



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

**“EFECTOS EN EL TIEMPO DE FRAGUADO,
RESISTENCIA Y TRABAJABILIDAD, DE UN ADITIVO
PLASTIFICANTE RETARDADOR DE FRAGUADO, EN
LOS CEMENTOS GRADO CORRIENTE.”**

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Guía:
Sr. José Arrey Díaz.
Constructor Civil

**JESSICA PAMELA SMOJE OJEDA
VALDIVIA – CHILE
2005**

DEDICATORIA

A ustedes...

Porque me formaron y me dieron las herramientas necesarias para enfrentarme a la vida, pero esta vez con una mirada más allá de la que ustedes pudieron optar.

Porque me enseñaron a seguir cada vez más adelante, a levantarme después de caer, a tener confianza en mí.

Por hacer que este sueño se haga realidad.

Por todo esto y mucho más... Para ti mamá y papá.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, principalmente a mi familia, que soportó muchas veces mi mal genio, que acepto las largas noches de estudio junto a mis compañeros, que me animó cuando me fue mal y que además hizo que mis días sean más fáciles de llevar.

Gracias mami, papi, abuelita y hermanos Carla, Richard, Cristina.

Aunque no lo diga, los quiero mucho.

A ti mi amor, que llegaste a mi vida y no te pude sacar más.

Gracias, porque en ti encontré mi equilibrio, un apoyo incondicional, una gran persona, un amigo. Te quiero mucho.

A mis queridos amigos, con los cuales compartimos momentos inolvidables y horas de estudio también y que además fueron capaces de darse un tiempo para compartir mis alegrías y tristezas. Muchas gracias.

Finalmente, agradecer a los profesores, secretarias, auxiliares, bibliotecarios y laboratoristas del LEMCO, todos ellos que de alguna u otra forma me ayudaron en mi formación académica.

ÍNDICE

Capítulo I

Características de los aditivos plastificante retardador de fraguado

1.1	Generalidades.....	1
1.1.1	Plastificantes.....	1
1.1.2	Retardadores de fraguado.....	2
1.1.3	Aditivos combinados.....	4
1.2	Característica del aditivo Plastiment H.E.R.	5
1.2.1	Usos.....	5
1.2.2	Ventajas.....	5
1.2.3	Datos básicos.....	6
1.2.4	Datos técnicos.....	6
1.2.4.1	Densidad.....	6
1.2.5	Métodos de aplicación.....	7
1.2.6	Instrucciones de seguridad.....	7

Capítulo II

Normativas

2.1	Aditivos: Clasificación.....	8
2.2	Aspectos del cemento.....	9
2.2.1	Terminología.....	9
2.2.2	Clasificación.....	10
2.2.3	Requisitos de tiempo de fraguado y resistencias.....	10
2.3	Características del cemento Bío-Bío especial.....	11
2.3.1	Usos.....	11

2.3.2	Propiedades.....	12
2.3.3	Datos Básicos.....	12
2.3.4	Datos técnicos.....	13
2.4	Consistencia normal de la pasta de cemento.....	14
2.5	Tiempo de fraguado de la pasta de cemento.....	15
2.6	Resistencia a la flexión y a la compresión del mortero de cemento....	16
2.6.1	Arena normal.....	16
2.6.2	Mortero normal.....	17
2.6.3	Aparatos, materiales, acondicionamiento y probetas.....	17
2.6.4	Cálculos.....	18
2.7	Consistencia del mortero de cemento.....	18
2.7.1	Aparatos.....	18
2.7.2	Expresión de resultados.....	19

Capítulo III

Procedimiento para la determinación de los tiempos de fraguado, resistencias y trabajabilidad

3.1	Antecedentes.....	20
3.2	Acondicionamiento.....	20
3.3	Procedimiento para la determinación de la consistencia normal.....	21
3.3.1	Metodología.....	21
3.3.2	Preparación de la pasta de cemento.....	22
3.3.3	Ensayo.....	22
3.4	Procedimiento para la determinación de los tiempos de fraguado inicial y final.....	23
3.4.1	Metodología.....	23
3.4.2	Preparación de la pasta de cemento... ..	24

