



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería en Construcción

ANALISIS RAZON AGUA/CEMENTO CON MORTERO DE CEMENTO BLANCO

**Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.**

Profesor Guía:

Sr. José Arrey Díaz.

Constructor Civil, especialidad Hormigones.

Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales.

JASSNA ELIZABETH CHIGUAY VELASQUEZ

VALDIVIA — CHILE

2007

DEDICATORIA

Con todo el amor esta tesis esta dedicada a mis padres y hermanitos, que me apoyaron durante estos años de estudio y que a pesar de la distancia siempre creyeron en mi.

...En especial a mis abuelitos Juan y María, que con sacrificio y amor estuvieron conmigo en una etapa muy importante de mi vida...aunque ya no estén, siempre los llevaré en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis amigos y todas las personas que me apoyaron en esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi profesor guía Don José Arrey por toda la colaboración prestada en la realización de esta tesis.

También agradezco al personal del LEMCO; Marcelo, Leo y Rodrigo por su ayuda durante la realización de mis ensayos.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. MORTERO | 1 |
| 1.1. Antecedentes generales | 1 |
| 1.2. Propiedades del mortero | 1 |
| 1.2.1. Trabajabilidad | 1 |
| 1.2.2. Densidad | 2 |
| 1.2.3. Resistencia | 2 |
| 1.2.4. Variación de volumen | 3 |
| 1.2.5. Durabilidad del mortero | 6 |
| CAPÍTULO II | 7 |
| 2. CEMENTO BLANCO | 7 |
| 2.1. Características generales | 7 |
| 2.2. Propiedades del cemento blanco | 8 |
| 2.3. Fabricación | 9 |
| 2.4. Materiales utilizados en mezclas con cemento blanco | 9 |
| 2.4.1. Agregados | 10 |
| 2.4.2. Agua | 10 |
| 2.4.3. Pigmentos | 10 |
| 2.4.4. Aditivos | 11 |
| 2.5. Usos y aplicaciones | 11 |
| CAPITULO III | 17 |
| 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA | 17 |
| 3.1. Generalidades | 17 |
| 3.2. Metodología de trabajo | 17 |
| 3.3. Materiales Utilizados | 18 |
| 3.4. Diseño mezclas de prueba | 18 |
| 3.4.1. Ensayos realizados a los áridos para la dosificación | 18 |
| 3.4.2. Dosificación | 20 |
| 3.5. Confección mezclas de prueba | 23 |
| 3.6. Ensayos realizados a probetas rilem | 31 |
| 3.6.1. Ensayo de flexión | 31 |
| 3.6.2. Ensayo de compresión | 32 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO IV | 33 |
| 4. ENSAYOS Y RESULTADOS | 33 |
| 4.1. Trabajabilidad del Mortero de Cemento | 33 |
| 4.2. Resultado de resistencia a flexión y compresión | 33 |
| CAPITULO V | 48 |
| 5. CONCLUSIONES | 48 |
| ANEXO A | 50 |
| BIBLIOGRAFÍA | 52 |

RESUMEN

En la realización del presente estudio se evaluó experimentalmente el comportamiento de la resistencia del mortero con cemento blanco, a través de la variación de la razón agua cemento.

Para esto se confeccionaron mezclas de prueba RILEM con diez razones agua/cemento distintas; en las cuales se determinó la resistencia a flexión y compresión de cada probeta cúbica a los días 3, 7, 14, 21 y 28 respectivamente.

Finalmente, se realizó una tabla propuesta razón agua/cemento vs resistencia de cemento blanco.

SUMMARY

In the accomplishment of the present study, the behavior of the resistance of mortar with white cement was evaluated experimentally, through the variation of the water / cement reason.

For this, mixtures of RILEM test with ten different water / cement reasons were made, in which the resistance to flexion and compression of each cubical test tube or "probeta" was determined in the days 3, 7, 14, 21 and 28 respectively.

Finally, a propose table between water/cement versus white cement resistance reasons was made.

INTRODUCCION

No existen grandes misterios, los cementos, hormigones y morteros, cuentan con una gran cantidad de variedades según uso, resistencia, rendimiento y capacidad.

Sin embargo en los últimos años, se ha incrementado la innovación en los proyectos de arquitectura, cada vez siendo más exigentes y apuntando a aplicaciones estructurales y belleza arquitectónica, a la vez.

El cemento blanco es un material muy reciente, más moderno incluso que el vidrio, el acero y algunos plásticos, y está adquiriendo un desarrollo progresivo en la arquitectura contemporánea; ya que indudablemente garantiza elegancia, luminosidad y estética.

En otros países la calidad de las construcciones es muy importante y el cemento blanco en los últimos años esta siendo muy utilizado; es un material emergente en la construcción de edificios públicos y privados; incluso se realizan congresos internacionales de arquitectura blanca; donde se reúnen los más destacados arquitectos que han llevado a cabo proyectos con cemento blanco.

En Chile el uso del cemento blanco es bajo; sin embargo su uso ha ido creciendo; y cada vez más profesionales están apostando por el uso de este material ya que otorga excelentes terminaciones estéticas y decorativas. Por lo tanto es fundamental el estudio del cemento blanco ya que en Chile está produciendo un auge y los estudios son escasos.

En este caso nos enfocaremos al estudio de mortero con cemento blanco; esto puede ser muy relevante ya que para algunas obras es necesario la utilización de un mortero con cemento blanco, debido a las características principalmente decorativas que este tiene.

El estudio se desarrolla en forma experimental en el laboratorio de ensaye de materiales de construcción (LEMCO) de la Universidad, utilizando distintas razones agua/cemento para la confección de mezclas de prueba, para después ensayarlas, con el objeto de determinar su resistencia.

En esta investigación se tomará como referencia el trabajo de tesis “Caracterización del cemento blanco” desarrollada por Giovana Navarrete Anabalón, para optar al título de Ingeniero Constructor en 2006, de la Universidad Austral de Chile; la cual indica que el cemento blanco es un cemento de alta resistencia.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la razón agua/cemento versus resistencia con mortero de cemento blanco.

Objetivo Especifico

- Diseñar mezclas de prueba RILEM en laboratorio LEMCO y posteriormente realizar su caracterización mecánica mediante ensayos de flexión y compresión; basados en la NCh 158 Of. 1967.
- Preparar una tabla de resultados de razón agua/cemento vs resistencia de cemento blanco.

CAPÍTULO I

1. MORTERO

1.1. Antecedentes generales

La definición de mortero según la norma Nch2256/1 es la siguiente: "Mezcla constituida por cemento, arena y eventualmente otro material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia. También puede tener algún otro producto para mejorar su resistencia.

Para la fabricación de morteros se utilizan básicamente los mismos materiales que componen el hormigón, pero las funciones que cumple son diferentes, ya que el mortero se utiliza generalmente asociado a otro material de construcción; como por ejemplo ladrillos, bloques, etc.

1.2. Propiedades del mortero

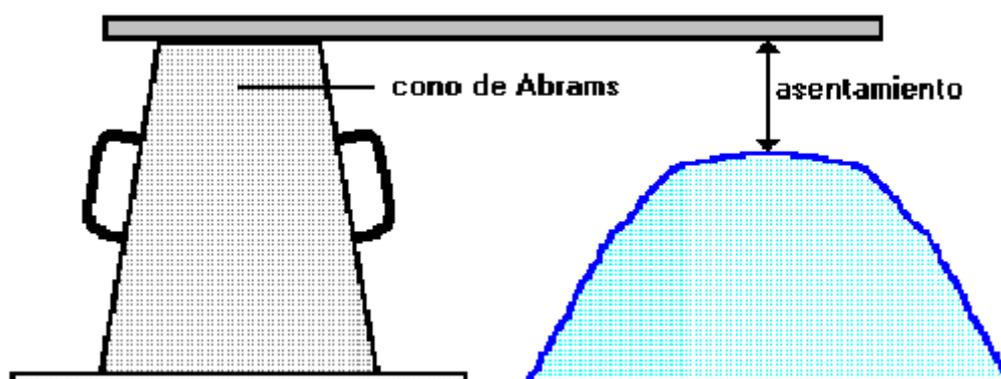
1.2.1. Trabajabilidad

En esta etapa el mortero acepta deformaciones con pequeños aportes de energía externa. Para producir las cuales deben vencerse principalmente dos reacciones internas del mortero: una constituida por el frotamiento de las partículas granulares, cuya medida denominaremos fluidez del mortero, y la otra proveniente de la cohesión de la masa, cuya medida denominaremos consistencia del mortero.

El conjunto de ambas características constituye la trabajabilidad del mortero, designada también con el nombre de docilidad.

La trabajabilidad es fundamental en la etapa en que el mortero se mantiene en estado plástico, ya que condiciona sus características en dicha etapa, la que a su vez corresponde a la de su empleo en obra.

La trabajabilidad del mortero se suele categorizar en función del asentamiento del cono de Abrams o el escurrimiento en las mesas de sacudidas ASTM o DIN.



Asentamiento del cono de Abrams

Fuente: Diseño y fabricación de hormigones

1.2.2. Densidad

La densidad del mortero se define como el peso por unidad de volumen. Depende del peso específico y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del mortero. Para los morteros convencionales confeccionados con materiales granulares provenientes de rocas sin contenidos de minerales metálicos, su valor oscila entre 1.8 y 2.3 Kg. /dm³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta un 5 % de su densidad inicial.

1.2.3. Resistencia

La resistencia es una de las propiedades más importantes del mortero, principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales.

El mortero en su calidad de constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre éste. Si

sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, que pueden llegar a afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esa característica.

El examen de las teorías de rotura de los materiales demuestra que esta capacidad resistente debe ser evaluada para las tensiones normales: compresión y tracción.

- **Resistencia a la compresión**

Se establece en la NCh 158 para los cementos, en lo que concierne a forma y dimensiones de la probeta (4x4x16cm).

- **Resistencia a flexión**

La resistencia a flexión del mortero no tiene la misma incidencia que para los hormigones. Sin embargo, en algunos casos, como por ejemplo para determinar la seguridad a la fisuración, puede ser necesario disponer de valores de ella. El ensayo se establece según NCh 158.

1.2.4. Variación de volumen

El mortero experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico - químicas.

El tipo y magnitud de estas variaciones están afectados en forma importante por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y también por los componentes presentes en la atmósfera.

La variación de volumen derivada de las condiciones de humedad se denomina retracción hidráulica, y las que tienen por causa la temperatura, retracción térmica. Por su parte, de las originadas por la composición atmosférica, la más frecuente es la producida por el anhídrido carbónico y se denomina retracción por carbonatación.

- ***Retracción hidráulica***

Los parámetros preponderantes en la retracción hidráulica son:

- **Composición química del cemento:** Influye principalmente en la variación de volumen, dado que ésta deriva del desarrollo del proceso de fraguado. En estas condiciones, si la composición del cemento favorece un fraguado rápido de la pasta, ella también será favorable para una más alta contracción inicial, si existen condiciones ambientales no saturadas de humedad. Por las razones indicadas, un alto contenido de C_3A favorecerá una rápida y alta contracción.
- **Finura del cemento:** Una mayor finura del cemento favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado.
- **Dosis de cemento:** Existe una relación casi directa entre la dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.
- **Dosis de agua:** Dado que un mayor contenido de agua en el interior del mortero conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.

- **Porosidad de los áridos:** El valor de la retracción por esta causa queda condicionado por la finura del árido, siendo mayor cuando ésta aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.

- **Humedad ambiente:** Puesto que ella condiciona la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.

- ***Retracción térmica***

El mortero puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Como consecuencia de lo expresado, los principales factores que condicionarán la magnitud de la retracción térmica son los siguientes:

- **variaciones derivadas de causas externas:**

- Magnitud y velocidad de las variaciones de temperatura ambiental

- **variaciones por causas internas:**

- Características del cemento
- contenido de C_3A
- Finura de molienda
- Temperatura en el momento de su incorporación en el mortero.

- ***Retracción por carbonatación***

El proceso de hidratación de la pasta de cemento deja una cierta proporción de cal libre, es decir, sin participar en el proceso químico de fraguado.

Este hidróxido de calcio es susceptible de combinarse con el anhídrido carbónico del aire, produciendo carbonato de calcio, combinación química que tiene

un carácter contractivo, por lo cual el espesor de mortero afectado por él disminuye su volumen inicial, generándose la denominada retracción por carbonatación.

En general, el espesor afectado es pequeño, alcanzando sólo algunos milímetros en la zona cercana a la superficie en contacto con el aire. Sin embargo, por el confinamiento que produce el mortero interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

El proceso alcanza mayor magnitud si el hormigón se presenta superficialmente seco, la humedad relativa del aire tiene un grado de humedad intermedio, alrededor de 50%, y el mortero es poco compacto. Disminuye, en cambio, significativamente si el hormigón está saturado, pues el agua impide la difusión del anhídrido carbónico en los poros del hormigón, o la humedad ambiente es muy baja, inferior a 25%, pues el desarrollo de la carbonatación requiere de un cierto grado de humedad mínimo.

