

Universidad Católica de la Santísima Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

EFFECTO DEL ALMIDÓN COMO ADITIVO NATURAL EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS Y FÍSICAS DE UN MORTERO DE CEMENTO

Jorge Luis Vidal Moya

Informe de Proyecto de Título para optar al Título de Ingeniero Civil

Profesor guía: Felipe González

Profesor informante: Guillermo Bustamante

Concepción, abril de 2017

Resumen

En este informe nos centraremos específicamente en determinar el efecto que puede tener un aditivo natural que se pueda encontrar fácilmente en el comercio, en las propiedades mecánicas de un mortero de cemento.

Para poder determinar las propiedades mecánicas del mortero de cemento se realizaron los ensayos de flexión y compresión, los cuales se desarrollaron según el procedimiento establecido en la Norma Chilena, NCh – 158.

Además, para realizar los ensayos de flexión y compresión de mortero de cemento se confeccionarán probetas con 4 porcentajes de aditivo distintas, las cuales serán un mortero patrón y otras 3 a las que se les agregará un aditivo en distintos porcentajes (0,5%, 0,75% y 1%) en relación con la cantidad de cemento utilizada en la mezcla, manteniendo las cantidades de los demás materiales utilizados.

Las mezclas a comparar con el mortero patrón tendrán la misma dosificación, con la sola excepción de la variable en estudio, en nuestro caso será la adición de un aditivo natural.

Las características mecánicas de los morteros de cemento con aditivo fueron comparadas con el mortero patrón en donde se obtuvo que la resistencia a la flexión a los 28 días, de la mezcla con un 0,5 % de aditivo disminuyó en un 4,36 % en comparación con la muestra patrón; en la mezcla con 0,75 % de aditivo aumentó un 1,36 % comparado con la muestra patrón.; y la muestra con un 1 % de aditivo aumentó en 6,81 % con respecto a la muestra patrón.

En la resistencia a la compresión de los 28 días, todas las muestras con aditivo produjeron una disminución en la resistencia con respecto a la muestra sin ningún tipo de aditivo (muestra patrón). Se obtuvo que para las muestras con un 0,5 %; 0,75 % y 1% de aditivo, disminuyeron su resistencia en un 12,5 %; 11,8 % y 6 % respectivamente.

Además de acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el almidón de papa como aditivo en una mezcla de mortero no mejora significativamente las propiedades mecánicas de este en las dosis estudiadas. No obstante deja una puerta abierta para futuras investigaciones, ya que se observa una tendencia al ascenso en las resistencias tanto a la flexión como a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de aditivo en la mezcla, generando así un interés por saber que sucedería si continuamos añadiendo aditivo por sobre la dosis máxima establecida en este documento, pero esta vez aumentando la cantidad de agua en la mezcla producto de la gran capacidad de absorción de agua del almidón de papa.

Abstract

In this report we will focus specifically on determining the effect of a natural additive that can easily be found in the trade, in the mechanical properties of a cement mortar.

To determine the mechanical properties of the cement mortar, the flexural and compression tests were performed, which were developed according to the procedure established in the Chilean Standard, NCh - 158.

In addition, to carry out the tests of flexion and compression of cement mortar will be made specimens with 4 different percentages of additive, which will be a standard mortar and another 3 to which an additive will be added in different percentages (0.5% 0.75% and 1%) in relation to the amount of cement used in the mixture.

The mixtures to be compared with the standard mortar will have the same dosage, with the sole exception of the variable under study, in our case will be the addition of a natural additive.

The mechanical characteristics of cement mortar with additive were compared with the standard mortar, giving results that were not expected. It was found that the flexural strength at 28 days of the mixture with a 0.5% additive decreased by 4.36% compared to the standard sample; In the mixture with 0.75% of additive increased by 1.36% compared to the standard sample ; And the sample with a 1% additive increased by 6.81% with respect to the standard sample.

In the 28 day compressive strength, all samples with additive produced a decrease in resistance with respect to the sample without any additive (standard sample). It was obtained that for the samples with 0.5%; 0.75% and 1% additive, decreased their resistance by 12.5%; 11.8% and 6%, respectively.

Moreover according to the results obtained it can be said that potato starch as an additive in a mortar mixture does not significantly improve the mechanical properties of this in the studied doses. However, it leaves a door open for future research, since there is a tendency for resistance to both bending and compression as the percentage of additive in the mixture increases, thus generating an interest in knowing what would happen if We continue to add additive above the maximum dose set forth herein, but this time increasing the amount of water in the blend resulting from the high water absorption capacity of potato starch.

“Dedicada a mis padres y mi hermana, quienes han sido un pilar fundamental en el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento me motivaron para nunca bajar los brazos aun cuando todo se complicaba”.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mis padres, mi hermana y mi pareja que son las personas que siempre me han apoyado y han creído en mí, siendo así un pilar fundamental en mi vida.

A mis compañeros y amigos de carrera, con quienes compartí tanto buenos como malos momentos y que estuvieron siempre para apoyarme y darme aliento.

Agradecer también a mis profesores de la facultad de ingeniería de la UCSC que se encargaron de entregarme los conocimientos para mi formación profesional y personal, para así poder integrarme como ingeniero civil al mundo laboral de hoy en día.

A mi profesor guía, que me creyó en mí y me dio la oportunidad de desarrollar este tema.

A laboratorio de la UNAB por facilitar las maquinarias requeridas para la realización de esta tesis.

Índice de contenidos

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 3 |
| 1.1.1 <i>Objetivo general</i> | 3 |
| 1.1.2 <i>Objetivo específico</i> | 3 |
| 1.1.3 <i>Hipótesis</i> | 3 |
| CAPÍTULO 2..... | 4 |
| 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 2.1 MORTERO | 4 |
| 2.1.1 <i>Reseña histórica</i> | 4 |
| 2.1.2 <i>Tipos de morteros</i> | 7 |
| 2.2 ADITIVO | 8 |
| 2.3 ALMIDÓN DE PAPA | 11 |
| 2.3.1 <i>Composición química y propiedades del almidón</i> | 11 |
| 2.3.2 <i>Proceso de extracción del almidón de papa</i> | 12 |
| 2.3.3 <i>Aplicaciones del almidón</i> | 14 |
| 2.3.4 <i>Usos de los almidones en la construcción</i> | 15 |
| CAPÍTULO 3..... | 18 |
| 3 METODOLOGÍA | 18 |
| 3.1 EQUIPOS | 19 |
| 3.1.1 <i>Balanza</i> | 19 |
| 3.1.2 <i>Tamices</i> | 19 |
| 3.1.3 <i>Matraz aforado</i> | 19 |
| 3.1.4 <i>Moldes</i> | 19 |
| 3.1.5 <i>Mezcladora</i> | 21 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1.6 | <i>Máquina para ensayo de flexión</i> | 23 |
| 3.1.7 | <i>Máquina para ensayo de compresión</i> | 24 |
| 3.2 | MATERIALES..... | 25 |
| 3.2.1 | <i>Agua</i> | 25 |
| 3.2.2 | <i>Cemento</i> | 25 |
| 3.2.3 | <i>Arena</i> | 26 |
| 3.2.4 | <i>Aditivo (Almidón de papa)</i> | 28 |
| 3.3 | PROCEDIMIENTO..... | 29 |
| 3.3.1 | <i>Preparación de la mezcla</i> | 31 |
| 3.3.2 | <i>Preparación de las probetas</i> | 32 |
| 3.3.3 | <i>Conservación de las probetas</i> | 34 |
| 3.3.4 | <i>Ensayo de flexión</i> | 36 |
| 3.3.5 | <i>Ensayo de compresión</i> | 38 |
| | CAPÍTULO 4 | 40 |
| 4 | RESULTADOS | 40 |
| 4.1 | CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA..... | 40 |
| 4.1.1 | <i>Granulometría de la arena</i> | 40 |
| 4.1.2 | <i>Humedad de la arena</i> | 42 |
| 4.1.3 | <i>Ensayo de densidad real y neta de la absorción de agua de las arenas</i> | 43 |
| 4.2 | RECTIFICACIONES EN LA CANTIDAD DE AGUA POR ABSORCIÓN DE LOS MATERIALES..... | 45 |
| 4.3 | ENSAYOS DE FLEXIÓN Y COMPRESIÓN..... | 46 |
| 4.3.1 | <i>Compresión a los 7 días</i> | 47 |
| 4.3.2 | <i>Compresión a los 28 días</i> | 48 |
| 4.3.3 | <i>Flexión a los 7 días</i> | 49 |
| 4.3.4 | <i>Flexión a los 28 días</i> | 51 |
| | CAPÍTULO 5 | 52 |
| 5 | CONCLUSIONES | 52 |
| | CAPÍTULO 6 | 57 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |
| | CAPÍTULO 7..... | 59 |
| 7 | ANEXOS | 59 |
| 7.1 | MÁQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETOS PC - 42-D..... | 59 |
| 7.1.1 | <i>Especificaciones técnicas.....</i> | 60 |
| 7.1.2 | <i>Tablero de indicación y control.....</i> | 61 |
| 7.2 | DISPOSITIVO DIGITAL PARA ENSAYO RILEM REF. PC-4100 | 62 |
| 7.2.1 | <i>Especificaciones técnicas.....</i> | 62 |
| 7.2.2 | <i>Tablero de indicación y control.....</i> | 64 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| TABLA 1. VELOCIDADES DE LA PALETA DEL MEZCLADOR..... | 21 |
| TABLA 2. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA SEGÚN NCh163. | 26 |
| TABLA 3. EQUIVALENCIA DE SERIE DE TAMICES. NCh165..... | 27 |
| TABLA 4. CANTIDADES QUE SE UTILIZARÁN PARA CADA MEZCLA..... | 30 |
| TABLA 5. FECHAS DE ELABORACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS..... | 33 |
| TABLA 6. REGISTRO DE PESO DE PROBETA CON 0% DE ADITIVO..... | 34 |
| TABLA 7. REGISTRO DE PESO DE PROBETA CON 0,5% DE ADITIVO..... | 34 |
| TABLA 8. REGISTRO DE PESO DE PROBETA CON 0,75% DE ADITIVO..... | 35 |
| TABLA 9. REGISTRO DE PESO DE PROBETA CON 1% DE ADITIVO..... | 35 |
| TABLA 10. GRANULOMETRÍA ARENA BIOBÍO..... | 41 |
| TABLA 11. CANTIDAD DE AGUA CORREGIDA PARA LA MEZCLA..... | 46 |
| TABLA 12. RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS. | 47 |
| TABLA 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS. | 47 |
| TABLA 14. RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS. | 48 |
| TABLA 15. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS. | 49 |
| TABLA 16. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS. | 50 |
| TABLA 17. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS. | 51 |
| TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RESPECTO A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. | 54 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. DIAGRAMA DEL PROCESO GENERAL DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA. | 14 |
| FIGURA 2. BALANZA UTILIZADA PARA PESAJE DE MATERIAL. | 19 |
| FIGURA 3. MOLDES UTILIZADOS..... | 20 |
| FIGURA 4. MEDIDAS DE LA PALETA Y RECIPIENTE DE LA MEZCLADORA. | 22 |
| FIGURA 5. MEZCLADORA UTILIZADA PARA REALIZAR LA MEZCLA..... | 22 |
| FIGURA 6. MÁQUINA DE FLEXIÓN FACILITADA POR UNAB..... | 23 |
| FIGURA 7. MÁQUINA DE COMPRESIÓN FACILITADA POR UNAB..... | 25 |
| FIGURA 8. CEMENTO USADO PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE MORTERO. | 26 |
| FIGURA 9. ARENA USADA PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE MORTERO..... | 27 |
| FIGURA 10. MEZCLA CON PORCENTAJE DE ADITIVO MAYOR AL 1%. | 28 |
| FIGURA 11. MEZCLA PREPARADA | 33 |
| FIGURA 12. PESAJE DE ALGUNAS PROBETAS..... | 35 |
| FIGURA 13. . PISCINA DONDE QUEDARAN SUMERGIDAS LAS PROBETAS PARA SU POSTERIOR ENSAYO..... | 36 |
| FIGURA 14. PROBETA LISTA PARA SER ENSAYADA A FLEXIÓN..... | 37 |
| FIGURA 15. PROBETA UNA VEZ TERMINADO EL ENSAYO DE FLEXIÓN..... | 37 |
| FIGURA 16. TROZOS RESTANTES DE ENSAYO A FLEXIÓN, PARA POSTERIOR ENSAYO A COMPRESIÓN. | 38 |
| FIGURA 17. PROBETA LISTA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN. | 39 |
| FIGURA 18. PROBETA UNA VEZ TERMINADO EL ENSAYO DE COMPRESIÓN. | 39 |
| FIGURA 19. TAMICES UTILIZADOS PARA LA GRANULOMETRÍA DE LA ARENA. | 40 |
| FIGURA 20. GRANULOMETRÍA ARENA BIOBÍO..... | 41 |
| FIGURA 21. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS. | 48 |
| FIGURA 22. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS. | 49 |
| FIGURA 23. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS..... | 50 |
| FIGURA 24. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS..... | 51 |
| FIGURA 25. RESISTENCIAS A FLEXIÓN A 28 DÍAS, PARA MORTERO DE CAL. | 55 |
| FIGURA 26. RESISTENCIAS A COMPRESIÓN A 28 DÍAS, PARA MORTERO DE CAL. | 55 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 27. TABLERO DE INDICACIÓN Y CONTROL | 61 |
| FIGURA 28. TABLERO DE INDICACIÓN Y CONTROL. | 64 |
| FIGURA 29. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL PANEL FRONTAL DEL INDICADOR..... | 65 |

Capítulo 1

1 Introducción

El mortero es un material de construcción constituido básicamente por una mezcla de cemento, árido fino y eventualmente otro material conglomerante que, con adición de agua, reacciona y adquiere resistencia. También puede estar compuesto por aditivos que mejoren sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% ⁽¹⁾ (según el producto o el efecto deseado) de la masa o peso del cemento, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo en una forma susceptible de ser prevista y controlada. Esta definición excluye, por ejemplo, a las fibras metálicas, las puzolanas y otros. En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables.

