



Escuela de Construcción Civil.

Facultad de Ingeniería.

**“INFLUENCIA SOBRE LA ADHERENCIA
MORTERO-LADRILLO DEL ADITIVO
IMPERMEABILIZANTE EN ALBAÑILERÍAS”**

Por

Carlos Andrés Sandoval Hidalgo.

Trabajo de Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Construcción y al Título de Ingeniero Constructor.

Profesor guía: Uriel Padilla Carreño.

Noviembre, 2015.

Agradecimientos.

Gracias a toda mi familia, en especial a mi pareja Claudia, mi hijo Tomás, a mi madre, padre, hermano y abuela, por estar siempre a mi lado aun en la distancia, apoyándome en este largo camino, preocupados de que nada me faltase en mi lugar de estudio al encontrarme lejos de ellos. Gracias por la confianza total que depositaron en mí, aun en los momentos difíciles.

Agradezco también a Don Aldo por ayudarme en todo lo que necesite en el laboratorio, por orientarme en todos los ensayos que tuve que realizar para el desarrollo de mi tesis.

Y finalmente muchas gracias a mi profesor guía Don Uriel Padilla Carreño, por ayudarme cuando lo necesite con consejos y palabras de apoyo, siempre disponible para ayudarme a mejorar mi trabajo. Muchas gracias por todo.

Esto es dedicado a ustedes con todo mi esfuerzo y dedicación.

Índice General.

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMIENTOS..... | 2 |
| ÍNDICE GENERAL..... | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 7 |
| RESUMEN..... | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES..... | 10 |
| 1.1. Introducción..... | 10 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 11 |
| 1.3. Objetivos de la investigación..... | 12 |
| 1.3.1. General..... | 12 |
| 1.3.2. Específicos..... | 12 |
| 1.4. Hipótesis..... | 12 |
| 1.5. Alcances y limitaciones..... | 13 |
| 1.6. Metodología de trabajo..... | 14 |
| 1.6.1. Etapas..... | 14 |
| 1.6.2. Esquema..... | 15 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1. Conceptos y definiciones..... | 16 |
| 2.2. Albañilería..... | 19 |
| 2.3. Unidad de albañilería..... | 21 |
| 2.3.1. Clasificación de los ladrillos cerámicos..... | 21 |
| 2.4. Mortero..... | 22 |
| 2.4.1. Generalidades..... | 22 |
| 2.4.2. Aplicaciones del mortero..... | 23 |
| 2.4.3. Mortero de junta..... | 23 |
| 2.4.4. Requisitos del mortero de junta..... | 24 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.4.5. | Estados del mortero de junta..... | 24 |
| 2.4.6. | Componentes del mortero..... | 25 |
| 2.5. | Aditivos..... | 27 |
| 2.5.1. | Generalidades..... | 27 |
| 2.5.2. | Tipos de Aditivos..... | 27 |
| 2.5.3. | Aditivo impermeabilizante..... | 27 |
| 2.6. | Adherencia..... | 28 |
| 2.6.1. | Generalidades..... | 28 |
| 2.6.2. | Fenómeno físico..... | 28 |
| 2.6.3. | Factores relacionados con la adherencia..... | 29 |
| 2.6.4. | Importancia de la adherencia en la albañilería..... | 30 |
| 2.7. | Permeabilidad..... | 32 |
| 2.8. | Ensayes a realizar..... | 33 |
| 2.8.1. | Ensaye de consistencia..... | 33 |
| 2.8.2. | Ensaye De Permeabilidad..... | 34 |
| 2.8.3. | Ensaye de resistencia mecánica..... | 35 |
| 2.8.4. | Ensaye de adherencia a cizalle..... | 36 |
| 3. | DISEÑO DE LA EXPERIENCIA..... | 38 |
| 3.1. | Generalidades..... | 38 |
| 3.2. | Programa experimental..... | 39 |
| 3.3. | Diseño experimental..... | 40 |
| 3.3.1. | Definición de variables y parámetros..... | 41 |
| 3.3.2. | Cantidad de muestras y probetas..... | 41 |
| 3.3.3. | Especificación de los grupos de muestras..... | 42 |
| 3.4. | Método de dosificación..... | 44 |
| 3.4.1. | Generalidades..... | 44 |
| 3.4.2. | Dosificación por requisitos..... | 45 |
| 3.4.3. | Procedimiento a seguir para la dosificación..... | 46 |
| 3.4.4. | Ecuación básica para la dosificación..... | 48 |
| 3.4.5. | Corrección en la dosificación..... | 49 |
| 3.4.6. | Dosificación aproximada..... | 49 |
| 3.5. | Equipos utilizados en la confección de morteros..... | 51 |
| 3.6. | Esquema general de trabajo..... | 52 |
| 4. | DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN - OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS..... | 53 |
| 4.1. | Granulometría de la arena..... | 53 |
| 4.2. | Densidad, absorción y humedad de la arena..... | 55 |
| 4.3. | Dosificación final a utilizar..... | 56 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 4.4. | Realización de ensayos..... | 57 |
| 4.4.1. | Ensaye de consistencia..... | 57 |
| 4.4.2. | Ensaye de resistencia mecánica..... | 60 |
| 4.4.3. | Ensaye de permeabilidad..... | 64 |
| 4.4.4. | Ensaye de adherencia a cizalle..... | 68 |
| 4.5. | Análisis de resultados..... | 74 |
| 4.5.1. | Ensaye de consistencia..... | 74 |
| 4.5.2. | Ensaye de resistencia mecánica..... | 75 |
| 4.5.3. | Ensaye de permeabilidad..... | 77 |
| 4.5.4. | Ensaye de adherencia a cizalle..... | 79 |
| 5. | CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES..... | 81 |
| 5.1. | Conclusiones..... | 81 |
| 5.2. | Futuras investigaciones..... | 83 |
| | Bibliografía..... | 84 |

Índice de Tablas.

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 – Clasificación del cemento según su composición. | 26 |
| Tabla 2.2 – Clasificación de la consistencia del mortero. | 33 |
| Tabla 3.1 – Cantidad de muestras y probetas. | 42 |
| Tabla 3.2 - Criterio de consistencia utilizada para la dosificación. | 46 |
| Tabla 3.3 - Determinación de la dosis de agua y aire (l/m^3) de un mortero. | 46 |
| Tabla 3.4 - Razones agua/cemento para dosificaciones de partida. | 47 |
| Tabla 3.5 - Pesos específicos aproximados de los materiales. | 48 |
| Tabla 4.1 - Granulometría de nuestra arena. | 53 |
| Tabla 4.2 - Muestras de arena para densidad, absorción y humedad. | 55 |
| Tabla 4.3 - Densidad, absorción y humedad de nuestra arena. | 55 |
| Tabla 4.4 - Consistencia mortero patrón. | 58 |
| Tabla 4.5 - Consistencia aditivo en proporción 1:8. | 59 |
| Tabla 4.6 - Consistencia mortero con aditivo en proporción 1:10. | 59 |
| Tabla 4.7 - Consistencia mortero con aditivo en proporción 1:12. | 59 |
| Tabla 4.8 – Resistencia a la compresión mortero patrón. | 62 |
| Tabla 4.9 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:12. | 62 |
| Tabla 4.10 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:10. | 62 |
| Tabla 4.11 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:8. | 63 |
| Tabla 4.12 – Penetración de agua en mortero patrón. | 67 |
| Tabla 4.13 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:12. | 67 |
| Tabla 4.14 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:10. | 67 |
| Tabla 4.15 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:8. | 67 |
| Tabla 4.16 – Adherencia a cizalle. Mortero patrón, 15 minutos humectación. | 71 |
| Tabla 4.17 – Adherencia a cizalle. Mortero patrón, 30 minutos humectación. | 71 |
| Tabla 4.18 – Adherencia a cizalle. Aditivo 1:12, 15 minutos humectación. | 71 |
| Tabla 4.19 – Adherencia a cizalle. Aditivo 1:12, 30 minutos humectación. | 72 |
| Tabla 4.20 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:10, 15 minutos humectación. | 72 |
| Tabla 4.21 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:10, 30 minutos humectación. | 72 |
| Tabla 4.22 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:8, 15 minutos humectación. | 72 |
| Tabla 4.23 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:8, 30 minutos humectación. | 73 |
| Tabla 4.24 - Resumen resultados ensaye de consistencia. | 74 |
| Tabla 4.25 - Resumen resultados ensaye de resistencia mecánica. | 75 |
| Tabla 4.26 - Resumen resultados ensaye de Permeabilidad. | 77 |
| Tabla 4.27 - Resumen resultados ensaye de adherencia a cizalle. | 79 |

Índice de Figuras.

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Esquema albañilería simple. | 19 |
| Figura 2.2 – Esquema albañilería armada. | 19 |
| Figura 2.3 – Esquema albañilería confinada. | 20 |
| Figura 2.4 - Esquema ensaye permeabilidad. | 34 |
| Figura 2.5 - Esquema ensaye resistencia mecánica. | 35 |
| Figura 2.6 - Esquema ensaye adherencia a cizalle. | 37 |
| Figura 4.1 - Grafico - granulometría de la arena a utilizar. | 54 |
| Figura 4.2 – Mortero con el molde troncónico sobre mesa de sacudidas. | 57 |
| Figura 4.3 – Mortero sin el molde. | 57 |
| Figura 4.4 - Mortero luego de los 25 golpes en la mesa de sacudida. | 58 |
| Figura 4.5 - Llenado de molde para ensaye de resistencia mecánica. | 60 |
| Figura 4.6 - Vibrado del mortero. | 60 |
| Figura 4.7 – Curado de probetas. | 60 |
| Figura 4.8 – Desmoldado de probetas. | 60 |
| Figura 4.9 – Equipo para ensaye a flexión. | 61 |
| Figura 4.10 – Equipo para ensaye a compresión. | 61 |
| Figura 4.11 – Probetas luego del ensaye a compresión. | 61 |
| Figura 4.12 – Probetas después de ensaye a flexión. | 61 |
| Figura 4.13 - Materiales y betonera para confeccionar el mortero. | 64 |
| Figura 4.14 – Mortero en los moldes para ensaye de permeabilidad. | 64 |
| Figura 4.15 – Curado de las probetas. | 64 |
| Figura 4.16 – Probetas lijadas, con el anillo y la pasta de sellado. | 65 |
| Figura 4.17 – Probetas en equipo para ensaye de permeabilidad. | 65 |
| Figura 4.18 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:12. | 66 |
| Figura 4.19 – Penetración de agua en mortero patrón. | 66 |
| Figura 4.20 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:8. | 66 |
| Figura 4.21 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:10. | 66 |
| Figura 4.22 – Humectación de los ladrillos. | 68 |
| Figura 4.23 – Unión primeros dos ladrillos. | 68 |
| Figura 4.24 – Unión de los 3 ladrillos. | 69 |
| Figura 4.25 – Refrentado de los ladrillos laterales. | 69 |
| Figura 4.26 – Refrentado de los ladrillos centrales. | 69 |
| Figura 4.27 – Equipo para realizar el ensaye. | 70 |
| Figura 4.28 – Probeta luego del ensaye de adherencia a cizalle. | 70 |
| Figura 4.29 – Grafico de resistencia a la compresión de las probetas. | 75 |
| Figura 4.30 – Grafico de permeabilidad de las probetas. | 78 |
| Figura 4.31 – Grafico de resistencia a la compresión de las probetas. | 80 |

Resumen.

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de hormigón de la Universidad de Valparaíso y su finalidad principal fue determinar la influencia del aditivo impermeabilizante en la adherencia de morteros de junta y ladrillos cerámicos hechos a máquina para poder mejorar simultáneamente el problema de la adherencia y la permeabilidad que se presenta en las edificaciones construidas en albañilería.

Para lograr este objetivo se utilizó un aditivo impermeabilizante de marca Sika 1, con el cual se fabricaron distintas probetas de mortero utilizando el producto en distintas proporciones para poder obtener la dosis óptima que generara un aumento en la adherencia y una disminución de la permeabilidad del mortero de modo simultáneo. Se realizaron ensayos al mortero en estado fresco y en estado endurecido y se comprobó que el aditivo impermeabilizante no afecta las propiedades del mortero para ser utilizado como mortero de junta, por lo que se prosiguió a realizar el ensayo de adherencia a cizalle, el cual proporciono los resultados para generar las conclusiones de la investigación.

Con los resultados obtenidos mediante la investigación en el laboratorio a través del ensayo de adherencia a cizalle se pudo llegar a la conclusión que el aditivo impermeabilizante no mejora la adherencia utilizándose en proporciones altas, sino que a medida que más aditivo se utiliza la adherencia va disminuyendo.

Es recomendado utilizar este aditivo para mejorar la permeabilidad de las construcciones de albañilería pero en proporciones adecuadas para así, al mejorar la impermeabilidad del mortero no afectar la adherencia entre este y la unidad y generar problemas que puedan afectar a las estructuras construidas en albañilería.

En si los resultados de esta investigación fueron reveladores al llegar a un desenlace inesperado en relación a la hipótesis que se plantea en los antecedentes generales de este trabajo de investigación.

Palabras claves: Mortero, aditivo, permeabilidad, albañilería, adherencia a cizalle, dosificación, ensayos, resistencia mecánica.

Abstract.

This research was conducted in laboratories concrete Valparaiso University and its main purpose was to determine the influence of waterproofing additive in adhesive mortar board and ceramic bricks machine made to improve the problem of adhesion simultaneously and permeability that occurs in the buildings constructed in masonry.

To achieve this goal a waterproofing additive Sika mark 1 was used, whereby different mortar specimens were made using the product in varying proportions to obtain the optimum dose generate increased adhesion and decreased permeability mortar simultaneously. We performed assays mortar in the fresh state and in the hardened state and found that the waterproofing additive does not affect the properties of mortar to be used as grout, which was continued to perform the assay Adhesion to shear, which provided the results to generate research findings.

With the results obtained by laboratory research through tested in adherence to shear it was possible to conclude that the waterproofing additive does not improve the adhesion used in high proportions, but as more additive is used adhesion decreases .

It is recommended to use this additive to enhance the permeability of the masonry buildings but in suitable proportions so by improving the impermeability of the mortar not affect the adhesion between this and the unity and create problems that may affect the structures built in masonry.

Whether the results of this research were revealing to reach an unexpected outcome in relation to the hypothesis that arises in the general background of this research.

1. Antecedentes Generales.

1.1. Introducción.

La adherencia entre mortero-ladrillo es algo fundamental en las construcciones de albañilería, ya que está ligada directamente a la resistencia que presentará el muro, o la estructura completa, una vez terminada la obra. Se sabe también que la adherencia mortero-ladrillo depende de las propiedades del ladrillo y del mortero que se utilice en cada construcción, además de una correcta ejecución in-situ de ambos elementos.

Se tiene que en toda construcción de albañilería se presentan problemas de adherencia entre el mortero y los ladrillos, ya sea por la defectuosa elaboración de dicho mortero, entre otros problemas que se puedan presentar.

Este problema afecta directamente a la estructura en algún instante de su funcionalidad, debido a que, sin una buena adherencia, la estructura no podrá responder frente a las grandes sollicitaciones a las que estará expuesta durante toda su vida útil, siendo una de las más frecuentes, las sollicitaciones generadas por los constantes sismos que afectan a nuestro país.

Por otra parte tenemos también el problema que se presenta de la permeabilidad en estas construcciones, lo cual, a parte de afectar a la estructura y a los habitantes de las viviendas con este problema, afecta directamente a los elementos constituyentes ocasionando una disminución de la vida útil del inmueble y aumento de las enfermedades de los moradores.

Debido a lo anterior es que surge la necesidad de afrontar este tema más a fondo, siendo así, el motivo de esta investigación, la incorporación de aditivo impermeabilizante al mortero, para resolver el problema de la permeabilidad y de paso verificar la influencia de este aditivo en la adherencia de los morteros de junta en ladrillos cerámicos hechos en máquina.

1.2. Planteamiento del problema.

Los daños ocasionados por los recientes movimientos telúricos en las construcciones de albañilería, han desarrollado la necesidad de mejorar los materiales y los procedimientos para la construcción de edificaciones en albañilería (Salinas, 2012). Además, se tiene que, la albañilería es el sistema constructivo de edificación de viviendas más usado en nuestro país (I.N.E, 1999).

Con esto surge la albañilería de ladrillos cerámicos como una de las soluciones más usadas por las constructoras, debido a que, los ladrillos cerámicos mejoran la calidad térmica de las viviendas en distintas zonas del país, sin incrementos de costos significativos (Andrade, 2005), presentan ventajas en cuanto a lo económico y rapidez de ejecución, debido a estas mejoras es que, entre los años 1994 y 1998 el 41,1% de las viviendas construidas utilizaron ladrillos cerámicos en la confección de muros(I.N.E, 1999).

Por otra parte, en la albañilería, se tiene los morteros de junta que, según Montoya et ál (2009) el mortero es uno de los materiales de construcción más utilizados en la actualidad por su bajo costo. R. Salamanca (2001) menciona también que, a pesar que el mortero de junta solo ocupa entre un 10 y un 20% del total del volumen de un muro de albañilería, pasa a ser de gran importancia, debido a que es él quien se encarga de mantener unidas compactamente las unidades de albañilería (Salinas, 2012). Se agrega también que el mortero como material es fundamental en la industria de la construcción.

Debido a esto es que se desea estudiar los morteros de junta para construcciones de albañilería en base a ladrillos cerámicos hecho a máquinas, ya que este material, el mortero, a pesar de ser tan utilizado, no cuenta con un estudio acorde a su utilización.

Pero surge un grave problema en este tipo de edificaciones, el de la adherencia entre el mortero y los ladrillos, ya sea por una mala elaboración del mortero afectando sus propiedades, entre otras circunstancias que se puedan presentar. Esta gran problemática afecta demasiado a la estructura, debido a que sin una adherencia correcta, la estructura no se comporta como un elemento uniforme, originando potenciales deficiencias en la resistencia.

Por otro parte, tenemos el problema de la permeabilidad, el cual es uno de los principales factores que influyen en la durabilidad de este tipo de construcciones, las cuales son las de albañilería. Debido a esto es que también se requiere atender esta problemática, además del problema de adherencia.