En consecuencia, para atenuar los efectos de la carbonatación es necesario efectuar un buen curado del mortero. (Manual del mortero. Instituto chileno del cemento y del hormigón)

1.2.5. Durabilidad del mortero

Durante toda su vida útil, el mortero está permanentemente expuesto a las acciones provenientes de agentes externos e internos, que pueden afectar su durabilidad si no se les tiene debidamente en cuenta.

De acuerdo a su origen, estas acciones pueden ser producidas por agentes físicos o químicos. (Tecnología del hormigón. Universidad Católica del Norte)

CAPÍTULO II

2. CEMENTO BLANCO

2.1. Características generales

Sus ingredientes básicos son la piedra caliza, base de todos los cementos, el caolín (una arcilla blanca que no tiene ningún óxido de hierro, pero si mucha alúmina) y yeso. Esta diversa composición, sin embargo, no trajo ningún cambio en las características intrínsecas de este cemento, que proporciona las mismas capacidades de resistencia que un cemento gris.

Según Cemex, el mayor productor de cemento blanco del mundo, es ideal para un amplio rango de aplicaciones estructurales y arquitectónicas y es el ingrediente clave para diseños de hormigón y morteros. El cemento blanco posee también grandes ventajas y tiene las siguientes características (www.cemex.com):

- Tiene las mismas propiedades físicas que el cemento Pórtland gris.
- Generalmente, tiene mayor resistencia que la mayoría de los cementos grises, por ello tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris.
- Acentúa el color y la textura de agregados, gracias a su blancura uniforme.
- Acabado blanco y brillante de alta reflectividad.
- Es producido a partir de materias primas, seleccionadas cuidadosamente, que contienen muy bajos porcentajes de óxidos de hierro y magnesio u otros materiales que le den color.
- Dado su bajo contenido de álcalis en su composición química, es posible la utilización de agregados tales como el vidrio y algunas rocas, que normalmente reaccionan con los álcalis del cemento que traen consigo agrietamientos que demeritan la apariencia y la durabilidad del hormigón.
- Se puede obtener toda la gama de colores (con el agregado de pigmentos), acentuando el color y la textura de agregados, gracias a su blancura uniforme.

La hidratación, el endurecimiento y la resistencia, tanto en el caso del cemento gris como en el del blanco, dependen fundamentalmente de su contenido de silicatos cálcicos, que aproximadamente constituyen en ambos, un 75%. La diferencia entre los dos cementos mencionados consisten en que el gris contiene en promedio un 3% de óxido férrico, en tanto que el cemento blanco dicho contenido no excede un 0.5%. (Guía práctica cemento blanco Tolteca, 1996)

2.2. Propiedades del cemento blanco

La selección de las materias primas para fabricar cemento blanco es mucho más crítica que en la fabricación del cemento gris, debido a que deben ser de naturaleza muy pura y con cantidades mínimas de óxido de hierro.

Cuando el cemento pórtland blanco se mezcla con agua, se inician las reacciones de hidratación que consisten en la reacción entre el cemento y el agua donde se produce una disolución de los componentes del mismo, y se forman unos nuevos componentes que producen el endurecimiento de la pasta. En general se necesita una cantidad de agua del orden del 27% del peso del cemento.

La reacción de hidratación consiste de dos periodos: el tiempo de fraguado y el tiempo de endurecimiento. El tiempo de fraguado aquel durante el cual la pasta de cemento-agua tiene consistencia plástica y es trabajable. Su duración es de horas contando desde el momento del mezclado. El tiempo de endurecimiento comienza a partir del momento en que la pasta está fraguada y pierde su trabajabilidad. En el tiempo de endurecimiento se desarrollan las resistencias.

Los cementos pórtland blancos pueden tener la misma o mayor resistencia que los cementos grises. Esto se debe destacar porque todavía se cree que los cementos blancos no pueden tener alta resistencia, o que no son aptos para estructuras. La resistencia no es una característica que dependa del color del cemento pórtland sino de su composición.

2.3. Fabricación

El cemento pórtland blanco se obtiene a partir de la producción del horno de cemento de un clinker de color blanco; luego en la molienda del clinker se adiciona yeso (y adición de fillers calcáreos en algunos tipos de cemento). El clinker blanco se obtiene por calcinación a una temperatura del orden de 1450-1500 C en el horno de una mezcla finamente dividida de piedra caliza y arcillas blancas de tipo caolín.

Esta mezcla se denomina normalmente harina cruda y como consecuencia de las reacciones químicas que tienen lugar durante la cocción se forman nuevos minerales: silicatos de calcio y aluminatos de calcio, que una vez molidos conjuntamente con yeso, serán los responsables de los procesos de hidratación y endurecimiento del cemento cuando éste se mezcle con agua. La adición controlada de yeso en la molienda tiene como objetivo regular el tiempo de fraguado al igual que en los cementos grises.

Por lo que el color blanco del cemento se consigue a través de una selección de sus materias primas libres de hierro, manganeso y cromo; y de un permanente cuidado en todas las etapas de fabricación especialmente la molienda para preservar su blancura, a fin de lograr el alto grado de homogeneidad requerido para que los constructores e industrias que emplean este cemento, puedan a su vez lograr en sus obras y productos , calidad y uniformidad necesarias especialmente la molienda, para preservan su blancura.

2.4. Materiales utilizados en mezclas con cemento blanco

2.4.1. Agregados

Pueden emplearse arena y gravas naturales, de río o de mina, limpias en su origen, o bien lavadas para eliminar materia orgánica, la arcilla, el limo u otras impurezas que pueden perjudicar la durabilidad y el buen aspecto; o bien materiales obtenidos por la trituración de las rocas. Los agregados ya sean naturales o triturados pueden desempeñar una función puramente de relleno (agregados interiores que no afectan el aspecto exterior), o bien su función que puede ser también decorativa cuando por frotación y desbaste, se elimina la película superficial del cemento, de modo de dar vista al exterior a las partículas de agregado.

Los agregados deben almacenarse en depósitos o apartados diferenciados, preferentemente cubiertos, protegidos del ambiente y sin la posibilidad de mezcla o contaminación.

2.4.2. Agua

En principio el agua potable es la utilizada para el amasado. No deberá emplearse agua que proviene del desperdicio de plantas industriales, ni tampoco aquellas que presenten reacción ácida, que contengan cantidades perjudiciales de gas carbónico libre, limo, materia orgánica, azúcar, aceite, álcalis, sales u otras impurezas. (Manual del cemento blanco, Cemex, 1996).

Para hormigones y morteros blancos, el almacenaje y transporte del agua debe realizarse por medios que no contaminen el color de estos es, recipientes y conducciones limpios y exentos de óxido de hierro. El agua deberá estar libre de partículas en suspensión.

2.4.3. Pigmentos

Los pigmentos deben ser de calidad adecuada para resistir el ataque de los compuestos liberados en la hidratación del cemento, como el hidróxido clásico y el de

los agentes del intemperismo como los rayos solares y la lluvia. La variedad de colores y de tonos que es posible obtener, resulta prácticamente ilimitada, dadas las distintas mezclas que pueden hacerse combinando diferentes pigmentos.

Las anilinas y colorantes orgánicos comunes no resisten la acción de compuestos liberados en la hidratación del cemento, ni la de los agentes del intemperismo, y se decoloran rápidamente por lo que no conviene emplearlos.

Los pigmentos minerales de calidad satisfactoria pueden adquirirse ya debidamente preparados para añadirlos al cemento blanco, para mayor facilidad y comodidad en el empleo de cemento coloreado.

2.4.4. Aditivos

Para mejorar modificar algunas de las propiedades de los cementos, pastas y concretos, como la plasticidad, impermeabilidad, resistencia, tiempo de fraguado, etc., suelen añadirse aditivos, como impermeabilizantes, acelerantes, humectantes, etc. En proporción que no excede en general del 1 % por peso del cemento y de tierra. Antes de iniciar el empleo de un aditivo hay que consultar con algún laboratorio.

2.5. Usos y aplicaciones

La versatilidad del cemento blanco complace muchas posibilidades de expresión en el diseño, hace juego con la amplia gama de aplicaciones en arquitectura, estructuras, albañilería y acabados decorativos, los que dan una gran belleza.

Con el cemento blanco se pueden obtener una amplia gama de colores y tonalidades, con sólo agregarle, durante la preparación, algún pigmento de color.

También cabe destacar que las obras con acabado blanco, proveen mayor reflectividad, generando un ahorro en requerimientos de luminosidad y crean ambientes interiores más frescos.

Entre las principales aplicaciones del cemento blanco se encuentra:

- **Producto de concreto prefabricado**

Los productos de concreto prefabricado en instalaciones donde las formas son esmeradamente diseñadas, construidas y reparadas para asegurar que los productos terminados se ajusten exactamente a los requerimientos del arquitecto. Se puede diseñar formas complejas y resistentes, combinando la apariencia atractiva con la utilidad estructural. Dichos prefabricados son producidos en cantidades específicas para su embarque y montaje en la obra de construcción. Existen muchos productos de concreto prefabricado en los que el cemento blanco puede ser usado a su máximo potencial de diseño.

- Paneles convencionales de concreto prefabricado.
- Paneles de concreto reforzado con fibra de vidrio.
- Columnas, cubiertas y vigas prefabricadas.
- Unidades de construcción modulares.

- **Concreto hecho en obra**

Se pueden hacer, vaciados de concreto de alta de calidad, teñidos con agregados expuestos o texturizados, a través de ciertas técnicas de construcción y acabado.

Mezclas especiales de agregados para una distribución y apariencia optimas, calidad artesanal, retardo químico en el secado de superficies, lavado en agua o con

polvos abrasivos. Mientras que los principios de diseños y construcción son los mismos que para el cemento gris, el impacto arquitectónico del cemento blanco preparado en la obra es mucho mayor.

- **Unidades de concreto mortero**

Antes la construcción con bloques y ladrillos convencionales dependía del diseño del edificio y de la disposición de los bloques para hacer obras arquitectónicas. Hoy en las unidades de mortero ofrecen gran flexibilidad, incluyendo el diseño de los ladrillos y bloques de acuerdo a especificaciones de la forma tamaño, color, agregados y terminado de la superficie.

- **Estucos de cemento blanco**

El estuco hecho de cemento blanco es un material versátil para recubrimientos, el cual puede ser aplicado a cualquier superficie plana o curva, interior o exterior de cualquier construcción. Este estuco es duro, fuerte resistente al fuego y a la humedad, hongos y descomposición, tiene alta retención de colorantes y alta durabilidad en todo tipo de clima, puede ser aplicado en tan solo dos capas sobre superficie de mortero o concreto y en tres capas sobre refuerzos metálicos. Además, el acabado de la superficie puede trabajarse sobre aplanados de cemento, tabique, ladrillo, poliuretano, poliestireno, block o tabicon, para crear una gran variedad de impresiones visuales.

Las texturas y diseños decorativos que pueden ser desarrollados y especificados por estucos son ilimitados. Algunos de estos acabados pueden ser lisos o ásperos, raspados, barridos, acanalados, circulares, etc.

El estuco es un material económico ya que sustituye al engarrado, al afine y a los productos que pudieran instalarse en la fachada y esta libre de mantenimiento, ya que no requiere pintura, porque la tiene integrada en su formulación.

- **Pisos de cemento blanco**

Los pisos con cemento blanco ofrecen la posibilidad de diseño de combinaciones ilimitadas de color y patrones con alta durabilidad y bajo costo de mantenimiento. Las características de los pisos hechos con cemento blanco no pueden ser igualadas por otros materiales para pisos.

Entre las aplicaciones en pisos se pueden mencionar el terrazo, el cual es un piso no absorbente, resistente al polvo, bacterias y manchas. La combinación de terrazos por su densidad superficial y resistencia lo hace un piso ideal específico para áreas de alta intensidad de tráfico, tales como colegios, hospitales, edificios de oficinas e instituciones públicas.

El terrazo es un material compuesto de pedacería de mármol, onix, cuarzo, granito u otros agregados que son combinados en un molde usando cemento blanco y puede ser hecho prefabricado o usado en obra. A continuación se pule para exponer el brillo de los agregados.

- **Tejas**

Las tejas de concreto hecha con cemento blanco presentan una serie de ventajas como son: protección, belleza y un valor agregado para el diseñador y al propietario. Además de ser resistentes al fuego y a las termitas, contribuyen a incrementar la eficiencia en el consumo energético de casas y edificios. Pruebas han demostrado que en casa con tejas de concreto con colores claros son hasta unos 20% más frescas.