3.4.3	Ensayo.....	24
3.5	Procedimiento para la determinación de las resistencias a la flexión y a la compresión.....	25
3.5.1	Metodología.....	25
3.5.2	Preparación del mortero normal.....	26
3.5.3	Probetas.....	27
3.5.3.1	Preparación de las probetas.....	27
3.5.3.2	Conservación de las probetas.....	27
3.5.4	Ensayos.....	29
3.5.4.1	Ensayo de flexión.....	29
3.5.4.2	Ensayo de compresión.....	29
3.6	Procedimiento para la determinación de la trabajabilidad	30
3.6.1	Metodología.....	30
3.6.2	Ensayo.....	31

Capítulo IV

Memoria de cálculo

4.1	Consistencia normal	32
4.2	Tiempos de fraguado.....	32
4.2.1	1ª dosificación.....	32
4.2.2	2ª dosificación.....	33
4.2.3	3ª dosificación.....	33
4.2.4	4ª dosificación.....	34
4.3	Resistencias a la flexión y a la compresión.....	34
4.3.1	1ª dosificación.....	35
4.3.2	2ª dosificación.....	36
4.3.3	3ª dosificación.....	36

4.3.4	4ª dosificación.....	37
4.4	Trabajabilidad.....	38
4.5	Descripción gráfica.....	38
4.5.1	Tiempos de fraguado.....	38
4.5.2	Resistencias.....	42
4.5.2.1	Resistencia a la compresión.....	42
4.5.2.2	Resistencia a la flexión.....	44
4.5.3	Trabajabilidad.....	45
	Conclusión.....	47
	Anexo A	
	Normativa para el uso de aditivos en hormigones y morteros.....	53
	Bibliografía.....	54

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es hacer un aporte a los usuarios de aditivos en cemento grado corriente, puesto que entrega información sobre la influencia en el tiempo de fraguado, resistencia mecánica y trabajabilidad en las pasta de cemento, según sea la dosificación de un aditivo plastificante retardador.

Los productos utilizados en esta investigación son el aditivo Plastiment H.E.R. y el cemento Bío-Bío Especial, los cuales son analizados a través de ensayos en el laboratorio LEMCO.

De los resultados obtenidos, se demostró que el efecto del aditivo plastificante retardador en la trabajabilidad y en el tiempo de fraguado es significativo, no así en las resistencias donde no se observó cambios importantes.

SUMMARY

The object of this thesis is to make a contribution to the users of cement additives current degree, since it gives information on the influence in the time of setting, mechanical resistance and docility in the cement paste, according to is the metering of a delaying plastificante additive.

The products used in this investigate ion are the additive Plastiment H.E.R. and Special the Bío-Bío cement, which is analyzed through tests in laboratory LEMCO.

Of the obtained results, it was demonstrated not thus that the effect of the delaying plastificante additive in the docility and the time of setting is significant, in the resistance where it was not observed important changes.

INTRODUCCIÓN

Los aditivos son aquellos productos que introducidos en el hormigón permiten modificar sus propiedades en una forma susceptible de ser prevista y controlada.

Productos que, agregados en pequeña proporción en pastas, morteros y hormigones en el momento de su fabricación, mejoran o modifican una o varias de sus propiedades.

Aún cuando los aditivos son un componente eventual del hormigón, existen ciertas condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables.

De esta manera su uso estará condicionado por:

- a) Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- b) Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del hormigón.
- c) Que un análisis de costo justifique su empleo.

En el mercado existe gran variedad de productos que modifican una o más propiedades del hormigón a la vez, es por esto que el C.T.H, Centro Tecnológico del Hormigón, clasifica a los aditivos en:

- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.
- Plastificante-Retardador.
- Plastificante-Acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante retardador.

- Incorporador de aire.

En el presente estudio se analiza la influencia del aditivo plastificante retardador en los cementos grado corriente.

El retardador de fraguado es un aditivo que inhibe transitoriamente la reacción química inicial entre el cemento y el agua, prolongando el inicio del fraguado.

El plastificante es un aditivo que aumenta la trabajabilidad de la mezcla fresca de hormigón o mortero sin incrementar su contenido de agua.

Para la realización del estudio, se usa el aditivo Plastiment H.E.R. plastificante retardador y el cemento Bío-Bío especial, cemento siderúrgico grado corriente.