Pero como se tiene también que, el empleo de aditivos y adiciones a llegado a constituir una metodología habitual en la confección de hormigones y morteros (Cornejo, 2001), es que se desea evaluar la incorporación de aditivo impermeabilizante, para que este mejore las propiedades del mortero y así, poder analizar las variaciones de adherencia que este provoque, para luego verificar, si con esta medida, se puede mejorar la adherencia mortero-ladrillo y, así mejorar aún más la construcción de edificaciones de albañilería.

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1. General.

Determinar la influencia del aditivo impermeabilizante en la adherencia de morteros de junta y ladrillos cerámicos hechos a máquina para verificar si con esta medida, se puede solucionar el problema de la permeabilidad y la adherencia de modo simultáneo.

1.3.2. Específicos.

- Determinar consistencia, resistencia mecánica y permeabilidad de los morteros confeccionados con aditivo impermeabilizante para ver que cumplan con los requisitos exigidos por norma.
- Determinar adherencia máxima al cizalle de los conjuntos mortero-ladrillo confeccionados.
- Encontrar una óptima dosificación del aditivo impermeabilizante que proporcione un aumento en la adherencia.
- Realizar mediante comparaciones de ensayos realizados, tabla que indique la influencia del aditivo impermeabilizante sobre la adherencia mortero-ladrillo.

1.4. Hipótesis.

“El uso de aditivos impermeabilizantes en la dosificación del mortero de junta aumenta la adherencia mortero-ladrillo”

1.5. Alcances y limitaciones.

- Este estudio se referirá a morteros para junta tradicionalmente hechos en obra, con lo que se deja afuera a los morteros predosificados.
- Se utilizará cemento Portland puzolánico grado corriente de Cementos Melón.
- Este proyecto de investigación se realizará con ladrillos cerámicos hechos a máquina de dimensiones 29 x 14 x 7,1 cm.
- Se realizarán ensayos de adherencia al cizalle con dos tiempos distintos de humectación de los ladrillos, los cuales tendrán una duración de 15 y 30 minutos.
- Los ladrillos cerámicos serán unidos con mortero de junta con y sin aditivo impermeabilizante, realizando variaciones en su dosificación.
- El aditivo a utilizar corresponde al aditivo impermeabilizante Sika 1, de empresa Sika S.A. Chile, por lo que los resultados de esta investigación estará asociado a este producto.
- Se mantendrá constante la razón agua-cemento y la arena en los distintos grupos de muestras.
- La arena a utilizar deberá cumplir con la granulometría definida por Nch 163 Of 2013.
- Los ensayos se realizarán en laboratorios, con las condiciones ambientales correspondientes a la comuna de Valparaíso, Quinta Región.

1.6. Metodología de trabajo.

1.6.1. Etapas.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en 3 etapas, para así lograr los objetivos de forma ordenada y eficiente. Dichas etapas se detallan a continuación:

a. Etapa N°1.

Obtención y utilización de la literatura (marco teórico).

En esta etapa se realizó la revisión bibliográfica, para así poder generar el marco teórico de la investigación, y con esto, recolectar la mayor cantidad de información necesaria para ejecutar de forma correcta los pasos a seguir para lograr nuestros objetivos, como la dosificación requerida para la confección de los morteros a utilizar, la correcta elaboración de probetas y los ensayos correspondientes para determinar si existe una mejora en la adherencia mediante la incorporación de aditivo impermeabilizante.

b. Etapa N°2.

Etapas experimental de la investigación.

Esta etapa correspondió al desarrollo experimental del trabajo de investigación, el cual se llevó a cabo mediante la elaboración de morteros, ya sea el mortero patrón o el elaborado con distintas dosificaciones de aditivo, en la cual se realizan los ensayos requeridos para lograr cumplir los objetivos planteados en la etapa anterior y así generar datos específicos que se puedan utilizar en la etapa n°3 que se detalla a continuación.

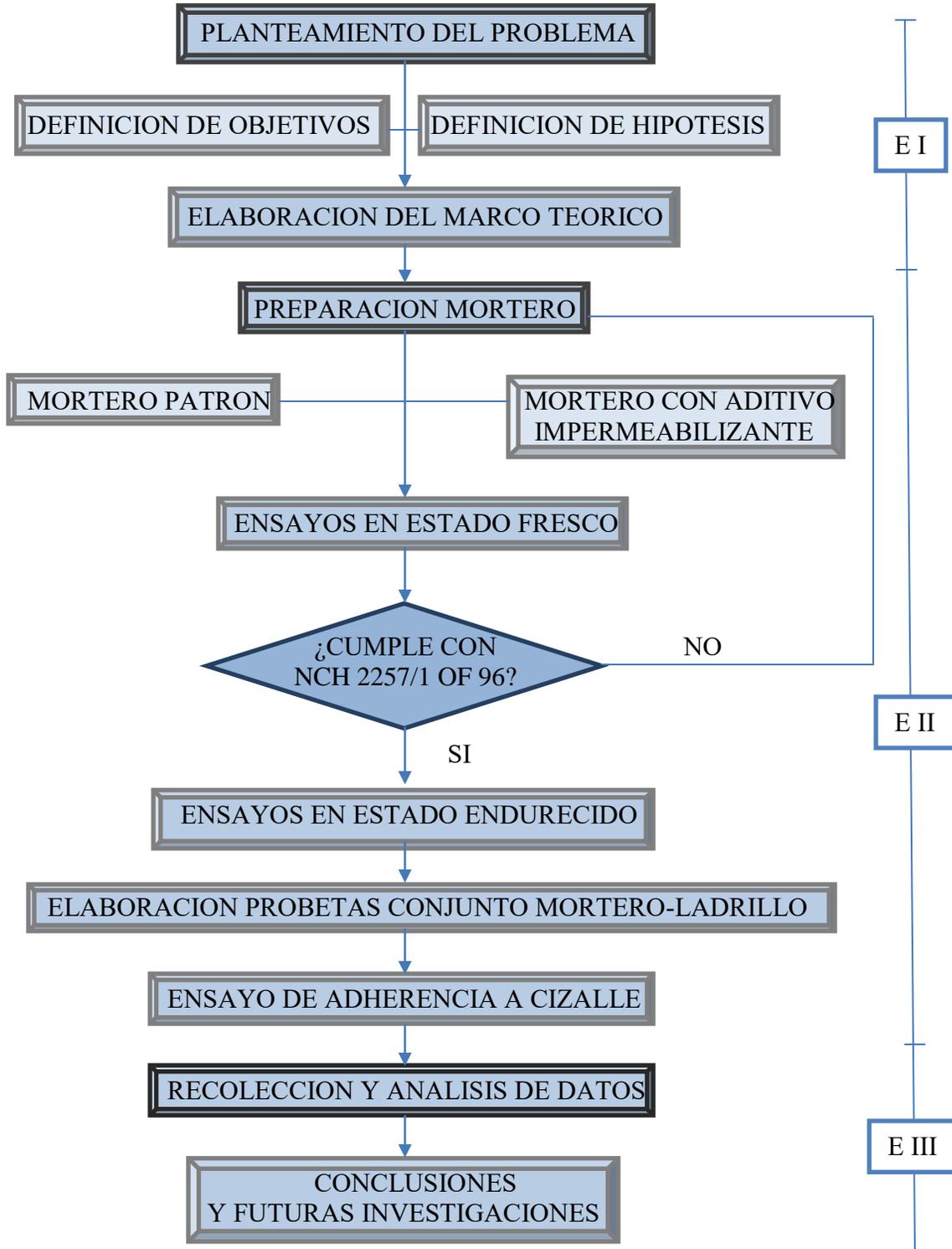
c. Etapa N°3.

Recolección, análisis y conclusiones de los datos obtenidos.

Esta es la última etapa de nuestro trabajo de investigación, y es donde se recolectan y analizan minuciosamente los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en los laboratorios, para así, llegar a conclusiones sobre nuestra investigación, y con esto, conocer la influencia de los aditivos impermeabilizantes sobre la adherencia mortero-ladrillo en albañilerías de ladrillos cerámicos hechos a máquina.

1.6.2. Esquema.

El siguiente esquema representa la metodología de trabajo a realizar en este trabajo de investigación.



2. Marco Teórico.

En este segundo capítulo se realizó una revisión sistemática de todos los temas relacionados con nuestro trabajo de investigación, entregando definiciones de palabras claves que aparecen a largo del desarrollo del presente informe, para así, facilitar la comprensión en su lectura, entregando además un resumen de todo lo necesario para comprender el tema central de la investigación, dando conceptos como la albañilería, el mortero, los aditivos, entre otros de igual importancia.

2.1. Conceptos y definiciones.

2.1.1. Albañilería.

Material estructural compuesto por unidades de albañilería ordenadas en hiladas según un aparejo prefijado las que están asentadas con mortero.

2.1.2. Hilada.

Conjunto de unidades de albañilería ubicadas en un mismo plano.

2.1.3. Unidades de albañilería.

Se define como pieza simple empleada en la construcción de albañilería, ya sea ladrillo cerámico, bloque de hormigón u otro.

2.1.4. Mortero.

Material de construcción que resulta de la mezcla de agua, arena, cemento y cal, eventualmente aditivo, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia.

2.1.5. Mortero de junta.

Mortero que se emplea para unir monolíticamente las unidades de albañilería de piedras, ladrillos o bloques de hormigón.

2.1.6. Cemento.

Material que se obtiene de la pulverización del Clinker, que al ser amasado con agua, fragua y se endurece.

2.1.7. Agua de amasado.

Agua que contiene el mortero fresco, descontando el agua absorbida por los áridos hasta la condición de saturado superficialmente seco. Debe cumplir con la norma chilena Nch1498 of 82.

2.1.8. Granulometría.

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas (granos) que constituyen un árido, determinada de acuerdo con la nprma chilena Nch 165 Of 2009.

2.1.9. Árido.

Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaños estables.

2.1.10. Arena (árido fino).

Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal de 5mm y es retenido en el de 0,080mm, con las tolerancias establecidas en la Nch 163 Of 2013.

2.1.11. Razón agua/cemento.

Es el cociente entre las cantidades de agua y de cementos existentes en el mortero fresco. Se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de mortero.

2.1.12. Conglomerante.

Producto que al reaccionar químicamente con agua, generalmente en forma estable e irreversible, endurece y adquiere resistencia (por ejemplo: cemento hidráulico, cemento de albañilería, cales hidráulicas).

2.1.13. Aglomerante.

Producto que en presencia de agua une mediante cambios físicos, generalmente en forma reversible (por ejemplo: material arcilloso, cales hidratadas).

2.1.14. Curado.

Es el proceso de mantención y protección del hormigón o mortero de junta que proporciona un adecuado contenido de humedad y temperatura que se inicia inmediatamente después de su colocación y terminación en el elemento construido.

2.1.15. Adherencia.

Atracción molecular físico-química entre la superficie del ladrillo y el mortero de junta en íntimo contacto.

2.1.16. Permeabilidad.

Propiedad de los materiales de permitir el paso de fluidos sin alterar su propia estructura.

2.1.17. Porosidad.

Cualidad de algunos cuerpos de tener pequeñísimas cavidades o intersticios que, desde luego, disminuyen el peso de dicho. Estos minúsculos espacios se denominan poros.

2.1.18. Poros.

Espacios vacíos interiores de una partícula de árido o de la masa de mortero.

2.1.19. Refrentado.

Procedimiento de aplicación y moldeo de la capa de refrentado sobre una superficie de carga en una probeta de hormigón o mortero, destinado a corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre caras con el fin de obtener la mejor coincidencia posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

2.1.20. Capa de refrentado.

Capa de material aplicado y moldeado que recubre una superficie de carga en una probeta de hormigón o mortero.

2.2. Albañilería.

La Albañilería o Mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tapias, ladrillos y bloques). Este sistema fue creado por el hombre a fin de satisfacer sus necesidades, principalmente de vivienda (San Bartolomé, 1994).

La albañilería se divide en 3 tipos:

- Albañilería simple.

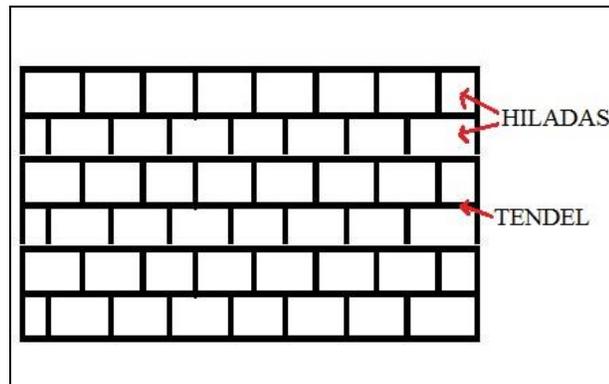


Figura 2.1 – Esquema albañilería simple.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Albañilería armada.

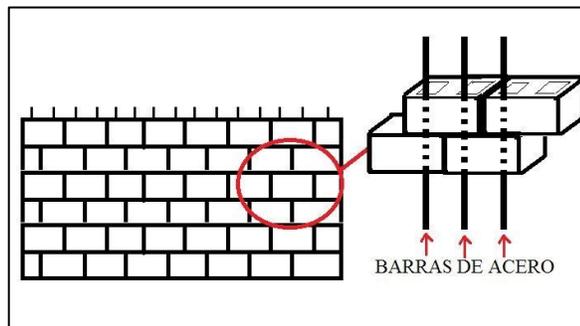


Figura 2.2 – Esquema albañilería armada.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Albañilería confinada.

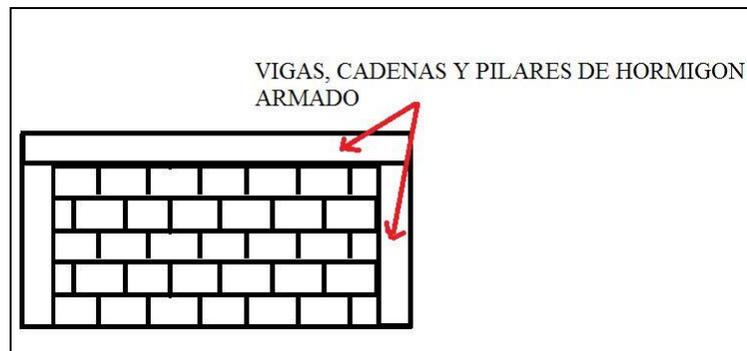


Figura 2.3 – Esquema albañilería confinada.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los inicios en Chile de la construcción con albañilería se remontan al siglo XIX donde se inician las construcciones en ladrillos cerámico de arcilla cocida (Rifo, 2007).

En nuestro país, la albañilería se utiliza principalmente en dos de sus tres tipos: Albañilería armada y albañilería confinada.

La albañilería armada se define como aquella que lleva refuerzos de barras de acero en su estructura, estos refuerzos consisten principalmente en tensores y estribos (refuerzos verticales y horizontales respectivamente), además de tener relleno de hormigón de gravilla en todos los lugares en que se encuentran esta armadura vertical, se considera que estos 3 materiales (mortero, unidad y acero) se diseñan para resistir el conjunto de los diversos esfuerzos tensionales (Salazar, 1993).

La albañilería armada se rige en nuestro país por la norma chilena NCh1928 Of 93- “Albañilería armada – requisitos para el diseño y cálculo”.

La albañilería confinada o también conocida como albañilería reforzada, como su nombre lo dice, es reforzada con pilares, vigas y cadenas de hormigón armado, estos elementos enmarcan y se hormigonan contra el paño de albañilería otorgándole al conjunto propiedades estructurales de muy buena calidad y resistencia.

Este material se rige por la norma NCh2123 of 2003 – “albañilería confinada”.

La utilización de los ladrillos cerámicos en la confección de albañilerías se comenzó a usar con mayor frecuencia alrededor de los años 1994 y 1998, donde el instituto nacional de estadísticas registro un aumento en el uso de estos ladrillos en la confección de los muros de albañilerías.

2.3. Unidad de albañilería.

Las unidades de albañilería se definen según norma chilena Nch2123 of 1997 como una pieza simple empleada en la construcción de albañilería, ya sean bloques de hormigón, ladrillos cerámicos hechos a mano o a máquina, entre otros.

Debido a que los ladrillos cerámicos son los más utilizados en nuestro país debido a sus grandes ventajas, ya sea, con respecto a su buen rendimiento debido a su fácil colocación y menor cantidad de ladrillos utilizados para su producir un m², además de las buenas condiciones de aislación y de resistencia, es que detallaremos más sobre estos.

2.3.1. Clasificación de los ladrillos cerámicos.

Esta clasificación se hace mediante la norma Nch169 of 2001, pero exclusivamente para los ladrillos cerámicos hechos a máquina, por lo que los artesanales no entran en esta clasificación. Esta clasificación es realizada para ladrillos industriales que se utilizan en la construcción de viviendas, edificios entre otras obras civiles.

Según las propiedades físicas y mecánicas y también de sus características asociadas a forma y terminación los ladrillos cerámicos se clasifican en:

a) Clasificación por clases.

- Ladrillos macizos (MqM).
Unidades sin perforaciones ni huecos.
- Ladrillos perforados (MqP).
Con perforaciones y huecos, cuyo volumen es inferior al 50% del volumen bruto o total del ladrillo.
- Ladrillos huecos (MqH).
Estas unidades tienen huecos y perforaciones cuyo volumen supera al 50% del volumen total o bruto de la unidad.

b) Clasificación por grados.

- Según los requisitos de resistencia a la compresión, los ladrillos cerámicos se clasifican en grado 1, grado 2 o grado 3.

c) Clasificación por uso.

Según el uso que se le dé a los ladrillos cerámicos estos se clasifican en ladrillos de cara vista (V) o ladrillos para ser revestidos (NV).

2.4. Mortero.

El mortero es un material usado generalmente en la construcción de edificaciones, las cuales cumplen diferentes roles, dependiendo de la función específica que deba cumplir (Salinas, 2012).

El mortero aparece como material de construcción aun antes que el hormigón, en el desarrollo de la civilización humana (Zabaleta y Egaña, 1989) y aun así no se han desarrollado los estudios suficientes acorde a su gran utilización en nuestro país.