- **Pegazulejos**

El pegazulejo empleado con cemento blanco ayuda a eliminar las variaciones en color y terminado causada por la longitud o profundidad irregular de las juntas; también contribuye a ofrecer una belleza estética a las paredes o pisos, así como propiedades funcionales en lugares húmedos.

El pegazulejos hecho con cemento blanco es recomendado para pegar azulejos o piezas de alta absorción de humedad, y elimina la necesidad de humedecer las piezas o los muros.

- **Barreras de contención**

Para la separación de carriles en avenidas y carreteras, se utilizan elementos prefabricados de concreto elaborado con recubrimiento de cemento blanco, con la finalidad de realzar la visibilidad de ellas en condiciones de poca luminosidad.

- **Pintura**

La pintura a diferencia del estuco, no contiene arena u otro agregado de tamaño mayor, sino que esta constituida por polvo fino que en contacto con el agua forma una lechada, con consistencia de pintura, para aplicarla con brocha o con pistola de aire, y formar una película delgada. Estas pinturas se vienen empleando en algunos países como los Estados Unidos e Inglaterra.

Las pinturas constan principalmente de cemento blanco molido junto con pigmentos minerales. También suele añadirse algunos otros minerales con el fin de mejorar o acentuar algunas de las buenas propiedades del cemento Pórtland.

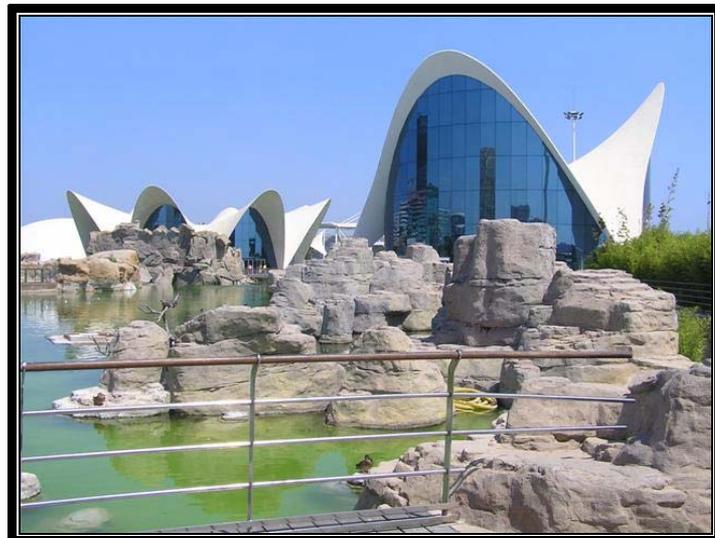
- **Piedra artificial**

Mediante moldes de yeso, madera o plásticos es posible reproducir en piedra hecha a base de cemento cualquier figura o motivo decorativo. La eficiencia de este procedimiento y la economía correspondiente son mayores cuando se producen en fábricas iguales, pues los moldes se emplean muchas veces y su costo se amortiza pronto.

Aplicaciones con cemento blanco



Fuente: www.hctrading.com



Ciudad de las artes y de las ciencias de Sevilla

Fuente: www.turiart.com

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

3.1. Generalidades

En esta experiencia se desea determinar en que medida varía la resistencia del mortero, con distintas razones de agua/cemento.

El proceso práctico contempla un diseño de mortero, preparación de las probetas con las distintas variaciones de razón agua/cemento, los ensayos que se efectuaron y los gráficos correspondientes.

Los ensayos realizados a una muestra de arena, para la fabricación del mortero consistieron en: Granulometría, Densidad Real Seca, Densidad neta, Densidad Real SSS, % Absorción; una vez conocidas las características de cada uno de los materiales que intervienen en la mezcla se procede a utilizar dichos datos en la dosificación del mortero.

3.2. Metodología de trabajo

- Físicamente, la totalidad de los ensayos fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio de Ensaye de Materiales de Construcción (LEMCO) perteneciente a la Universidad Austral de Chile.
- Se analizaron 10 razones agua/cemento distintas según la tabla 7.2 del manual del mortero; en esta tabla solo se establecen valores de resistencia para el cemento gris.
- Las mezclas de los materiales para la realización de la totalidad de los ensayos se realizaron según lo establecido en la norma NCh 158. Of67.
- La trabajabilidad fue evaluada, según el método de asentamiento del cono (cono reducido), en las mezclas de mortero con cemento blanco en estado fresco.

- Finalmente el comportamiento mecánico de cada uno de los morteros, fue determinado mediante la confección y posterior ensayo a flexión y compresión de probetas RILEM a las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, en 12 probetas por cada razón agua/cemento. En total se analizaron 120 probetas RILEM.

3.3. Materiales Utilizados

Los materiales utilizados son los siguientes:

- Agregado fino: Se utilizó dos tipos de arena proveniente de la ciudad de Valdivia.
- Cemento: Se utilizó el cemento blanco Tolteca proveniente de México.
- Agua: Para la preparación de todas las mezclas se utilizó agua potable, la cual puede usarse sin verificar su calidad según NCh 1498.

3.4. Diseño mezclas de prueba

Se utilizarán los materiales mencionados anteriormente. En las mezclas se modificará como ya se dijo la razón agua/cemento.

Las razones agua/cemento que se ocupará están dadas por la tabla 7.2 del manual del mortero.

3.4.1. Ensayos realizados a los áridos para la dosificación

➤ Granulometría

Ensayo realizado según norma NCh 165.

- Arena 1

| Tamices Mm. | % que pasa | Banda NCh 163 |
|-------------|------------|---------------|
| 5 | 100 | 95-100 |
| 2,5 | 80 | 80-100 |
| 1,25 | 63 | 50-85 |
| 0,63 | 31 | 25-60 |
| 0,315 | 7 | 10-30 |
| 0,160 | 1 | 2-10 |

Tabla N°1, resultados granulometría arena 1
Fuente: Elaboración propia

Como tenemos 2 porcentajes que no se encuentran dentro de los límites permitidos, calcularemos la granulometría para otra arena.

- Arena 2

| Tamices Mm. | % que pasa | Banda NCh 163 |
|-------------|------------|---------------|
| 5 | 100 | 95-100 |
| 2,5 | 99 | 80-100 |
| 1,25 | 97 | 50-85 |
| 0,63 | 66 | 25-60 |
| 0,315 | 12 | 10-30 |
| 0,160 | 1 | 2-10 |

Tabla N° 2, resultados granulometría arena 2
Fuente: Elaboración propia

Ninguno de los dos áridos analizados cumplen con los límites que pide la norma NCh 163; por lo tanto analizaremos un 45% de la arena 1 y un 55% de la arena 2

- Granulometría , 45% Arena 1 y 55% Arena 2

| Tamices Mm. | % que pasa A1 | % que pasa A2 | 45% A1 | 55% A2 | TOTAL |
|-------------|---------------|---------------|--------|--------|-------|
| 5 | 100 | 100 | 45 | 55 | 100 |
| 2,5 | 80 | 99 | 36 | 54,45 | 90 |
| 1,25 | 63 | 97 | 28,35 | 53,35 | 82 |
| 0,63 | 31 | 66 | 13,95 | 36,3 | 50 |
| 0,315 | 7 | 12 | 3,15 | 6,6 | 10 |
| 0,160 | 1 | 1 | 0,45 | 0,55 | 1 |

Tabla N° 3, Ajuste de porcentaje de arena 1 y 2; a bandas granulométricas
Fuente: Elaboración propia

De esta granulometría se obtiene que para el tipo de material que se utilizara en la confección del mortero, la proporción que mejor se adapta a las bandas granulométricas de la NCh 163, es un 45% de la arena 1 y 55% de la arena 2.

➤ **Densidades reales, neta y absorción**

Ensayo realizado según NCh 1239, se obtuvo los siguientes resultados:

| | Arena 1 | Arena 2 |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| Dens. Real árido SSS(Kg./m3) | 2643 | 2623 |
| Dens. Real árido Seco(Kg./m3) | 2608 | 2580 |
| Dens. Neta(Kg./m3) | 2703 | 2700 |
| Abs. De Agua (%) | 1,35 | 1,8 |

Tabla N° 4, resultados ensayo densidades reales, netas y absorción de arena
Fuente: Elaboración propia

➤ **Modulo de finura**

De la granulometría se obtendrá el modulo de finura

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado serie preferida}}{100}$$

$$MF = \frac{267}{100} = 2.67 \approx 2.7$$

3.4.2. Dosificación

Según los resultados obtenidos de los áridos se procedió a determinar la dosificación.

➤ **Cantidad de agua del mortero**

La cantidad de agua a agregar puede estimarse a partir de la fluidez necesaria para el mortero, de las características de la arena; ya sea tamaño máximo y modulo de finura y la proporción de cal que incluye la mezcla.

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|---|
| | MF = 3,20 | | | MF = 2,70 | | | MF = 2,20 | | | MF = 1,80 | | | H |
| % de cal | <25 | 25/50 | >50 | <25 | 25-50 | >50 | <25 | 25-50 | >50 | <25 | 25-50 | >50 | |

ARENA TAMAÑO MAXIMO 5 MM

| Fluidez | Dosis de agua y aire (l/m ³) | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| baja | 260 | 265 | 270 | 280 | 285 | 290 | 310 | 315 | 320 | 350 | 355 | 360 | 30 |
| media | 270 | 275 | 280 | 290 | 295 | 300 | 320 | 325 | 330 | 360 | 365 | 370 | 30 |
| alta | 290 | 295 | 300 | 310 | 315 | 320 | 340 | 345 | 350 | 380 | 385 | 390 | 40 |
| muy alta | 310 | 315 | 320 | 330 | 335 | 340 | 360 | 365 | 370 | 400 | 405 | 410 | 40 |

Tabla N° 5, Determinación de las dosis de agua y aire (l/m³) de un mortero

Fuente: Manual del mortero

MF = modulo de finura

H = contenido mínimo de aire para un mortero compacto

Para nuestro caso no se utilizara cal; y el tamaño máximo de la arena será 5 mm; la fluidez es media, cuyo asentamiento del cono es 3 – 8 cm; y el modulo de finura calculado anteriormente es 2,7; por lo tanto según tabla:

$$A = 290 \text{ l/m}^3$$

$$H = 30 \text{ l/m}^3$$

➤ **Determinación de la razón agua/ cemento**

Se ocupara las mismas razones ya establecidas en la tabla 7.2 del manual del mortero para una dosificación de partida de un cemento gris corriente y alta resistencia; para así obtener la resistencia a los 28 días.

| Razón agua/cemento |
|--------------------|
| 0,45 |
| 0,50 |
| 0,60 |
| 0,70 |
| 0,80 |
| 0,90 |
| 1,00 |
| 1,10 |
| 1,20 |
| 1,30 |

Tabla Nº 6, Razones agua/cemento sugeridas para dosificaciones de partida
Fuente: Manual del mortero tabla 7.2

➤ **Determinación de la dosis de cemento (c)**

Se determina por el producto de la dosis de agua libre + aire atrapado por la razón cemento/agua.

Ej.: $A/C = 0.45$ $C/A = 2.22$

$C = 2.22 (290+30) = 710 \text{ Kg. /m}^3$

➤ **Determinación de la dosis de arena (F)**

Determinada la dosis de los restantes materiales ya señalados anteriormente, la arena se determinara:

$$V. F = (1000 - A - H - C) (1/pc + k/pk)$$

$$V. F = (1000 - 290 - 30 - C (1/3)) = 443 \text{ m}^3$$

Donde

pc = peso específico del cemento (Kg./m³)

pk = peso específico de la cal, en este caso es cero.

Luego la arena la podemos calcular

$$F = \frac{V.F * dra1 * dra2}{\% A1 * dra2 + \% A2 * dra1}$$

$$F = \frac{443.33 * 2.61 * 2.58}{0.45 * 2.58 + 0.55 * 2.61} = 1150 \text{ Kg. /m}^3$$

➤ Resumen dosificación

Según lo señalado anteriormente calculamos la siguiente tabla, para todos los valores razón A/C que queremos conocer.

| Razón A/C | C/A | C(Kg./m ³) | V.F | F | Arena 1 (Kg./m ³) | Arena 2 (Kg./m ³) |
|-----------|------|------------------------|-----|------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,45 | 2,22 | 710 | 443 | 1149 | 517 | 632 |
| 0,50 | 2,00 | 640 | 467 | 1210 | 545 | 666 |
| 0,60 | 1,67 | 534 | 502 | 1301 | 586 | 716 |
| 0,70 | 1,43 | 458 | 527 | 1368 | 615 | 752 |
| 0,80 | 1,25 | 400 | 547 | 1418 | 638 | 780 |
| 0,90 | 1,11 | 355 | 562 | 1456 | 655 | 801 |
| 1,00 | 1,00 | 320 | 573 | 1487 | 669 | 818 |
| 1,10 | 0,91 | 291 | 583 | 1512 | 680 | 831 |
| 1,20 | 0,83 | 266 | 591 | 1534 | 690 | 844 |
| 1,30 | 0,77 | 246 | 598 | 1550 | 698 | 853 |

Tabla N° 7, Dosificación
Fuente: Elaboración propia

Como esta dosificación esta hecha con arena húmeda, al momento de realizar el ensayo se hará una corrección por humedad al momento de realizar el ensayo.

