3	1.6
Probeta N°2	0.71	710	72.4	16	16.9	1.7
Probeta N°3	0.81	810	82.6	16	19.3	2.0
Media	0.72	720	73.4	16	17.2	1.8
Máximo	0.81	810	82.6	16	19.3	2.0
Mínimo	0.64	640	65.2	16	15.3	1.6

Mortero Caseina 1% (28 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	0.56	560	57.1	16	13.4	1.4
Probeta N°2	0.72	720	73.4	16	17.2	1.8
Probeta N°3	0.53	530	54.0	16	12.6	1.3
Media	0.60	603	61.5	16	14.4	1.5
Máximo	0.72	720	73.4	16	17.2	1.8
Mínimo	0.53	530	54.0	16	12.6	1.3

Mortero Caseina 2% (28 días)	Flexión(kN)	Flexión(N)	Flexión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Flexión(kg/cm ²)	Resistencia a Flexión(Mpa)
Probeta N°1	0.63	630	64.2	16	15.0	1.5
Probeta N°2	0.64	640	65.2	16	15.3	1.6
Probeta N°3	0.49	490	49.9	16	11.7	1.2
Media	0.59	587	59.8	16	14.0	1.4
Máximo	0.64	640	65.2	16	15.3	1.6
Mínimo	0.49	490	49.9	16	11.7	1.2

Tablas resultados Resistencia a Compresión (7 días).

Mortero Normal (7 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	22.97	22970	2341.5	16	146.3	14.9
Probeta N°2	24.03	24030	2449.5	16	153.1	15.6
Probeta N°3	22.90	22900	2334.4	16	145.9	14.9
Probeta N°4	17.39	17390	1772.7	16	110.8	11.3
Probeta N°5	21.57	21570	2198.8	16	137.4	14.0
Probeta N°6	22.84	22840	2328.2	16	145.5	14.8
Media	21.95	21950.0	2237.5	16	139.8	14.3
Máximo	24.03	24030	2449.5	16	153.1	15.6
Mínimo	17.39	17390	1772.7	16	110.8	11.3

Mortero Caseina 0.5% (7 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	18.64	18640	1900.1	16	118.8	12.1
Probeta N°2	15.78	15780	1608.6	16	100.5	10.3
Probeta N°3	16.61	16610	1693.2	16	105.8	10.8
Probeta N°4	16.56	16560	1688.1	16	105.5	10.8
Probeta N°5	16.25	16250	1656.5	16	103.5	10.6
Probeta N°6	17.48	17480	1781.9	16	111.4	11.4
Media	16.89	16886.7	1721.4	16	107.6	11.0
Máximo	18.64	18640	1900.1	16	118.8	12.1
Mínimo	15.78	15780	1608.6	16	100.5	10.3

Mortero Caseina 0.75% (7 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	14.37	14370	1464.8	16	91.6	9.3
Probeta N°2	15.30	15300	1559.6	16	97.5	9.9
Probeta N°3	16.28	16280	1659.5	16	103.7	10.6
Probeta N°4	15.97	15970	1627.9	16	101.8	10.4
Probeta N°5	16.34	16340	1665.6	16	104.1	10.6
Probeta N°6	15.53	15530	1583.1	16	98.9	10.1
Media	15.63	15631.7	1593.4	16	99.6	10.2
Máximo	16.34	16340	1665.6	16	104.1	10.6
Mínimo	14.37	14370	1464.8	16	91.6	9.3

Mortero Caseina 1% (7 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	11.98	11980	1221.2	16	76.3	7.8
Probeta N°2	12.41	12410	1265.0	16	79.1	8.1
Probeta N°3	13.01	13010	1326.2	16	82.9	8.5
Probeta N°4	11.40	11400	1162.1	16	72.6	7.4
Probeta N°5	11.68	11680	1190.6	16	74.4	7.6
Probeta N°6	10.97	10970	1118.2	16	69.9	7.1
Media	11.91	11908.3	1213.9	16	75.9	7.7
Máximo	13.01	13010	1326.2	16	82.9	8.5
Mínimo	10.97	10970	1118.2	16	69.9	7.1