Sus principales componentes son el agua, el cemento y la arena, los cuales se deben mezclar homogéneamente y en cantidades previamente dosificadas para lograr su correcta elaboración y así pueda cumplir con su función como mortero, ya sea para la cual se haya confeccionado.

2.4.1. Generalidades.

El correcto empleo de los morteros en obras va a depender de la aplicación que a este se destine, pero independientemente de esto, siempre se deben tener en consideración las siguientes condiciones:

- Un buen almacenamiento de los materiales que lo componen, ya sean los áridos, el cemento y el agua, para así evitar que dichos materiales se contaminen de agentes nocivos arriesgando la calidad del mortero.
- Una buena fabricación del mortero, ya sea realizando una buena medición de los materiales a utilizar en su elaboración, realizando un buen amasado para así obtener una mezcla más homogénea, etc.
- Un buen transporte del mortero elaborado a su área de colocación, ya sea mediante carretilla, capacho, etc.
- Una buena puesta en obra del mortero confeccionado, realizando una buena preparación de la superficie donde se colocara dicho mortero, ya sea limpiándola mediante la aplicación de agua a presión, en superficies amplias prepicándola manualmente o de forma mecánica, etc., además de una correcta colocación y compactación del mortero y realizando una buena terminación de las superficies.
- Por último una buena protección al mortero mediante un correcto curado para así, mantener un grado suficiente de humedad interna del mortero y asegurar un buen desarrollo de las propiedades hidráulicas de la pasta de cemento.

2.4.2. Aplicaciones del mortero.

Se sabe que para la fabricación de los morteros se utilizan básicamente los mismos materiales que componen el hormigón, es decir un árido, pasta de cemento y eventualmente, aditivos y adiciones, pero sin embargo, las funciones que cumple son diferentes (Zabaleta y Egaña, 1989).

Las funciones o aplicaciones que se dan al mortero son las siguientes:

- Se utiliza como mortero de junta para unir las unidades en la albañilería.
- Se utiliza como mortero de pega, para la unión de baldosas, cerámicas, pastelones, etc. con un elemento de base.
- Se utiliza como mortero de estucos, para el recubrimiento de superficies, ya sean de hormigón o albañilerías.
- Se utiliza como mortero de relleno en las albañilerías armadas, para rellenar los espacios en ladrillos perforados donde van los refuerzos verticales.
- Se utiliza como mortero de reparación en obras de hormigón.
- Se utiliza como mortero de inyección en fisuras o grietas en elementos de hormigón.
- Se utiliza como mortero de tratamiento de juntas de hormigonado.
- Como recubrimiento interior de tubos metálicos.
- Se utiliza como mortero proyectado para sustentar y recubrir superficies de suelo, roca, hormigón u otros materiales.

Las posibles utilizaciones que se le pueden dar a este versátil material de construcción hacen que sea necesaria que sus características sean adaptadas para cada caso.

2.4.3. Mortero de junta.

Los morteros tienen un amplio campo de aplicación en la construcción de obras de ingeniería y particularmente en las de edificación (Zabaleta y Egaña, 1989), una de ellas, y la cual usaremos en esta investigación, es su utilización como mortero de junta para albañilerías.

Su función principal es actuar como agente de vinculación o adherencia que integre las unidades de albañilería, permitiendo que estas trabajen de forma monolítica, ayudando a un adecuado comportamiento estructural de los muros y en general de las albañilerías de las cuales forma parte (Barrera, 2002).

Por otro lado también debe cumplir su misión de distribuir uniformemente los esfuerzos a toda la sección resistente de la unidad de albañilería, además de sellar las juntas entre unidades para así poder impedir el paso al agua y al aire, y, por último compensar también las diferencias de dimensiones existentes entre dichas unidades y proporcionar resultados estéticos en albañilerías que se requiera dejar a la vista las unidades.

2.4.4. Requisitos del mortero de junta.

El mortero de junta, para que cumpla con los requisitos de su utilización, debe cumplir con lo establecido en la norma chilena Nch2256-1 Of 2001:

- Requisitos granulométricos de la arena, el cual debe tener un tamaño máximo nominal menor o igual a $1/3$ del espesor de la junta.
- Requisitos de resistencia mecánica de 10 Mpa con fracción defectuosa de 4% para las albañilerías de ladrillo hecho a máquina. Para albañilerías armadas según Nch 1928 Of 93 y para albañilerías confinadas según Nch2123.
- Requisitos de durabilidad en caso de que el mortero de junta no quede protegido de alguna condición de exposición.
- Requisitos de consistencia comprendida entre 180mm y 220mm, determinada según Nch 2257/1 Of 96.
- Requisitos de retentividad establecidos según Nch 1928 Of 93.
- Requisitos de adherencia, la cual debe cumplir, en albañilerías en base a ladrillos hechos a máquina con una adherencia mínima a los 28 días de 0,20 Mpa.

2.4.5. Estados del mortero de junta.

El mortero de junta pasa por dos estados, una cuando se elabora, que corresponde al estado fresco, y otro cuando ya se ha confeccionado, que es el estado endurecido. Los dos estados se detallaran con más profundidad a continuación.

Las características de los morteros, tanto en estado fresco como en estado endurecido dependen básicamente de la aplicación que se le vaya a dar al mortero.

a) Estado fresco.

El estado fresco de una mezcla de mortero corresponde a la fase en la que este se mezcla y se amasa. La duración de este estado del mortero varía de acuerdo según a la temperatura y humedad a la que se exponga, a su tiempo de fraguado requerido por la proporción que integre la mezcla, etc.

Las propiedades relativas al estado fresco están directamente relacionadas con la puesta en obra del mortero, debido a que en esta etapa el mortero es plástico y trabajable, lo que permite su buena colocación, influyendo principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución (Salinas, 2012).

Para cumplir con las condiciones previstas para el mortero de juntas, este debe presentar en estado fresco características adecuadas de trabajabilidad y retentividad (Zabaleta y Egaña, 1989). Debiendo cumplir con los requisitos expuestos en 2.4.4 para

poder obtener un mortero con una mayor trabajabilidad, consistencia y retentividad adecuada.

b) Estado endurecido.

Como su nombre lo dice, esta etapa corresponde cuando el mortero ya ha endurecido. Las propiedades en estado endurecido son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias (Salinas, 2012).

En estado endurecido, el mortero debe cumplir y asegurar las condiciones aceptables de adherencia y resistencia, ya que la adherencia está directamente relacionada con la resistencia mecánica del mortero.

2.4.6. Componentes del mortero.

Dentro de los materiales que componen el mortero, el cual se define como material de construcción que resulta de la mezcla de agua, cemento, arena y eventualmente aditivos y adiciones como la cal, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia, tenemos:

a) Cemento.

Es el aglomerante que participa en la dosificación del mortero, se define como aglomerante hidráulico ya que necesita agua para su fraguado. Corresponde a un material en forma de polvo muy fino el cual se compone principalmente de dos materias primas, piedra caliza (alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio) y un componente rico en sílice (constituido generalmente por arcilla o por una escoria de alto horno).

Según norma chilena Nch 148 Of 68 los cementos se clasifican de acuerdo a su composición en las siguientes clases:

- Cemento Portland, producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínker y yeso, con adición de otros materiales.
- Cemento siderúrgico, entre esta clase se puede separar en cemento portland siderúrgico y cemento siderúrgico, será uno u otro según el porcentaje de escoria básica granulada de alto horno que tengan en su composición.
- Cemento puzolánico, el cual se puede en cemento puzolánico y cemento portland puzolánico según su composición.

Tabla 2.1 – Clasificación del cemento según su composición.

| Denominación | Proporción de los componentes | | |
|----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|
| | Clinker | Puzolana | Escoria |
| Portland | 100 | - | - |
| Portland puzolánico | > 70 % | < 30 % | - |
| Portland siderúrgico | > 70 % | - | < 30 % |
| Puzolánico | 50 – 70 % | 30 – 50 % | - |
| Siderúrgico | 25 – 70 % | - | 30 – 75 % |

Fuente: Bertero, 1994.

b) Arena.

Los morteros están compuestos generalmente por un solo árido fino, denominado arena, el cual debe pasar por el tamiz de abertura nominal de 5mm y debe ser retenido en el de 0,08mm.

La característica de este árido influye significativamente en las características del mortero y, en consecuencia, dependen en forma importante de la función que vaya a desempeñar, en este caso el mortero será utilizado como mortero de junta y cumplirá con la granulometría especificada según norma chilena Nch 163 Of 2013.

c) Agua.

El agua que se ocupa en el mortero debe presentar propiedades similares a las utilizadas en los hormigones.

- Se puede utilizar agua potable en la elaboración del mortero.
- No se podrán utilizar aguas con contenidos de azúcares.
- El uso de aguas de mar solo se podrá utilizar en la confección de morteros de resistencia menores a 150 kg/cm^2 , mientras no se encuentre presencia de algas.
- Las aguas de origen desconocido deben ser sometidas a un análisis químico.

En resumen, el agua utilizada en la confección de morteros debe cumplir con las exigencias establecidas en la norma chilena Nch 1948.

2.5. Aditivos.

2.5.1. Generalidades.

Los aditivos son productos que se agregan en la dosificación del mortero en pequeñas proporciones, los cuales tienen la característica de cambiar o modificar alguna de las propiedades originales del mortero.

Su empleo no es muy frecuente, pero en caso de su utilización, se deberá verificar su influencia en otras características distintas de las que se desea modificar (Zabaleta y Egaña, 1989), debido a esto es que, en esta investigación se va a verificar la influencia de los aditivos impermeabilizantes sobre la adherencia.

En primera aproximación, su proporción de empleo puede establecerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, debiendo posteriormente certificarse según los resultados obtenidos en obra (Zabaleta y Egaña, 1989), lo cual no indica que se deban utilizar dichas dosificaciones mientras cumpla con el requisito estimado para cada aditivo.

2.5.2. Tipos de Aditivos.

Existen varios tipos de aditivos para modificar características o propiedades de los morteros según su utilización, de los cuales mencionaremos los siguientes:

- Incorporadores de aire.
- Plastificadores.
- Aceleradores.
- Retardadores.
- Impermeabilizantes.
- Expansores.
- Colorantes.

2.5.3. Aditivo impermeabilizante.

Como en esta investigación se ocupará este tipo de aditivo para revisar y analizar si es posible, con su incorporación, mejorar la adherencia y la impermeabilidad a la vez, es que detallaremos un poco más sus características y usos.

Estos aditivos disminuyen la permeabilidad a los líquidos del mortero, este efecto es de origen físico y se produce generalmente por el aporte de granos muy finos que este aditivo entrega en la dosificación del mortero. Estos granos finos son de tamaño coloidal y son disueltos en una fase líquida, pueden resultar de gran conveniencia en alguno de los siguientes casos:

- En los elementos destinados al almacenamiento de líquidos.
- En los morteros que queden en contacto con napas de agua.
- En morteros que queden en ambientes agresivos expuestos a mucha humedad.

2.6. Adherencia.

2.6.1. Generalidades.

Debido a la gran importancia de la albañilería en nuestro país y a su amplia utilización en construcciones, ya sea en viviendas sociales, sedes vecinales, comedores, entre otros tipos de edificaciones, es que el estudio para buscar estructuras más resistentes siempre sigue.

Pero el problema de la alta sismicidad de nuestro país, el cual se mostró con gran fuerza en el terremoto del 3 de marzo de 1985, dejó a la vista las deficiencias en las construcciones de albañilería. Debido a esto es que siempre se ha buscado la confección de muros más resistentes para evitar grandes pérdidas estructurales, y más importante aún, pérdidas de vidas humanas frente a los constantes sismo que azotan a nuestro país.

Con esto es que se hacen presentes problemas que se dan en este tipo de estructuras, dando principalmente con el problema de la adherencia existente entre las unidades y el mortero, lo cual afecta en forma directa, ya que sin una buena adherencia, la estructura no se comporta como una estructura uniforme, fallando principalmente entre las uniones con mortero de las unidades de albañilerías.

2.6.2. Fenómeno físico.

La adherencia, como fenómeno físico, se debe a la atracción molecular producida entre las superficies de contacto de dos cuerpos heterogéneos, siendo estos cuerpos en contacto, el ladrillo cerámico y el mortero de junta.

También se podría hacer mención a este fenómeno como al anclaje de los cristales de cemento hidratado en los poros de los ladrillos cerámicos, por lo que se podría concluir que este fenómeno es exclusivamente de naturaleza mecánica, más que química o molecular.

Este fenómeno se puede producir por las siguientes razones:

- Por la succión capilar que las unidades de albañilería producen en el mortero de junta provocando la penetración de la pasta a dichas unidades.
- Por el acuñaamiento mecánico producido por la penetración del mortero en las constantes irregularidades de las superficies de los ladrillos.

Esta propiedad depende principalmente de los siguientes factores (Barrera, 2002):

- Interacción hídrica entre el mortero y la unidad.
- Trabajabilidad del mortero.
- Retentividad del mortero.
- Componentes del mortero, ya sea tipo y cantidad de materiales aglomerantes, aditivos, etc.
- Características de las unidades de albañilerías.
- Calidad del proceso productivo.
- Condiciones de curado.

2.6.3. Factores relacionados con la adherencia.

Entre los factores que están relacionados con la adherencia se podrían mencionar 3 casos, los que dependen de las unidades, los que dependen del mortero en sí y los que dependen de factores externos.

A continuación una breve reseña de cada caso:

a) Factores de las unidades de la albañilería.

Entre estos factores podríamos mencionar:

- La capacidad de absorción de las unidades.
- Un buen estado de humectación de los ladrillos, el cual está directamente relacionado con la capacidad de absorción de los ladrillos.
- Rugosidad de la superficie de las unidades, lo cual dice que las unidades con superficies rugosas o texturadas alcanzan una mayor adherencia.

b) Factores que dependen del mortero.

Entre los factores más importantes que dependen del mortero para lograr una buena adherencia podemos mencionar:

- La composición del mortero, es decir su dosificación, ya que existen dosificaciones que mejoran la adherencia, ya sea su razón cemento arena, con la incorporación de aditivos, etc.
- Tipos de cemento, ya sean corrientes, de alta resistencia, etc.
- Tipos de arena, ya sea su principal medida la granulometría que esta tenga y su contenido de material fino.
- Fluidez del mortero, está directamente relacionada con la adherencia, debido a que a si existe una fluidez optima, esta servirá para aplicar con mayor facilidad el mortero sobre toda la superficie de las unidades generando mayor penetración de los cristales de cemento en los poros de las unidades, siendo esta 140% según ensayo ASTM(mesa de sacudida).

c) Influencia de factores externos.

Entre estos factores podemos mencionar:

- Mano de obra, esto es de gran importancia, debido a que una buena adherencia depende si existe una buena colocación, respetando bien los tiempos de colocación de unidades por hiladas, ejerciendo la correcta presión sobre ellos, un buen premezclado del mortero, etc.
- El curado, esto es de gran importancia, ya que además de realizar un buen curado para la protección del mortero, se tiene que a una mayor intensidad del curado mayor es la adherencia obtenida (Onetto, 1986), refiriéndose a una óptima frecuencia de curado de 3 veces al día por una semana.
- Espesor de la junta, siendo un óptimo espesor entre 1 a 1,5 cm.

2.6.4. Importancia de la adherencia en la albañilería.

Los muros de albañilería, con el transcurso del tiempo, se ven expuestos a muchas sollicitaciones de carácter estructural, las cuales pueden ser cíclicas, constantes, repentinas o paulatinas (Salazar, 1993).

Se tiene que los grandes y constantes sismos que afectan a nuestro país corresponden a sollicitaciones de carácter cíclico y repentino además de tener una intensidad variable, con lo que se ponen al descubierto las capacidades resistentes de los muros de albañilería, lo quedo demostrado con el terremoto del 3 de marzo de 1985 al verse afectadas muchas construcciones de este tipo.

También, junto a las sollicitaciones en los muros de albañilería que son las de los sismos y que son de carácter repentinas y cíclicas, existen otras sollicitaciones presentes en los muros que corresponden a tensiones internas de contracción y de dilatación que ocurren en morteros y ladrillos de forma conjunta, los cuales son de carácter paulatina y constante. Estas tensiones internas se traducen en variaciones de longitud de los muros y, a pesar de que no son de forma violenta, terminan por generar fisuras en los muros.

A continuación, se mostrara la importancia de la adherencia entre el mortero de junta y las unidades de albañilería frente a los sismos y a los cambio de longitud que se producen en los muros:

a) Importancia de la adherencia frente a los sismos.

Con la gran problemática de la alta sismicidad que nuestro país presenta es que siempre se ha buscado la construcción de muros más resistentes en nuestra albañilería, debido a esto es que en la década de los 80, mediante numerosas investigaciones fue creada la norma chilena Nch 1928 Of 93, aquí salió a relucir un aspecto de gran importancia que fue el de la tensión admisible al corte, ya que es este tipo de esfuerzos el predominante en los muros de albañilería en momentos de sismo, siendo un factor de gran importancia la adherencia entre mortero y las unidades de albañilería.

Por lo tanto podemos decir que la adherencia entre el mortero y las unidades de albañilería es un factor limitante en la capacidad resistente frente a los continuos sismo que afectan a nuestro país (Salazar, 1993).

b) Importancia de la adherencia frente a los cambios de longitud de los muros.

La variación de las dimensiones de un muro de albañilería tiene mayor importancia a lo largo de un muro, y estas pueden ser impedidas con la incorporación de vigas, pilares y cadenas además de las fundaciones de hormigón armado. Pero la retracción impedida mediante estos elementos que confinan al muro se transforman en esfuerzo de tracción en el muro, y si esto llegase a sobrepasar la resistencia a la tracción del mortero y/o la adherencia entre el mortero y el ladrillo, se produciría el agrietamientos de dichos muros, debido a esto es que se busca siempre aumentar la adherencia entre mortero y unidades de albañilería.