La normativa Chilena (NCh) ⁽⁵⁾ definen al aditivo como: “un material activo agregado al mortero en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física, química o físico-química”.

Es común que, en lugar de usar un cemento especial para atender un caso particular, a este se le pueden cambiar algunas propiedades agregándole un elemento llamado aditivo.

Un aditivo es un material diferente a los normales en la composición del concreto, es decir es un material que se agrega inmediatamente antes, después o durante la realización de la mezcla con el propósito de mejorar las propiedades del concreto, tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad , etc.

En este informe nos centraremos específicamente en el estudio del efecto que puede tener un aditivo natural en las propiedades mecánicas de un mortero de cemento (la resistencia mecánica a la compresión y resistencia mecánica a la flexión), que se pueda encontrar fácilmente en el comercio, en concreto nos referimos al almidón de papa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto del almidón como aditivo natural en las propiedades mecánicas y físicas de un mortero de cemento.

1.1.2 Objetivo específico

- Determinar la resistencia mecánica a la compresión de morteros de cemento con distintos porcentajes de almidón como aditivo.
- Determinar la resistencia mecánica a la flexión de morteros de cemento con distintos porcentajes de almidón como aditivo.
- Comparar las propiedades mecánicas entre un mortero de cemento tradicional, y un mortero con aditivo de almidón en diferentes porcentajes.

1.1.3 Hipótesis

Al añadir almidón como aditivo a la mezcla de mortero de cemento, este proporcionará, en ciertos porcentajes, una mejora en la trabajabilidad del material, además de mejorar significativamente sus propiedades mecánicas, tanto en su resistencia a la compresión como en su resistencia a la flexión.

Capítulo 2

2 Revisión bibliográfica

2.1 Mortero

2.1.1 Reseña histórica

Se denomina mortero a la mezcla obtenida tras amasar conglomerantes inorgánicos, áridos y agua. Se utiliza en construcción en las uniones de elementos constructivos y para el relleno de paredes. El más conocido de los morteros es el de cemento. La mayoría de morteros modernos utilizan arena para la mezcla y un aglutinante.

Algunos filólogos creen que la palabra actual deriva del latín *mortarium*, que significa “aplastado”, siendo esta la forma en la que queda la mezcla entre los bloques utilizados para la construcción. ⁽⁹⁾

El origen de los morteros está íntimamente ligado al de los conglomerantes, que forman parte importante de su composición:

El uso de materiales de cementación es muy antiguo. Los egipcios ya utilizaban yeso calcinado y puro. Los griegos y romanos empleaban caliza calcinada y posteriormente, aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas; éste es conocido como el primer concreto de la historia. Un mortero de cal no endurece con el agua y para la construcción con agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada, finamente trituradas. La sílice activa y la alúmina que se encuentran en las cenizas y en las tejas se combinaban con la cal para producir lo que fue conocido como cemento puzolánico, proveniente del nombre del pueblo de Pozzuoli, cerca del Vesubio,

donde se encontraron por primera vez esas cenizas volcánicas. El nombre de cemento puzolánico se utiliza hasta nuestros días para describir cementos obtenidos de moler materiales naturales a temperatura normal. Algunas de las estructuras romanas en las cuales la mampostería se unía con morteros, tales como el Coliseo de Roma y el "Pont du Gard", cerca de Nimes (sur de Francia), han sobrevivido hasta esta época, con su material de cementación aún duro y firme.

En la edad media hubo una disminución general en la calidad y el uso del cemento, y solamente en el siglo XVIII se encuentra un adelanto en el conocimiento de los cementos. En 1756, John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddystone, en la costa de Cornwall, y encontró que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba "puzolana" con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. (Puzolana: Material silíceo o sílicoaluminoso que posee propiedad puzolánica, es decir, el material una vez pulverizado tiene la aptitud de reaccionar químicamente en presencia de agua con hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando compuestos que poseen propiedades hidráulicas, o sea, que el material finamente dividido tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua y formar compuestos estables).⁽⁹⁾

Al reconocer el papel de la arcilla, que hasta entonces se consideraba indeseable, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica. A partir de esto, se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el "cemento romano" que obtuvo Joseph Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que vinieron a culminar en la patente del "cemento Portland" efectuada en 1824 por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds (Inglaterra). Este cemento se preparaba calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar CO₂, esta temperatura era mucho más baja que la necesaria para la formación de clinker, Aspdin llamó su cemento "Cemento Portland" debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra Portland – una caliza obtenida en una cantera de Dorset (Inglaterra).⁽⁹⁾

A Aspdin se le reconoce como el inventor del "cemento Portland", aunque su método de fabricación fue conservado en secreto (su patente se escribió en forma tan confusa y oscura que durante algún tiempo, nadie pudo imitar su producto).

El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de clinker, con la cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto fuertemente cementoso.

Johnson describió claramente sus experimentos y encontró que la temperatura de calcinación debía elevarse hasta el máximo que pudiera lograrse, claro está, con los métodos y equipos de ese tiempo.⁽⁹⁾

Tomando como base los experimentos de Johnson, la fabricación del cemento Portland se inició en varias factorías, no solo en Inglaterra, sino en algunos países de Europa. La cantidad producida fue muy pequeña y únicamente cerca del año de 1900, empezó el crecimiento notable de la industria del cemento, debido a dos factores: a) Experimentos realizados por los franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaelis, con los cuales se logró producir cemento de calidad uniforme de modo que pudiera ser usado en la industria de la construcción y b) Dos invenciones mecánicas muy importantes los hornos rotatorios para la calcinación y el molino tubular para la molienda, con esas dos máquinas pudo entonces producirse el cemento Portland en cantidades comerciales, induciendo así el rápido crecimiento de ésta industria.

2.1.2 Tipos de morteros

Los morteros pueden ser clasificados en función de diferentes variables, una de ellas es según el tipo de conglomerante, en donde podemos encontrar:

- *Morteros de cemento de base Portland.* El Mortero de Cemento es una mezcla de cemento, arena y agua. Posee gran resistencia y asimismo rapidez en secarse y endurecerse. Sin embargo, es escasamente flexible, y puede agrietarse con facilidad. Los morteros con escasez de cemento dan morteros ásperos, por entrar en fricción los granos de arena que los componen y son difíciles de trabajar. Si por el contrario, la cantidad de cemento que contiene es excesiva, producirá retracciones, apareciendo fisuras.
La falta de trabajabilidad de los morteros puede corregirse añadiendo aditivos que sean plastificantes.
También pueden mejorarse bien mediante la incorporación de cal, la incorporación de otros áridos o modificando la dosificación.
- *Morteros de cemento de aluminato de calcio.* Fabricados a base de cemento de aluminato de calcio, arena y agua. Se deberá tener muy en cuenta en su empleo, la considerable reacción térmica que se produce durante el fraguado y que puede llegar a evaporar el agua de amasado; es necesario controlar esta temperatura para que no sobrepase los 30°C. Se utilizan en taponamientos de vías de agua. Si en este tipo de morteros la arena es del tipo refractaria obtenemos los morteros refractarios.
- *Morteros de cal.* Formados por cal y arena. La cal puede ser aérea o hidráulica. En cualquier caso, las resistencias mecánicas de estos morteros son bajas y en particular los confeccionados con cal aérea, si bien en un mortero, muchas veces, no se pretende tener resistencias mecánicas altas y son más importantes otras propiedades como pueden ser la plasticidad, trabajabilidad, el color, etc.
- *Morteros bastardos de cemento de base Portland y cal aérea.* Son morteros compuestos por dos clases de conglomerantes compatibles, es decir, cemento y cal. Se caracterizan por su alta trabajabilidad, comunicada por la cal, presenta colores claros por lo que se utilizan como mortero de agarre en fábricas de ladrillo cara vista.

Y algunos especiales como:

- *Morteros de cemento–cola.*
- *Morteros hidrófugos.*
- *Morteros coloreados.*
- *Morteros expansivos o sin retracción.*
- *Morteros ligeros.*
- *Morteros sin finos.*
- *Morteros con aireante.*
- *Morteros ignífugos.*
- *Morteros refractarios.*
- *Morteros aislantes.*

2.2 Aditivo

Aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor.

Los aditivos se emplean cada vez en mayor escala en la fabricación de morteros y hormigones, para la elaboración de productos de calidad, en procura de mejorar las características del producto final. No se trata en ningún modo de aditivos del cemento, pues la misión del aditivo no consiste en mejorar el cemento, sino permitir la transformación o modificación de ciertos caracteres o propiedades de un producto acabado, que según los casos, puede ser un hormigón, un mortero o una lechada para inyecciones.

En resumidas cuentas el aditivo no se limita a actuar sobre el cemento, sino que su acción se ejerce sobre los tres componentes de la mezcla: el árido o agregado, el cemento y el agua. En esta acción influyen en gran manera la naturaleza y la dosificación de cada uno de esos componentes.

Los aditivos se utilizan cada vez más en la pasta, los morteros y hormigones por las siguientes razones:

- a) *Los aditivos se perfeccionan incesantemente.* Al principio se usaban, sin purificar, determinados productos de la industria papelera o petrolífera, de lo que resultaban variaciones en la composición química. Actualmente, la orientación se dirige cada vez más hacia un control de calidad de esos subproductos y a una corrección de sus composiciones gracias a tratamientos y adiciones, han sucedido investigaciones sistemáticas que condujeron a la fabricación de productos básicos especiales o de una mezcla de materias primas existentes, a fin de presentar al mercado aditivos polivalentes.
- b) *Economía.* Ante problemas con el concreto el constructor tendrá que plantearse las alternativas de saber si se debe utilizar un aditivo o no, luego saber cuál se debe usar y finalmente cómo y en que dosis debe usarse. Para esto, tendrá que consultar las instrucciones de los fabricantes y remitirse a documentos especiales. Debe saber eventualmente la dosificación a emplear y que ensayos se le deben hacer, a pie de obra, para precisar la dosificación a utilizar.

Es por esta razón, por la cual se pretenden obtener mezclas con la dosificación más económica a unos menores costos de construcción.

El costo del aditivo no solo se relaciona con la dosificación del concreto, sino también: por la cuantía mínima de cemento, el control de los requerimientos del agua, por los ahorros de energía, la economía en el tiempo de la colocación, disminución en los costos de las formaletas y encofrados debido al rápido desencofrado y la reutilización de los

moldes, la facilidad en la colocación y compactación y el avance en forma considerable de la obra y puesta en servicio.