3.5. Confección mezclas de prueba

Todas las muestras serán confeccionadas en un recipiente de acero inoxidable.

El día anterior a realizar las muestras de mortero, se procedió a mojar el árido según NCh 1018.

El día de la confección de las muestras, se midió la humedad y absorción de los áridos y luego se procedió a realizar la corrección por humedad.

A continuación se entregan los resúmenes de las tablas de corrección por humedad.

- Corrección para razón agua/cemento 0.45

| | % Humedad | % absorción |
|---------|-----------|-------------|
| ARENA 1 | 6,45% | 1,35% |
| ARENA2 | 10,04% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos.corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| Cemento | 710 | - | 710 |
| Agua | 290 | -78,44 | 211,56 |
| Arena 1 | 517 | 33,35 | 550,35 |
| Arena 2 | 632 | 63,45 | 695,45 |

- Corrección para razón agua/cemento 0.50

| | %Humedad | %Absorción |
|---------|----------|------------|
| ARENA 1 | 3,31% | 1,35% |
| ARENA2 | 8,09% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos.Corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| Cemento | 640 | | 640 |
| Agua | 290 | -52,57 | 237,43 |
| Arena 1 | 545 | 18,04 | 563,04 |
| Arena 2 | 666 | 53,88 | 719,88 |

- Corrección para razón agua/cemento 0.60

| | % Humedad | %Absorción |
|---------|-----------|------------|
| ARENA 1 | 5,79% | 1,35% |
| ARENA 2 | 8,06% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cemento | 534 | | 534 |
| Agua | 290 | -70,84 | 219,16 |
| Arena 1 | 586 | 33,93 | 619,93 |
| Arena 2 | 716 | 57,71 | 773,71 |

- Corrección para razón agua/cemento 0.70

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|-----------|-------------|
| ARENA 1 | 3,31% | 1,35% |
| ARENA 2 | 8,09% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cemento | 458 | | 458 |
| Agua | 290 | -59,35 | 230,65 |
| Arena 1 | 615 | 20,36 | 635,36 |
| Arena 2 | 752 | 60,84 | 812,84 |

- Corrección para razón agua/cemento 0.80

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|------------------|--------------------|
| ARENA 1 | 6,15% | 1,35% |
| ARENA 2 | 10,25% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cemento | 400 | | 400 |
| Agua | 290 | -96,53 | 193,47 |
| Arena 1 | 638 | 39,24 | 677,24 |
| Arena 2 | 780 | 79,95 | 859,95 |

- Corrección para razón agua/cemento 0.90

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|------------------|--------------------|
| ARENA 1 | 6,15% | 1,35% |
| ARENA 2 | 10,25% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cemento | 355 | | 355 |
| Agua | 290 | -99,12 | 190,88 |
| Arena 1 | 655 | 40,28 | 695,28 |
| Arena 2 | 801 | 82,10 | 883,10 |

- Corrección para razón agua/cemento 1.0

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|------------------|--------------------|
| ARENA 1 | 4,12% | 1,35% |
| ARENA 2 | 10,02% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cemento | 320 | | 320 |
| Agua | 290 | -85,77 | 204,23 |
| Arena 1 | 669 | 27,56 | 696,56 |
| Arena 2 | 818 | 81,96 | 899,96 |

- Corrección para razón agua/cemento 1.1

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|-----------|-------------|
| ARENA 1 | 4,12% | 1,35% |
| ARENA 2 | 10,02% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cemento | 291 | | 291 |
| Agua | 290 | -87,14 | 202,86 |
| Arena 1 | 680 | 28,02 | 708,02 |
| Arena 2 | 831 | 83,27 | 914,27 |

- Corrección para razón agua/cemento 1.2

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|-----------|-------------|
| ARENA 1 | 5,43% | 1,35% |
| ARENA 2 | 9,02% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cemento | 266 | | 266 |
| Agua | 290 | -89,09 | 200,91 |
| Arena 1 | 690 | 37,47 | 727,47 |
| Arena 2 | 844 | 76,13 | 920,13 |

- Corrección para razón agua/cemento 1.3

| | % Humedad | % Absorción |
|---------|-----------|-------------|
| ARENA 1 | 5,43% | 1,35% |
| ARENA 2 | 9,02% | 1,80% |

| Materiales componentes | Dosificación en peso Kg. | Aporte de humedad +/- | Dos. Corregida Kg./m3 |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cemento | 246 | | 246 |
| Agua | 290 | -90,07 | 199,94 |
| Arena 1 | 698 | 37,90 | 735,90 |
| Arena 2 | 853 | 76,94 | 929,94 |

La corrección por humedad se realizó el mismo día de confeccionada las probetas.

3.1.1 Confección mezcla

Realizada la corrección por humedad, se procede a realizar la confección de la mezcla.

El cemento se colocó en bolsas herméticas, evitando así que este se expusiera a la intemperie, protegiéndolo de la humedad hasta el momento de la confección de la mezcla.

Al momento de realizar el ensayo la mezcladora no se encontraba en buenas condiciones, lo que hizo que se realizara la mezcla en forma manual; tratando de hacer lo más parecido a la norma NCh 158.

La cronología de trabajo es la siguiente:

- Se pesa separado el cemento y la arena y el agua se mide en ml; según dosificación y posterior corrección por humedad.
- Se agrega el agua en el recipiente y a continuación el cemento; luego se mezcla lentamente.
- Después de unos 30 seg. se agrega la arena fina primero y después la gruesa.
- Se mezcla a una velocidad más rápida.
- Se deja de mezclar durante un minuto y treinta segundos donde se raspa el mortero adherido en la pared.
- Por último se volverá a mezclar a una velocidad rápida durante un minuto aproximadamente.



Mezclado manual preparación mezcla
Fuente: Elaboración propia

➤ **Determinación de la consistencia**

Se procede de acuerdo a norma NCh 1019. Utilizando el método del cono reducido.

- Se limpio y humedeció la placa de apoyo y la superficie interior del cono
- Se coloco el cono sobre la placa de modo que este inmóvil durante el llenado.
- Se coloco el mortero en el cono , en dos capas de igual volumen aproximadamente y se compacto con 20 golpes de la varilla pisón
- Se enrasó con la varilla pisón, sin compactar la superficie
- Se levanto lentamente el molde en dirección vertical y se midió la disminución de altura del mortero respecto del molde, con aproximación de 1 mm.



Medición asentamiento del cono
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos se incluirán en el capítulo IV de resultados

➤ **Colocación en moldes y compactación**

- El molde se cubre interiormente con una capa delgada de aceite
- Se introduce en cada uno de los tres compartimientos una capa de alrededor de 320 g de mortero con cemento blanco, directamente desde donde se mezcló. Esta capa se nivela por medio de una espátula plana.



Llenado de probetas Rilem
Fuente: Elaboración propia

- Se compacta manualmente con 60 golpes en 60 s.
- Se coloca la segunda capa de mortero, la cual se enrasa y compacta de la misma forma.
- Se empareja la superficie alisándola con la regla.
- Luego se le coloca la identificación a las probetas



Enrasado de probetas Rilem
Fuente: Elaboración propia

➤ Conservación

- Los moldes se trasladan a la cámara húmeda, para que pueda conservar una humedad relativa superior o igual a 90%.
- Las probetas se desmoldan entre 20 y 24 horas después de haberlas moldeado.
- Después del desmolde las probetas se limpian y se pesan; luego se sumerge en agua, hasta el momento del ensayo.
- Las probetas se sacan del agua hasta el momento del ensayo; en este caso las probetas se ensayan a los 3, 7, 14, 21 y 28 días.



Probetas sumergidas en agua
Fuente: Elaboración propia

3.6. Ensayos realizados a probetas rilem

El procedimiento que se utilizó para la realización de estos ensayos, tanto el de flexión como el de compresión se atienen al procedimiento descrito en la norma chilena NCh 158 Of. 67, que establece los procedimientos para efectuar el ensayo de flexión y compresión.

Equipos: Para el ensayo flexión se utilizó una prensa de CBR, tiene suficiente rigidez como para no deformarse al aplicar las cargas. Para el ensayo de compresión se utilizo la prensa CBR y la prensa de compresión.

Medición de probetas: Las probetas se retiraron del curado inmediatamente antes del ensayo y se registró su peso y dimensiones.

3.6.1. Ensayo de flexión

- Se limpió las superficies de contacto de la probeta y máquina de ensayo.
- se apoyó la probeta sobre los rodillos de apoyo de la máquina de flexión alineada y centrada, dejando la cara de llenado en posición vertical.
- Se aplicó la carga a una velocidad de 5 ± 1 K/seg., hasta la rotura.
- Se registró la máxima carga "P", expresada en Kg.

Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservan húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se somete al ensayo de compresión



Prensa CBR

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Ensayo de compresión

- Cada trozo obtenido del ensayo a flexión se ensayó a compresión en una sección de 40 x 40 mm., aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión.

- La velocidad de carga fue tal, que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 KG/cm²/s.

- Se registró la máxima carga "P", expresada en Kg. /cm.



Ensayo de compresión
Fuente: Elaboración propia



Maquina de ensayos de compresión
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4. ENSAYOS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan y analizan los resultados correspondientes a la resistencia a flexión y a compresión del mortero a 3, 7, 14, 21 y 28 días. Conviene recordar que para estas determinaciones se han elaborado 120 probetas Rilem, de las cuales una probeta se ensaya a los días 3, 7, 14 y 21; y ocho probetas a los 28 días, para cada razón agua/cemento correspondiente.

4.1. Trabajabilidad del Mortero de Cemento

Los resultados del ensayo de docilidad, determinada mediante el ensayo de asentamiento del cono, son los siguientes:

| Razón agua/cemento | T° de las mezclas (C°) | Cono (cm) |
|--------------------|------------------------|-----------|
| 0,45 | 18,6 | 5,0 |
| 0,50 | 19,1 | 4,0 |
| 0,60 | 19,5 | 6,0 |
| 0,70 | 18,4 | 4,5 |
| 0,80 | 18,2 | 4,0 |
| 0,90 | 18,2 | 6,0 |
| 1,00 | 18,5 | 2,0 |
| 1,10 | 18,4 | 2,5 |
| 1,20 | 17,2 | 2,5 |
| 1,30 | 17,7 | 4,5 |

Tabla N° 8, Resultados medición del cono
Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultado de resistencia a flexión y compresión

Las probetas fueron ensayadas a flexión y compresión; según lo establecido en la NCh 158 Of. 67; las que se detallan en las tablas siguientes.