2.7. Permeabilidad.

La permeabilidad de un mortero es la propiedad que permite el paso del agua o cualquier otro líquido o fluido a través de su estructura interna. El agua puede incorporarse en la masa del mortero, y en general en las albañilerías por medios de mecanismos o procesos diferentes, ya sea por presión hidrostática o capilaridad.

La rapidez con la que un líquido o fluido atraviesa un cuerpo sólido va a depender de la sustancia que compone dicho cuerpo, de la presión del fluido y de la temperatura, pero lo más importante para hacer a un material permeable, es que tiene que ser poroso, es decir tiene que disponer de espacios vacíos, para que estos puedan absorber o dejar a libre paso de los líquidos.

Esta propiedad, de la permeabilidad, es un problema de gran importancia en las construcciones de albañilería, debido a que esto va ocasionando deterioros progresivos en las zonas donde el mortero es afectado por el libre paso de los fluidos, este problema se presenta mayoritariamente en ambientes agresivos donde por lo general existen lluvias constantes y de grandes magnitudes, generando excesiva humedad.

Podemos mencionar también que este problema, el cual determina el libre acceso de agentes agresivos disueltos al interior de la masa del mortero, ocasiona un acortamiento de la vida útil del mortero, ya que la permeabilidad del mortero es uno de los principales factores que influyen en su durabilidad.

Por lo tanto, con lo anterior mencionado, es que se desea mejorar la impermeabilidad del mortero de junta, para así poder obtener estructuras más durables en el tiempo.

2.8. Ensayes a realizar.

A continuación se hará mención a los ensayos a realizar en el desarrollo de esta investigación, para así, poder llegar a nuestro objetivo general, dichos ensayos se realizan en estado fresco y en estado endurecido.

2.8.1. Ensaye de consistencia.

El ensaye de consistencia se emplea al mortero en estado fresco, y corresponde al grado de fluidez que el mortero presenta. Este depende fundamentalmente de la fase líquida y de las características de los componentes sólidos.

Este ensaye se realiza y se mide en una mesa de sacudida y se lleva a cabo acorde a lo indicado en la norma chilena Nch 2257/1 Of 96, que dice lo siguiente:

- Se coloca el molde troncocónico centrado sobre la plataforma, estando todos los elementos limpios y secos.
- Se llena el molde en dos capas y se compacta cada una de ellas con 20 golpes de pisón repartidos uniformemente, con la presión necesaria y suficiente para asegurar un llenado uniforme.
- Luego se enrasa con una regla y se retiran los derrames, secando la plataforma alrededor del molde.
- Se levanta cuidadosamente el molde y, de inmediato, se acciona el sistema para dejar caer la plataforma por 25 veces en 15 s, en forma regular.
- Por último de debe medir y registrar cuatro diámetros equidistantes, con una exactitud de 1 mm.

El resultado del extendido en la mesa de sacudidas será el promedio aritmético de los diámetros medidos, expresado en milímetros y redondeado a la unidad.

Una vez realizado este ensaye se podrá clasificar el mortero según su consistencia mediante la siguiente tabla entregada por la norma chilena Nch 2256-1 Of 2001.

Tabla 2.2 – Clasificación de la consistencia del mortero.

| Tipos | Extendido, mm |
|--------------|----------------------|
| Seca | < 150 |
| Plástica | 150 – 240 |
| Fluida | > 240 |

Fuente: Zabaleta y Egaña, 1989.

2.8.2. Ensaye De Permeabilidad.

Este tipo de ensaye, el cual lleva por nombre determinación de la permeabilidad del agua, método de la penetración de agua bajo presión, se rige por la norma chilena NCh2262 Of 2009, y para su desarrollo se siguen los siguientes pasos.

- Primero se preparan las probetas, las cual como mínimo, deberán ser tres.
- Estas podrán ser cúbicas, prismáticas o cilíndricas y su menor dimensión debe ser mayor o igual a 3 veces el tamaño máximo nominal del árido, definido según Nch 163 Of 2013.
- El desmolde de las probeta se realiza según norma chilena Nch 2261 y estos testigos se deberán conservar sumergidos en agua con cal, a temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ a lo menos 48 horas antes del ensaye.
- A los 10 días \pm de edad de las probetas, estas se raspan con escobilla de acero en la cara que estará sometida a presión de agua.
- En las caras donde no estará sometida a presión se sellaran utilizando una pasta de cemento para prevenir la perdida de agua.
- Una vez realizado el punto anterior, la probeta se debe volver a sumergir en agua con cal, a temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta los 28 días de edad.
- Cuando las probetas cumplan los 28 días de edad se colocan en el equipo dejando a la vista las caras que no serán sometidas a presión, para así poder observarlas.
- Se coloca un anillo de sellado de goma u otro material similar en la unión de la cara sometida a presión y el equipo para evitar que se produzcan pérdidas de agua en dicha zona durante el ensaye.
- Se aplica una presión de agua de $0,5 \text{ MPa}$ durante 72 ± 2 horas.
- El ensaye se da por terminado una vez que empiece a aflorar el agua hacia el exterior, registrándose la presión y el instante en que se produce el afloramiento.
- La penetración se medirá en mm y corresponderá al promedio de las máximas penetraciones obtenidas en las 3 probetas.

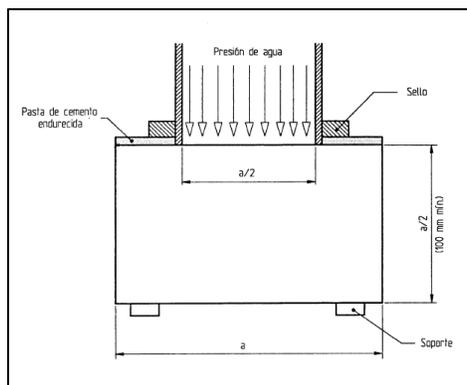


Figura 2.4 - Esquema ensaye permeabilidad.

Fuente: NCh2262 Of 2009 - Hormigón y mortero.

2.8.3. Ensaye de resistencia mecánica.

El procedimiento para la determinación de la resistencia mecánica del mortero es el mismo utilizado para los hormigones.

Sin embargo, dado que tamaño máximo del árido fino utilizado en el mortero no excede normalmente los 5mm, resulta más práctico emplear el ensaye establecido en la norma chilena Nch 158 Of 67 (Zabaleta y Egaña, 1989).

Para el desarrollo de este ensaye se desarrollarán los siguientes pasos:

- Se preparan las probetas de mortero cuyas dimensiones son de 4x4x16mm en moldes de material que no sea atacado por el mortero, estos estarán divididos en tres compartimentos, el cual permitirá confeccionar tres probetas.
- Una vez confeccionadas las probetas se ensayan a flexión, en una máquina de ensayo la cual deberá tener una precisión superior o igual a 1%, además de contar con dos rodillos de 10mm situados a una distancia de 100mm teniendo además, un rodillo equidistante de los apoyos y de igual diámetro que ellos.
- Luego de esto, se ensayan a compresión cada trozo producido de la rotura de la probeta de 4x4x16mm ensayada a flexión.

La siguiente imagen ilustra la forma en la que se ejecuta el ensayo.

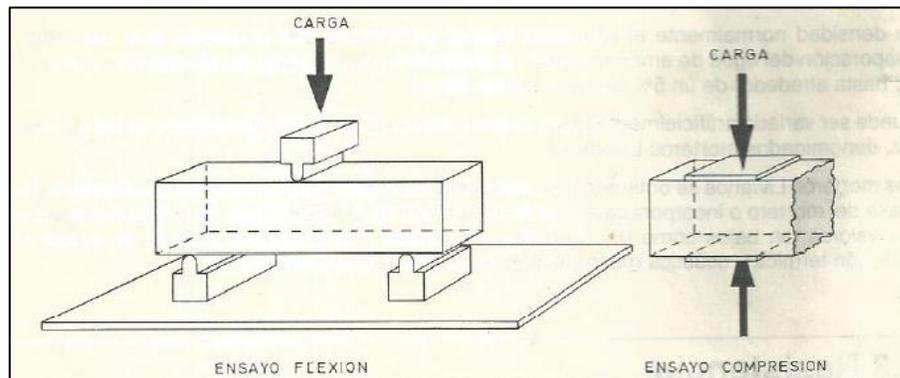


Figura 2.5 - Esquema ensaye resistencia mecánica.

Fuente: Zabaleta y Egaña, 1989.

2.8.4. Ensayo de adherencia a cizalle.

El último ensayo a realizar es el de la adherencia a cizalle, el cual se rige por la norma chilena Nch 167 Of 2001 siguiendo los siguientes pasos:

- El tamaño mínimo de la muestra de ensayo debe ser de 6 probetas.
- Estas están constituidas de 3 ladrillos formando un prisma recto, estos ladrillos serán unidos con un mortero en proporción de cemento y arena de 1:3, y con una razón agua cemento de 0,6.
- Los ladrillos se deben saturar como mínimo 30 minutos antes de la confección de las probetas para así evitar que estos absorban el agua del mortero.
- Luego se confeccionan las probetas colocando el primer ladrillo sobre una base plana y nivelada, aplicando una capa de 20mm de mortero para luego colocar el segundo ladrillo con una presión tal que el espesor de la junta quede de 10mm.
- Luego de una hora, se repite el paso anterior para poder colocar el tercer ladrillo.
- Las probetas se deben mantener a temperatura ambiente de laboratorio y cubiertas con polietileno durante 7 días.
- Luego de esto se deben refrentar las bases de apoyo de la probeta donde se aplicaran las cargas, esta se deberá efectuar como mínimo 48 horas antes de realizado el ensayo.
- El ensayo se realiza controlando la velocidad de aplicación de la carga, la cual no deberá ser mayor que 1 MPa por minuto.
- La tensión de la adherencia se calcula según la siguiente expresión:

$$A = P/S \quad (1)$$

Donde

A= adherencia en MPa;

S = área bruta total de superficie de pega en mm²;

P = carga máxima, en N.

Como resultado del ensayo se entrega tanto los valores individuales obtenidos como su valor promedio.

A continuación se ilustrará la forma del ensaye de adherencia a cizalle.

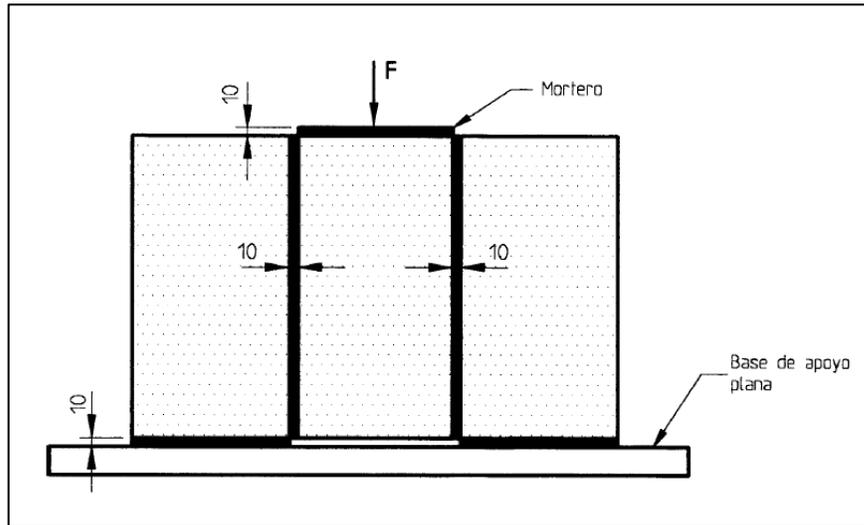


Figura 2.6 - Esquema ensaye adherencia a cizalle.
Fuente: Nch 167 Of 2001 – Ladrillos cerámicos – Ensayos.

3. Diseño de la Experiencia.

En este capítulo se presentó el diseño de la experiencia, es decir, lo que se lleva a cabo para la realización de la investigación, además de detallar los pasos básicos para comenzar con una dosificación de partida, donde aún no se conocen las características de la arena a utilizar, mostrando métodos de dosificación y procedimientos a seguir para llegar a la dosificación definitiva, todo esto con el fin de esclarecer la forma en que se comenzó este trabajo de investigación antes de pasar a los trabajos de laboratorios.

3.1. Generalidades.

Antes de llevar a cabo las dosificaciones de los morteros a utilizar y de los ensayos a realizar para cumplir con los objetivos propuestos en el Capítulo I, se realiza en primera instancia, la clasificación de los grupos de morteros que se utilizaran, además de la definición de las variables y parámetros involucrados en nuestra investigación, dando tanto con la variable dependiente como las independientes.

Una vez conocidas las variables que participan en dicho trabajo de investigación, y, teniendo en cuenta el objetivo general de este estudio, fue necesario también dejar constantes algunas variables y parámetros, para así lograr confeccionar morteros con el máximo de características comunes, como lo son aquellos morteros de junta utilizados en obras.

Una vez analizados los parámetro y variables que participan en nuestro trabajo se procede a determinar las dosificaciones que se utilizan en los distintos morteros a confeccionar, definiendo también las cantidades y tipos de muestras y probetas, para posteriormente definir los ensayos a realizar para poder cumplir con el objetivo de determinar la influencia sobre la adherencia del aditivo impermeabilizante en morteros de juntas.

3.2. Programa experimental.

Este estudio se realizó de acuerdo a la metodología de trabajo propuesta en el Título 1.6, la cual plantea confeccionar dos tipos de mezclas de morteros, ya sea el mortero patrón y los morteros con aditivo impermeabilizante, además de realizar una serie de ensayos para verificar si el mortero es apto para ser utilizado como mortero de junta, aplicando un ensayo al mortero fresco, y posteriormente, realizando los siguientes ensayos en estado endurecido para ver si cumple con otros requisitos exigidos por normas chilenas.

Con estos ensayos se corrobora principalmente aquellas propiedades que inciden directamente en la adherencia, como lo es la consistencia, además de verificar otros datos relevantes como lo son su resistencia mecánica y la permeabilidad.

Primeramente se procede a dividir los tipos de mezclas de morteros a confeccionar, teniendo los siguientes 2 grupos:

- Grupo 1: Mortero patrón.
- Grupo 2: Mortero con aditivo impermeabilizante en diferentes proporciones.

Además, debido a la cantidad de muestras que se prepararon en el desarrollo del trabajo, el programa experimental se divide en las siguientes etapas para así llevar un trabajo más ordenado:

- Etapa 1: Verificación de la granulometría del árido.
- Etapa 2: Ensayo al mortero en estado fresco.
- Etapa 3: Ensayos al mortero en estado endurecido, ya sea el ensayo de resistencia mecánica y el de permeabilidad.
- Etapa 4: Ensayo al conjunto de albañilería confeccionado según norma Nch167 Of 2001, el cual corresponde al ensayo de adherencia al cizalle.

En cuanto a la Etapa N°4, las unidades de albañilería que se utilizan en los conjuntos confeccionados, tienen variaciones en su tiempo de humectación, utilizando los 30 minutos especificados en la norma mencionada, además, de un tiempo menor, el cual fue de 15 minutos, para comprobar si era posible obtener el mismo resultado en el ensayo de adherencia a cizalle, optimizando un valioso recurso tan necesario en nuestra profesión, como lo es el tiempo.

3.3. Diseño experimental.

Experimento se define como aquella clase de experiencia científica en la cual se provoca deliberadamente algún cambio y se observa e interpreta su resultado con alguna finalidad cognoscitiva.

De esta manera, representando la definición antes mencionada con nuestro trabajo, tenemos el cambio en la dosificación del mortero con la incorporación del aditivo, para así, verificar si es que esta medida tiene alguna incidencia en la adherencia mortero- ladrillo del conjunto de albañilería.

Para lograr lo dicho en el párrafo anterior, es que se necesita tener puntos de comparación, por lo que en este estudio se consideraron 2 grupos de mezclas.

El primero, que corresponde a un mortero patrón, dosificado según norma Nch 167 Of 2001 y al cual se realizaron los ensayos pertinentes para tener algo normado a qué atenerse, y el segundo grupo que corresponde a 3 tipos de morteros con la misma dosificación que el mortero patrón, pero con la salvedad de que se le incorpora aditivo impermeabilizante, los cuales se diferencian por la cantidad o proporción de dicho aditivo incorporado en su dosificación, a estas mezclas se le realizan los mismos ensayos aplicados al mortero patrón para poder realizar las comparaciones y así, llegar a conclusiones adecuadas al caso.

Por otro lado, tenemos que en este tipo de investigaciones se presentan variables y parámetros, y en el caso de experimentos con morteros dichas variables tienen que ver con los materiales a utilizar en su dosificación, propiedades que el mortero deba obtener, entre otras de mayor o menor importancia, pero como el objetivo general de esta investigación es determinar la influencia sobre la adherencia del aditivo impermeabilizante mediante experiencias comparativas entre los dos grupos de mezclas mencionados, y, para poder establecer conclusiones más claras que permitan demostrar ventajas o desventajas de una u otra muestra, es que se hace necesario fijar una serie de variables y parámetros que puedan representar mejor la experiencia.

3.3.1. Definición de variables y parámetros.

Para la realización de este experimento o trabajo de investigación, se consideran las siguientes variables y parámetros para así obtener una clasificación más eficiente y clara, y, con esto realizar las futuras conclusiones.

a. Variable dependiente.

Se considera como variable dependiente a la “adherencia”, ya que es el objetivo principal del trabajo.

b. Variables independientes.

Como variables independientes en nuestro trabajo de investigación tendremos:

- Dosificación de aditivo impermeabilizante
- El tiempo de humectación de las unidades de albañilería.

c. Parámetros y variables constantes.

En este caso se definen constantes los siguientes parámetros y variables para así poder lograr morteros más tradicionales y comunes, es decir, a como se confeccionan en obra:

- Tipo de cemento.
- Origen de la arena.
- Tipo de unidad de albañilería.
- Tipo y frecuencia de curado.
- Razón agua/cemento.
- Relación cemento: arena.

3.3.2. Cantidad de muestras y probetas.

En esta división del capítulo 3, se expresan las cantidades de muestras y probetas que se deben confeccionar para el correcto avance de nuestro trabajo de investigación, ya sea las cantidades que se utilizaron para el ensaye de consistencia, el de permeabilidad, el de resistencia mecánica y por último el de adherencia a cizalle.