- c) *Las Técnicas*. Ésta razón influye en la modificación o en el mejoramiento de una o varias de las propiedades físicas del concreto tanto en el estado fresco como el incremento en la manejabilidad, trabajabilidad extendida, disminución de la exudación y de la segregación, hormigón cohesivo, fraguados programados y en la aptitud para el bombeo; y el concreto en estado endurecido en el cual se puede lograr mejorar las resistencias mecánicas, las resistencias a las acciones físicas como heladas y a las acciones químicas, disminución de la porosidad, en el control del calor de hidratación, en la contracción controlada y en los mejores acabados.
- d) *Cumplimiento de las especificaciones*. Se debe tener en cuenta a la hora de usar uno o varios aditivos en cumplir con los requerimientos exigidos para los distintos usos del concreto como relación agua/cemento fija, adecuada manejabilidad, resistencias a temprana edad, resistencias finales, resistencia a la abrasión, tiempos de fraguado, cantidad de aire incorporado, impedir la corrosión del refuerzo, garantizar la mayor adherencia entre el acero y el concreto y una mejor unión entre el concreto nuevo y el viejo.

En conclusión, a la hora de usar cualquier tipo de aditivo se debe intervenir de forma positiva en la calidad del concreto, de tal forma que se le den soluciones a los diferentes problemas y satisfacer los distintos requerimientos sin detrimento de la resistencia y durabilidad del material.

2.3 Almidón de papa

El almidón es uno de los productos procedentes de las plantas más importantes para el hombre. Los cultivos más importantes en cuanto a producción de almidón se refiere son: maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), y patata (*Solanum tuberosum*). En Centro y Sudamérica también se obtiene almidón de yuca o casava (*Manihot esculenta*) (Ferrer García et al., 2013). Los almidones se han utilizado para alimentación y para otros usos desde la antigüedad. Los egipcios, y posteriormente los romanos utilizaron los almidones como adhesivos, uso todavía en vigor. Los griegos los utilizaron con fines medicinales.

A parte del sector alimentario, hoy en día los almidones también se utilizan con fines industriales: como aditivo en el cemento para mejorar el tiempo de curado; para mejorar la viscosidad en los lodos de perforación en los pozos de petróleo para sellar los poros de las paredes; en la fabricación de papel; en los enlucidos de yeso, en los tableros tipo Pladur; como recubrimiento de semillas; fertilizantes; envases; adhesivos; bioplásticos, composites, etc. Debido a su naturaleza los almidones tienen un gran potencial como sustitutos de materiales poliméricos sintéticos, principalmente con fines medioambientales. En los tableros de partículas se utilizan como sustituto de los aglutinantes como la urea-formaldehído, el fenol-formaldehído y otros derivados del petróleo.

2.3.1 Composición química y propiedades del almidón

El almidón es un polisacárido insoluble y semicristalino, consistente en unidades de D-glucosa, que se almacena en gránulos que se depositan mayoritariamente en los tejidos de almacenamiento de las plantas (granos, tubérculos y raíces). El almidón está compuesto por

dos macromoléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa es principalmente lineal y la amilopectina tiene una estructura muy ramificada.

Los gránulos de almidón son insolubles a temperatura ambiente, son altamente resistentes a la hidrólisis enzimática y carecen de propiedades funcionales. Para inducir sus propiedades funcionales (viscosidad, textura, estabilidad, entre otras) deseables en la industria, el almidón y sus derivados se modifican por medios químicos, físicos y biotecnológicos. Los almidones modificados más usados en la industria son: almidones pre-gelatinizados, entrecruzados, catiónicos, oxidados, aniónicos, acetilados, éteres, dextrinas, almidones injertados, almidones modificados físicamente y almidones modificados enzimáticamente.

2.3.2 Proceso de extracción del almidón de papa

La fécula o el almidón de papa es extraída de papas con un contenido alta en fécula. La papas, directamente después la cosecha, son llevadas a la fábrica donde son lavadas y molidas hasta una papilla. En este proceso se rompen las células de las papas y los granos de la fécula se liberan.

Esta papilla de papas molidas se divide en tres flujos:

- **Fécula de papa:** La fécula se usa como espesante para la alimentación, pero también es usado en la industria de papel y textiles y en la construcción.
- **Un líquido amniótico:** Este líquido amniótico, que sale de dentro de las células, es rico en proteínas. Estas proteínas son extraídos del y comercializado como proteínas de papa. Eso es una buena fuente de proteínas para animales jóvenes.

- **Fibras de papas:** Estas fibras serán secadas hasta un contenido de materia seco de 16%. Este producto es ideal para suplementar en dietas con alto contenido de proteínas, la fibra se comporta como proveedor de energía.

Para la fabricación (o extracción) del almidón de papa se debe seguir un proceso dividido en diferentes fases o etapas, las cuales son:

- **Lavado:** En esta etapa se lavan cuidadosamente las papas, para luego examinarlas para que no contengan partes sucias o maltratadas.
- **Molienda:** Una vez que las papas han sido verificadas, estas se trasladan a un molino, donde se muelen finamente hasta obtener una masa suave.
- **Extracción:** La masa que fue creada se envía a una zaranda vibratoria, donde se le agregará agua con el fin de extraer el almidón. Posteriormente el almidón es colocado en tinas de decantamiento.
- **Decantamiento:** En estas tinas se mantiene el almidón en reposo absoluto, lo cual permite que el almidón se asiente en el fondo de las tinas. Una vez que haya descendido el almidón, el agua es retirada de las tinas.
- **Secado:** El almidón es expuesto al sol con el fin de eliminar o disminuir la humedad provocada por el agua, después el almidón pasa por un túnel de secado donde se extrae completamente los residuos de agua.

- **Molienda:** Finalmente el almidón es colocado en un molino, el cual lo convierte en un polvo suave, listo para utilizarse.
- Finalmente se procede al empaque y almacenamiento del producto final.

En la figura 1 se muestra el proceso general para la extracción de almidón de papa.

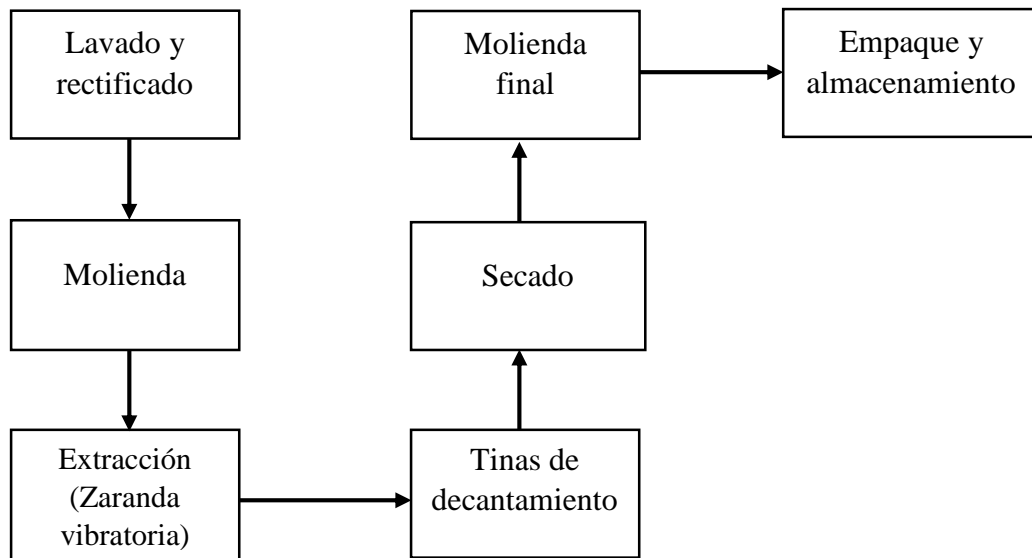


Figura 1. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de papa.

Fuente. Elaboración propia

2.3.3 Aplicaciones del almidón

El almidón de la papa también es ampliamente utilizado por las industrias farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno entre otros. Sin embargo, la mayoría de los almidones usados en estos sectores son modificados, los cuales han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo para uso industrial.

Las modificaciones en el almidón involucran el tratamiento del gránulo por medios físicos, químicos y bioquímicos que causan la ruptura de algunas o todas las moléculas, lo cual permite realzar o inhibir en el almidón propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura, y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez.

2.3.4 Usos de los almidones en la construcción

En el sector de la construcción los almidones se utilizan como aditivos en el cemento y el yeso, como adhesivos en la fabricación de tableros de partículas (Ferrández-García et al., 2012; Salleh et al., 2014), en restauración de edificios antiguos como aditivos de la cal (Izaguirre et al, 2011), como materia prima de tuberías biodegradables, como materia prima de biocomposites, espumas sólida como material aislante (Yildirim et al 2014), etc. ⁽¹⁴⁾

2.3.4.1 Cementos y yesos

Los aditivos orgánicos han sido ampliamente utilizados en el hormigón y el mortero de cemento durante décadas, ya que les confiere propiedades específicas y avanzadas necesarias durante el proceso de construcción. Estos aditivos pueden ser biopolímeros nativos (almidón) o polímeros sustituidos (éteres de celulosa). Los morteros de recubrimiento requieren valores de retención de agua de al menos el 95% para facilitar la proyección a alta velocidad. Para obtener este valor se utilizan con frecuencia los polisacáridos, que pueden ser igualmente clasificados como agentes reductores de agua y retardantes del fraguado (Peschard et al., 2004, 2006). Estos aditivos son también agentes retardantes del fraguado, mejoran el tiempo de trabajabilidad y modifican la hidratación del cemento. El almidón se ha estudiado también para aligerar el hormigón. El hormigón aligerado es importante comercialmente debido a su baja conductividad térmica y acústica.

El almidón se utiliza en las placas de yeso tipo “pladur”, en los morteros de yesos, en las placas de yeso y en los tableros de yeso. El almidón modificado se utiliza para los sistemas de montaje en seco de paredes “drywall system”. Se añade el almidón pregelatinizado al yeso en polvo y se mezcla antes de añadirle agua. Les confiere resistencia y ayuda en el aglutinado de las otras materias primas. ⁽¹⁴⁾

2.3.4.2 Espumas, bioplásticos y biocomposites

Las espumas sólidas se hacen por medio de extrusión (Bénézet et al., 2011), aireación y mezclado (Ferrer García et al., 2013) o por compresión/explosión (Glenn y Orts, 2001). En general se pueden utilizar como material de envases y también como material aislante cuando se refuerzan con fibras, ya que la conductividad térmica es muy baja (Yildirim et al., 2014).

En la actualidad se está investigando la reología de los polímeros de almidón para optimizar los métodos de producción y mejorar el control de calidad de los productos finales (Xie et al. 2012).

Los bioplásticos son sustitutos potenciales de los plásticos obtenidos del petróleo. Existen bioplásticos similares al polietileno, pvc, etc. El almidón se funde en presencia de un plastificante (agua y/o glicerol) para formar almidón plastificado o TPS (thermoplastic starch en inglés). Se puede formar films plásticos biodegradables o bien inyectar en moldes y obtener piezas sólidas. Para fabricar piezas sólidas generalmente hay que reforzar la matriz plástica con fibras lignocelulósicas o de carácter mineral (Chang et al., 2012). Se utilizan en la agricultura, en la fabricación de bolsas biodegradables y en las industrias de juguetes, automoción y aviación.

Los biocomposites son materiales compuestos en los que una o más fases son de origen biológico. El almidón se utiliza como matriz polimérica (material de cohesión) que se refuerza con fibras vegetales (material de refuerzo). Generalmente se utiliza el almidón plastificado o TPS. Las investigaciones más recientes están dirigidas a encontrar los mejores materiales naturales de refuerzo (Kumar et al., 2012). Los biocomposites se pueden producir en moldes para darles la forma requerida. Se utilizan en la industria de la automoción y la aviación. ⁽¹⁴⁾

2.3.4.3 Tableros de madera

Los almidones se utilizan como adhesivo o componente de adhesivos para aglutinar las partículas en la formación de tableros de partículas, generalmente para sustituir las resinas que contienen formaldehído. Imam et al (2001) produjeron un adhesivo entrecruzando almidón con polivinil alcohol. Ferrández-García et al (2012) utilizaron almidón de patata sin modificar para aglutinar partículas de caña común con buenos resultados. Tondi et al. (2012) estudiaron la sinergia existente entre el almidón y la sacarosa como adhesivo para la producción de tableros de partículas. La tendencia actual en investigación es mejorar los sistemas adhesivos para evitar su alta higroscopicidad. ⁽¹⁴⁾

Capítulo 3

3 Metodología

La evaluación de las propiedades mecánicas del mortero con aditivo de almidón de papa se llevó a cabo por medio de mezclas de mortero conformado por cemento, agua y arena debidamente seleccionada y distintos porcentajes de almidón de papa usado como aditivo.

Las características mecánicas de dichos morteros fueron comparadas con el mortero sin aditivo que fue usado como referencia. Los ensayos a realizar se desarrollaron en el laboratorio de ingeniería civil de la universidad Andrés Bello (sede concepción) siguiendo el procedimiento establecido por las respectivas Normas Chilenas para cada una de las pruebas.