➤ Razón agua/cemento 0,45

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,574 | 0,00026 | 2242 | 16,4 | 422 | 7200 | 99 | 450 |
| 7 | 0,597 | 0,00026 | 2332 | 16 | 512 | 8400 | 120 | 525 |
| 14 | 0,589 | 0,00026 | 2301 | 16 | 529 | 10600 | 124 | 663 |
| 21 | 0,593 | 0,00026 | 2316 | 16,4 | 552 | 10700 | 129 | 669 |

Tabla N° 9, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,45

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,597 | 0,00026 | 2332 | 16 | 570 | 11150 | 133 | 697 |
| 28 | 0,595 | 0,00026 | 2324 | 15,99 | 552 | 11450 | 129 | 716 |
| 28 | 0,595 | 0,00026 | 2324 | 16 | 552 | 10950 | 129 | 684 |
| 28 | 0,599 | 0,00026 | 2340 | 16 | 581 | 10350 | 136 | 647 |
| 28 | 0,599 | 0,00026 | 2340 | 16,4 | 575 | 12000 | 135 | 732 |
| 28 | 0,602 | 0,00026 | 2352 | 16,4 | 593 | 11650 | 139 | 710 |
| 28 | 0,598 | 0,00026 | 2336 | 16 | 593 | 12250 | 139 | 766 |
| 28 | 0,599 | 0,00026 | 2340 | 16,4 | 581 | 11800 | 136 | 720 |
| | | | | | | Promedio | 134 | 709 |

Tabla N° 10, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,45

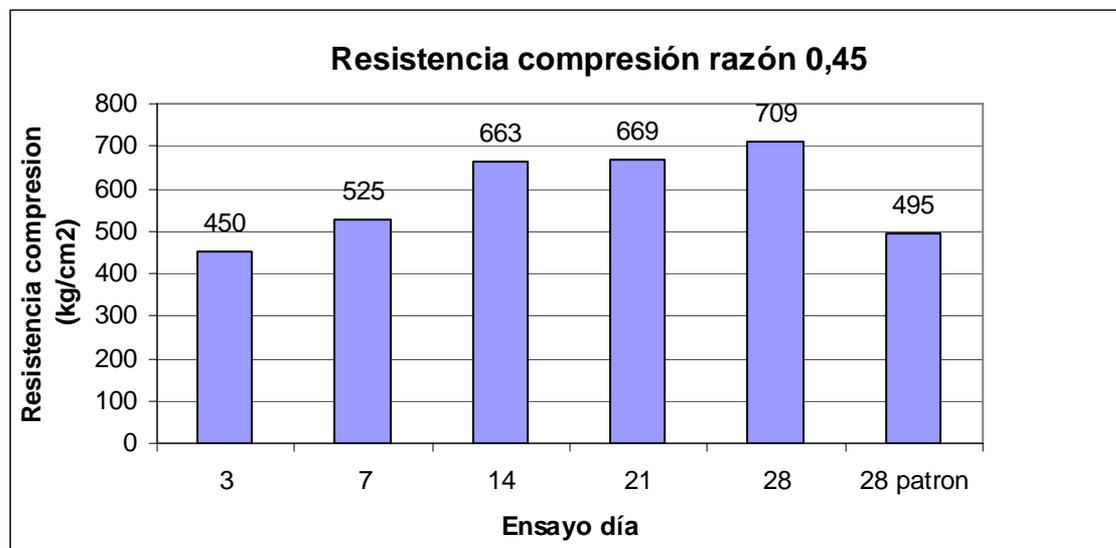


Gráfico N° 1, Resistencia compresión razón agua cemento 0,45

En el gráfico N° 1 se muestra la variación de la resistencia a compresión según los diferentes días de ensayos; se agregó una columna de ensayo a 28 días patrón; la

cual es la resistencia media requerida para cemento de alta resistencia; indicada en la tabla 7.2 del manual del mortero, de la cual se ocupó las mismas razones agua /cemento que ahí se indica. Cabe señalar que se comparó en los gráficos con la resistencia de un cemento gris de alta resistencia; ya que según tesis “Caracterización del cemento blanco” para optar a título de ingeniero constructor de Giovana Navarrete Anabalón, Universidad Austral de Chile, 2006. Se concluye que el cemento Tolteca con el que se ha trabajado se clasifica como un cemento de alta resistencia.

En el gráfico 1, podemos observar según resultados obtenidos, que los valores obtenidos de resistencia a compresión son altos comparados con la resistencia de cemento gris de alta resistencia; se puede observar que a partir del día 7 de ensayo ya supera al valor de compresión a 28 días de un cemento gris alta resistencia.

➤ Razón agua/cemento 0,50

| | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| Día | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,58 | 0,00026 | 2266 | 16 | 309 | 3864 | 72 | 242 |
| 7 | 0,594 | 0,00026 | 2320 | 16 | 462 | 6750 | 108 | 422 |
| 14 | 0,576 | 0,00026 | 2250 | 15,99 | 477 | 6950 | 112 | 435 |
| 21 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 16 | 552 | 8650 | 129 | 541 |

Tabla N° 11, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,50

| | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| Día | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,579 | 0,00026 | 2262 | 16 | 494 | 9150 | 116 | 572 |
| 28 | 0,583 | 0,00026 | 2277 | 16 | 535 | 9250 | 125 | 578 |
| 28 | 0,588 | 0,00026 | 2297 | 15,99 | 529 | 8800 | 124 | 550 |
| 28 | 0,589 | 0,00026 | 2301 | 16 | 494 | 9200 | 116 | 575 |
| 28 | 0,578 | 0,00026 | 2258 | 16 | 552 | 8550 | 129 | 534 |
| 28 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16,4 | 529 | 9600 | 124 | 585 |
| 28 | 0,580 | 0,00026 | 2266 | 16 | 529 | 8500 | 124 | 531 |
| 28 | 0,583 | 0,00026 | 2277 | 15,99 | 552 | 9100 | 129 | 569 |
| | | | | | | Promedio | 123 | 562 |

Tabla N° 12, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,50

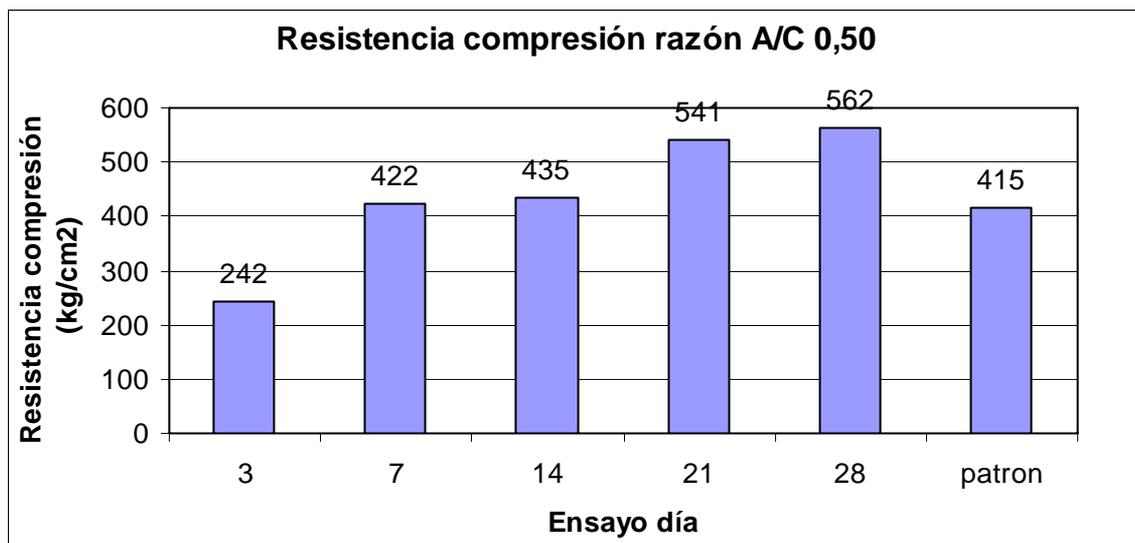


Gráfico N° 2, Resistencia compresión razón agua/cemento 0,50

Se puede señalar a partir del grafico N° 2 y datos obtenidos, que los resultados a partir del ensayo del día 7, ya sobrepasa el valor de la resistencia un cemento gris de alta resistencia (patrón) a 28 días según tabla 7.2.

➤ Razón agua/cemento 0,60

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 309 | 2544 | 72 | 159 |
| 7 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 455 | 6000 | 106 | 375 |
| 14 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 16 | 517 | 7900 | 121 | 494 |
| 21 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 15,99 | 494 | 8550 | 116 | 535 |

Tabla N° 13, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,60

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,587 | 0,00026 | 2293 | 16 | 483 | 9250 | 113 | 578 |
| 28 | 0,59 | 0,00026 | 2305 | 16 | 494 | 8450 | 116 | 528 |
| 28 | 0,575 | 0,00026 | 2246 | 16 | 523 | 8950 | 122 | 559 |
| 28 | 0,571 | 0,00026 | 2230 | 16 | 506 | 8800 | 118 | 550 |
| 28 | 0,583 | 0,00026 | 2277 | 15,99 | 517 | 8700 | 121 | 544 |
| 28 | 0,585 | 0,00026 | 2285 | 16 | 488 | 8750 | 114 | 547 |
| 28 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 506 | 8750 | 118 | 547 |
| 28 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 16 | 477 | 8350 | 112 | 522 |
| | | | | | | Promedio | 117 | 547 |

Tabla N° 14, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,60

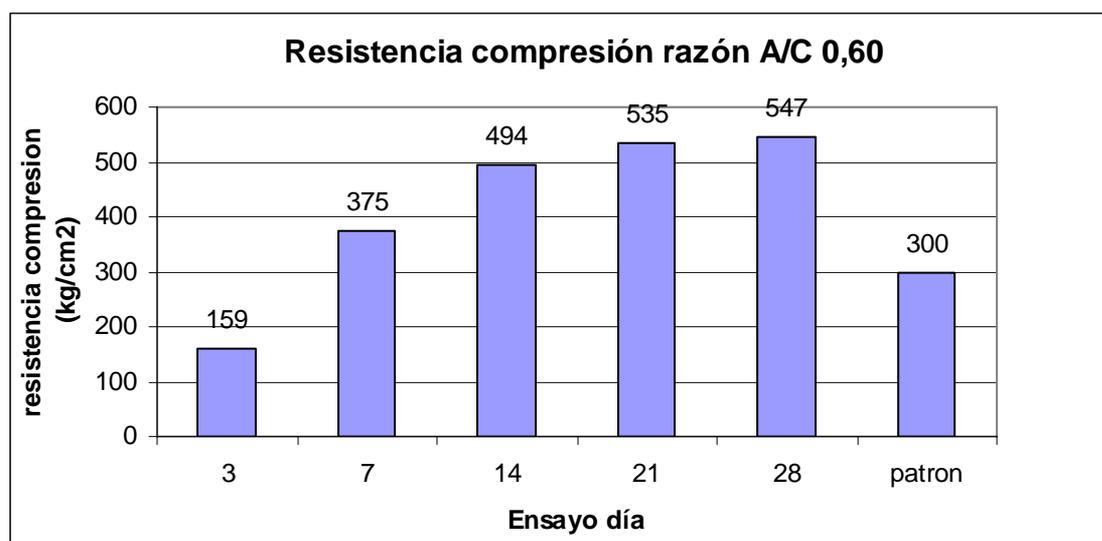


Gráfico N° 3, Resistencia compresión razón agua/cemento 0,60

Para la razón agua/cemento 0,60 se aprecia que los resultados obtenidos de resistencia a compresión son altos y que a partir del día 7 de ensayo ya supera el valor de la resistencia un cemento gris de alta resistencia a 28 días.

➤ Razón agua/cemento 0,70

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,574 | 0,00026 | 2242 | 16 | 257 | 1872 | 60 | 117 |
| 7 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 16 | 367 | 3534 | 86 | 221 |
| 14 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 396 | 5750 | 93 | 359 |
| 21 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 425 | 6250 | 99 | 391 |

Tabla N° 15, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,70

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 465 | 6400 | 109 | 400 |
| 28 | 0,575 | 0,00026 | 2246 | 16 | 413 | 6350 | 97 | 397 |
| 28 | 0,586 | 0,00026 | 2289 | 16 | 454 | 7150 | 106 | 447 |
| 28 | 0,585 | 0,00026 | 2285 | 16 | 460 | 6950 | 108 | 434 |
| 28 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 425 | 6750 | 99 | 422 |
| 28 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 465 | 6750 | 109 | 422 |
| 28 | 0,575 | 0,00026 | 2246 | 15,99 | 454 | 6250 | 106 | 391 |
| 28 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 396 | 6250 | 93 | 391 |
| | | | | | | Promedio | 103 | 413 |

Tabla N° 16, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,70

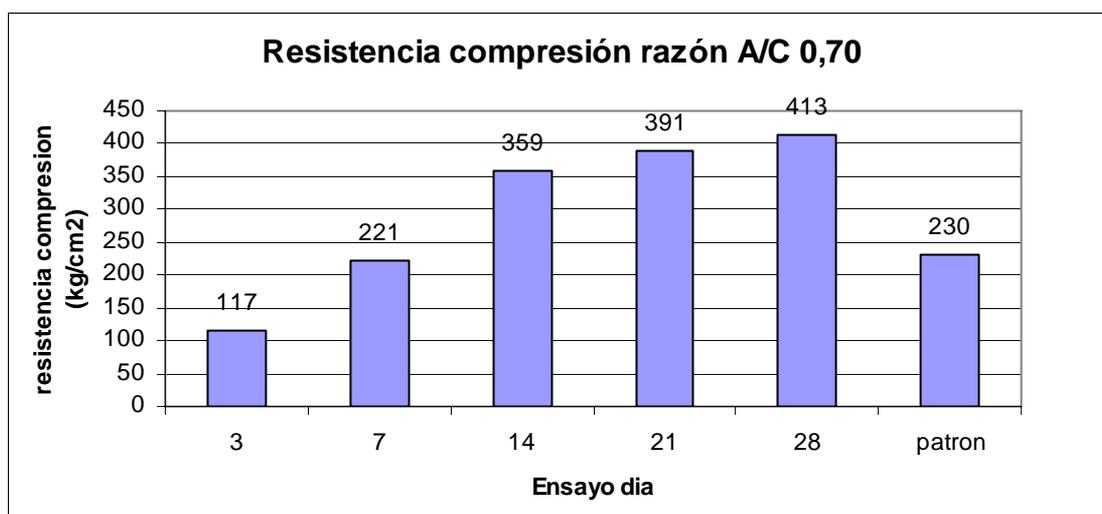


Gráfico N° 4, Resistencia compresión razón agua/cemento 0,70

Para la razón agua/cemento 0,70, se observa que los valores obtenidos a resistencia a compresión son altos; a partir del día 14 de ensayo supera la resistencia de cemento gris de alta resistencia 28 días (comparado valores tabla 7.2 manual del mortero)