En la Etapa N°1 no se necesitan muestras, debido a que solo se corrobora que la arena que se utiliza cumpla con la granulometría exigida.

En la Etapa N°2, donde se realiza el ensaye de consistencia, que consiste en el método del extendido en la mesa de sacudidas regido por la norma Nch 2257/1 Of 96, se utilizan 3 muestras por cada tipo de mortero, por lo que se realizan 12 ensayes, teniendo en cuenta que son 4 tipos de mezclas (mortero patrón y 3 muestras con distinta dosificación de aditivo). Se aplican 3 muestras por cada tipo de mortero debido a que se necesita tener un resultado más certero, con lo que la consistencia de cada tipo de mortero corresponde al promedio de los 3 resultados obtenidos.

En la Etapa N°3, que corresponde a los ensayos aplicados al mortero en estado endurecido, se necesitó confeccionar 3 probetas por cada tipo de mezcla según lo especificado en la norma Nch 158 Of 67 para el ensaye de resistencia mecánica y 3 también para el caso del ensaye de permeabilidad por cada tipo de mezcla.

Por último, para la Etapa N°4, correspondiente al ensaye de adherencia a cizalle en los conjuntos de albañilería, se confeccionan 6 probetas por cada mezcla y además por cada tiempo de humectación de ladrillo, por lo que se confeccionan 48 conjuntos de albañilería.

A continuación se indica una tabla resumen de las cantidades de muestras y probetas elaboradas:

Tabla 3.1 – Cantidad de muestras y probetas.

| ETAPA | ENSAYE | TIPO MUESTRA | CANTIDAD |
|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| N°2 | De consistencia | Mezcla de mortero | 12 |
| N°3 | De permeabilidad | Probeta prismática | 12 |
| | De resistencia mecánica | Probeta cúbica | 12 |
| N°4 | De adherencia a cizalle | Conjunto albañilería | 48 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

3.3.3. Especificación de los grupos de muestras.

Los grupos de muestras o mezclas de mortero corresponden a los mencionados en párrafos anteriores, estos grupos se detallan a continuación con el fin de esclarecer sus propiedades, de tal forma que se puedan diferenciar mediante sus características de confección.

Grupo 1.

También llamado mortero patrón, tiene las siguientes características:

- Se confecciona con cemento Portland puzolánico grado corriente de cementos Melón.
- Se dosifica con el método de dosificación por requisitos.
- Una razón agua/cemento de 0,9.
- Una arena de tamaño máximo de 2,5mm que cumpla con los requisitos prescritos en la norma chilena Nch 163 Of 2013.
- Los procesos de curado del mortero se realizan en cada caso, según norma de ensaye para el cual se utilizará.

Grupo 2.

Este grupo se caracteriza por tener en su dosificación aditivo impermeabilizante, en 3 proporciones distintas, la que indica el fabricante del aditivo, una menor y una mayor.

A continuación se detallan sus características:

- Se confeccionan con cemento Portland puzolánico grado corriente de cementos Melón.
- Se dosifican con el método de dosificación por requisitos.
- Una razón agua/cemento de 0,9.
- Una arena de tamaño máximo de 5 mm que cumpla con los requisitos prescritos en la norma chilena Nch 163 Of 2013.
- Se les incorpora aditivo impermeabilizante en las siguientes proporciones de aditivo en relación al agua de amasado, 1:8, 1:10 y 1:12. Estas proporciones se adoptan mediante la recomendación del fabricante, que para morteros y estucos es una proporción de 1:10 en relación de aditivo y agua de amasado, por lo que se utilizará una menor y una mayor.
- Los procesos de curado del mortero se realiza en cada caso, según norma de ensaye para el cual se utilizará.

3.4. Método de dosificación.

3.4.1. Generalidades.

Para las dosificaciones de los morteros se pueden encontrar dos tipos de sistemas, los cuales dependen del proyectista, el cual especifica según cada obra. Estos sistemas expresan en la forma que se debe dosificar para obtener algún tipo de resultado específico o simplemente viene especificado la cantidad de materiales a utilizar.

A continuación mencionaremos los 2 sistemas existentes:

a. Especificaciones por proporción.

En este sistema de dosificación el proyectista establece las proporciones específicas de materiales que se deben emplear en la confección de un mortero, ya sea la cantidad de cemento: arena, la razón agua cemento, si debe llevar aditivos o adiciones, etc.

Estas especificaciones pueden estar expresadas en peso o en volumen.

b. Especificaciones por requisitos.

En este caso el proyectista entrega la especificación de requisitos o propiedades que debe cumplir el mortero que se desea confeccionar, por lo que es de responsabilidad del constructor que el mortero cumpla con los requisitos especificados, al contrario de las especificaciones por proporción donde es el proyectista el responsable de dichos requisitos.

En nuestro trabajo realizamos la dosificación mediante el método de dosificación de mortero para cumplir requisitos especificados, debido que es la manera más acertada de asegurarse que el mortero cumpla con los requisitos mínimos para poder ser utilizado como mortero de junta.

3.4.2. Dosificación por requisitos.

Este procedimiento se basa en la obtención de dos requisitos muy importantes que deben cumplir los morteros para ser utilizados según corresponda, estos requisitos esenciales para el mortero son los de trabajabilidad y resistencia mecánica.

Dicho requisito de trabajabilidad es el cual se define a través de un valor medido, ya sea, en el cono de Abrams o por el escurrimiento en la mesa ASTM de sacudidas, de la forma como se indica en la norma chilena Nch 2257/1 Of 96 – “Determinación de la consistencia”, en el cual el nombre de ensaye corresponde al de consistencia.

El requisito de resistencia es aquel que se mide según la norma chilena NCh 158 Of 67 – “Cementos – ensayos de flexión y compresión de morteros de cementos” y que se define generalmente el valor a compresión a 28 días, medido en probetas de 4x4x16 cm, y en base a estos resultados se establece la razón agua/cemento por medio de la forma de Bolomey, pero sin embargo, cuando se trata de una dosificación de partida, cuya verificación se efectuará sólo durante la obra, es recomendable tomar ciertos factores de seguridad para así tener algún margen de error, debido a esto es que Zabaleta y Egaña crearon la tabla N° 7.2 en el manual del mortero que contiene valores más conservadores que los que menciona la fórmula para la razón agua/cemento, los valores contenidos en esta tabla fueron extraídos por los autores de recomendaciones contenidas en la tabla 7.5 del Compendio de Tecnología del Hormigón del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón y corregidos para probetas de 4x4x16 cm, dicha tabla se mostrará en párrafos posteriores en donde se explique el procedimiento a seguir para la dosificación.

Es conveniente señalar que, aunque los principios básicos para la dosificación de morteros son los mismo que para los hormigones, las investigaciones y datos son mucho más escasos que para los hormigones, por lo que se recomienda que los resultados que se obtengan deben ser considerados como aproximación y deben someterse a comprobación mediante a ensayes, por lo que en nuestra investigación se realizan los ensayes pertinentes para la comprobación de los datos obtenidos.

3.4.3. Procedimiento a seguir para la dosificación.

- Para poder dosificar, lo primero que se debe hacer es decidir el porcentaje de cal que se va a utilizar, pero en nuestro caso, por tratarse de morteros tradicionales a utilizar en obra, no se considera cal, debido a que la mayoría de los morteros utilizados no la contienen, tratándose simplemente de agua, arena y cemento en su composición.
- Lo siguiente fue calcular el agua necesaria a utilizar en la confección del mortero, para esto se utiliza la tabla de “determinación de la dosis de agua y aire (l/m^3) de un mortero” del manual del mortero.

La cantidad de agua queda definida principalmente por la trabajabilidad o consistencia que debe tener el mortero para ser utilizado como mortero de junta, por lo que la siguiente tabla indica la cantidad de agua a agregar al mortero para conseguir la consistencia necesaria a partir del módulo de finura de la arena, que en este caso debe estar comprendido entre 3,45 - 2,15 según la tabla n°4 de la norma chilena NCh 2256-1 Of 2001, por lo que utilizamos en primera instancia un módulo de finura de 2,7.

Para la definición de fluidez se utiliza el criterio entregado en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 - Criterio de consistencia utilizada para la dosificación.

| FLUIDEZ | MESA DE SACUDIDAS |
|----------|---------------------|
| Baja | $\leq 130\text{mm}$ |
| Media | 140-175mm |
| Alta | 180-195mm |
| Muy alta | 200-220mm |

Fuente: Nch 2256 Of 2001 – Morteros requisitos generales.

A continuación se muestra la tabla expresada en el manual del mortero para la cantidad de agua y aire del mortero:

Tabla 3.3 - Determinación de la dosis de agua y aire (l/m^3) de un mortero

| TAMAÑO MÁXIMO DE LA ARENA : 5 mm | | | |
|--|---------------------------|-----|----|
| FLUIDEZ | DOSIS DE AGUA (l/m^3) | MF | H |
| Alta | 310 | 2,7 | 40 |
| MF: Módulo de finura de la arena. H: Contenido mínimo de aire para un mortero compacto. | | | |

Fuente: Zabaleta y Egaña, 1989.

- Continuando con el procedimiento, se sigue con la determinación de la razón agua/cemento, la cual se realiza mediante la Tabla N° 7.2 del manual del mortero, pero sin embargo, hubo que tener en cuenta que la razón agua/cemento no puede ser calculada para la resistencia especificada, puesto que, debido a la dispersión que normalmente se produce en toda obra, de precederse así, hubiese existido una gran proporción del mortero producido que tendría resistencia defectuosa, por lo que la razón agua/cemento se debió determinar para un valor mayor, el cual corresponde a la resistencia media probable de obtener en obra, más un factor de seguridad, donde tenemos la siguiente expresión:

$$R_m = R_e + s \times t \quad (2)$$

Dónde:

R_m = resistencia media de cálculo de la razón agua/cemento;

R_e = resistencia especificada por el proyectista;

s = desviación típica probable de la obra, puede variar entre 30 y 50 kg/cm²;

t = factor que depende de la fracción defectuosa aceptada, normalmente 1.28.

A continuación se presenta la tabla expresada en el manual del mortero para las razones agua/cemento sugeridas para dosificaciones de partida, en la cual solo se mostrará un rango de términos.

Tabla 3.4 - Razones agua/cemento para dosificaciones de partida.

| Razón agua/cemento | Resistencia requerida a 28 días (kg/cm ²) |
|--------------------|---|
| 0,7 | 185 |
| 0,8 | 140 |
| 0,9 | 100 |
| 1,0 | 75 |

Fuente: Zabaleta y Egaña, 1989.

- Para la determinación del cemento se multiplicó la dosis de agua libre más el aire atrapado por la razón cemento/agua.
- Para la determinación de la dosis de arena se utilizan las dosis calculadas en los puntos anteriores, tales como el agua, el aire y el cemento, y se despejo el término correspondiente a la arena de la ecuación básica de dosificación que se mostrará en subcapítulo siguiente.

3.4.4. Ecuación básica para la dosificación.

Para poder determinar la dosificación de un mortero de una forma adecuada, se debe partir por el principio de que la suma de los volúmenes absolutos de sus componentes conforma el volumen total del mortero.

A continuación se expresa la fórmula básica para la dosificación de un m³ de mortero, la cual sirve como dosificación de partida:

$$C/pc + K/pk + F/pf + A + H = 1000 \quad (\text{litros}) \quad (3)$$

Dónde:

C = dosis de cemento por m³ de mortero (kg).

pc = peso específico real del cemento (kg/l).

K = dosis de cal por m³ de mortero (kg).

pk = peso específico real de la cal (kg/l).

F = dosis de arena por m³ de mortero (kg).

pf = peso específico real de la arena (kg/l).

A = dosis de agua libre por m³ de mortero (l).

H = contenido de aire por m³ de mortero (l).

Para la utilización de la fórmula expresada se necesitan utilizar los pesos específicos reales de los materiales a utilizar, pero en caso de no tenerlos, se podrán utilizar los siguientes valores, sacados del manual del mortero, para realizar un cálculo aproximado (Zabaleta y Egaña, 1989):

Tabla 3.5 - Pesos específicos aproximados de los materiales.

| MATERIAL | PESO ESPECIFICO |
|----------|-----------------|
| Cemento | 3.00 kg/l |
| Cal | 2.45 kg/l |
| Arena | 2.65 kg/l |

Fuente: Zabaleta y Egaña, 1989.

De la fórmula (3), y teniendo en cuenta que en las dosificaciones expresadas en peso las proporciones se dan expresadas como cemento: cal: arena = 1: k: f, podemos dejar expresada la siguiente fórmula para el cálculo de la cantidad de arena a utilizar:

$$F = pf (1000 - A - H - C((1/pc) + (k/pk))) \quad (\text{kg/m}^3) \quad (4)$$

3.4.5. Corrección en la dosificación.

Una vez realizada la dosificación con las formulas antes expresadas, se debe realizar una corrección para dejarla como dosificación definitiva, ya que en estas fórmulas la arena se considera en su estado saturado con superficie seca, pero en la obra, este material se encuentra generalmente con un mayor contenido de humedad, compuesta por la cantidad en el interior de los granos de la arena, que corresponde al contenido de humedad del estado saturado con superficie seca y por agua libre.

Por lo anterior mencionado es que se debe realizar lo siguiente, una vez que se conozca el porcentaje de humedad de la arena:

- La cantidad de agua que se utilice en la mezcla a preparar debe ser disminuida en la misma cantidad al agua libre que aporta la arena húmeda, por lo que se deberá calcular el contenido de humedad de la arena.
- La cantidad de arena se debe aumentar en la misma cantidad en peso que el agua libre aportada.

3.4.6. Dosificación aproximada.

A continuación se muestra la dosificación de partida que se utiliza para conocer a grandes rasgos las cantidades que se deben emplear (Dosificación de partida ya que no se conocía en este instante la humedad de la arena), estos fueron datos estimativos debido a que se realizaron con los datos entregados por la Tabla 3.4, en el desarrollo de la experiencia ocurren cambios al utilizar los valores de los pesos específicos reales de los materiales, el módulo de finura y el porcentaje de humedad de la arena, los cuales se conocen en el Capítulo 4.

- Consistencia = alta.
- Módulo de finura = 2,7.
- Tamaño máximo del árido = 5 mm.
- Requisito de resistencia = 100 kg/cm^2 .
- Dosis de agua (A) = 310 l/m^3 (Dato de la Tabla 3.3).
- Contenido de aire (H) = 40 l/m^3 (Dato de la Tabla 3.3).
- Razón agua/cemento = 0,9 (Dato de la Tabla 3.4).
- Cantidad de cemento =
Según formula (2), y con $R_e = 1,28$; $s = 40 \text{ kg/cm}^2$ tenemos:

$$R_m = 100 + (1,28 \times 40)$$

$$R_m = 151,2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Luego, de la tabla 3.4 e interpolando tenemos lo siguiente:

$$A/C = 0,78, \text{ por lo que nos queda } C/A = 1,28$$

$$\text{Por lo tanto tenemos: } C = (310 + 40) \times (1,28)$$

$$C = 448 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Cantidad de arena =

$$F = 2,65 (1000 - 310 - 40 - 448 ((1/3,0) + (0/2,45)))$$

$$F = 1326,77 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Comprobación de cantidades dosificadas:

$$448/3 + 0/2.45 + 1326,77/2.65 + 310 + 40 = 1000 \text{ (l) Ok.}$$

Las correcciones de la dosificación con respecto al agua y la arena se deberán realizar una vez se conozca el % de humedad de la arena, lo cual se mostrara en el Capítulo 4, y se realizarán de la siguiente manera:

Se tendrá una arena con un x% de humedad y una absorción del y%, por lo que se calculara un $hf = F \cdot ((x/100) - (y/100))$.

Luego las cantidades de arena y agua corregidas serán las siguientes:

$$F \text{ (húmeda)} = F + hf$$

$$A \text{ (corregida)} = A - hf$$

En el caso del mortero con aditivo impermeabilizante, se confeccionan con las mismas cantidades, pero con la diferencia que se le incorpora el aditivo disuelto en el agua de amasado en las siguientes proporciones:

Grupo 2.1 = 1:8, lo que corresponde a una parte de aditivo por cada 8 de agua.

Grupo 2.2 = 1:10, lo que corresponde a una parte de aditivo por cada 10 de agua.

Grupo 2.3 = 1:12, lo que corresponde a una parte de aditivo por cada 12 de agua.

3.5. Equipos utilizados en la confección de morteros.

Para poder utilizar los materiales exactos en cantidad y realizar la mezcla de los materiales dosificados de forma homogénea y así poder asegurar una buena confección del mortero para que pueda cumplir con los requisitos exigidos por normas, se utilizan los siguientes equipos y accesorios:

- Balanza, la cual se utiliza para pesar adecuadamente los materiales para la dosificación.
- Recipientes para el contenido del agua a utilizar.
- Puruñas para la colocación del árido y el cemento en el pesaje.
- Recipientes para confeccionar el mortero en pequeñas cantidades.
- Betonera para el mezclado de materiales en la confección de grandes cantidades de mortero.
- Espátula y llana para la colocación del mortero.
- Elementos de protección personal.

3.6. Esquema general de trabajo.

Para la ejecución de este trabajo en el laboratorio se realiza el siguiente procedimiento para la confección del mortero y la realización de los ensayos mencionados en el capítulo anterior:

- a. Se determina la granulometría de la arena para confirmar que cumpla con los requisitos básicos para ser utilizada en la confección del mortero.
- b. Se procede al cálculo de la dosificación con el método representado en 3.4.3. y 3.4.4.
- c. Se realiza el pesaje de los materiales a utilizar designados en la etapa de dosificación.
- d. Se confeccionan los morteros, ya sea el mortero patrón y los morteros con aditivo impermeabilizantes. La confección de los morteros se realiza de la siguiente manera:
 - Luego de pesar los materiales (cemento, aditivo y arena), se mide con una probeta graduada la cantidad de agua entregada en la dosificación.
 - Se incorporan los materiales en el recipiente a utilizar de la siguiente manera, primero se coloca toda la arena, luego se incorpora todo el cemento, una vez mezclados en seco estos dos materiales se procede a incorporar lentamente el agua.
 - En el caso de los morteros con aditivo impermeabilizante, el aditivo se incorpora a la mezcla disuelto en el agua de amasado.
- e. Se realiza el ensaye de consistencia al mortero en estado fresco y se preparan las probetas para realizar los ensayos en estado endurecido, ya sea el de permeabilidad y el de resistencia mecánica.
- f. Se tabulan los datos obtenidos de los ensayos mencionados en el punto anterior.
- g. Por último, se realiza el ensaye de adherencia a cizalle anotando de igual forma los datos arrojados por el ensaye.
- h. Una vez terminados todos los ensayos, se ordenan los resultados obtenidos para poder realizar tablas con los datos tabulados y así poder elaborar tablas comparativas para poder llegar a las conclusiones pertinentes al caso.