Para realizar los ensayos de flexión y compresión de mortero de cemento se confeccionaran probetas con 4 porcentajes de aditivo distintas, las cuales serán un mortero normal (aquel que se prepara con arena normal en las proporciones y procedimiento establecido en NCh158) y otras 3 a las cuales se les agregara aditivo en distintos porcentajes (0,5%, 0,75% y 1%; explicado en 3.2.4), los cuales van en relación con la cantidad de cemento utilizada en la mezcla. Para esto se necesitaran los siguientes equipos y materiales:

3.1 Equipos

3.1.1 Balanza

La cual tendrá una capacidad de 1000 g como mínimo y una sensibilidad recíproca de 1g/div.



Figura 2. Balanza utilizada para pesaje de material.

3.1.2 Tamices

Los tamices tendrán aberturas de 0,074 mm; 0,149 mm; 0,50 mm; 1,00 mm; 1,68 mm y 2,00 mm y cumplirán con los requisitos estipulados en la norma NCh32.

3.1.3 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. ⁽²⁾

3.1.4 Moldes

Los moldes serán de material que no sea atacado por el mortero de cemento, los cuales estarán divididos en tres compartimentos prismáticos, que permitan confeccionar tres probetas.

Las dimensiones interiores de cada uno de los compartimentos de los moldes nuevos serán las siguientes:

- Longitud (l) = 160 mm, tolerancia $\pm 0,4$ mm.
- ancho (a) = 40 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.
- altura (h) = 40 mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.



Figura 3. Moldes utilizados

En donde se debe tener en consideración que:

- 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 formarán entre sí 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 deberán ser reemplazados.
- Los moldes estarán provistos de un marco metálico superpuesto para facilitar el llenado, el cual constará de tres compartimentos 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. ⁽²⁾

3.1.5 Mezcladora

La mezcladora será de accionamiento eléctrico y estará compuesta de un recipiente de acero inoxidable, de 5¾ L aproximadamente de capacidad de la forma y dimensiones indicadas en la figura 4, el cual deberá poder fijarse en una altura conveniente con respecto a la paleta.

Tendrá una paleta, de la forma y dimensiones indicadas en figura 4 con un movimiento de rotación alrededor de su propio eje, y un movimiento planetario alrededor del eje del motor. La paleta funcionará a las velocidades que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Velocidades de la paleta del mezclador.

Fuente: NCh-158

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

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 de alrededor de 0,4 mm entre aquella y la pared de éste. ⁽²⁾

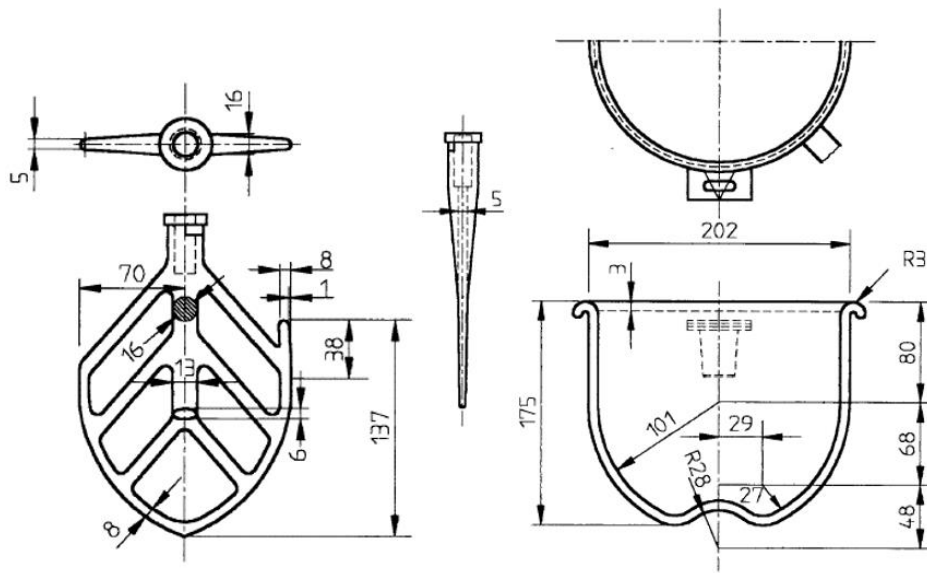


Figura 4. Medidas de la paleta y recipiente de la mezcladora.

Fuente: NCh-158



Figura 5. Mezcladora utilizada para realizar la mezcla.

Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Máquina para ensayo de flexión

La máquina de ensayo tendrá una precisión superior o igual a 1%.

Estará compuesta por dos rodillos de apoyo inferior de 10 mm situados a una distancia de 100 mm o de 106,7 mm. Tendrá además, un rodillo superior 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⁾



Figura 6. Máquina de flexión facilitada por UNAB

Fuente: elaboración propia.

3.1.7 Máquina para ensayo de compresión

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 10mm
- b) ancho de $40 \pm 0,1$ mm
- c) longitud superior a 40mm.

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. ⁽²⁾



Figura 7. Máquina de compresión facilitada por UNAB

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Materiales

3.2.1 Agua

El agua que se usará en la confección de las probetas deberá ser potable según norma NCh409/1. ⁽²⁾

3.2.2 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. ⁽²⁾

El cemento utilizado fue: Cemento Bio-Bio especial de grado corriente, como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Cemento usado para la elaboración de la mezcla de mortero.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Arena

La composición granulométrica de la arena, determinada según NCh163 of. 79, será tal que su tamizado dé resultados comprendidos dentro de los valores anotados en la tabla 2.

Tabla 2. Granulometría de la arena según NCh163.

| Tamices, mm | % acumulado que pasa |
|-------------|----------------------|
| 10 | 100 |
| 5 | 95 - 100 |
| 2,5 | 80 - 100 |
| 1,25 | 50 - 85 |
| 0,63 | 25 - 60 |
| 0,315 | 10 - 30 |
| 0,16 | 2 - 10 |

Provisoriamente se aceptará el uso de la serie ASTM, con la equivalencia respecto a la serie preferida que se indica a continuación: ⁽⁴⁾

Tabla 3. Equivalencia de serie de tamices. NCh165.

| | | | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|
| Preferida, mm | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,630 | 0,315 | 0,160 |
| Provisoria, mm | 9,5 | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,600 | 0,300 | 0,150 |

Para evaluar el cumplimiento de la granulometría en el caso de arenas cuyo tamaño máximo nominal exceda los 5 mm se debe efectuar una conversión de la granulometría original considerando como 100% el material que pasa por el tamiz de 5 mm de abertura nominal. ⁽³⁾

Las arenas que no cumplan con los requisitos granulométricos pueden ser utilizadas siempre que las mezclas de prueba preparadas con estas arenas cumplan con los requisitos de las especificaciones particulares de la obra. ⁽³⁾

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. ⁽²⁾



Figura 9. Arena usada para la elaboración de la mezcla de mortero.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Aditivo (Almidón de papa)

Para determinar las cantidades de aditivo a usar en cada dosificación se tomó en cuenta investigaciones previas ⁽¹²⁾ relacionadas con distintos tipos de aditivos para morteros no establecidos en la NCh ⁽⁵⁾, además de realizar mezclas de prueba en laboratorio en donde se pudo determinar de manera visual y táctil que el mortero fuera trabajable.

Las pruebas realizadas en el laboratorio consistieron en ir añadiendo aditivo (almidón de papa) a mezclas de mortero de cemento en distintos porcentajes en relación a la cantidad de cemento utilizada para esta. Al realizar esto se pudo observar que para porcentajes mayores al 1 % la mezcla ya no era trabajable ni poseía la consistencia necesaria para realizar una probeta.

En la siguiente figura se muestra como queda la mezcla con porcentaje de aditivo mayor al 1%.



Figura 10. Mezcla con porcentaje de aditivo mayor al 1%.

A partir de esto es que se tomó la determinación de agregar almidón de papa como aditivo a la mezcla en los siguientes porcentajes:

- a) 0,5 %
- b) 0,75 %
- c) 1 %

En donde estos porcentajes son en relación a la cantidad de cemento utilizada en la mezcla.

3.3 Procedimiento

Se preparan mezclas con 4 porcentajes de aditivo distintas. Donde denominaremos a las muestras por su % de aditivo en relación a la masa de cemento de la siguiente manera:

- 0 % → M0% → Mortero Patrón
- 0,5 % → M0,5%
- 0,75 % → M0,75%
- 1 % → M1%

Las mezclas a comparar con el mortero patrón deben tener la misma dosificación, con la sola excepción de la variable en estudio, en nuestro caso será la adición de almidón de papa.

El mortero se preparará tomando los materiales en la siguiente proporción en peso:

- cemento: dos partes
- arena normal seca: seis partes
- agua: una parte
- aditivo: en porcentaje de la masa del cemento

Se pesarán separadamente 500 g de cemento, 500 g de arena fina, 500 g de arena media y 500 g de arena gruesa y se medirán 250 ml de agua, además se pesara la cantidad de aditivo correspondiente a los porcentajes a estudiar en relación a la masa de cemento. ⁽²⁾

En el caso de los morteros distintos del patrón la arena se cargara en una sola operación vaciándola gradualmente y en un periodo de 30 s. ⁽⁶⁾

En la siguiente tabla podemos observar las cantidades que se utilizaran para cada mezcla.

Tabla 4. Cantidades que se utilizarán para cada mezcla.

| | Cemento (g) | Agua (ml) | Arena (g) | Aditivo (g) |
|-----------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Patrón | 500 | 250 | 1500 | - |
| M 0,5 % | 500 | 250 | 1500 | 2,5 |
| M 0,75 % | 500 | 250 | 1500 | 3,75 |
| M 1 % | 500 | 250 | 1500 | 5 |

Los materiales se dejarán en envases separados junto a la mezcladora.

3.3.1 Preparación de la mezcla

Para la preparación de la mezcla se seguirá el procedimiento establecido en la NCh-158, como se explica a continuación:

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 tapará el recipiente por el tiempo restante (1 min 15 s).

Se pondrá en marcha el mezclador con la velocidad rápida durante 1 min.

3.3.2 Preparación de las probetas

El molde se cubrirá interiormente con una delgada capa de desmoldante. Las uniones exteriores deberán sellarse.

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. ⁽²⁾

Luego se procederá a realizar una compactación mediante acción manual, por golpes, dejando caer el molde por 60 veces, levantando alternadamente sus extremos en aproximadamente 3 cm, sobre una base plana y rígida.

A continuación 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. ⁽²⁾

Se emparejará la superficie alisándola con la regla que se mantendrá débilmente inclinada sobre la horizontal. ⁽²⁾

A continuación se muestra en la figura 10 como queda la mezcla en el molde.



Figura 11. Mezcla preparada

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se identificarán las probetas.

En la siguiente tabla se presentan las fechas de elaboración de cada muestra.

Tabla 5. Fechas de elaboración de muestras y ensayos.

| N° de moldes | N° de muestras | Fecha de fabricación | Agregado de aditivo | Fecha de desmolde | Fecha de ensayo | Edad de ensayo | Tipo de ensayo |
|--------------|----------------|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| 1 | 3 | 23-11-2016 | 0% (Patrón) | 25-11-2016 | 30-11-2016 | 7 días | F y C |
| 1 | 3 | 23-11-2016 | 1 % Almidón de papa | 25-11-2016 | 30-11-2016 | 7 días | F y C |
| 1 | 3 | 23-11-2016 | 0% (Patrón) | 25-11-2016 | 21-12-2016 | 28 días | F y C |
| 1 | 3 | 23-11-2016 | 1 % Almidón de papa | 25-11-2016 | 21-12-2016 | 28 días | F y C |
| 1 | 3 | 30-11-2016 | 0,5 % Almidón de papa | 02-11-2016 | 07-12-2016 | 7 días | F y C |
| 1 | 3 | 30-11-2016 | 0,75 % Almidón de papa | 02-11-2016 | 07-12-2016 | 7 días | F y C |
| 1 | 3 | 30-11-2016 | 0,5 % Almidón de papa | 02-11-2016 | 28-12-2016 | 28 días | F y C |
| 1 | 3 | 30-11-2016 | 0,75 % Almidón de papa | 02-11-2016 | 28-12-2016 | 28 días | F y C |

Nota: F es ensayo de flexión y C corresponde a ensayo de compresión.

3.3.3 Conservación de las probetas

Los moldes se cubrirán con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación de agua.