➤ Razón agua/cemento 0,80

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,563 | 0,00026 | 2199 | 16 | 234 | 2104 | 55 | 131 |
| 7 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 286 | 3540 | 67 | 221 |
| 14 | 0,567 | 0,00026 | 2215 | 16 | 355 | 5750 | 83 | 359 |
| 21 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 361 | 6250 | 84 | 391 |

Tabla N° 17, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,80

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 419 | 5650 | 98 | 353 |
| 28 | 0,576 | 0,00026 | 2250 | 16 | 390 | 5300 | 91 | 331 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 390 | 5150 | 91 | 322 |
| 28 | 0,572 | 0,00026 | 2234 | 16 | 338 | 5350 | 79 | 334 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 361 | 5600 | 84 | 350 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 349 | 5350 | 82 | 334 |
| 28 | 0,573 | 0,00026 | 2238 | 16 | 373 | 5400 | 87 | 338 |
| 28 | 0,574 | 0,00026 | 2242 | 16 | 390 | 5650 | 91 | 353 |
| | | | | | | Promedio | 88 | 339 |

Tabla N° 18, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,80

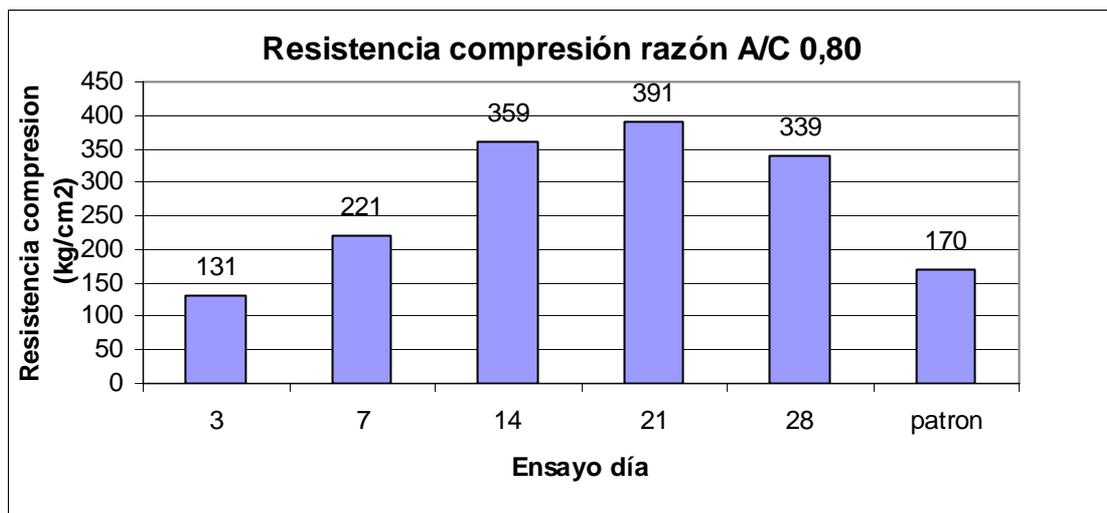


Gráfico N° 5, Resistencia compresión razón agua/cemento 0,80

Para la razón agua/cemento 0,80 se puede señalar que los valores obtenidos de resistencia a compresión son altos a partir del día 7 de ensayo; ya superando en este día la resistencia a compresión del cemento gris de alta resistencia a 28 días (comparado con tabla 7.2 manual del mortero).

➤ Razón agua/cemento 0,90

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,562 | 0,00026 | 2195 | 16 | 208 | 1351 | 49 | 84 |
| 7 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 234 | 1988 | 55 | 124 |
| 14 | 0,584 | 0,00026 | 2281 | 16 | 329 | 3400 | 77 | 213 |
| 21 | 0,582 | 0,00026 | 2273 | 16 | 326 | 3800 | 76 | 238 |

Tabla N° 19, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 0,90

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,577 | 0,00026 | 2254 | 16 | 344 | 4400 | 80 | 275 |
| 28 | 0,576 | 0,00026 | 2250 | 16 | 326 | 4050 | 76 | 253 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 361 | 4100 | 84 | 256 |
| 28 | 0,572 | 0,00026 | 2234 | 16 | 349 | 4150 | 82 | 259 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 344 | 4200 | 80 | 263 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 338 | 4500 | 79 | 281 |
| 28 | 0,573 | 0,00026 | 2238 | 16 | 303 | 4000 | 71 | 250 |
| 28 | 0,574 | 0,00026 | 2242 | 16 | 349 | 4000 | 82 | 250 |
| | | | | | | Promedio | 79 | 261 |

Tabla N° 20, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 0,90

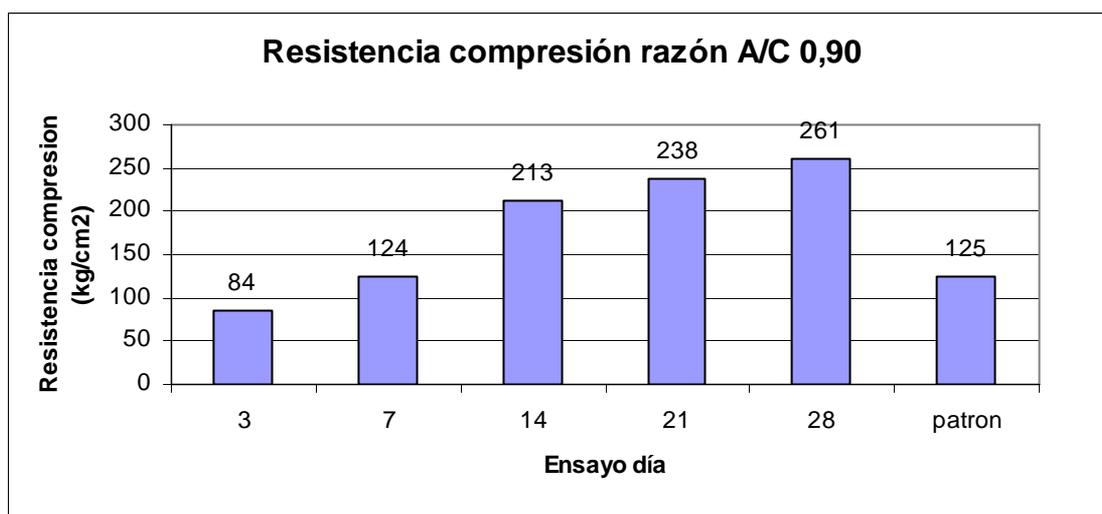


Gráfico N° 6, Resistencia compresión razón agua/cemento 0,90

En la razón agua/cemento 0,90 los valores obtenidos de resistencia a compresión son inicialmente altos, y a partir del día 7 de ensayo iguala la resistencia cemento de alta resistencia (patrón), según tabla 7.2 del manual del mortero.

➤ Razón agua/cemento 1,00

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,567 | 0,00026 | 2215 | 16 | 182 | 1253 | 42 | 78 |
| 7 | 0,559 | 0,00026 | 2184 | 16 | 211 | 1745 | 49 | 109 |
| 14 | 0,573 | 0,00026 | 2238 | 16 | 280 | 2104 | 66 | 131 |
| 21 | 0,569 | 0,00026 | 2223 | 16 | 268 | 2469 | 63 | 154 |

Tabla N° 21, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 1,00

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,567 | 0,00026 | 2215 | 16 | 321 | 2017 | 75 | 126 |
| 28 | 0,572 | 0,00026 | 2234 | 16 | 321 | 2162 | 75 | 135 |
| 28 | 0,56 | 0,00026 | 2188 | 16 | 268 | 2474 | 63 | 155 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 286 | 2040 | 67 | 128 |
| 28 | 0,572 | 0,00026 | 2234 | 16 | 303 | 2156 | 71 | 135 |
| 28 | 0,576 | 0,00026 | 2250 | 16 | 303 | 2144 | 71 | 134 |
| 28 | 0,561 | 0,00026 | 2191 | 16 | 321 | 2005 | 75 | 125 |
| 28 | 0,562 | 0,00026 | 2195 | 16 | 303 | 2011 | 71 | 126 |
| | | | | | | Promedio | 71 | 133 |

Tabla N° 22, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 1,00

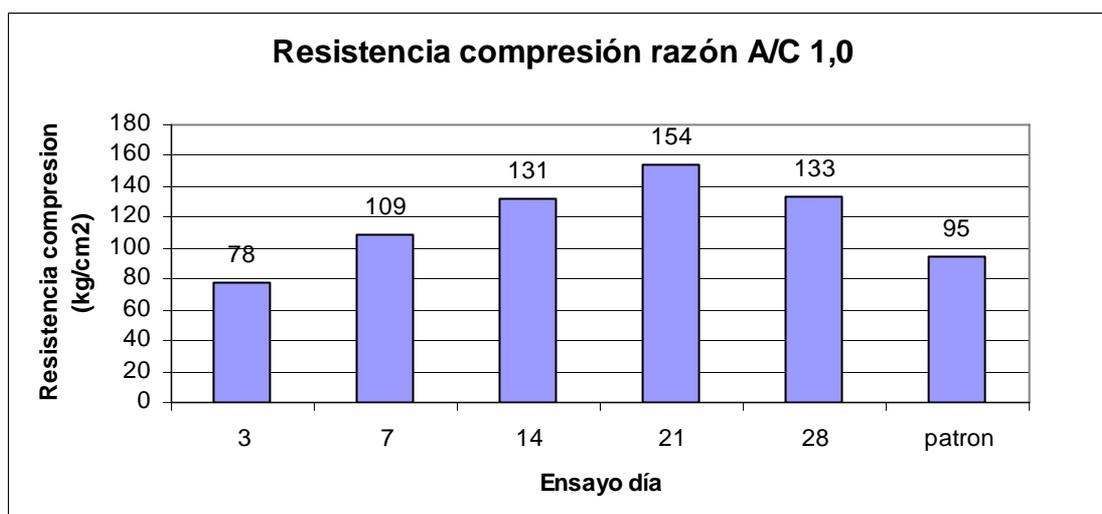


Gráfico N° 7, Resistencia compresión razón agua/cemento 1,00

Para la razón agua/cemento 1,00 al igual que las razones agua cemento anterior; los valores obtenidos inicialmente son altos y a partir del día 7 el valor obtenido sobrepasa la resistencia del cemento de alta resistencia según valores dados en manual del mortero tabla 7.2, utilizado como patrón.

➤ Razón agua/cemento 1,1

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,558 | 0,00026 | 2180 | 16 | 158 | 888 | 37 | 55 |
| 7 | 0,561 | 0,00026 | 2191 | 16 | 211 | 1195 | 49 | 75 |
| 14 | 0,571 | 0,00026 | 2230 | 16 | 245 | 1554 | 57 | 97 |
| 21 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 257 | 1994 | 60 | 125 |

Tabla N° 23, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 1,1

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,555 | 0,00026 | 2168 | 16 | 268 | 1843 | 63 | 115 |
| 28 | 0,558 | 0,00026 | 2180 | 16 | 257 | 1814 | 60 | 113 |
| 28 | 0,561 | 0,00026 | 2191 | 16 | 245 | 1745 | 57 | 109 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 257 | 2023 | 60 | 126 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 263 | 1930 | 61 | 121 |
| 28 | 0,57 | 0,00026 | 2227 | 16 | 263 | 1959 | 61 | 122 |
| 28 | 0,568 | 0,00026 | 2219 | 16 | 245 | 1675 | 57 | 105 |
| 28 | 0,569 | 0,00026 | 2223 | 16 | 274 | 1982 | 64 | 124 |
| | | | | | | Promedio | 61 | 117 |

Tabla N° 24, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 1,1

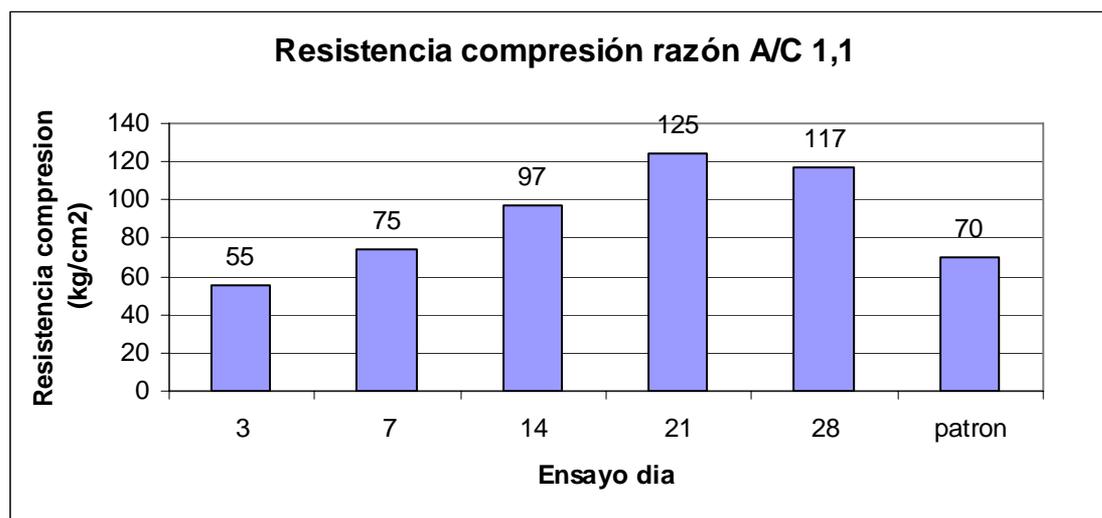


Gráfico N° 8, Resistencia compresión razón agua/cemento 1,1

Para la razón agua/cemento 1,1 estudiada se puede señalar que la resistencia a compresión del cemento blanco es alta, comparada con el valor de la resistencia de un cemento de alta resistencia utilizada como patrón y sacada de tabla de manual del mortero tabla 7.2; a partir del día 7 de ensayo ya supera al patrón utilizado.