Los procedimientos de los ensayos mencionados, ya sea el que se realiza al mortero en estado fresco, al mortero en estado endurecido y al conjunto de albañilería se realizan de la forma mencionada en el subcapítulo 2.8.

4. Desarrollo de la Investigación - Obtención y Análisis de Datos.

En el presente capítulo se muestran los datos obtenidos mediante los ensayos realizados en el laboratorio, tanto los ensayos realizados al árido y al mortero en estado fresco y endurecido como también los ensayos de resistencia mecánica, permeabilidad y adherencia a cizalle, dichos datos se presentan en tablas y gráficos para facilitar su comprensión. Conjuntamente se presenta en este capítulo un breve análisis de los datos obtenidos, los cuales serán profundizados posteriormente en las conclusiones finales de este trabajo de investigación.

4.1. Granulometría de la arena.

Para realizar la granulometría se colocó una muestra de arena en una bandeja metálica y se procedió a secar la arena en un horno a 110 °C por 24 h.

Posteriormente, una vez que la arena se encontraba seca, se realizó la granulometría según el procedimiento establecido en la norma chilena Nch 165 Of 2009 - Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de granulometría.

Dicha granulometría nos entregó los siguientes datos:

Tabla 4.1 - Granulometría de nuestra arena.

| Abertura tamiz Según Nch 165 Of 2009 mm | % que pasa | Banda granulométrica NCh 163 of 2013 |
|---|------------|---|
| 10 | 100 | 100 |
| 5 | 96,4 | 95 – 100 |
| 2,5 | 78,12 | 80 – 100 |
| 1,25 | 65,12 | 50 – 85 |
| 0,63 | 55,62 | 25 – 60 |
| 0,315 | 26,06 | 5 – 30 |
| 0,160 | 3,04 | 0 – 10 |
| MODULO DE FINURA | | 2,63 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se presenta la curva granulométrica obtenida de la arena utilizada con el margen entregado por la banda granulométrica de la Norma Chilena NCh 163 Of 2013.

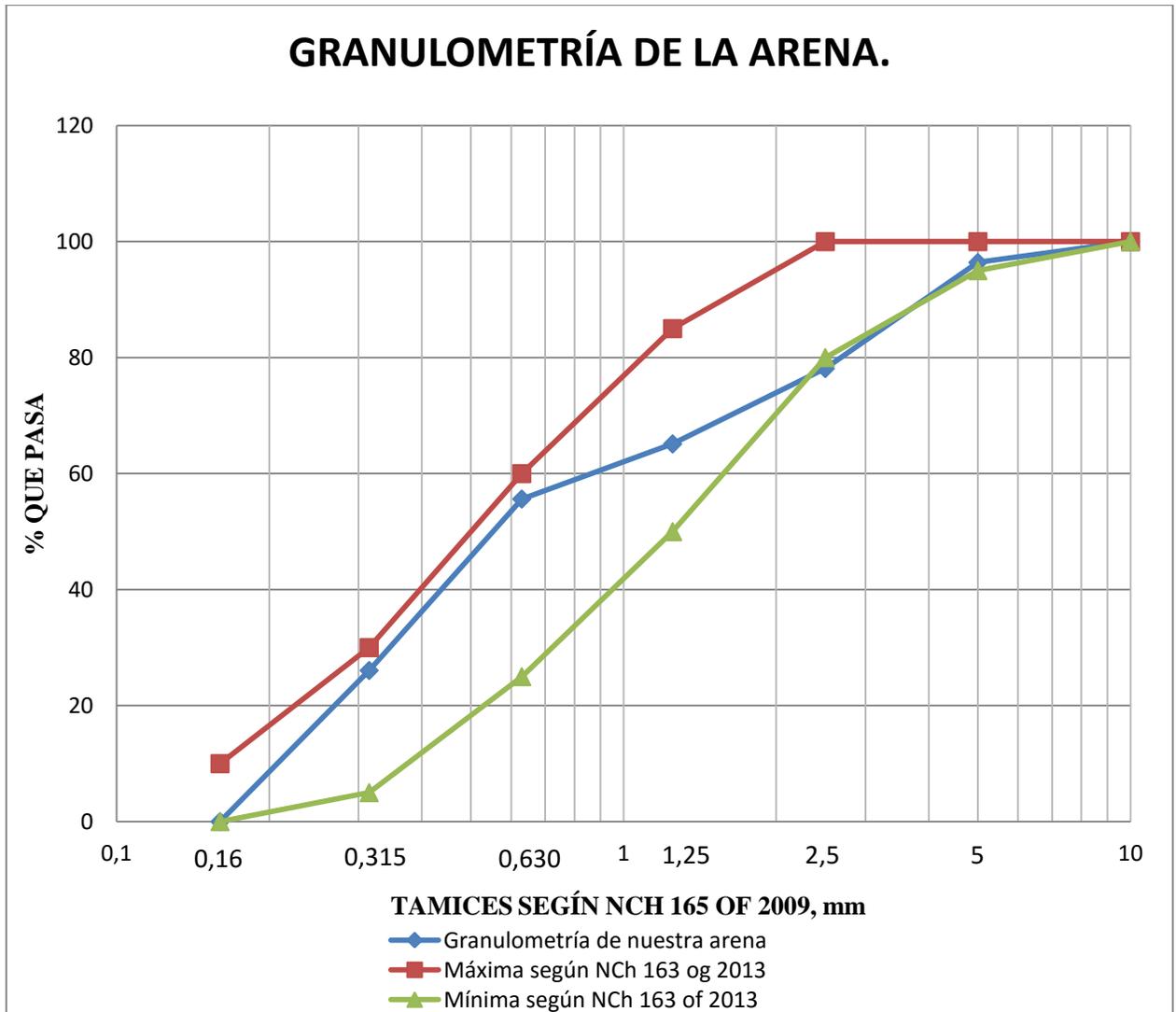


Figura 4.1 - Grafico - granulometría de la arena a utilizar.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2. Densidad, absorción y humedad de la arena.

Para calcular las densidades de la arena a utilizar en nuestros morteros, ya sea la densidad real y neta, se utilizó el procedimiento entregado por la norma chilena Nch 1239 Of 77 – Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.

Se realizó dos muestras para calcular un promedio y así tener un resultado más certero, los resultados de ambas muestras se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 - Muestras de arena para densidad, absorción y humedad.

| N° de muestra | 1 | 2 |
|---|-------|-------|
| Masa de la muestra saturada superficialmente seca (kg). | 0,100 | 0,100 |
| Masa de la muestra seca (kg). | 0,099 | 0,099 |
| Masa del matraz con agua (kg). | 0,657 | 0,658 |
| Masa del matraz, con agua y la muestra (kg). | 0,720 | 0,722 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Luego, con los valores obtenidos y sacando un promedio entre las 2 muestras ensayadas y, utilizando las formulas entregadas por la norma chilena Nch 1239 Of 77, se obtuvieron los siguientes valores de las densidades real y neta y el porcentaje de absorción de la arena:

Tabla 4.3 - Densidad, absorción y humedad de nuestra arena.

| Característica | Resultados |
|--|------------|
| Densidad real del árido saturado superficialmente seco (kg/m^3) | 2740 |
| Densidad real del árido seco (kg/m^3) | 2713 |
| Densidad neta (kg/m^3) | 2789 |
| Absorción de agua (%) | 1,01 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por otra parte también se calculó la humedad de la arena, dándonos un 4,6%.

4.3. Dosificación final a utilizar.

La dosificación final a utilizar corresponde a la dosificación luego de aplicar la corrección utilizando los pesos específicos reales de los materiales, cemento y arena y cambiando el módulo de finura real de la arena a utilizar.

- Peso específico del cemento a utilizar: 2,81 kg/l.
- Peso específico de la arena a utilizar: 2,74 kg/l.

Por otra parte, como el valor del módulo de finura considerado anteriormente era de 2,7 y nuestra arena tiene uno de 2,63, cambia, aunque de una forma muy mínima el agua considerada para la dosificación.

Por lo tanto, cambiando los valores en la ecuación básica de la dosificación y las cantidades de agua y cemento, además, de aplicar la corrección por humedad de la arena, tenemos:

Cantidades por metro cúbico de mortero.

- Agua = 314,20 (l)
- Cemento = 453,38 (kg/m³)
- Arena = 1327,41 (kg/m³)

Como se utilizara aditivo impermeabilizante y este se dosificara en relación al agua, la cantidad de agua y de aditivo dependerá del grupo de mortero que se prepare, por lo que tenemos las siguientes cantidades para un metro cubico de mortero:

| | | |
|------------------|----------------------|--------------------|
| Grupo 2.1 = 1:8 | aditivo = 32, 92 (l) | agua = 279, 29 (l) |
| Grupo 2.2 = 1:10 | aditivo = 28, 56 (l) | agua = 285, 64 (l) |
| Grupo 2.3 = 1:12 | aditivo = 28, 56 (l) | agua = 285, 64 (l) |

4.4. Realización de ensayos.

4.4.1. Ensaye de consistencia.

Para la realización de este ensaye se procedió a confeccionar el mortero patrón y las 3 muestras de mortero con aditivo impermeabilizante, con las proporciones 1:8, 1:10 y 1:12 con respecto al agua de amasado del mortero.

Estas mezclas de mortero se confeccionaron solo utilizando un recipiente y no la betonera, debido a la pequeña cantidad en volumen que este ocupa.

Se realizó el ensaye de consistencia en la mesa de sacudidas según el procedimiento descrito en la norma chilena Nch 2257/1 Of 96 según muestran las siguientes ilustraciones:



Figura 4.2 – Mortero con el molde troncónico sobre mesa de sacudidas.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

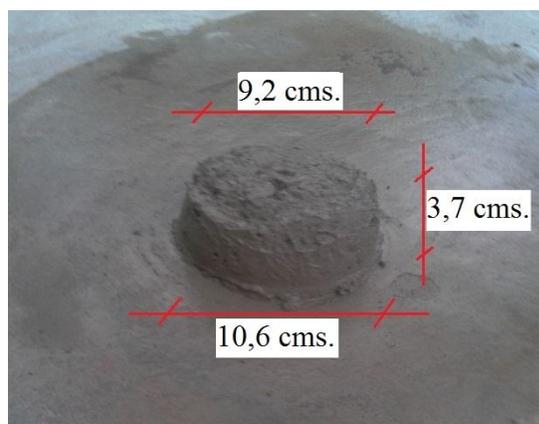


Figura 4.3 – Mortero sin el molde.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

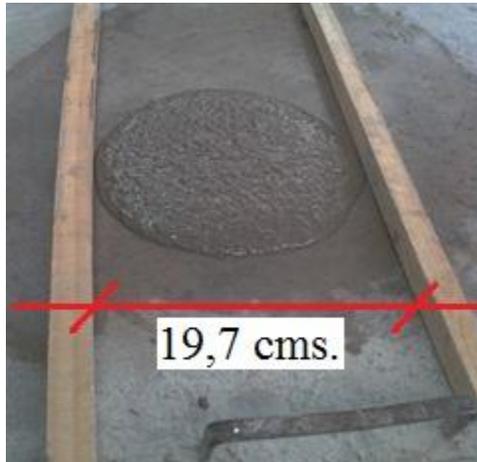


Figura 4.4 - Mortero luego de los 25 golpes en la mesa de sacudida.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se presentan los resultados del ensaye realizado para las 4 mezclas preparadas:

Tabla 4.4 - Consistencia mortero patrón.

| MORTERO PATRON | NUMERO ENSAYE | | |
|----------------------|---------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | 198 | 195 | 194 |
| | 195 | 198 | 199 |
| | 198 | 196 | 196 |
| | 201 | 200 | 195 |
| PROMEDIO | 198 | 197 | 196 |
| CONSISTENCIA: 197 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.5 - Consistencia aditivo en proporción 1:8.

| MORTERO CON ADITIVO 1:8 | NUMERO ENSAYE | | |
|---------------------------------|---------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | 220 | 209 | 214 |
| Diámetro mesa sacudidas (mm) | 219 | 210 | 218 |
| | 221 | 216 | 220 |
| | 214 | 212 | 212 |
| | PROMEDIO | 218 | 212 |
| CONSISTENCIA: 215 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.6 - Consistencia mortero con aditivo en proporción 1:10.

| MORTERO CON ADITIVO 1:10 | NUMERO ENSAYE | | |
|---------------------------------|---------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | 206 | 209 | 208 |
| Diámetro mesa sacudidas (mm) | 209 | 206 | 207 |
| | 207 | 210 | 210 |
| | 204 | 203 | 211 |
| | PROMEDIO | 207 | 207 |
| CONSISTENCIA: 208 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.7 - Consistencia mortero con aditivo en proporción 1:12.

| MORTERO CON ADITIVO 1:12 | NUMERO ENSAYE | | |
|---------------------------------|---------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | 192 | 201 | 198 |
| Diámetro mesa sacudidas (mm) | 205 | 215 | 204 |
| | 200 | 210 | 205 |
| | 204 | 197 | 209 |
| | PROMEDIO | 200 | 206 |
| CONSISTENCIA: 203 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.4.2. Ensaye de resistencia mecánica.

Se confeccionó el mortero patrón y las 3 muestras de mortero con aditivo impermeabilizante, estas mezclas de mortero se confeccionaron utilizando un recipiente pequeño, debido a su pequeño volumen.

Se confeccionaron las probetas prismáticas de 4x4x16 mm de dimensión en moldes de maderas y una vez desmoldadas luego de 24h, se colocaron en una piscina con agua y con cal para su proceso de curado, como se muestran en las siguientes ilustraciones:



Figura 4.5 - Llenado de molde para ensaye de resistencia mecánica.
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.6 - Vibrado del mortero.
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.8 - Desmoldado de probetas.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

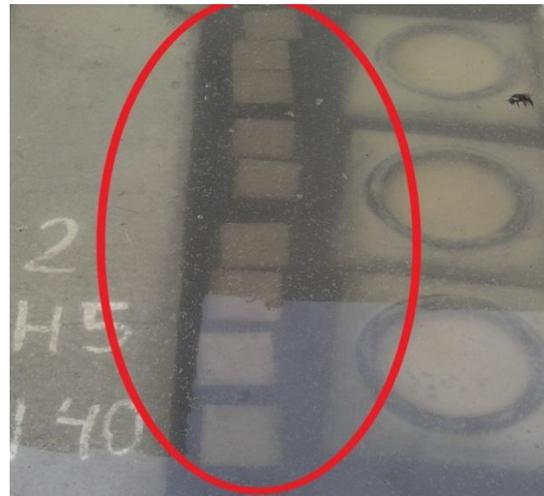


Figura 4.7 - Curado de probetas.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Una vez cumplidos los 28 se procedió a ensayar las probetas según normativa chilena, primero a flexión y luego a compresión como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 4.9 – Equipo para ensaye a flexión.

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.10 – Equipo para ensaye a compresión.

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.12 – Probetas después de ensaye a flexión.

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.11 – Probetas luego del ensaye a compresión.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se expresarán en tablas los resultados obtenidos luego de la realización de los ensayos de resistencia mecánica:

Tabla 4.8 – Resistencia a la compresión mortero patrón.

| MORTERO PATRON | NUMERO ENSAYE | | |
|--|---------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Resistencia a la flexión (MPa) | 6.022 | 5.181 | 5,032 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | 15.683 | 16.269 | 13.957 |
| | 17.538 | 17.341 | 15.078 |
| PROMEDIO | 16,61 | 16.81 | 14.52 |
| RESISTENCIA A LA COMPRESION: 15.98 MPa | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.9 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:12.

| MORTERO CON ADITIVO 1:12 | NUMERO ENSAYE | | |
|--|---------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Resistencia a la flexión (MPa) | 6.028 | 6.421 | 6.554 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | 14.454 | 16.562 | 18.221 |
| | 15.172 | 16.338 | 15.665 |
| PROMEDIO | 14.81 | 16.45 | 16.94 |
| RESISTENCIA A LA COMPRESION: 16.07 MPa | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.10 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:10.

| MORTERO CON ADITIVO 1:10 | NUMERO ENSAYE | | |
|--|---------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Resistencia a la flexión (MPa) | 6.733 | 5.682 | 4.978 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | 15.889 | 16.607 | 17.010 |
| | 16.651 | 16.069 | 17.369 |
| PROMEDIO | 16.27 | 16.44 | 17.19 |
| RESISTENCIA A LA COMPRESION: 17.63 MPa | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.11 – Resistencia a la compresión mortero con aditivo 1:8.

| MORTERO CON ADITIVO 1:8 | NUMERO ENSAYE | | |
|--|---------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Resistencia a la flexión (MPa) | 5.563 | 6.208 | 6.339 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | 19.476 | 14.454 | 16.920 |
| | 17.896 | 17.772 | 17.189 |
| PROMEDIO | 18.69 | 16.11 | 17.053 |
| RESISTENCIA A LA COMPRESION: 17.28 MPa | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.4.3. Ensaye de permeabilidad.

Se prepararon las muestras de mortero utilizando la betonera, debido a que estas cantidades de mortero son mucho mayores a lo necesitado en los ensayos anteriores, mezclando en seco la arena y el cemento y luego aplicando el agua, y el agua con aditivo en las mezclas en que correspondía.

Luego se procedió a llenar los molden cúbicos (metálicos) de 15x15x15 cm, los cuales fueron vibrados y enrazados.