Los moldes se trasladarán a la cámara húmeda que se mantendrá en las siguientes condiciones:

- La cámara húmeda 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 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. ⁽²⁾

Las probetas se desmoldarán entre 20 y 24 h después de haberlas moldeado. Si el mortero no ha adquirido suficiente resistencia para desmoldarlo sin peligro de deterioro, el desmolde puede postergarse 24 h. ⁽²⁾

Las probetas desmoldadas se limpiarán suavemente y se pesarán. En las tablas a continuación se muestra el registro de cada probeta:

Tabla 6. Registro de peso de probeta con 0% de aditivo.

| Muestra | M 0% | M 0% | M 0% | M 0% | M 0% | M 0% |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso (g) | 566,2 | 562,2 | 562,2 | 564,3 | 572,7 | 575 |
| Edad | 7 días | 7 días | 7 días | 28 días | 28 días | 28 días |

Tabla 7. Registro de peso de probeta con 0,5% de aditivo.

| Muestra | M 0,5% | M 0,5% | M 0,5% | M 0,5% | M 0,5% | M 0,5% |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso (g) | 558,5 | 556,8 | 560,7 | 562,5 | 563,9 | 559,6 |
| Edad | 7 días | 7 días | 7 días | 28 días | 28 días | 28 días |

Tabla 8. Registro de peso de probeta con 0,75% de aditivo.

| Muestra | M 0,75% | M 0,75% | M 0,75% | M 0,75% | M 0,75% | M 0,75% |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peso (g) | 550,6 | 558,5 | 559,4 | 560,5 | 561,6 | 562 |
| Edad | 7 días | 7 días | 7 días | 28 días | 28 días | 28 días |

Tabla 9. Registro de peso de probeta con 1% de aditivo.

| Muestra | M 1% | M 1% | M 1% | M 1% | M 1% | M 1% |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Peso (g) | 569,4 | 568,6 | 560,7 | 566 | 559,5 | 552,9 |
| Edad | 7 días | 7 días | 7 días | 28 días | 28 días | 28 días |



Figura 12. Pesaje de algunas probetas.

Fuente: Elaboración propia.

Las probetas desmoldadas se sumergirán en posición vertical, en agua detenida, saturada en cal, a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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. ⁽²⁾

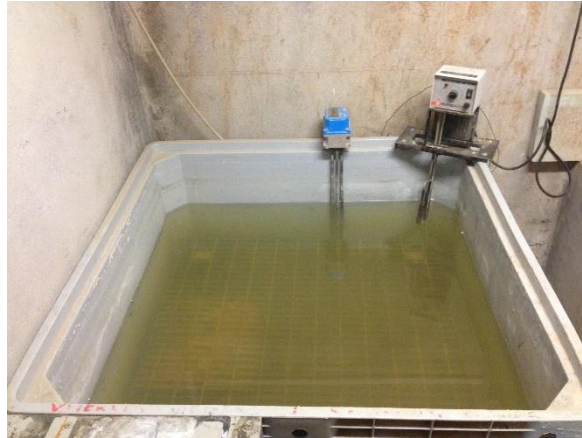


Figura 13. . Piscina donde quedaran sumergidas las probetas para su posterior ensayo.

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. ⁽²⁾

3.3.4 Ensayo de flexión

La probeta se apoyará, en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina a flexión como se puede apreciar en l figura 13.

La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/s. 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. ⁽²⁾

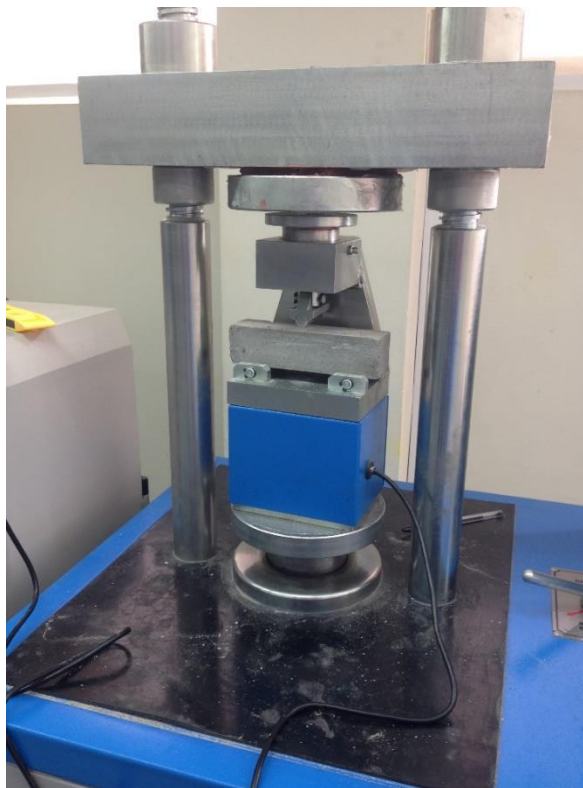


Figura 14. Probeta lista para ser ensayada a flexión.

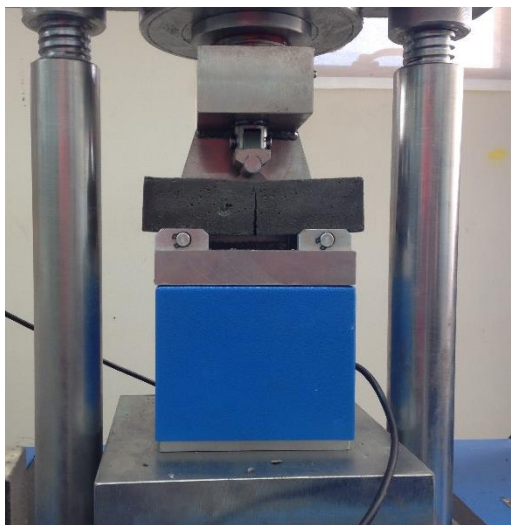


Figura 15. Probeta una vez terminado el ensayo de flexión.



Figura 16. Trozos restantes de ensayo a flexión, para posterior ensayo a compresión.

3.3.5 Ensayo de compresión

Cada trozo obtenido del ensayo a flexión (figura 15) se ensayará a la compresión en una sección de 40x40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión (como se muestra en figura 16).

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. ⁽²⁾



Figura 17. Probeta lista para ensayo de compresión.

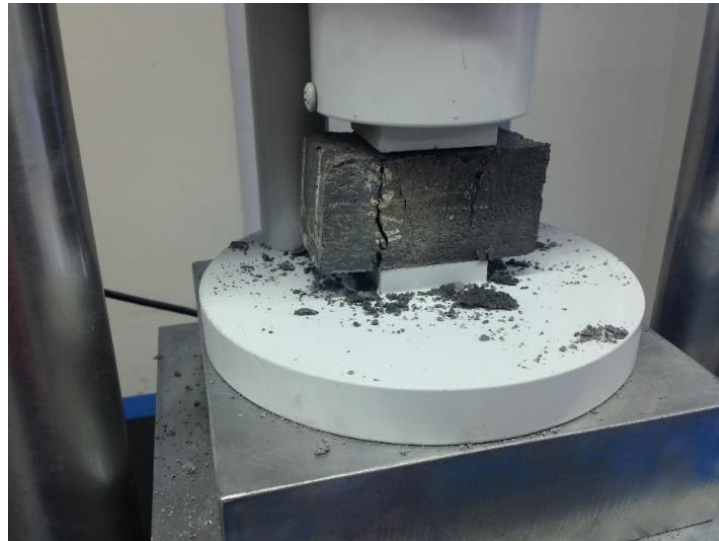


Figura 18. Probeta una vez terminado el ensayo de compresión.

Capítulo 4

4 Resultados

4.1 Caracterización de la arena

4.1.1 Granulometría de la arena

Para la elección de la arena se siguieron los requisitos de granulometría de áridos para morteros y hormigones establecidos en la norma NCh-163.

El análisis granulométrico consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de granos presentes en una muestra de suelo. En la práctica, se trabaja con rangos de tamaños. El análisis granulométrico permite así obtener la cantidad de suelo que pasa una serie de mallas o tamices normalizados.

Para esto se utilizó un juego 8 tamices de 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 y 0,075 mm de abertura de malla mostrados en la figura 17, y una muestra representativa de arena Biobío, determinando la masa retenida (g), el % retenido y el % que pasa por cada tamiz.



Figura 19. Tamices utilizados para la granulometría de la arena.

El resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. Granulometría arena Biobío.

| Malla N° | Abertura | Masa Retenida | | |
|----------|----------|---------------|----------|----------|
| | | Parcial | Retenido | Que Pasa |
| ["] | [mm] | [g] | [%] | [%] |
| 3/8" | 9,5 | 0 | 0,000 | 100 |
| 4 | 4,75 | 0,25 | 0,048 | 100 |
| 8 | 2,36 | 0,71 | 0,137 | 99,82 |
| 16 | 1,18 | 51,68 | 9,938 | 89,88 |
| 30 | 0,6 | 138,86 | 26,704 | 63,17 |
| 50 | 0,3 | 298,8 | 57,462 | 5,71 |
| 100 | 0,15 | 25,44 | 4,892 | 0,82 |
| 200 | 0,075 | 2,91 | 0,560 | 0,26 |

Y expresado en forma gráfica en la figura:

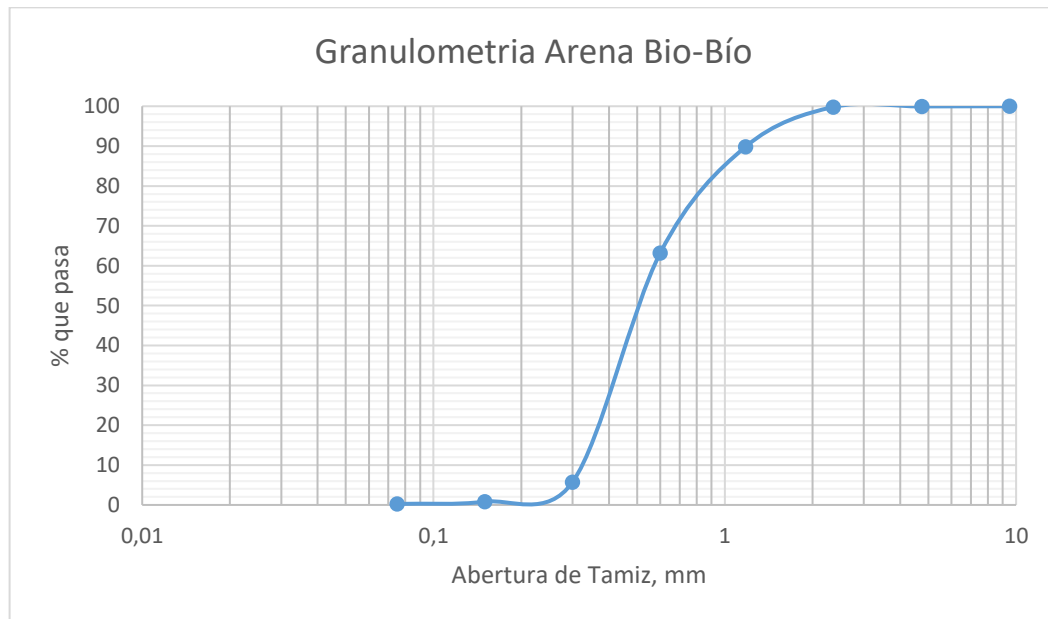


Figura 20. Granulometría arena Biobío.

4.1.2 Humedad de la arena

Se determinara la humedad de la arena de acuerdo a la NCh 1515 of 79. Para esto se toma una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas. A continuación, se coloca la muestra húmeda en un recipiente previamente tarado (m_r), para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniendo m_h .

Luego se coloca el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de $110^\circ \pm 5^\circ \text{C}$. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca (m_s).

La humedad se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$w = \left[\frac{(m_h - m_s)}{(m_s - m_r)} \right] * 100$$

donde:

$w = \text{humedad, \%}$

$m_h = \text{masa del recipiente mas la muestra humeda, g}$

$m_s = \text{masa del recipiente mas la muestra seca, g}$

$m_r = \text{masa del recipiente, g}$

Entonces tenemos:

$$w = \left[\frac{(584 - 581)}{(581 - 85)} \right] * 100 = 0,8$$

4.1.3 Ensayo de densidad real y neta de la absorción de agua de las arenas.

Según la norma NCh 1239 se determina la densidad real, densidad neta y absorción de agua para los pétreos finos, en este caso de la arena Biobío.