Los tiempos de fraguado se determinan mediante el aparato de Vicat, las resistencias a través de probetas de 40 x 40 x 160 mm y la trabajabilidad por el cono reducido.

El objetivo principal de la tesis es desarrollar tablas y gráficos para el usuario del cemento corriente, donde puedan observar dosificaciones de aditivo plastificante retardador de fraguado y su eventual influencia en las resistencias, tiempo de fraguado y trabajabilidad.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS PLASTIFICANTE RETARDADOR DE FRAGUADO

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 PLASTIFICANTES

Los plastificantes se definen como aditivos que permiten para una misma cantidad de agua, aumentar considerablemente la docilidad y además para una misma docilidad, reduce la cantidad de agua en un hormigón.

El aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar la cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas.

El uso de los plastificantes se efectúa adicionando éstos junto con el último agua de amasado, para que esta arrastre el aditivo hacia el hormigón y asegure el mezclado homogéneo. Inmediatamente se produce un efecto dispersante que aumenta la trabajabilidad del hormigón o del mortero. Este efecto se mantiene durante un tiempo limitado, hasta que las partículas de cemento empiezan a aglomerarse.

La dosis suele oscilar entre un 0,2 y un 0,8 %, en función del peso del cemento. Con esta adición se obtiene un buen efecto dispersante que mejora la trabajabilidad del hormigón durante un tiempo cercano a una hora.

Un efecto secundario que suele aparecer con la adición de este tipo de aditivos es un ligero retraso en el inicio del fraguado. Esto supone una ventaja en cuanto a que prolonga el tiempo abierto para la puesta en obra, especialmente cuando se trata de elementos difíciles de hormigonar o cuando las temperaturas elevadas reducen el tiempo abierto de los morteros u hormigones.

Los hormigones aditivados con plastificantes alcanzan mejor compactación y con ello, mayor durabilidad y más elevadas resistencias.

Algunas de las ventajas del uso de aditivos plastificantes:

- Mejora de la trabajabilidad.
- Puesta en obra más fácil.
- Menor riesgo de zonas mal compactadas.
- Mejora de la durabilidad.
- Acabados más estéticos.
- Compensan la presencia de áridos poco idóneos.
- Prolongan el tiempo de puesta en obra

1.1.2 RETARDADORES DE FRAGUADO

La acción principal de los aditivos retardadores de fraguado es aumentar el tiempo durante el cual el hormigón es trabajable, permitiendo: el transporte del mismo sin que se produzca un endurecimiento prematuro o la segregación, lo cual es importante en el transporte a largas distancias, en hormigones bombeados, en inyectados, etc; controlar el principio de fraguado de una masa para conseguir que una pieza hormigonada en varias fases fragüe al mismo tiempo sin dar lugar a discontinuidades o juntas; hormigonar en tiempo caluroso al hacer al cemento menos activo en su hidratación con lo cual desprenderá menos

calor durante la misma, especialmente durante los primeros 7 días; lograr un acabado adecuado en hormigones de áridos vistos al aplicar el retardador a la superficie de los encofrados con lo cual el hormigón en contacto con ellos endurece más lentamente y puede tratarse con cepillo una vez realizado el desencofrado, etc.

La dosificación del aditivo retardador debe hacerse junto con el agua de amasado y no hacerlo directamente sobre el hormigón, de esta forma se evita que el aditivo quede sólo en una porción del hormigón, teniendo ésta un retraso considerable mientras que otra parte de dicho hormigón tenga un fraguado normal.

Una sobredosificación accidental del aditivo retardador trae consigo un retraso del fraguado considerable, tanto más acusado cuanto mayor sea la sobredosificación, así mismo las resistencias iniciales serán bajas, aunque las finales no se vean afectadas por ello.

- Debido a la gran cantidad de factores que influyen en el proceso del fraguado del cemento, como son cantidad y tipo de cemento, temperatura de los componentes del hormigón, temperatura ambiente, volumen del hormigón, dosificación del retardador, etc. no se puede determinar a priori el retraso que vamos a tener, por lo que es necesario hacer un ensayo con los mismos componentes y condiciones que se tengan en obra, y de esta forma poder determinar la dosificación óptima para el retraso de fraguado que queramos.