Mortero Caseina 2% (7 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	10.46	10460	1066.3	16	66.6	6.8
Probeta N°2	8.75	8750	891.9	16	55.8	5.7
Probeta N°3	6.99	6990	712.5	16	44.5	4.5
Probeta N°4	9.68	9680	986.7	16	61.7	6.3
Probeta N°5	11.70	11700	1192.7	16	74.5	7.6
Probeta N°6	10.25	10250	1044.9	16	65.3	6.7
Media	9.64	9638.3	982.5	16	61.4	6.3
Máximo	11.70	11700	1192.7	16	74.5	7.6
Mínimo	6.99	6990	712.5	16	44.5	4.5

Tablas resultados Resistencia a Compresión (28 días).

Mortero Normal (28 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm ²)	Resistencia a Compresión(kg/cm ²)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	32.73	32730	3336.4	16	208.5	21.3
Probeta N°2	33.12	33120	3376.1	16	211.0	21.5
Probeta N°3	32.96	32960	3359.8	16	210.0	21.4
Probeta N°4	33.54	33540	3419.0	16	213.7	21.8
Probeta N°5	34.09	34090	3475.0	16	217.2	22.1
Probeta N°6	32.79	32790	3342.5	16	208.9	21.3
Probeta N°7	28.78	28780	2933.7	16	183.4	18.7
Probeta N°8	20.98	20980	2138.6	16	133.7	13.6
Probeta N°9	30.05	30050	3063.2	16	191.5	19.5
Probeta N°10	29.63	29630	3020.4	16	188.8	19.2
Probeta N°11	21.15	21150	2156.0	16	134.8	13.7
Probeta N°12	29.87	29870	3044.9	16	190.3	19.4
Probeta N°13	28.64	28640	2919.5	16	182.5	18.6
Probeta N°14	28.60	28600	2915.4	16	182.2	18.6
Probeta N°15	30.29	30290	3087.7	16	193.0	19.7
Probeta N°16	23.43	23430	2388.4	16	149.3	15.2
Probeta N°17	30.43	30430	3101.9	16	193.9	19.8
Probeta N°18	29.69	29690	3026.5	16	189.2	19.3
Media	29.49	29487.2	3005.8	16	187.9	19.2
Máximo	34.09	34090	3475.0	16	217.2	22.1
Mínimo	20.98	20980	2138.6	16	133.7	13.6

Mortero Caseína 0.5% (28 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm2)	Resistencia a Compresión(kg/cm2)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	24.64	24640	2511.7	16	157.0	16.0
Probeta N°2	25.21	25210	2569.8	16	160.6	16.4
Probeta N°3	24.31	24310	2478.1	16	154.9	15.8
Probeta N°4	23.15	23150	2359.8	16	147.5	15.0
Probeta N°5	24.90	24900	2538.2	16	158.6	16.2
Probeta N°6	16.52	16520	1684.0	16	105.3	10.7
Media	23.12	23121.7	2356.9	16	147.3	15.0
Máximo	25.21	25210	2569.8	16	160.6	16.4
Mínimo	16.52	16520	1684.0	16	105.3	10.7

Mortero Caseína 0.75% (28 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm2)	Resistencia a Compresión(kg/cm2)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	22.23	22230	2266.1	16	141.6	14.4
Probeta N°2	21.27	21270	2168.2	16	135.5	13.8
Probeta N°3	20.88	20880	2128.4	16	133.0	13.6
Probeta N°4	22.40	22400	2283.4	16	142.7	14.6
Probeta N°5	23.07	23070	2351.7	16	147.0	15.0
Probeta N°6	20.93	20930	2133.5	16	133.4	13.6
Media	21.80	21796.7	2221.9	16	138.9	14.2
Máximo	23.07	23070	2351.7	16	147.0	15.0
Mínimo	20.88	20880	2128.4	16	133.0	13.6