Para esto se debe conocer:

- *Densidad Real (δ_R)*: densidad en que se considera el volumen de macizo de las partículas del pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
 - *Densidad Real del Pétreo Seco (δ_{RS})*: Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
 - *Densidad Real del Pétreo Saturado Superficialmente Seco (δ_{RT})*: Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- *Densidad Neta (δ_N)*: densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas más el volumen de los poros inaccesibles.
- *Absorción de Agua (α)*: Masa de agua necesaria para llevar un pétreo de estado seco a estado saturado superficialmente seco (sss). Se expresa como porcentaje del pétreo secado en horno hasta masa constante.

En primer lugar es necesario separar por cuarteo la muestra de arena previamente lavada y registrar la cantidad que pasa por el tamiz 5 mm, lo que queda retenido se desecha si es que el porcentaje es menor a un 15% de la muestra. En este caso registró un 0 %.

Se secó por 24 horas a 110°C la muestra obtenida, la masa seca antes de sumergir al agua registró 300 gr. Luego de esto, fue necesario sumergir la muestra en agua por 24 horas, para luego secar superficialmente. El estado saturado superficialmente seco se obtiene cuando, luego de secar superficialmente, se introduce el material en un molde tronco-cónico

apisonándolo con 25 golpes. Al retirar el molde de la muestra éste debe presentar un asentamiento en el cuál no se desmorona completamente la forma del molde. Luego de ocurrido esto, se dice que la muestra presenta un estado saturado superficialmente seco, esto se registra la masa como M_{sss} .

Procedente a esto, se debe sumergir nuevamente el árido en condición saturada superficialmente seca a 500 cm³ del matraz, con la ayuda de unos pequeños golpes con la palma de la mano, evitando la creación de burbujas. Se deja reposar por una hora y se llena nuevamente hasta alcanzar la marca de calibración del matraz (500 cm³). La masa registrada por el agua y la muestra dentro del matraz condiciona el nombre de MM.

Sacar el agua del matraz evitando pérdidas del material para luego dejarlo secar a 110°C. Es necesario dejar enfriar la muestra luego de su secado. La muestra seca condiciona el nombre de Ms.

Llenar de agua el matraz hasta la marca de calibración y verificar su masa como Ma. Finalmente los resultados obtenidos fueron:

$$m_{sss} = 270 \text{ g}$$

$$M_m = 735 \text{ g}$$

$$m_s = 265 \text{ g}$$

$$M_a = 578 \text{ g}$$

Donde, la densidad real saturada superficialmente seca, Densidad neta, densidad real del árido seco y absorción corresponden a las siguientes expresiones respectivamente:

$$\rho_{R_{sss}} = \frac{m_{sss}}{M_a + m_{sss} - M_m} * 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \rho_{R_{sss}} = 2389 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{R_s} = \frac{m_s}{M_a + m_{sss} - M_m} * 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \rho_{R_s} = 2345 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho N = \frac{ms}{M_a + ms - M_m} * 1000 \text{ kg}/m^3 \quad \rightarrow \quad \rho N = 2454 \text{ kg}/m^3$$

$$\alpha = \frac{m \text{ sss} - ms}{ms} * 100 \% \quad \rightarrow \quad \alpha = 1,88 \%$$

4.2 Rectificaciones en la cantidad de agua por absorción de los materiales.

El Instituto del cemento y del hormigón en Chile ⁽¹¹⁾ ofrece tres tipos de correcciones en las dosificaciones, para una mayor rapidez se prefirió hacer la corrección del agua de amasado, la cual al agua total se le debe restar el agua aportada por los áridos; en este caso se refiere a la humedad que los áridos contienen, lo que para nuestro no será utilizado ya que se trabaja con arena seca. Pero si se rectificara por la capacidad de absorción de la arena y el almidón de papa. El almidón de papa contiene un porcentaje de absorción de agua 5,8 %, valor obtenido de un estudio realizado, por las universidades de Cordoba, del valle y de Cauca en Colombia, llamado “Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa” ⁽¹⁸⁾; y la arena de un 1,88 % por lo que se rectificara solamente por la capacidad de absorción de agua de estos materiales.

La forma en que se determinaron las correcciones sigue la siguiente ecuación.

$$w = w_t + \sum \alpha_i * m_i - \sum h_i * m_i$$

donde:

w = agua total rectificada

w_t = agua teórica

α = absorción de los materiales

h = humedad de los aridos

m = masa de los materiales

Por lo tanto la cantidad de agua para realizar la mezcla queda dada en la siguiente tabla:

Tabla 11. Cantidad de agua corregida para la mezcla.

| | Cemento (g) | Arena (g) | Aditivo (g) | Agua (ml) |
|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| M 0 % | 500 | 1500 | - | 250 |
| M 0,5 % | 500 | 1500 | 2,5 | 278,34 |
| M 0,75 % | 500 | 1500 | 3,75 | 278,41 |
| M 1 % | 500 | 1500 | 5 | 278,49 |

4.3 Ensayos de flexión y compresión

A continuación se muestran los resultados de la resistencia a la compresión para las muestras con agregado de almidón de papa en un 0,5; 0,75 y 1 % de la masa de cemento utilizada y muestra sin ningún agregado (mortero patrón).

Las resistencias se determinarán a las correspondientes 6 probetas resultantes de los trozos obtenidos del ensayo a flexión para el ensayo de compresión.

La resistencia a la compresión se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

donde:

f_m = resistencia a la compresión, MPa.

P = carga máxima total registrada por la prensa, N.

f_m = área de la superficie cargada, mm².

4.3.1 Compresión a los 7 días

Se obtuvieron para las probetas reventadas a los 7 días los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultados de ensayo de compresión a los 7 días.

| Muestra | M 0 % | | M 0,5 % | | M 0,75 % | | M 1 % | |
|---------|-------|----------------|---------|----------------|----------|----------------|-------|----------------|
| | P | f _m | P | f _m | P | f _m | P | f _m |
| 1 | 22,97 | 14,36 | 19,05 | 11,91 | 21,50 | 13,44 | 23,1 | 14,44 |
| 2 | 24,03 | 15,02 | 18,7 | 11,69 | 20,89 | 13,06 | 22,15 | 13,84 |
| 3 | 22,9 | 14,31 | 18,09 | 11,31 | 19,52 | 12,20 | 21,32 | 13,33 |
| 4 | 17,39 | 10,87 | 15,66 | 9,79 | 18,84 | 11,78 | 22,5 | 14,06 |
| 5 | 21,57 | 13,48 | 17,61 | 11,01 | 20,74 | 12,96 | 21,76 | 13,60 |
| 6 | 22,84 | 14,28 | 17,8 | 11,13 | 20,57 | 12,86 | 21,32 | 13,33 |

La resistencia a la compresión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha. Los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 13. Resistencia a la compresión a los 7 días.

| Compresión 7 días, MPa | |
|------------------------|-------|
| M 0 % | 13,72 |
| M 0,5 % | 11,14 |
| M 0,75 % | 12,71 |
| M 1 % | 13,77 |

Expresados en forma gráfica:

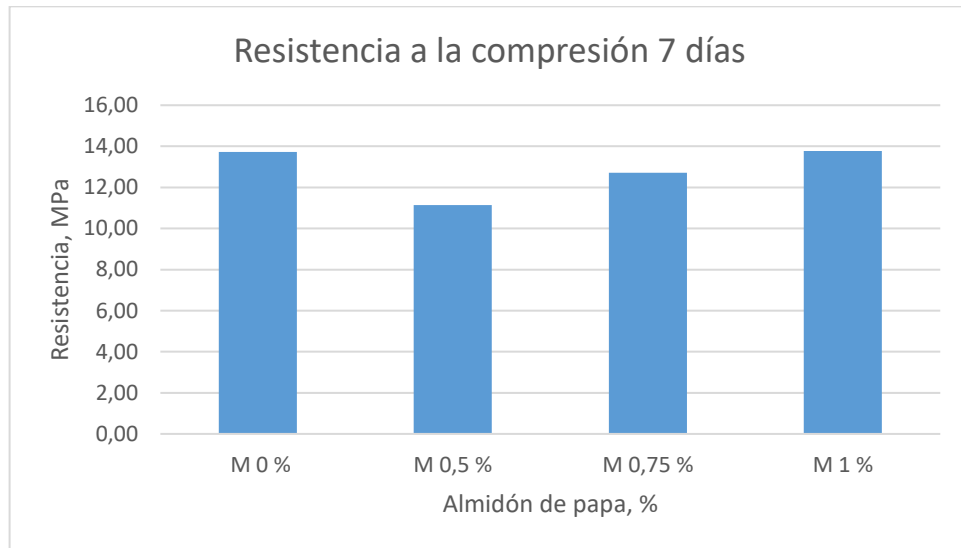


Figura 21. Resistencia a la compresión a los 7 días.

4.3.2 Compresión a los 28 días

Se obtuvieron para las probetas reventadas a los 28 días los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultados de ensayo de compresión a los 28 días.

| Muestra | M 0 % | | M 0,5 % | | M 0,75 % | | M 1 % | |
|---------|-------|----------------|---------|----------------|----------|----------------|-------|----------------|
| | P | f _m | P | f _m | P | f _m | P | f _m |
| 1 | 32,73 | 20,46 | 27,34 | 17,09 | 28,89 | 18,06 | 30,74 | 19,21 |
| 2 | 33,12 | 20,70 | 30,13 | 18,83 | 28,38 | 17,74 | 32,37 | 20,23 |
| 3 | 32,96 | 20,60 | 29,75 | 18,59 | 27,9 | 17,44 | 25,58 | 19,14 |
| 4 | 33,54 | 20,96 | 29,63 | 18,52 | 31,95 | 19,97 | 30,61 | 19,13 |
| 5 | 34,09 | 21,31 | 29,85 | 18,66 | 29,93 | 18,71 | 32,1 | 20,06 |
| 6 | 32,79 | 20,49 | 28,35 | 17,72 | 30,03 | 18,77 | 30,64 | 19,15 |

Al igual que lo mostrado anteriormente la resistencia a la compresión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha. Los resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 15. Resistencia a la compresión a los 28 días.

| Compresión 28 días, MPa | |
|--------------------------------|-------|
| M 0 % | 20,75 |
| M 0,5 % | 18,23 |
| M 0,75 % | 18,45 |
| M 1 % | 19,49 |

Gráficamente tenemos:

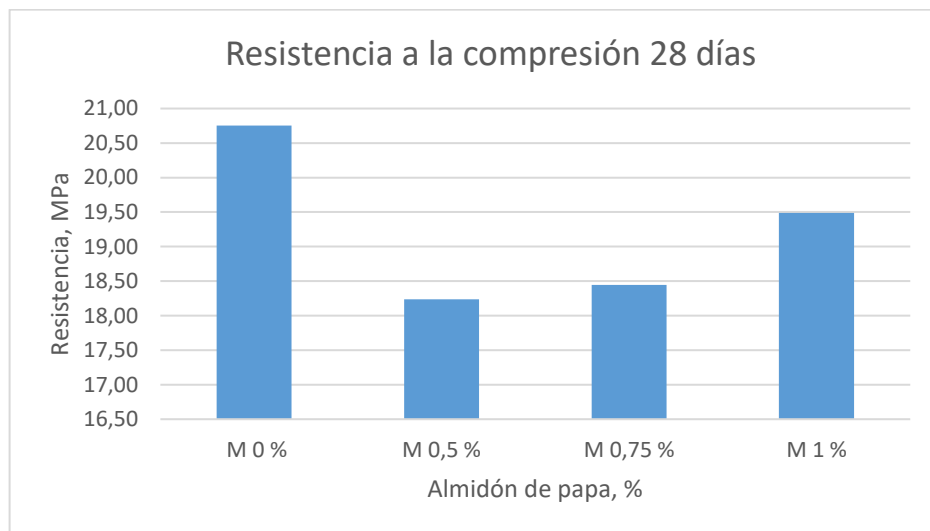


Figura 22. Resistencia a la compresión a los 28 días.

4.3.3 Flexión a los 7 días

A continuación se muestran los resultados de la resistencia a la flexión para las muestras con agregado de almidón de papa en un 0,5; 0,75 y 1 % de la masa de cemento utilizada y muestra sin ningún agregado (mortero patrón).

La resistencia a la flexión se determinó por medio de la prensa, las muestras de cada porcentaje de almidón se hicieron fallar para posteriormente determinar las resistencias promedio.