Los procesos descritos se ilustran en las siguientes imágenes:



Figura 4.13 - Materiales y betonera para confeccionar el mortero.
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.14 - Mortero en los moldes para ensaye de permeabilidad.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

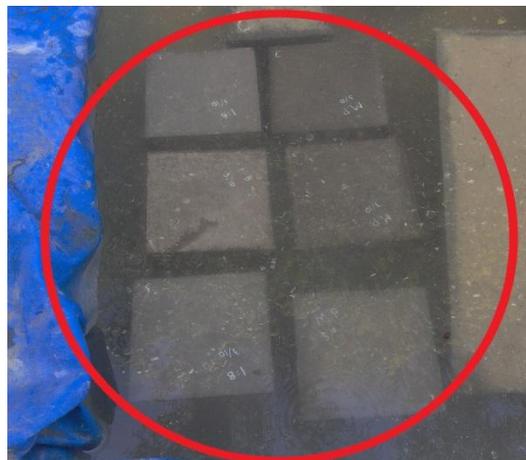


Figura 4.15 - Curado de las probetas.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Luego de los 10 ± 3 días de fabricadas las probetas se procedió a lijar con escobilla la parte que quedará expuesta al agua bajo presión y posteriormente se confecciono y colocó la pasta de cemento de sellado con el anillo de goma que evitará la filtración del agua una vez se comience con el ensaye definitivo, dicho proceso se muestra en las imágenes a continuación:



Figura 4.16 – Probetas lijadas, con el anillo y la pasta de sellado.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Una vez cumplidos los 28 días, se procedió a armar los equipos para realizar el ensaye de permeabilidad, controlando la presión de agua constante en 5 MPa durante 3 días.



Figura 4.17 – Probetas en equipo para ensaye de permeabilidad.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

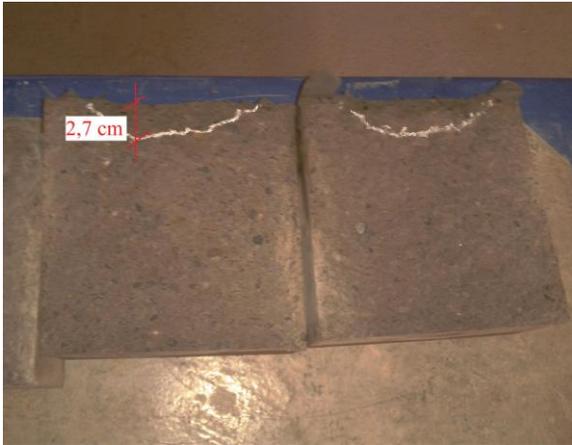


Figura 4.19 – Penetración de agua en mortero patrón.
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.18 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:12.
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.21 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:10.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

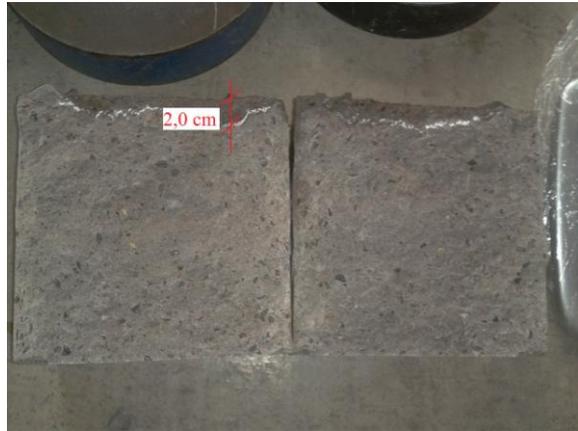


Figura 4.20 – Penetración de agua en probeta con aditivo 1:8.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Una vez pasados los 3 días se procedió a realizar la medición de penetración de agua, para lo cual se partieron las probetas por hendimiento como se especifica en la norma chilena NCh2262 Of 2009 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.12 – Penetración de agua en mortero patrón.

| MORTERO PATRON | NUMERO ENSAYE | | |
|----------------------------|---------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| PENETRACION DE AGUA (mm) | 28 | 25 | 27 |
| PENETRACIÓN DE AGUA: 27 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.13 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:12.

| MORTERO CON ADITIVO 1:12 | NUMERO ENSAYE | | |
|----------------------------|---------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| PENETRACION DE AGUA (mm) | 24 | 26 | 27 |
| PENETRACIÓN DE AGUA: 26 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.14 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:10.

| MORTERO CON ADITIVO 1:10 | NUMERO ENSAYE | | |
|----------------------------|---------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| PENETRACION DE AGUA (mm) | 24 | 21 | 22 |
| PENETRACIÓN DE AGUA: 23 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.15 – Penetración de agua en mortero con aditivo 1:8.

| MORTERO CON ADITIVO 1:8 | NUMERO ENSAYE | | |
|----------------------------|---------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| PENETRACION DE AGUA (mm) | 20 | 21 | 19 |
| PENETRACIÓN DE AGUA: 20 mm | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.4.4. Ensaye de adherencia a cizalle.

Lo primero que se realizó fue sumergir los ladrillos a utilizar en agua, por los tiempos requeridos, ya sea 15 o 30 minutos según correspondiese para las probetas a confeccionar, como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 4.22 – Humectación de los ladrillos.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Una vez pasado este tiempo se sacaban los ladrillos y se procedía a unir los primeros 2, aplicando una capa de mortero de aproximadamente 1,5 cm de espesor.



Figura 4.23 – Unión primeros dos ladrillos.

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.24 – Unión de los 3 ladrillos.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Una vez cumplidos los 25 días se procedió a realizar el refrentado a las probetas, comenzando por los ladrillos del costado y al día siguiente con el ladrillo central, y, finalmente cumplidos los 28 días, se procedió a realizar el ensaye de adherencia a cizalle como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 4.25 – Refrentado de los ladrillos laterales.

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Figura 4.26 – Refrentado de los ladrillos centrales.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Luego del refrentado que se les aplicó a las probetas se realizaron los ensayos de adherencia a cizalle a todas ellas a los 28 días, este ensaye se realizó en una equipo para realizar ensayos de compresión.

A continuación se mostraran imágenes del proceso:

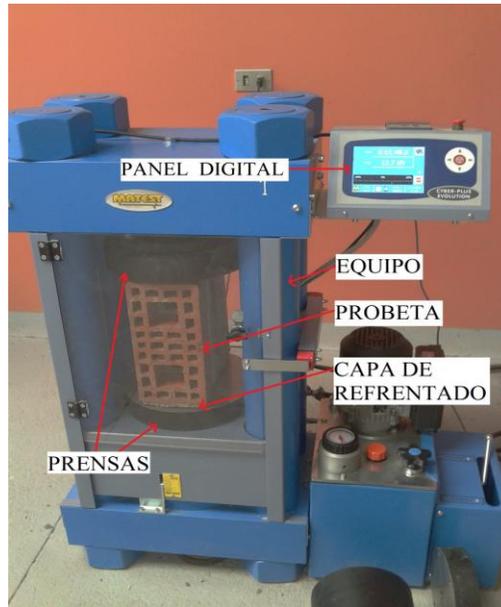


Figura 4.27 – Equipo para realizar el ensaye.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

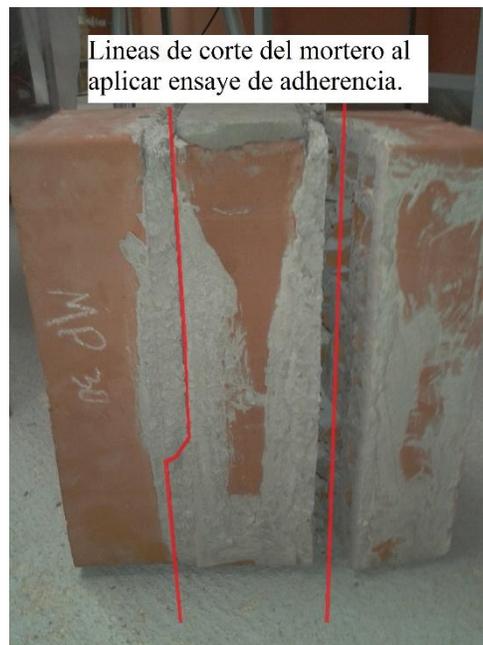


Figura 4.28 – Probeta luego del ensaye de adherencia a cizalle.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los datos obtenidos para cada ensaye, ya sea para las muestras del mortero patrón y muestras con aditivo impermeabilizantes, además de ambos tiempos de humectación, fueron ordenados en las siguientes tablas:

Tabla 4.16 – Adherencia a cizalle. Mortero patrón, 15 minutos humectación.

| MORTERO PATRON (humectación 15 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.54 | 0.57 | 0.57 | 0.55 | 0.55 | 0.54 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.55 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.17 – Adherencia a cizalle. Mortero patrón, 30 minutos humectación.

| MORTERO PATRON (humectación 30 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.55 | 0.56 | 0.57 | 0.56 | 0.56 | 0.55 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.56 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.18 – Adherencia a cizalle. Aditivo 1:12, 15 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:12 (humectación 15 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 0.52 | 0.54 | 0.53 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.53 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.19 – Adherencia a cizalle. Aditivo 1:12, 30 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:12 (humectación 30 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.54 | 0.52 | 0.51 | 0.55 | 0.54 | 0.53 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.53 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.20 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:10, 15 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:10 (humectación 15 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.44 | 0.49 | 0.43 | 0.40 | 0.45 | 0.48 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.45 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.21 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:10, 30 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:10 (humectación 30 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.47 | 0.50 | 0.47 | 0.49 | 0.48 | 0.47 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.48 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.22 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:8, 15 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:8 (humectación 15 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.35 | 0.36 | 0.36 | 0.38 | 0.37 | 0.39 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.37 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 4.23 - Adherencia a cizalle. Aditivo 1:8, 30 minutos humectación.

| MORTERO CON ADITIVO 1:8 (humectación 30 minutos) | NUMERO ENSAYE | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | 0.42 | 0.42 | 0.40 | 0.39 | 0.41 | 0.40 |
| ADHERENCIA A CIZALLE: 0.41 MPa | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.5. Análisis de resultados.

En este subcapítulo se analizaron los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio, entregando tablas resúmenes y gráficos para esclarecer de cierta manera los datos obtenidos, dando a la vez, pequeñas conclusiones que explicarán si los datos obtenidos están dentro de los requisitos generales para el mortero de junta en cuestión.

4.5.1. Ensaye de consistencia.

Con los datos obtenidos del ensaye de consistencia mediante el método de extendido en la mesa de sacudidas regido por la norma chilena Nch2257/1 of 96 generamos la siguiente tabla resumen:

Tabla 4.24 - Resumen resultados ensaye de consistencia.

| GRUPO | PROPORCION ADITIVO (1) | DIAMETRO (mm) | CLASIFICACION SEGÚN NCh 2256 of 2001 |
|--|------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 1 | 0:1 | 197 | PLASTICA |
| 2 | 1:12 | 208 | PLASTICA |
| | 1:10 | 213 | PLASTICA |
| | 1:8 | 215 | PLASTICA |
| (1) La proporción es respecto del agua de amasado. Ej. 1:12 corresponde a 1 de aditivo por 12 de agua. | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La norma chilena Nch2256-1 Of 2001 clasifica los mortero según su consistencia, en ella el rango para la consistencia plástica es entre 150 y 240 mm en la mesa de sacudidas, lo que se encuentra dentro de lo exigido por norma para el mortero de junta, que es entre 180 y 220 mm.

Por lo que en nuestro caso, el mortero fabricado, cumple con el requisito exigido por norma chilena Nch2256/1 of 2001.

Por otro lado, se tiene a la vez, que el aditivo impermeabilizante afecta la consistencia del mortero, aunque en pequeñas proporciones, debido que al ir incorporando el aditivo, la consistencia va disminuyendo, haciendo más fluido la muestra confeccionada.

4.5.2. Ensayo de resistencia mecánica.

Los datos obtenidos según el procedimiento descrito en la norma chilena NCh 158 Of 67 para el ensayo de resistencia mecánica se mostrarán en la siguiente tabla resumen:

Tabla 4.25 - Resumen resultados ensayo de resistencia mecánica.

| GRUPO | PROPORCION ADITIVO (1) | RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) | OBERVACION (2) |
|-------|--|-----------------------------------|----------------|
| 1 | 0:1 | 15,98 | CUMPLE |
| 2 | 1:12 | 16,07 | CUMPLE |
| | 1:10 | 16,63 | CUMPLE |
| | 1:8 | 17,28 | CUMPLE |
| (1) | La proporción es respecto del agua de amasado. Ej. 1:12 corresponde a 1 de aditivo por 12 de agua. | | |
| (2) | El requisito para que cumpla para el mortero de junta según Nch2256-1 Of 2001 debe ser mayor o igual 10 MPa. | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se mostrará una imagen con los datos obtenidos, para demostrar de forma gráfica, la influencia del aditivo impermeabilizante en la resistencia mecánica del mortero elaborado según las proporciones utilizadas:

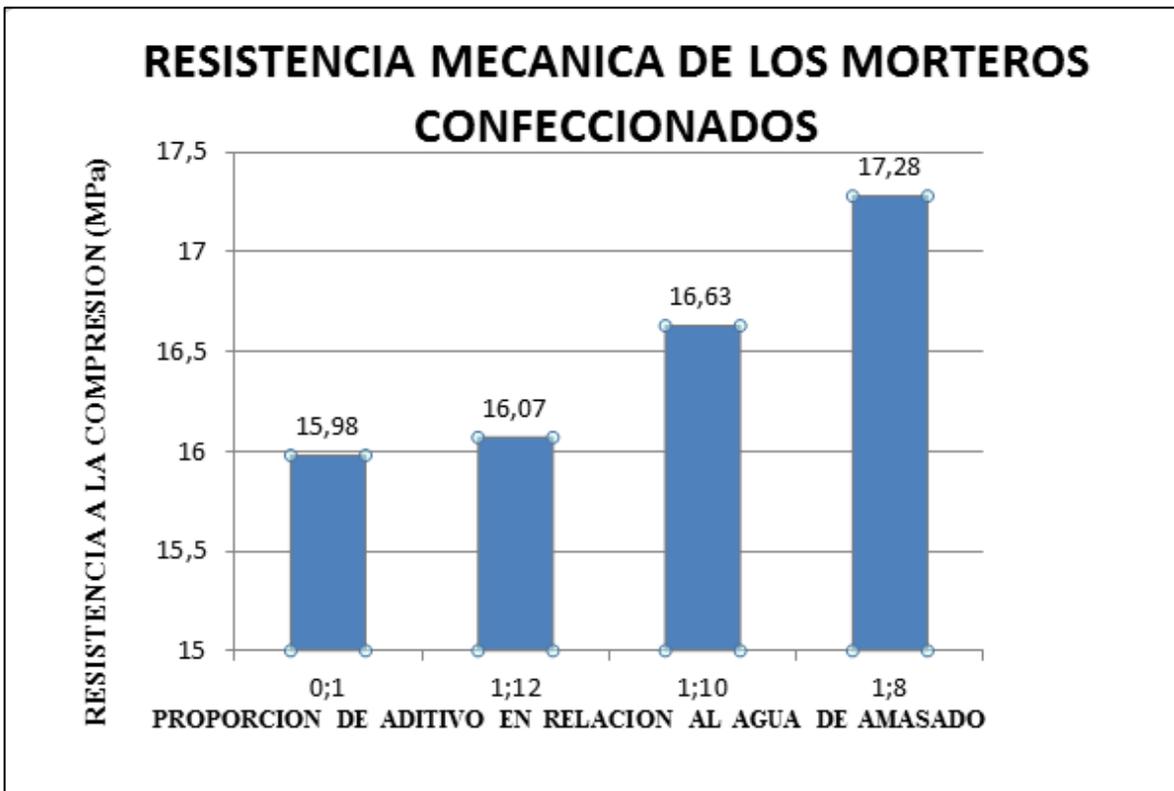


Figura 4.29 – Grafico de resistencia a la compresión de las probetas.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como muestra la tabla 4.25, ambos grupos de muestras cumplen con el requisito de resistencia mecánica expuesto en la norma chilena Nch2256-1 Of 2001 para morteros de juntas, el cual es de 10 MPa a los 28 días (edad a la que se ensayaron las probetas).

Como se muestra en la imagen presentada en la figura 4.29, se puede concluir que el aditivo impermeabilizante aumenta la resistencia a la compresión a medida que se va disminuyendo el agua y aumentando la cantidad de aditivo en la dosificación del mortero confeccionado.