1.1.3 ADITIVOS COMBINADOS

Estos productos combinan los efectos de dos o más aditivos, destacándose entre ellos: Plastificantes – retardadores, plastificantes – aceleradores, plastificantes – incorporadores de aire, etc.

Para ellos son válidos los mismos conceptos que se han dado sobre cada uno independientemente. Presentan la ventaja de actuar simultáneamente sobre distintas propiedades del hormigón, sin tener que recurrir al empleo de dos aditivos en forma conjunta, lo que puede inducir a errores de aplicación, especialmente cuando su dosis es muy diferente.

Sin embargo, como consecuencia de los efectos secundarios que se derivan de los aditivos componentes, deben ser formulados para que su efecto sea mas bien moderado. Ello puede constituir una limitación para algunos casos particulares en que sea necesario un efecto mayor de uno de los aditivos componentes, no siendo posible actuar independientemente sobre él.

En este caso, el aditivo plastificante retardador tiene un efecto limitado sobre el retardo y en los casos en que se necesita un retardo mayor que el que puede producir un aditivo combinado, será necesario emplear un plastificante y un retardador separadamente.

En todos los casos, cuando se diseña un hormigón o mortero, es aconsejable efectuar ensayos previos, para ajustar la composición a las propiedades previstas, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

1.2 CARACTERÍSTICA DEL ADITIVO PLASTIMENT H.E.R.

Plastiment H.E.R. es un aditivo para ser usado en hormigones y morteros, de efecto plastificante y retardador.

1.2.1 USOS

Uno de los usos para el cual está diseñado este aditivo son:

- Hormigonado en grandes masas.
- Hormigonado en tiempo caluroso.
- Para evitar juntas de hormigonado en faenas continuas.
- En hormigón premezclado, especialmente en tiempo caluroso.
- Transporte de hormigón a largas distancias.
- Hormigón bombeado.

1.2.2 VENTAJAS

Plastiment H.E.R. es un aditivo de uso universal que le confiere al hormigón las siguientes características:

- Retarda el fraguado del hormigón, aumentando el tiempo límite de colocación.
- Aumenta considerablemente las resistencias mecánicas al permitir reducir la cantidad de agua de amasado.
- Aumento de la impermeabilidad.
- Mejora la trabajabilidad del hormigón fresco.

1.2.3 DATOS BÁSICOS

Su presentación es en tambor de 235 Kg. o a granel. Se encuentra en estado líquido y tiene color café, su almacenamiento es el lugar fresco y bajo techo y su duración es hasta 18 meses en su envase original cerrado, sin deterioro.

1.2.4 DATOS TÉCNICOS

Al utilizar Plastiment H.E.R. como plastificante, es decir, con la misma razón agua / cemento (A / C) que el patrón, se verifica un fuerte aumento en la docilidad del hormigón, sin afectar las resistencias mecánicas.

Al utilizarlo como reductor de agua permite disminuir la cantidad de agua de amasado entre un 7% y 12%, sin modificar la trabajabilidad del hormigón patrón, obteniéndose fuertes incrementos en las resistencias mecánicas e impermeabilidad.

El efecto retardador del aditivo no afecta al desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales.

1.2.4.1 DENSIDAD

La densidad de este producto es 1.15 kg/dm^3

1.2.5 MÉTODO DE APLICACIÓN

Se utiliza diluido en el agua de amasado del hormigón en dosis de 0.3% a 0.5% referido al peso del cemento.

Al no disponer de aparatos para dosificar el aditivo, deberá utilizarse un recipiente con la medida exacta para cada amasada. No es recomendable confeccionar diluciones de antemano con plastiment H.E.R. y agua a menos de mantener una constante agitación.

En caso de congelamiento del producto, descongelar lentamente y agitarlo cuidadosamente, sin exponerlo nunca a la llama directa ni a temperatura superior a 50°C.

1.2.6 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Para prevenir riesgos con la manipulación evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase utilizando guantes, anteojos de seguridad. En el caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua.

Para el cuidado de la ecología no disponer el producto en el suelo o cursos de agua.

CAPÍTULO II

NORMATIVAS

2.1 ADITIVOS: CLASIFICACIÓN

La norma chilena NCh 2182.Of95 clasifica a los aditivos químicos que se agregan al hormigón y al mortero durante su fabricación, refiriéndose sólo a los siguientes tipos:

Tipo A: Aditivos plastificantes.