Al igual que en el caso de la compresión, la resistencia a la flexión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados. Los resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 16. Resistencia a la flexión a los 7 días.

| Flexión 7 días, MPa | |
|----------------------------|------|
| M 0 % | 4,78 |
| M 0,5 % | 3,15 |
| M 0,75 % | 3,93 |
| M 1 % | 4,73 |

Gráficamente:

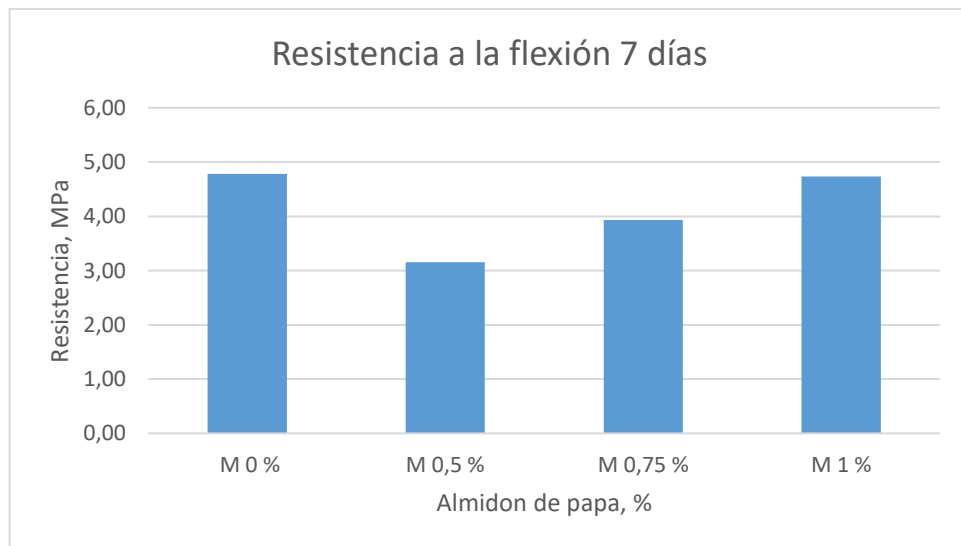


Figura 23. Resistencia a la flexión a los 7 días.

4.3.4 Flexión a los 28 días

Al igual que antes la resistencia a la flexión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha. Los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 17. Resistencia a la flexión a los 28 días.

| Flexión 28 días, MPa | |
|----------------------|------|
| M 0 % | 3,67 |
| M 0,5 % | 3,51 |
| M 0,75 % | 3,72 |
| M 1 % | 3,92 |

Representado en forma gráfica:

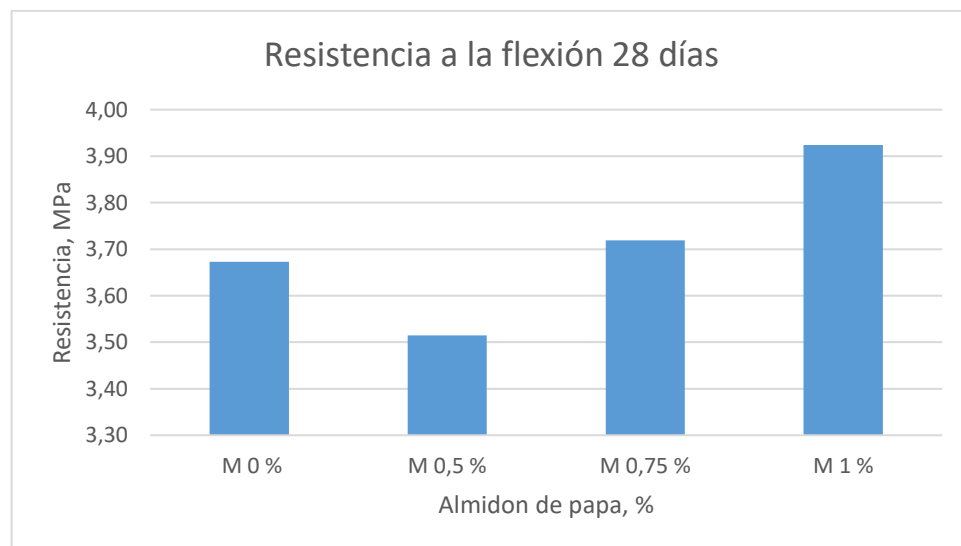


Figura 24. Resistencia a la flexión a los 28 días.

Capítulo 5

5 Conclusiones

En el ensayo de resistencia a la flexión realizado a los 7 días, se encontró que la muestra M 0,5 % disminuyó su resistencia significativamente en un 34,1 % en comparación con la muestra M 0 %, pasando de resistir 4,78 MPa a 3,15 MPa. En la muestra M 0,75 % se puede observar que también se produjo una disminución en la resistencia a la flexión del 17,7 % comparado con la muestra patrón. En cambio en la muestra M 1 % no se encontró una gran variación en la resistencia con respecto a la muestra patrón, disminuyendo solo en un 1,04 %.

Para el ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días, se encontró que la muestra M 0,5 % disminuyó su resistencia en un 4,36 % en comparación con la muestra M 0 %. En cambio en la muestra M 0,75 % se puede observar que se produjo un aumento en la resistencia a la flexión del 1,36 % comparado con la muestra patrón. Al igual que lo ocurrido con la muestra M 0,75 %, en la muestra M 1 % se encontró un aumento en la resistencia del 6,81 % con respecto a la muestra patrón.

Los resultados que se obtuvieron del ensayo a compresión a los 7 días dejan ver que en las muestras M 0,5 % y M 0,75% reducen la resistencia a la compresión del mortero en un 18,8 % y 7,36 % respectivamente, comparado con la muestra M 0 %. En la muestra M 1 % se observó un aumento en la resistencia de un 0,36 % lo que no es para nada significativo.

Lo observado para la resistencia a la compresión de los 28 días no varió con respecto a lo resultante en el ensayo de los 7 días, ya que para todas las muestras con almidón de papa como aditivo se encontró que produjeron una disminución en la resistencia a la compresión

con respecto a la muestra sin ningún tipo de aditivo (muestra patrón). Se obtuvo que para las muestras M 0,5 %; M 0,75 % y M 1% disminuyeron la resistencia a la compresión del mortero en un 12,5 %; 11,8 % y 6 % respectivamente.

Como se observa en las gráficas de las figuras 21, 22, 23 y 24 nos damos cuenta que al ir aumentando la cantidad de aditivo en la mezcla de mortero, tanto la resistencia a la flexión como a la compresión de las probetas también va en aumento.

Teniendo en cuenta el proceso realizado en el laboratorio para la elaboración de las muestras agregando almidón de papa como aditivo en porcentajes con respecto a la masa de cemento utilizada en la mezcla, se encontró que al aumentar la cantidad de almidón de papa por sobre el 1% y manteniendo fija las cantidades de los otros materiales utilizados en la mezcla (cemento, agua y arena), esta tiende a volverse menos trabajable. Es por este motivo que se estableció que se puede agregar como máximo un 1% de almidón de papa como aditivo a la mezcla sin alterar las cantidades de los demás materiales presentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el almidón de papa como aditivo en una mezcla de mortero no mejora significativamente las propiedades mecánicas de este. No cumpliéndose así la hipótesis establecida en este documento. No obstante deja una puerta abierta para una futura investigación, ya que se observa un ascenso en las resistencias tanto a la flexión como a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de aditivo en la mezcla, sería entonces de gran interés saber que sucedería si continuamos añadiendo aditivo por sobre la dosis del 1% establecida experimentalmente, pero esta vez aumentando la cantidad de agua en la mezcla. Esto debido a que el almidón de papa como producto orgánico y natural es un elemento complejo, debido a que contiene una absorción de agua alta en comparación con los demás materiales utilizados en la mezcla; cercano al 6% según lo establecido por la investigación de Armando Alvis, Carlos Velez, Hector Villada y Maite Rada-Mendoza de las universidades de Cordova, Del Valle y Cauca en Colombia respectivamente.

Además se puede notar que la resistencia a la flexión a los 28 días de la muestra M 1% supera en un 6,81% la resistencia a la flexión de la muestra patrón. Con esta observación y viendo la tendencia que siguen los resultados de las demás muestras se recomienda ampliar el estudio para evaluar las resistencias mecánicas con más tiempo de curado por ejemplo a los 60, 90 o más días.

Los morteros se pueden clasificar (según NCh – 2256) con respecto a su resistencia especificada a compresión f_m , medida en los trozos resultantes del ensayo por flexión a la edad de 28 días de la probeta de 40 mm x 40 mm x 160 mm (RILEM). En base a esto podemos observar que la clasificación para los morteros realizados agregando almidón de papa como aditivo varía con respecto a un mortero sin este aditivo.

Tabla 18. Clasificación de las muestras respecto a su resistencia a la compresión.

| | f_m 28 días, MPa | Grado del mortero |
|----------|--------------------|-------------------|
| M 0 % | 20,75 | M 21 |
| M 0,5 % | 18,23 | M 18 |
| M 0,75 % | 18,45 | M 18 |
| M 1 % | 19,49 | M 20 |

A modo de comparación con otro estudio ⁽¹²⁾ de mortero en donde se analizó el efecto de un almidón comercial a morteros de cal aérea y se ensayaron dosificaciones diferentes para analizar su influencia sobre las propiedades del material. La cantidad de aditivo agregado fue de un 0,03, 0,06, 0,15, 0,30, 0,50 %, denominando a las muestras desde PS-1 a PS-5 respectivamente. Aquí se puede observar que para la mayoría de las muestras con aditivo se produjo un aumento significativo tanto en la resistencia mecánica a la flexión como en la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días de curado.

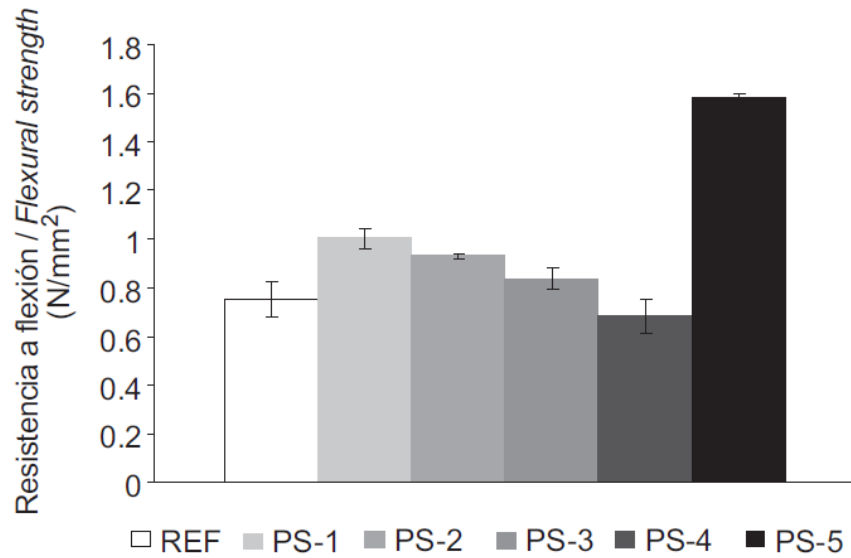


Figura 25. Resistencias a flexión a 28 días, para mortero de cal.

Fuente: Paper “Efecto de un polímero natural biodegradable en las propiedades de morteros de cal en estado endurecido”. A. Izaguirre, J. Lanas, J.I. Alvarez, España 2010.

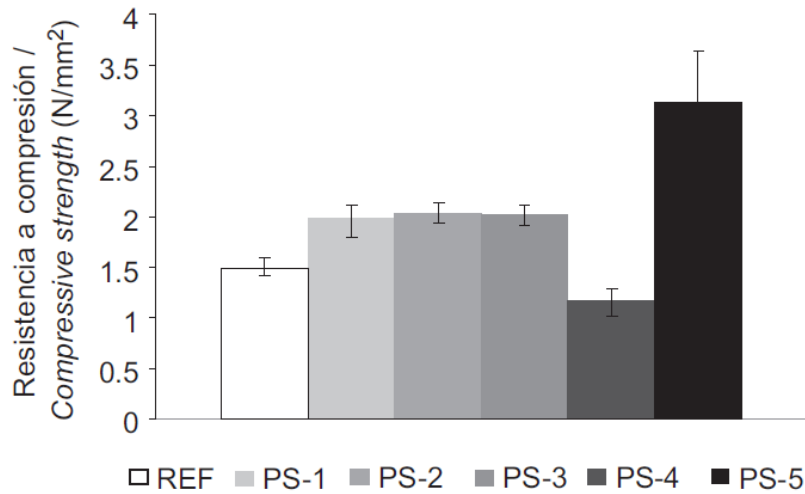


Figura 26. Resistencias a compresión a 28 días, para mortero de cal.

Fuente: Paper “Efecto de un polímero natural biodegradable en las propiedades de morteros de cal en estado endurecido”. A. Izaguirre, J. Lanas, J.I. Alvarez, España 2010.