➤ Razón agua/cemento 1,2

| | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| Día | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,551 | 0,00026 | 2152 | 16 | 129 | 575 | 30 | 36 |
| 7 | 0,559 | 0,00026 | 2184 | 16 | 170 | 969 | 40 | 61 |
| 14 | 0,552 | 0,00026 | 2156 | 16 | 182 | 1050 | 42 | 66 |
| 21 | 0,559 | 0,00026 | 2184 | 16 | 222 | 1612 | 52 | 101 |

Tabla N° 25, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 1,2

| | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| Día | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,557 | 0,00026 | 2176 | 16 | 216 | 1264 | 51 | 79 |
| 28 | 0,554 | 0,00026 | 2164 | 16 | 211 | 1328 | 49 | 83 |
| 28 | 0,563 | 0,00026 | 2199 | 16 | 222 | 1345 | 52 | 84 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 211 | 1490 | 49 | 93 |
| 28 | 0,551 | 0,00026 | 2152 | 16 | 199 | 1206 | 47 | 75 |
| 28 | 0,551 | 0,00026 | 2152 | 16 | 199 | 1710 | 47 | 107 |
| 28 | 0,559 | 0,00026 | 2184 | 16 | 205 | 1606 | 48 | 100 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 216 | 1681 | 51 | 105 |
| | | | | | | Promedio | 49 | 91 |

Tabla N° 26, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 1,2

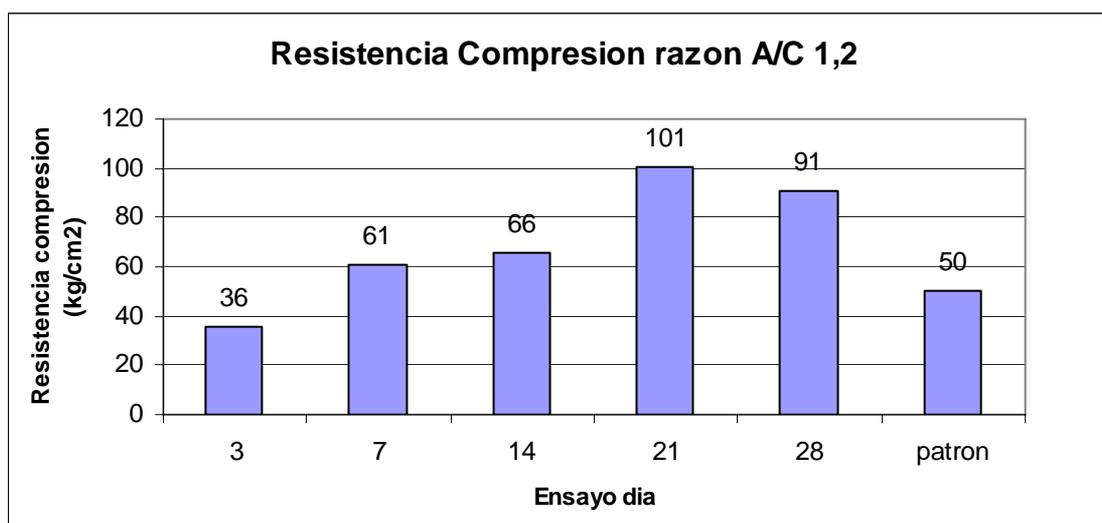


Gráfico N° 9, Resistencia compresión razón agua/cemento 1,2

Para la razón agua/cemento 1,2 estudiada se puede señalar que la resistencia a compresión del cemento blanco es alta comparada con el valor patrón sacado del manual del mortero para la resistencia de un cemento de alta resistencia; a partir del día 7 de ensayo ya supera al valor patrón.

➤ Razón agua/cemento 1,3

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 3 | 0,557 | 0,00026 | 2176 | 16 | 106 | 523 | 25 | 33 |
| 7 | 0,565 | 0,00026 | 2207 | 16 | 147 | 778 | 34 | 49 |
| 14 | 0,565 | 0,00026 | 2207 | 16 | 176 | 1033 | 41 | 65 |
| 21 | 0,559 | 0,00026 | 2184 | 16 | 170 | 1172 | 40 | 73 |

Tabla N° 27, Resistencia a la compresión y flexión, probetas rilem razón agua/cemento 1,3

| Día | Peso | Volumen | Densidad | Área (cm ²) | Carga (Kg.) | | Resistencia (Kg./cm ²) | |
|-----|-------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| | Kg. | m ³ | KG/M ³ | Com. | Flexión | Compresión | Flexión | Compresión |
| 28 | 0,561 | 0,00026 | 2191 | 16 | 193 | 1206 | 45 | 75 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 216 | 1328 | 51 | 83 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 182 | 1235 | 42 | 77 |
| 28 | 0,564 | 0,00026 | 2203 | 16 | 193 | 1357 | 45 | 85 |
| 28 | 0,564 | 0,00026 | 2203 | 16 | 182 | 1079 | 42 | 67 |
| 28 | 0,561 | 0,00026 | 2191 | 16 | 170 | 1189 | 40 | 74 |
| 28 | 0,566 | 0,00026 | 2211 | 16 | 182 | 1201 | 42 | 75 |
| 28 | 0,565 | 0,00026 | 2207 | 16 | 182 | 992 | 42 | 62 |
| | | | | | | Promedio | 44 | 75 |

Tabla N° 28, Resistencia a la compresión y flexión a los 28 días, probetas rilem razón agua/cemento 1,3

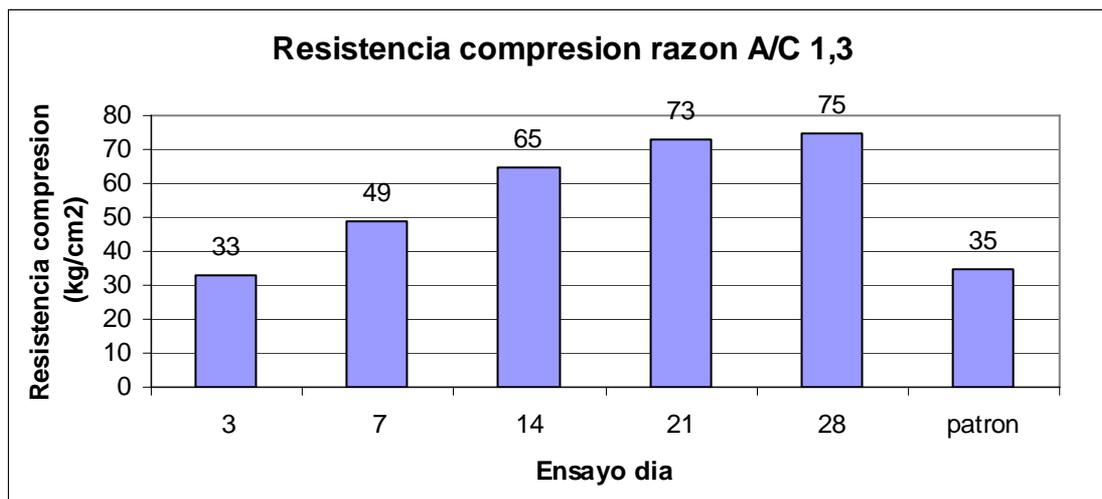


Gráfico N° 10, Resistencia compresión razón agua/cemento 1,3

Para la razón agua/cemento 1,3 al igual que en las razones anteriores cabe señalar que los valores obtenidos en los ensayos superan ampliamente a partir del día 7 de ensayo al valor patrón señalado, que corresponde a la resistencia de un cemento de alta resistencia el valor obtenido corresponde a tabla 7.2 manual del mortero.

➤ **Resumen de resistencia obtenidas a flexión según distintas dosis de agua/cemento**

| Resistencia flexión | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| Días | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| Ensayo día 3 | 99 | 72 | 72 | 60 | 55 | 49 | 42 | 37 | 30 | 25 |
| Ensayo día 7 | 120 | 108 | 106 | 85 | 67 | 55 | 49 | 49 | 40 | 34 |
| Ensayo día 14 | 124 | 112 | 121 | 92 | 83 | 77 | 66 | 57 | 42 | 41 |
| Ensayo día 21 | 129 | 129 | 116 | 99 | 84 | 76 | 63 | 60 | 52 | 40 |
| Ensayo día 28 | 134 | 123 | 117 | 103 | 88 | 79 | 71 | 61 | 49 | 44 |

Tabla N° 29, Resumen resistencia a flexión según distintas razones agua/cemento

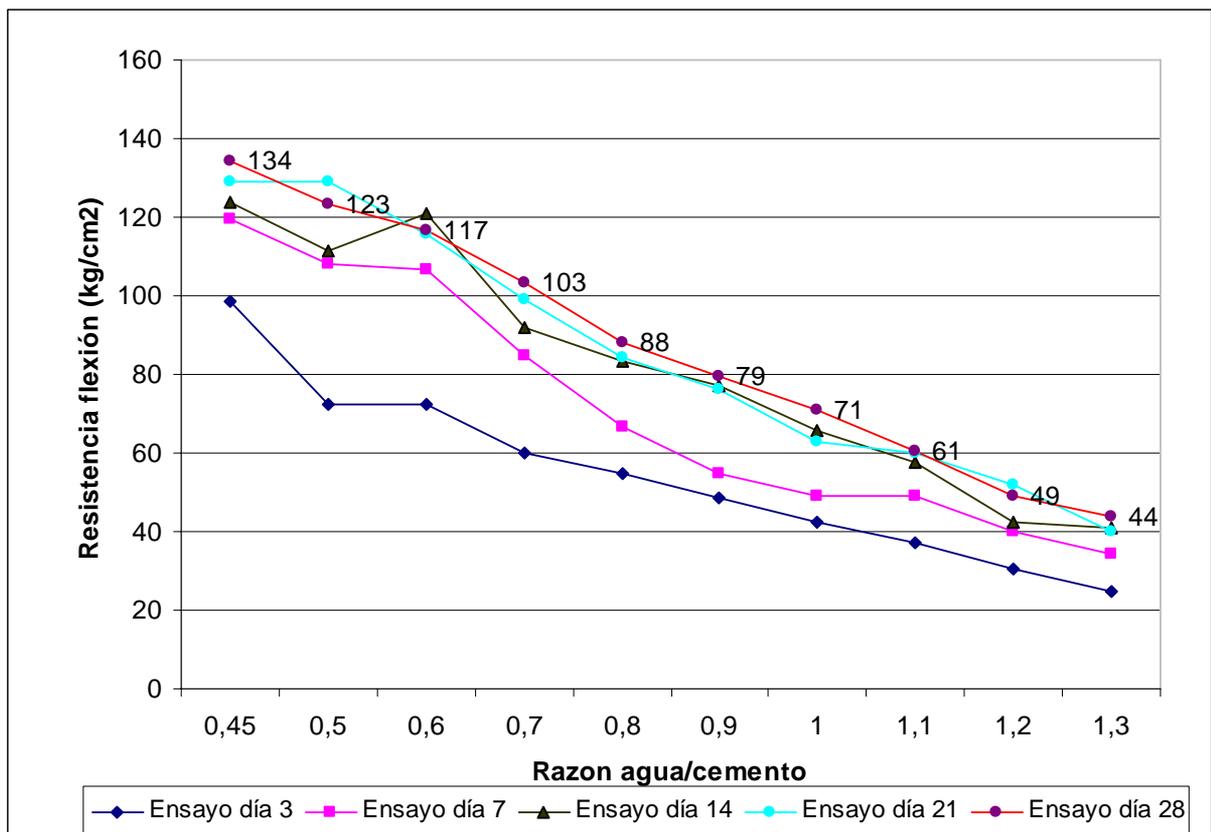


Gráfico N° 11, Comparación resistencia a flexión según razón agua/cemento estudiadas

En el grafico N° 11 se puede apreciar que la mayor resistencia a flexión se produce en los ensayos a probetas a 28 días; también cabe señalar que la mayor resistencia a flexión se produce en la razón agua/cemento 0,45; y la menor se produce en la razón agua/cemento 1,3.