Tipo B: Aditivos retardadores.

Tipo C: Aditivos aceleradores.

Tipo D: Aditivos plastificantes y retardadores.

Tipo E: Aditivos plastificantes y aceleradores.

Tipo F: Aditivos superplastificantes.

Tipo G: Aditivos superplastificantes y retardadores.

Tipo H: Aditivos incorporadores de aire.

Esta norma no se aplica a aditivos tales como hidrófugos, expansivos u otros que produzcan acciones distintas a las indicadas en la clasificación.

2.2 ASPECTOS DEL CEMENTO

2.2.1 TERMINOLOGÍA

Cemento: Es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire.

Cemento siderúrgico: Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínker, escoria granulada de alto horno y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

Es el cemento en cuya composición entrará escoria básica granulada de alto horno en una proporción comprendida entre el 30% y el 75% del producto terminado.

C clínker: Es el producto que está constituido principalmente, por silicatos cálcicos. Se obtiene por calentamiento hasta una temperatura que no podrá ser inferior a la temperatura de fusión incipiente de una mezcla homogénea finamente molida en proporciones adecuada, formada principalmente por óxidos de calcio (CaO) y silicio (SiO₂) y por óxidos de aluminio (Al₂O₃) y fierro (Fe₂O₃) en proporciones menores.

Escoria básica granulada de alto horno: Es el producto que se obtiene por enfriamiento brusco de la masa fundida no metálica que resulta en el tratamiento de mineral de hierro de alto horno. Este producto tiene como constituyentes principales silicatos y sílicoaluminatos de calcio.

2.2.2 CLASIFICACIÓN

La norma chilena NCh 148.Of68 clasifica los cementos de acuerdo a su composición en las siguientes clases:

- Cemento pórtland
- Cemento siderúrgico
 - Cemento pórtland siderúrgico
 - **Cemento siderúrgico**
- Cementos con agregado tipo A
 - Cemento pórtland con agregado tipo A
 - Cemento con agregado tipo A
- Cemento puzolánico.
 - Cemento pórtland puzolánico
 - Cemento puzolánico
- Cemento con fines especiales

2.2.3 REQUISITOS DE TIEMPO DE FRAGUADO Y RESISTENCIAS

La NCh 148.Of68 determina los mínimos y máximos del tiempo de fraguado inicial y final, así como también las resistencias a la compresión y flexión para el cemento grado corriente.

Tiempo de fraguado inicial mínimo: 60 minutos

Tiempo de fraguado final máximo: 12 horas

Resistencia mínima a la compresión:

7 días: 180 Kg/cm²

28 días: 250 Kg/cm²

Resistencia mínima a la flexión:

7 días: 35 Kg/cm²

28 días: 45 Kg/cm²

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO BÍO-BÍO ESPECIAL

Es un cemento elaborado sobre la base de clínquer, escoria básica granulada de alto horno y yeso. De acuerdo a la norma NCh 148.Of68, se clasifica según su composición y resistencia, como cemento clase siderúrgico, grado corriente.

2.3.1 USOS

Siendo un cemento de uso universal presenta ventajas comparativas en las siguientes aplicaciones:

- Hormigones simples y armados (bombeados o autocompactantes).
- Hormigones masivos.
- Hormigones en contacto con agua de mar o en presencia de sulfatos.
- Hormigones en contacto con aguas agresivas.
- Hormigón compactado con rodillo.
- Ferrocemento.
- Lechadas de inyección.
- Morteros en general.
- Hormigones transportados a distancia.
- Pavimentos

2.3.2 PROPIEDADES

El cemento Bío-Bío Especial, posee las siguientes características:

- Alta resistencia al ataque de agresivos químicos y al agua de mar.
- Desarrollo de resistencias normales.
- Altas resistencias finales.
- Bajo calor de hidratación.
- Buena protección a las armaduras.
- Estabilidad en presencia de áridos reactivos.
- Mayor tiempo de operación.
- Color de terminación de los hormigones más claros.

2.3.3 DATOS BÁSICOS

El cemento se debe proteger de la intemperie al ser transportado o almacenado. En buenas condiciones de almacenamiento, protegido de la humedad, el cemento puede mantener sus características por 3 meses o más.