Esta gran diferencia en los resultados puede deberse a que la reacción a nivel químico del almidón de papa es muy diferente entre el cemento y la cal. Además en los morteros de cal las resistencias mecánicas son menores a la de los morteros de cemento. También se sabe que los morteros cal endurecen mucho más lento que los morteros de cemento. Estos y otros factores pueden ser los que produzcan que al almidón de papa no produzca los mismos resultados obtenidos en esta investigación.

El almidón actúa entre otras como un espesante en la mezcla (a ciertos porcentajes), por lo tanto se recomienda llevar a cabo una investigación más a fondo sobre los efectos que puede producir el almidón de papa en una mezcla de mortero de cemento, no solo en las resistencias mecánicas. Evaluando condiciones como densidad y retracción, durabilidad, capacidad de absorción de agua, permeabilidad al vapor de agua, resistencia a la congelación, entre otras.

Capítulo 6

6 Bibliografía

- (1) NCh 2256-1-2001. Morteros - Parte 1-Requisitos generales
- (2) NCh 158 – 1967. Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento
- (3) NCh 163-1979. Áridos para morteros y hormigones- Requisitos generales
- (4) NCh 165-1977. Áridos para morteros y hormigones- Tamizado y determinación de la granulometría
- (5) NCh 2182-1995. Hormigón y mortero-Aditivos-Clasificación y requisitos.
- (6) NCh 2260-1996. Morteros - Preparación de muestras de prueba y mezclas comparativas en laboratorio.
- (7) NCh 1515-1979. Mecánica de suelos. Determinación de la humedad.
- (8) NCh 1239- 1977. Áridos para morteros y hormigones. Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.
- (9) Morteros, Guía General. Asociación nacional de fabricantes de mortero, AFAM Madrid 2003.
- (10) Concreto simple, Gerardo A. Rivera. Universidad del Cauca, Colombia.
- (11) Ich. Instituto del cemento y del hormigón en Chile
- (12) Efecto de un polímero natural biodegradable en las propiedades de morteros de cal en estado endurecido. A. Izaguirre, J. Lanas, J.I. Alvarez, España 2010.
- (13) Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Demetrio Gaspar Tebar
- (14) Sandino Pardo. Alejandro. "Materiales para Estructuras". Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá.
- (15) Guía práctica para los morteros con cal. Ancade. Asociación Nacional de Fabricantes de cales y derivados de España.
- (16) Estudio de los usos del almidón en la construcción C.E. Ferrández-García¹, M.T. Ferrández-García, M. Ferrández-Villena, J. Andreu-Rodríguez y T. García-Ortuño.

- (17) Materiales de la construcción. <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- (18) Alvis, A.; C. Vélez; H. Villada; M. Rada-Mendoza. 2008. Análisis Físico-Químico y Morfológico del Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas.

Capítulo 7

7 ANEXOS

Descripción general del equipo utilizado para realizar los ensayos de flexión y compresión de las muestras de mortero:

7.1 Máquina para ensayos de concretos PC - 42-D

La máquina para ensayos de concretos, Modelo PC-42-D ha sido diseñada para la realización de ensayos de laboratorio de muestras concretos, y bloques, adoquines y toletes, asegurando ensayos a compresión, flexión y tracción indirecta con exactitud y rapidez, facilitando el registro auténtico de los resultados de ensayo.

Aunque la operación de la máquina es totalmente manual, es muy fácil el ajuste de los parámetros del ensayo: tipo de ensayo, tamaño de la muestra, velocidad de ensayo y área de la muestra; la indicación digital con la ayuda del cadenciómetro de barras, con escala lumínica ajustada automáticamente según la velocidad del ensayo programado, permite al usuario mantener el control preciso durante el ensayo y la memoria de resultados de ensayo, junto con la impresión inmediata de estos.

Durante el ensayo se muestra la fuerza, la velocidad de esfuerzo y el esfuerzo, en tiempo real. Al finalizar el ensayo se indica la fuerza y el esfuerzo máximos y se imprimen automáticamente junto con la fecha, hora y tiempo que duro el ensayo.

7.1.1 Especificaciones técnicas

Características metrológicas:

| | |
|--------------------|---|
| Rango de medición | 200 kN (rango bajo) |
| | 1 200 kN (Opcional hasta 2 000 kN) |
| Clase de exactitud | 1% desde el 10 % del rango |
| División de escala | 0,01 kN hasta 100 kN 0,1 kN hasta carga máxima |

Ensayos

Programable para ensayos a Compresión, Flexión y tracción indirecta.

A compresión se pueden ensayar cilindros, cubos, briquetas y bloques; a flexión se ensayan vigas prismáticas con tres o cuatro apoyos y a tracción indirecta se ensayan cilindros estándar.

Tamaño de las muestras

Para cada tipo de ensayo se puede seleccionar el tamaño de la muestra a ensayar. Los tamaños, dimensiones, de las muestras, se encuentran predefinidos, acorde con las normas de referencia. Se incluyen como parámetros seleccionables tamaños y dimensiones correspondientes con moldes disponibles como productos de Pinzuar Ltda.

Unidad de medición

El sistema de medición se encuentra programado en unidades del Sistema internacional de Unidades SI (kN; MPa; MPa/s), sin embargo se puede programar para que la unidad de

indicación sea en unidades imperiales (lbf; PSI; PSI/s), o unidades métricas (kgf; kgf/cm²; kgf/cm²/s).

Velocidad de aplicación de carga

Para cada tamaño de la muestra, se encuentra pre-programada la velocidad de ensayo ideal, según las normas internacionales. De ser necesario, el usuario puede programar la velocidad de aplicación de carga deseada.

7.1.2 Tablero de indicación y control

El tablero de indicación y control se encuentra dividido en tres partes, en la parte izquierda el control de la bomba hidráulica, en el centro la del sistema de indicación y control de la medición y a la derecha el encendido general y parada de emergencia

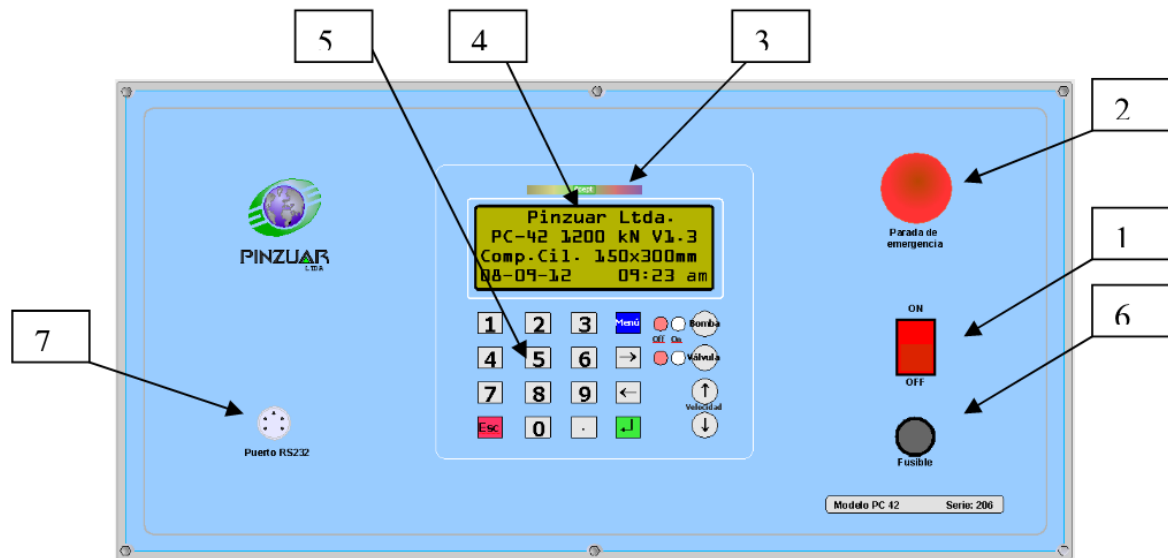


Figura 27. Tablero de indicación y control

- **Dimensiones:**

Dispositivo

Alto 360 mm

Ancho 140 mm

Fondo 110 mm

Indicador digital

Alto 134 mm

Ancho 191 mm

Fondo 100 mm

Distancia apoyos

110 mm Opcional (119 mm)

Tamaño muestra

40 mm x 40 mm x 160 mm

Operación

110 V AC / 50-60 Hz / 50 W

Interface

Puerto USB

Máquinas de ensayo

Se pueden emplear diferentes tipos de máquinas de ensayo, siempre que la altura libre y ancho para colocar la muestra sean compatibles con las dimensiones del dispositivo y que el sistema de aplicación de la fuerza permita la regulación fina de su velocidad durante el ensayo.

La capacidad de carga de la máquina debe ser mayor a 20 kN (o la carga máxima deseada)

7.2.2 Tablero de indicación y control

El dispositivo digital para ensayos RILEM ha sido implementada con un indicador digital diseñado para uso industrial, con funciones propias, teniendo en cuenta las principales necesidades y requisitos establecidos en la normas de ensayo.

La configuración de los parámetros de operación se hace a través de las teclas ubicadas en el panel frontal, incluyendo su calibración. Permite configurar el límite de carga máximo, filtro digital, punto decimal, división de escala, área de la muestra entre otros.

La presentación del indicador digital se muestra en la figura 25, donde se especifica cada uno de los componentes del indicador



Figura 28. Tablero de indicación y control.

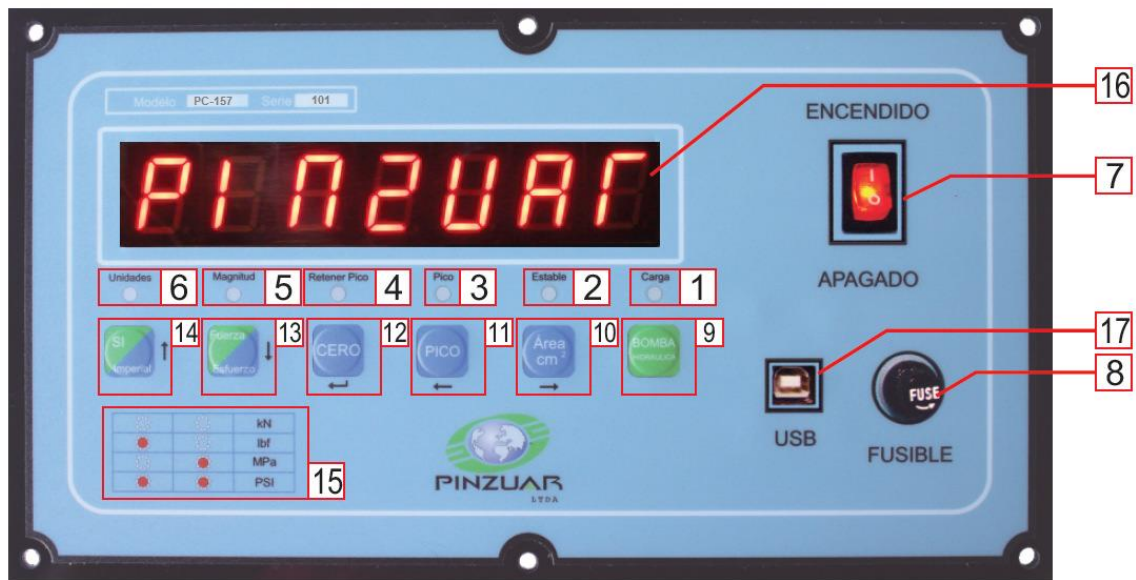


Figura 29. Esquema representativo del panel frontal del indicador.

La figura 25 es un esquema representativo del panel frontal del indicador.

1. Led indicador que permite visualizar la estabilidad de la señal de entrada.
2. Led indicador de activación de pico.
3. Led indicador activación de retención de pico.
4. Led indicador magnitud seleccionada.
5. Led indicador tipo de unidades seleccionada.
6. Interruptor de encendido.
7. Fusible de protección.
8. Tecla para programar el área de la muestra.
9. Tecla para borrar pico.
10. Tecla para ajustar la lectura del indicador a cero (valor de cero máximo permitido 1 % de la carga máxima).
11. Tecla para cambiar de magnitud, entre fuerza y esfuerzo.
12. Tecla para cambiar el tipo unidades, entre SI e Imperial.
13. Esta tabla permite revisar los posibles estados en la pantalla de visualización de datos, de acuerdo a las unidades y magnitud seleccionadas. La tabla tienen como guía los Led's indicadores de unidades y magnitud.
14. Pantalla de visualización, compuesta de 7 display de 7 segmentos de color rojo y altura de 1" (una pulgada).
15. Puerto USB.