4.5.3. Ensaye de permeabilidad.

Los datos obtenidos en el ensaye de permeabilidad según el procedimiento descrito en la norma chilena NCh2262 Of 2009 of se mostrarán en la siguiente tabla resumen:

Tabla 4.26 - Resumen resultados ensaye de Permeabilidad.

| GRUPO | PROPORCION ADITIVO (1) | PENETRACION DE AGUA BAJO PRESION (mm) | OBERVACION (2) |
|-------|---|---------------------------------------|----------------|
| 1 | 0:1 | 27 | CUMPLE |
| 2 | 1:12 | 26 | CUMPLE |
| | 1:10 | 23 | CUMPLE |
| | 1:8 | 20 | CUMPLE |
| (1) | La proporción es respecto del agua de amasado. Ej. 1:12 corresponde a 1 de aditivo por 12 de agua. | | |
| (2) | El requisito para que cumpla según la instrucción española de hormigón estructural EHE-08 es entre 30 y 50 mm de penetración máxima según el tipo de ambiente al que este expuesto. | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se mostrará gráficamente la influencia del aditivo impermeabilizante en la permeabilidad del mortero confeccionado según las proporciones utilizadas:

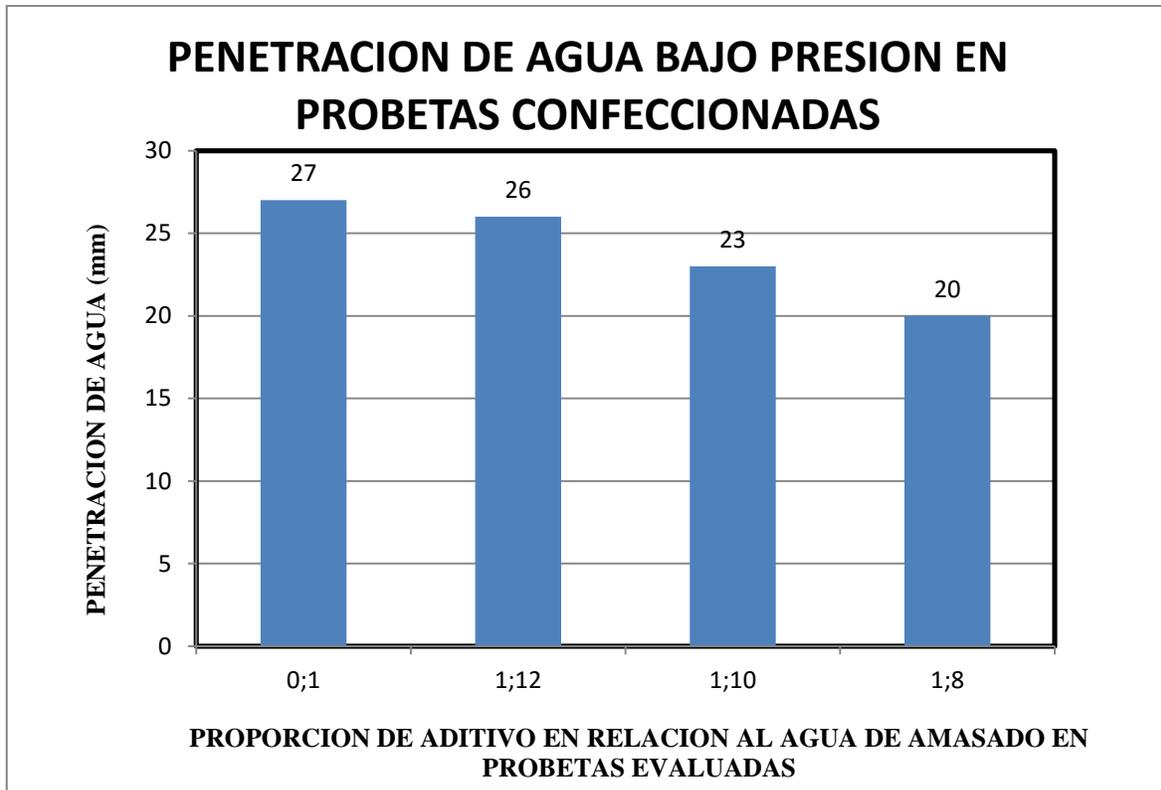


Figura 4.30 – Grafico de permeabilidad de las probetas.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como podemos ver en la Tabla 4.26, en la que se resumen los resultados entregados por el ensaye de permeabilidad al agua bajo presión, todos cumplen con el requisito, por lo que el mortero fabricado podría utilizarse en todo tipo de ambientes, ya sea en ambientes muy agresivos como en los que no lo son tanto.

Conjuntamente con lo anterior, podemos apreciar en la Figura 4.30 que el aditivo impermeabilizante a medida que va aumentando va disminuyendo la permeabilidad del mortero, lo que nos indica que va mejorando la impermeabilidad, resultado obviamente esperado.

4.5.4. Ensaye de adherencia a cizalle.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el ensaye de adherencia a cizalle ordenados en una tabla resumen para su mejor observación:

Tabla 4.27 - Resumen resultados ensaye de adherencia a cizalle.

| GRUPO | PROPORCION ADITIVO (1) | TIEMPO HUMECTACION LADRILLO (minutos) | ADHERENCIA A CIZALLE (MPa) | OBERVACION (2) |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|
| 1 | 0:1 | 15 | 0.55 | CUMPLE |
| | | 30 | 0.56 | CUMPLE |
| 2 | 1:12 | 15 | 0.53 | CUMPLE |
| | | 30 | 0.53 | CUMPLE |
| | 1:10 | 15 | 0.45 | CUMPLE |
| | | 30 | 0.48 | CUMPLE |
| | 1:8 | 15 | 0.37 | CUMPLE |
| | | 30 | 0.41 | CUMPLE |
| <p>(1) La proporción es respecto del agua de amasado. Ej. 1:12 corresponde a 1 de aditivo por 12 de agua.</p> <p>(2) El requisito para que cumpla el mortero de junta según NCh 2256-1 debe ser mayor o igual 0,20 MPa a los 28 días.</p> | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como podemos observar en la Tabla 4.27, todas las probetas confeccionadas, tanto con el mortero patrón como el mortero con aditivo impermeabilizante, cumplen con la normativa chilena Nch2256-1 Of 2001.

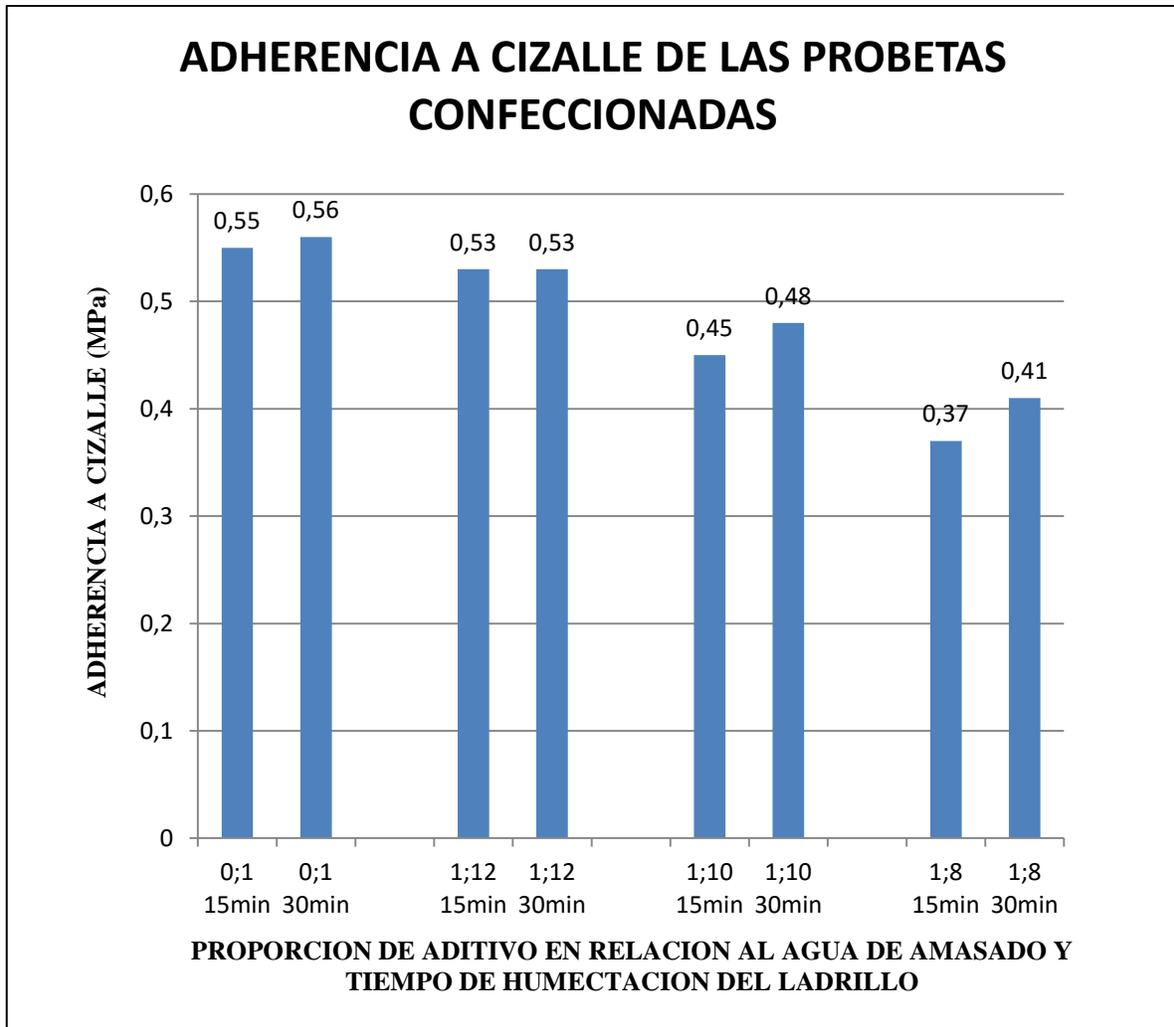


Figura 4.31 – Grafico de resistencia a la compresión de las probetas.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como podemos ver en la Figura 4.31 existe una diferencia en los resultados con cada tiempo de humectación para cada muestra con la misma dosificación, y a la vez podemos apreciar que a medida que se va aumentando la cantidad de aditivo va disminuyendo la adherencia entre mortero y unidad.

5. Conclusiones y Futuras Investigaciones.

5.1. Conclusiones.

Analizando los resultados correspondientes al ensaye realizado al mortero fresco, se obtiene que la incorporación de aditivo impermeabilizante en la dosificación del mortero de junta afecta la consistencia, ya que al ir incorporando mayores cantidades de dicho aditivo e ir disminuyendo las cantidades de agua, las muestras se van haciendo más fluidas, por ende menos consistente, pero sin embargo, en las proporciones estudiadas, siguen estando dentro del rango permitido, o más bien, exigido por norma NCh 2257/1 Of 96.

Por otra lado, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el ensaye de resistencia mecánica, si bien, la resistencia a la compresión obtenida es superior a la requerida por requisito según Nch 2256-1 Of 2001 (10 Mpa), lo cual se obtuvo debido a que la dosificación que se utilizó fue el método de dosificación por requisitos, y en dicho sistema de dosificación se toma un factor de seguridad para la resistencia requerida y, que en nuestro caso, fue de 15,12 MPa, con ello, cumple de todas formas, por lo que al dosificar una menor resistencia cumple de igual forma. También podemos mencionar que la incorporación del aditivo impermeabilizante aumentó la resistencia mecánica del mortero, presentando resultados de un 8,14% de aumento entre el mortero patrón y la proporción más óptima en relación a la resistencia mecánica del mortero (proporción 1:8).

Analizando los resultados entregados por el ensaye de permeabilidad al agua bajo presión, todas las probetas ensayadas cumplen con lo exigido por la Instrucción Española de Hormigón Estructural EHE-08, por lo que cada una de las muestras fabricadas, podría utilizarse en todo tipo de ambientes, también se puede apreciar que el aditivo impermeabilizante a medida que va aumentando va mejorando la impermeabilidad, lo cual es natural, debido que es ese el efecto que se espera al utilizar este tipo de aditivos, dándonos un 25, 93% de aumento de la impermeabilidad del mortero comparando el mortero patrón con el mortero que incluye el aditivo impermeabilizante en una proporción de 1:8 en razón al agua de amasado.

Por último, y el tema central de nuestra investigación, la adherencia a cizalle, podemos concluir que todas las probetas confeccionadas, tanto con el mortero patrón como el mortero con aditivo impermeabilizante, cumplen con la normativa Nch2256-1 Of 2001 la cual indica que la adherencia a cizalle debe ser mayor o igual 0,20 MPa a los 28 días. También podemos decir que existe una diferencia en los resultados con cada tiempo de humectación para cada muestra con la misma dosificación, es decir, se reflejó en los datos obtenidos que la adherencia a cizalle en las probetas en las cuales se humectaron los ladrillos por más tiempo (30 minutos) fue mayor, dándonos la razón en que el tiempo de humectación de las unidades es de gran importancia a la hora de un buen construir. Por otra parte podemos apreciar que a medida que va aumentando la cantidad de aditivo va disminuyendo la adherencia entre el mortero y los ladrillos, es decir, entre el mortero patrón y la proporción 1:8 del aditivo impermeabilizante (proporción más desfavorable en relación

a la adherencia a cizalle del mortero) ocurre una disminución de la adherencia en un 26,79%.

En tanto a lo que respecta a los cuatro objetivos específicos de esta investigación podemos mencionar que se cumplió con la mayoría de ellos. El primer objetivo fue determinar consistencia, resistencia mecánica y permeabilidad de los morteros confeccionados con aditivo impermeabilizante para ver que cumplieran con los requisitos exigidos por norma, lo cual se llevó a cabo en la etapa n°2 de nuestra investigación (etapa experimental) llegando a conclusiones positivas al comprobar que se cumplía tanto con la norma NCh 2257/1 Of 96 (consistencia), la norma NCh 2256-1 Of 2001 (resistencia mecánica) y con lo exigido por la Instrucción Española de Hormigón Estructural EHE-08 (permeabilidad). Nuestro segundo objetivo fue determinar adherencia máxima al cizalle de los conjuntos mortero-ladrillo confeccionados, cumpliéndose al encontrar que la adherencia máxima a cizalle se presentó en las probetas confeccionadas con mortero patrón en las cuales se empleó el mayor tiempo de humectación de los ladrillos (30 minutos) presentando una adherencia a cizalle de 0.56 MPa. También se cumplió con el cuarto objetivo específico el cual mencionaba realizar tabla en la que se pudiese observar la influencia del aditivo, ya que en la Tabla 4.27 se puede observar claramente la influencia del aditivo impermeabilizante sobre la adherencia a cizalle, mostrando una disminución de esta a medida que se fue incorporando en mayor proporción dicho aditivo. Por lo tanto se cumplieron todos los objetivos específicos, a excepción del tercero, el cual mencionaba que se encontraría una óptima dosificación del aditivo impermeabilizante que nos proporcionaría un aumento en la adherencia, dado que, al final de la etapa del desarrollo de la investigación, se comprobó que ocurre el efecto contrario.

Esto nos indicó que no se puede validar la hipótesis de este trabajo de investigación, la que menciona que “el uso de aditivos impermeabilizantes en la dosificación del mortero de junta aumenta la adherencia mortero-ladrillo”, debido a que no ocurre dicho aumento sino que una disminución de la adherencia, con lo anterior mencionado podemos responder al objetivo general de nuestro trabajo concluyendo que el aditivo impermeabilizante tiene una influencia negativa sobre la adherencia de morteros de junta y ladrillos cerámicos hechos a máquina. No obstante, esta influencia negativa no indica que no se pueda usar este aditivo en el mortero de junta, ya que aun así se encuentra dentro de lo permitido por normativa chilena, lo que si indica es que no se puede mejorar la adherencia y la impermeabilidad del mortero de junta de forma simultánea.

5.2. Futuras investigaciones.

Como futuras investigaciones se podrían considerar los estudios relacionados con la dosificación del mortero, realizando variaciones ya sea en la cantidad de arena y las cantidades de cemento, o elaborando las probetas para adherencia a cizalle con tiempos de humectación con mayores rangos, ya sea desde un tiempo “0” hasta alguno superior del expuesto por la norma chilena NCh 157 of 2001 y, así, comprobar la influencia sobre la adherencia mortero-ladrillo en albañilerías.

También se podrían estudiar distintas marcas de aditivos impermeabilizantes, o incluso otros tipos de aditivos y comprobar el efecto que estos provocan en la adherencia a cizalle.

Bibliografía.

- Álvarez Jorge (1997) - Estudio de la influencia de finura de la arena sobre la permeabilidad y la absorción capilar de los morteros - Memoria para optar al título de ingeniero constructor - Universidad de Valparaíso, Chile.
- Andrade Miguel (2005) - Revista de Construcción Universidad Católica de Chile - uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. Mejoramiento térmico en muros de albañilería de ladrillos cerámicos – ISSN 0717-7925 Volumen 4 - Numero 2.
- Barrera Hugo (2002) – Estudio de los morteros de junta según Nch 2256/1 bajo la óptica de la adherencia – Tesis para optar al título de ingeniero civil en obras civiles – Universidad de Santiago de Chile.
- Bertero Ana (1994) – Efectos de la cal y el aire incorporado sobre la exudación y sobre la adherencia de morteros – Memoria para optar al título de Constructor Civil - Universidad de Valparaíso, Chile.
- I.N.E. (1999) – Anuario de la edificación 1994-1998. Instituto Nacional de Estadísticas de Chile INE, Santiago, Chile.
- Montoya et ál (2009) - Comportamiento mecánico y de fraguados de morteros de cemento portland - Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 11:pag. 41
- Onetto Arturo (1986) – Estudio de adherencia en ladrillos hechos a máquina – Memoria para optar al título de constructor civil - Universidad de Valparaíso, Chile.
- Rifo Gonzalo (2007) – Estudio correlacional entre la resistencia a compresión y su altura y la adherencia a cizalle con el espesor de junta de mortero en ladrillos cerámicos hechos a máquina – Tesis para optar al título de ingeniero constructor - Universidad de Valparaíso, Chile.
- Salamanca (2001), la tecnología de los morteros – Ciencia e Ingeniería Neogranadina – Número 11:pag. 41-48.
- Salazar José (1993) – Verificación de una metodología de ensayo para medir adherencia en unidades de albañilería de ladrillo - Memoria para optar al título de ingeniero constructor - Universidad de Valparaíso, Chile.
- Salinas Robinson (2012) - Adherencia unidad-mortero al variar el porcentaje de cal y la frecuencia de curado - Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor - Universidad de Valparaíso, Chile.
- San Bartolomé (1994) - Construcciones de Albañilería -Comportamiento sísmico y diseño Estructura. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Zabaleta y Egaña (1989) – Manual del mortero – instituto chileno del cemento – Santiago, Chile.

Normativas chilenas.

- Nch 148 Of 68 – “Cementos – Terminología, clasificación y especificaciones generales”.
- Nch 158 Of 67 – “Cementos – ensayos de flexión y compresión de morteros de cementos”.
- Nch 163 Of 2013 – “Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales”.
- Nch 165 Of 2009 – “Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de granulometría”.
- Nch 167 Of 2001 – “Ladrillos cerámicos – ensayos”.
- Nch 1239 Of 77 – “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas”.
- Nch 1928 Of 93 - “Albañilería armada – requisitos para el diseño y cálculo”.
- Nch 2256-1 Of 2001 – “Morteros Requisitos generales”.
- Nch 2257/1 Of 96– “Determinación de la consistencia”
- NCh2262 Of 2009 - Hormigón y mortero - Métodos de ensayo, determinación de la impermeabilidad al agua, método de la penetración de agua bajo presión