Mortero Caseína 1% (28 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm2)	Resistencia a Compresión(kg/cm2)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	14.22	14220	1449.5	16	90.6	9.2
Probeta N°2	15.02	15020	1531.1	16	95.7	9.8
Probeta N°3	16.23	16230	1654.4	16	103.4	10.5
Probeta N°4	13.91	13910	1417.9	16	88.6	9.0
Probeta N°5	16.28	16280	1659.5	16	103.7	10.6
Probeta N°6	15.43	15430	1572.9	16	98.3	10.0
Media	15.18	15181.7	1547.6	16	96.7	9.9
Máximo	16.28	16280	1659.5	16	103.7	10.6
Mínimo	13.91	13910	1417.9	16	88.6	9.0

Mortero Caseína 2% (28 días)	Compresión(kN)	Compresión(N)	Compresión(kg)	Área Transversal(cm2)	Resistencia a Compresión(kg/cm2)	Resistencia a Compresión(Mpa)
Probeta N°1	11.08	11080	1129.5	16	70.6	7.2
Probeta N°2	15.22	15220	1551.5	16	97.0	9.9
Probeta N°3	11.73	11730	1195.7	16	74.7	7.6
Probeta N°4	15.86	15860	1616.7	16	101.0	10.3
Probeta N°5	10.87	10870	1108.1	16	69.3	7.1
Probeta N°6	14.40	14400	1467.9	16	91.7	9.4
Media	13.19	13193.3	1344.9	16	84.1	8.6
Máximo	15.86	15860	1616.7	16	101.0	10.3
Mínimo	10.87	10870	1108.1	16	69.3	7.1

Tablas % de absorción estimada.

Mortero Normal (28 días)	Masa seca(grams.)	Masa húmeda(grams.)	Agua absorbida(grams.)	% de absorción
Probeta N°1	559.7	570.0	10.3	1.8
Probeta N°2	564.6	574.6	10.0	1.7
Probeta N°3	559.9	570.9	11.0	1.9
Probeta N°4	564.0	574.1	10.1	1.8
Probeta N°5	559.9	569.9	10.0	1.8
Probeta N°6	563.4	574.5	11.1	1.9
Probeta N°7	564.3	576.4	12.1	2.1
Probeta N°8	572.7	584.8	12.1	2.1
Probeta N°9	575.0	586.6	11.6	2.0
Media	564.8	575.8	10.9	1.9
Máximo	575.0	586.6	12.1	2.1
Mínimo	559.7	569.9	10.0	1.7

Mortero Caseína 0.5% (28 días)	Masa seca(grams.)	Masa húmeda(grams.)	Agua absorbida(grams.)	% de absorción
Probeta N°1	536.0	550.2	14.2	2.6
Probeta N°2	523.9	536.5	12.6	2.3
Probeta N°3	519.3	532.8	13.5	2.5
Media	526.4	539.8	13.4	2.5
Máximo	536.0	550.2	14.2	2.6
Mínimo	519.3	532.8	12.6	2.3

Mortero Caseína 0.75% (28 días)	Masa seca(grams.)	Masa húmeda(grams.)	Agua absorbida(grams.)	% de absorción
Probeta N°1	508.1	523.6	15.5	3.00
Probeta N°2	515.5	531.7	16.2	3.05
Probeta N°3	511.5	527.1	15.6	2.96
Media	511.7	527.5	15.8	3.0
Máximo	515.5	531.7	16.2	3.05
Mínimo	508.1	523.6	15.5	2.96

Mortero Caseína 1% (28 días)	Masa seca(grs.)	Masa húmeda(grs.)	Agua absorbida(grs.)	% de absorción
Probeta N°1	476.7	495.3	18.6	3.8
Probeta N°2	482.9	501.7	18.8	3.7
Probeta N°3	481.4	500.6	19.2	3.8
Media	480.3	499.2	18.9	3.8
Máximo	482.9	501.7	19.2	3.8
Mínimo	476.7	495.3	18.6	3.7

Mortero Caseína 2% (28 días)	Masa seca(grs.)	Masa húmeda(grs.)	Agua absorbida(grs.)	% de absorción
Probeta N°1	443.1	470.2	27.1	5.8
Probeta N°2	435.5	458.3	22.8	5.0
Probeta N°3	444.4	463.1	18.7	4.0
Media	441.0	463.9	22.9	4.9
Máximo	444.4	470.2	27.1	5.8
Mínimo	435.5	458.3	18.7	4.0