Se presenta en sacos de 42,5 kg y en granel en Big Bag de 1,5 ton y en camión granelero. (Ilustración 1, 2 y 3, respectivamente))



Ilustración 2.1: Saco de 42,5 kg



Ilustración 2.2: Big bag de 1,5 ton



Ilustración 2.3: Camión granelero

2.3.4 DATOS TÉCNICOS

- Clase: Siderúrgico
- Grado: Corriente
- Características Físicas y Mecánicas (valores promedio)

Peso Específico: $3,0 \text{ g/cm}^3$

Fraguado Inicial: 02:50 (h:m)

Fraguado Final: 03:40 (h:m)

- Resistencia Compresión (Para mortero normal)

3 días: 180 Kg/cm^2

7 días: 265 Kg/cm^2

28 días: 430 Kg/cm^2

90 días: 520 Kg/cm^2

2.4 CONSISTENCIA NORMAL DE LA PASTA DE CEMENTO

La norma chilena NCh 151.Of68 establece un método para determinar la consistencia normal de los cementos, que se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la sonda de Tetmayer de un aparato normalizado, llamado Aparato de Vicat.

El Aparato de Vicat consta de un armazón con un vástago móvil provisto de una sonda (sonda Tetmayer), un indicador y opcionalmente de un freno. El vástago puede fijarse en cualquier posición mediante un tornillo. El indicador es ajustable y se mueve sobre una escala graduada en mm.

Las características de este dispositivo serán las siguientes:

- Peso total del vástago móvil con agregados y sonda: $300,0 \pm 0,5$ g.
- Sonda Tetmayer de latón pulido, cilíndrica con base plana:
Diámetro $10 \pm 0,05$ mm
Longitud Libre $49 \pm 1,00$ mm
- La tolerancia en la graduación de la escala, en todas las divisiones $\pm 0,25$ mm



Ilustración 2.4: Aparato de Vicat

Los demás aparatos que se utilizan en este método y el acondicionamiento están especificados en esta norma o las que se hacen referencia en ella. (*)

La cantidad calculada necesaria, para obtener la pasta de cemento de consistencia normal, se expresará como porcentaje en peso del cemento, con aproximación de 0,1%.

La determinación de la consistencia normal de la pasta de cemento es necesaria para la obtención de los tiempos de fraguado inicial y final.

2.5 TIEMPO DE FRAGUADO DE LA PASTA DE CEMENTO

La norma chilena NCh 152.Of71 establece un método para determinar el tiempo de fraguado de los cementos que se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la aguja del Aparato de Vicat.

En este caso el Aparato de Vicat no está provisto de la sonda Tetmayer, sino que por la aguja de Vicat.

Las características de este dispositivo son:

- Peso total del dispositivo móvil con su aguja: $300,0 \pm 0,5$ g.
- Aguja de Vicat cilíndrica de un material no atacable, con base plana de:

Diámetro	$1,13 \pm 0,05$ mm
Longitud Libre	43 ± 1 mm

Esta aguja se usará para la determinación del tiempo de fraguado inicial.
- Tolerancia en la graduación de la escala en todas las divisiones: $\pm 0,25$ mm

(*) Nota: La extracción de muestras determinada por la norma chilena Nch162.Of77 no será considerada, porque en este caso sólo trabajamos con un solo saco de cemento.

- Aguja con un accesorio hueco de metal, de 5 mm de diámetro, con borde cortante en que el extremo de la aguja sobrepasa en $0,5 \pm 0,1$ mm. Esta aguja se usará para la determinación del tiempo de fraguado final.

Los demás aparatos son los mismos usados para la determinación de la consistencia normal de la pasta de cemento.

La cámara húmeda estará construida de tal modo que pueda conservarse en ella una humedad relativa superior o igual a 90% y la temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Los tiempos de fraguado, inicial y final, se expresarán en horas y minutos, con aproximación de 10 minutos.

2.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE CEMENTO

La norma chilena NCh 158.Of67 establece procedimientos para determinar la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros de cemento.