➤ Tablas de razón agua/cemento

- Tabla razón agua/cemento obtenida a 28 días

| Razón agua/cemento | Resistencia obtenida |
|--------------------|----------------------|
| 0,45 | 709 |
| 0,50 | 562 |
| 0,60 | 547 |
| 0,70 | 413 |
| 0,80 | 339 |
| 0,90 | 261 |
| 1,00 | 133 |
| 1,10 | 117 |
| 1,20 | 91 |
| 1,30 | 75 |

Tabla N° 30, resistencia a compresión cemento blanco a los 28 días según distintas razones agua/cemento estudiadas

- Tabla de razón agua/cemento propuesta

En la siguiente tabla propuesta, se aplicó sobre los valores reales obtenidos en laboratorio un 30 % menos; este porcentaje fue aplicado ya que en obra las resistencias obtenidas son menores un 30 % aproximadamente respecto de las obtenidas en laboratorio.

| Razón agua/cemento | Cemento blanco |
|--------------------|----------------|
| 0,45 | 496 |
| 0,50 | 393 |
| 0,60 | 383 |
| 0,70 | 289 |
| 0,80 | 237 |
| 0,90 | 183 |
| 1,00 | 93 |
| 1,10 | 82 |
| 1,20 | 64 |
| 1,30 | 53 |

Tabla N° 31, tabla razón agua/cemento (blanco) propuesta

- Tabla resumen resistencia a compresión propuesta junto con datos obtenidos de la tabla 7.2 manual del mortero, para cemento gris corriente y alta resistencia

| Razón agua/cemento | Resistencia media requerida a 28 días (Kg./cm ²) | | |
|--------------------|--|-------------------|--------------------------|
| | Cemento blanco | cemento gris | |
| | | Cemento corriente | Cemento alta resistencia |
| 0,45 | 496 | 390 | 495 |
| 0,50 | 393 | 335 | 415 |
| 0,60 | 383 | 240 | 300 |
| 0,70 | 289 | 185 | 230 |
| 0,80 | 237 | 140 | 170 |
| 0,90 | 183 | 100 | 125 |
| 1,00 | 93 | 75 | 95 |
| 1,10 | 82 | 55 | 70 |
| 1,20 | 64 | 40 | 50 |
| 1,30 | 53 | 25 | 35 |

Tabla N° 32, tabla resumen resistencia a compresión a los 28 días

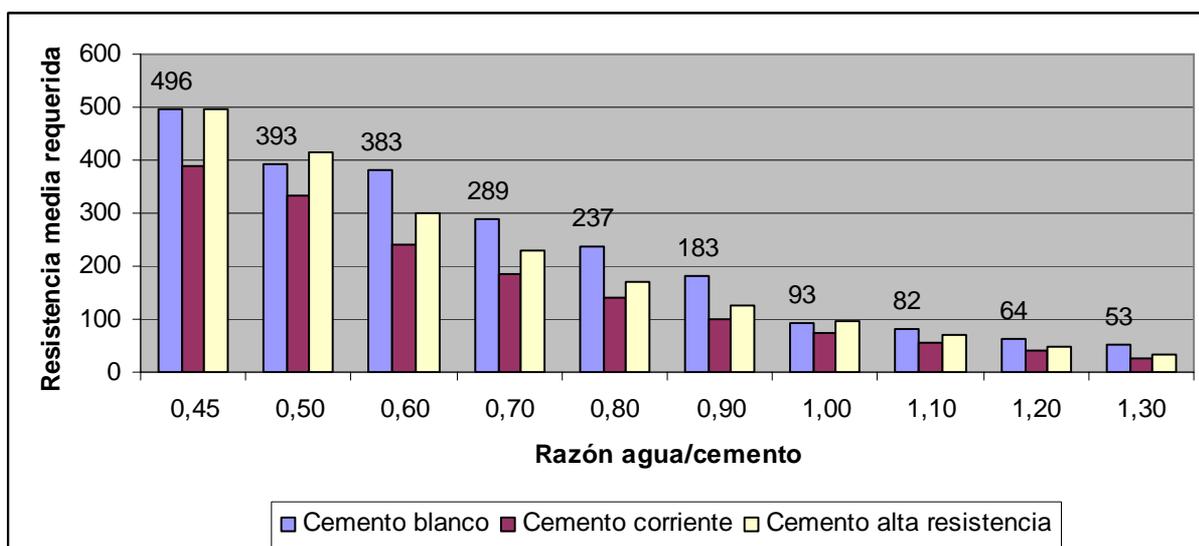


Gráfico N° 12, resumen resistencia a compresión 28 días

- Diferencias de resistencia de cemento blanco calculadas en base a tabla 7.2 manual del mortero para cemento corriente y alta resistencia

| Razón | %de variación de cemento blanco a 28 días con respecto a cementos grises | |
|-------|--|-------------------|
| | Cemento corriente | Cemento alta res. |
| 0,45 | 27% | 0% |
| 0,50 | 17% | -5% |
| 0,60 | 60% | 28% |
| 0,70 | 56% | 26% |
| 0,80 | 69% | 39% |
| 0,90 | 83% | 46% |
| 1,00 | 24% | -2% |
| 1,10 | 49% | 17% |
| 1,20 | 60% | 28% |
| 1,30 | 112% | 51% |

Tabla N° 31, Variación de resistencia compresión de cemento blanco a los 28 días según tabla existente con respecto a cemento corriente y alta resistencia

El cemento blanco presenta un excelente comportamiento a la resistencia a compresión en las razones agua/cemento estudiadas en comparación con las resistencias de cemento corriente; la menor variación corresponde a la razón 0,50 con un 17% mas y la mayor variación corresponde a 112% mas en la razón 1,3.

En relación con la resistencia con un cemento alta resistencia la mayor variación corresponde a la razón 1,3 con un 51% y la menor con una variación corresponde a la razón 0,50 con un -5% y la razón 1,0 con una variación de -2%.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en las experiencias desarrolladas podemos obtener las siguientes conclusiones:

➤ Trabajabilidad

Según datos obtenidos de docilidad; no existe una tendencia clara de la influencia de la razón agua/cemento respecto del descenso del cono.

➤ Resistencia a flexión del mortero

- Según resultados obtenidos, la resistencia a flexión a edades tempranas es alta.
- La resistencia a flexión disminuye a medida que aumenta la razón agua/cemento.
- El mortero con cemento blanco presenta un buen comportamiento a la resistencia a flexión; sin embargo no tenemos un punto de comparación, ya que no existen datos de flexión de morteros con cemento blanco realizados en obra.

➤ Resistencia a compresión del mortero

- La resistencia a compresión disminuye a medida que aumenta la razón agua/cemento.
- Al analizar según valores dados por tabla 7.2 del manual del mortero; de resistencia media requerida a 28 días, se puede señalar que en las razones agua/cemento donde se produce una mayor variación con respecto a las resistencias de cemento gris corriente y alta resistencia, corresponde a las razones 0,60 – 0,70 – 0,80 – 0,90 y 1,3.
- La resistencia a compresión con mortero de cemento blanco a edades tempranas es alta se puede observar en todas las razones agua/cemento estudiadas que al día 7 de ensayo ya supera los valores dados en tabla 7.2 del manual del mortero con respecto a la resistencia a 28 días de un cemento gris.

➤ Tabla razón agua/cemento blanco vs resistencia recomendada

La tabla contempla las razones agua/cemento dadas en tabla 7.2 del manual del mortero para cementos gris corriente y alta resistencia; los valores de resistencia de cemento blanco corresponden a los obtenidos mediante mezclas de prueba realizadas en laboratorio aplicado un 30% menos al valor real obtenido; este porcentaje fue aplicado ya que en obra las resistencias son menores que en laboratorio.

| Razón agua/cemento | Cemento blanco |
|-------------------------------|-----------------------|
| 0,45 | 496 |
| 0,50 | 393 |
| 0,60 | 383 |
| 0,70 | 289 |
| 0,80 | 237 |
| 0,90 | 183 |
| 1,00 | 93 |
| 1,10 | 82 |
| 1,20 | 64 |
| 1,30 | 53 |

- Es conveniente señalar que los estudios de mortero son escasos, y más con cemento blanco, ya que esta recién empezando a ser más utilizado en Chile. Con el estudio realizado se pudo concluir que las razones agua/cemento estudiadas de resistencias son altas, incluso superiores en la mayoría de los casos a las de un cemento gris alta resistencia; y con la ventaja de que el cemento blanco posee grandes características estéticas y decorativas.
- Como sugerencia queda abierto este tema de tesis para que se siga investigando sobre el mortero de cemento blanco, un tema interesante es la adherencia que este mortero pueda tener.

ANEXO A

Cálculo de las resistencias a la flexión y a la compresión de probetas RILEM

De acuerdo a la Norma chilena NCh 158 Of.1967 Ensayo de flexión y Compresión de mortero cemento, se realizarán los ensayos a las probetas RILEM, obtenidas por cada preparación de mortero correspondiente a cada tipo de cemento.

Los ensayos realizados para obtener las resistencias a la compresión correspondiente a las razones agua/cemento 1 – 1,1 -1,2 y 1,3 y las resistencias a la flexión, se hicieron en la prensa CBR.

Obtenidas las lecturas de los ensayos, se aplican a dichos valores la constante del anillo

$$C = \text{Carga} \times 5,79 + 59,99 \quad (\text{Kg.}) \quad \text{Ec. (1)}$$

Para luego aplicarla en las fórmulas correspondientes a flexotracción y compresión.

$$\text{Fórmula de Flexión} \quad \sigma_f = C \times 0,234 \quad (\text{Kg. /cm}^2) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\text{Fórmula de Compresión} \quad \sigma_c = C / A \quad (\text{Kg./cm}^2) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde; A: es el área de sección de la probeta y que corresponde a 16 cm².

0,234: Constante que depende de la distancia entre los apoyos.

Los ensayos para calcular las resistencias a la compresión se realizaron en la prensa de compresión, donde las mediciones se leen en megapondio (Mp).

1 Megapondio = 1000 kilogramos

Obtenidas las lecturas de la prensa de compresión, las resistencias se obtienen a través del siguiente cálculo:

Fórmula de Compresión $\sigma_c = P / A$ (kg/cm²) **Ec. (4)**

Donde; P: Lectura de la Prensa de compresión

A: Área de contacto igual a 16 cm².

BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. ICH, 1989. Manual del Mortero.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 148. Of. 1968. Cemento — Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 158. Of. 1967. Cementos — Ensayo de Flexión y Compresión de Morteros de Cemento.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 165. Of. 1977. Áridos para morteros y hormigones — Tamizado y Determinación de la granulometría.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 2257/3. Of. 1996. Morteros — Determinación de la Consistencia — Parte 3: Método del Asentamiento del Cono.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1239 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de las Densidades Real y Neta de la Absorción de Agua de las Arenas.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 2260 Of. 1996. Morteros — Preparación de mezclas de prueba y mezclas comparativas en el laboratorio.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. Cemento Blanco para Concreto de Alto Desempeño. Disponible en www.imcyc.com, A.C. Revista Construcción y Tecnología - Enero 2001. Consultado noviembre de 2006.

- CEMENTO BLANCO HUASCARÁN. Cemento Blanco. Disponible en <http://www.agregadoscalcareos.com.pe/presentacion.html>. Consultado junio de 2006.
- CEMENTO BLANCO TOLTECA. Cemento Blanco. Disponible en http://www.cerroblanco.com.ar/productos/cemento_tolteca.html Consultado junio de 2006.
- CEMENTO BLANCO TOLTECA. Cemento blanco. Disponible en <http://www.cemex.com>. Consultado Noviembre 2006.
- SUPLEMENTO INFORMATIVO INMOVILIARIO. Construir en Blanco. Disponible <http://www.nacion.com/suplemento-m/2006/abril/01/nota7.html>. Consultado junio de 2006.
- MANUAL CEMENTO BLANCO. Cemex. 1996.
- NAVARRETE ANABALÓN, Giovanna Damaris, Caracterización del cemento blanco. Tesis para optar al título de Ingeniería en Constructor. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2006.