2.6.1 ARENA NORMAL

Arena natural, cuarzosa, de granos redondeados, limpia, procedente de la zona de Las Cruces, Cartagena y que cumple con la composición granulométrica tal que su tamizado dé resultados comprendido dentro de los valores anotados en la siguiente tabla.

Tabla 2.1: Composición granulométrica de la arena normal

Fracción	Abertura Tamices mm	Designación Tamices NCh	Retención Acumulada %
Fina	0,074	-15	98 ± 2
	0,149	-11	88 ± 5
Media	0,50	-4	67 ± 5
Gruesa	1,00	0	33 ± 5
	1,68	3	5 ± 5
	2,00	4	0

La arena estará dividida en tres fracciones: fina, media y gruesa. Cada fracción tendrá una composición granulométrica tal que, mezclándolas por partes iguales en peso, se obtenga una arena de la composición granulométrica indicada en la tabla anterior.

2.6.2 MORTERO NORMAL

Aquel en que se emplea la arena normal y se prepara en la forma y proporciones prescritas en la norma chilena NCh 158.Of67.

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

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

2.6.3 APARATOS, MATERIALES, ACONDICIONAMIENTO Y PROBETAS

La norma chilena NCh 158.Of67 establece o hace referencia de los requisitos que se deben cumplir para la determinación de las resistencias a la flexión y a la compresión.

2.6.4 CÁLCULOS

Las resistencias se expresarán en Kg/cm^2 y calculados para la flexión según $0,234 P$ ó $0.250 P$, dependiendo de la distancia entre los apoyos según sea 100 mm ó $106,7 \text{ mm}$, siendo P , la carga total de ruptura expresada en Kg .

Las resistencias se determinarán en 3 probetas como mínimo para cada edad para el ensayo a flexión y sus correspondientes 6 probetas para el ensayo de compresión. Se deben ensayar en cada fecha probetas de distintos moldes.

La resistencia a la flexión y a la compresión del mortero será la medida aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha.

(Norma chilena NCh 148. Of68, página 8)

2.7 CONSISTENCIA DEL MORTERO DE CEMENTO

La norma chilena NCh 2257/3.Of96 determina la consistencia de los morteros utilizando el método del cono reducido.

2.7.1 APARATOS

Molde troncocónico recto y abierto en ambos extremos. Tiene una base inferior de 100 mm , una base superior de 50 mm y una altura de 150 mm . La tolerancia es de $\pm 1,5 \text{ mm}$ y el espesor de la plancha metálica debe ser igual o superior a $1,5 \text{ mm}$

Varilla pisón: Barra lisa de acero de 10 mm de diámetro y 300 mm de longitud, con sus extremos redondeados.

Regla u otro instrumento similar, para medir con una exactitud de 1mm.

2.7.2 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Expresar la consistencia en el cono reducido, en mm, por la diferencia de altura registrada, con aproximación de 1 mm.

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO, RESISTENCIAS Y TRABAJABILIDAD

3.1 ANTECEDENTES

La arena normal que proporciona el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, IDIEM, de la Universidad de Chile, viene elaborada como lo establece la norma chilena NCh 158.Of67.

El Aparato de Vicat usado en el procedimiento para la determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado, está provisto de un freno.

3.2 ACONDICIONAMIENTO

Antes de empezar con cualquier ensayo, se pesará, separará y colocará en bolsas herméticas, porciones de cemento de 500 gr. cada una, para evitar que el cemento se exponga a la intemperie.

La cámara húmeda estará constituida de tal modo que pueda conservarse en ella una humedad relativa superior o igual a 90%, en ella se mantendrá una temperatura entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Los materiales y aparatos usados deberán estar a una temperatura entre 18°C y 27°C .

La humedad relativa de la sala no será inferior a 50%.

La temperatura de la sala se mantendrá entre 18°C y 27°C.

La temperatura de agua de amasado será de 23°C ± 2°C.

3.3 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL

La norma chilena NCh 151.Of68 establece que se puede usar, indistintamente, el método de mezclado manual o el método de mezclado a máquina para la realización de la pasta de cemento. En este estudio se usará el método de mezclado manual.

Además, la norma dice que el molde destinado a contener la pasta de cemento puede ser tronco cónico o cilíndrico. Para el estudio se usará el primero.

Las dimensiones son las siguientes:

Diámetro inferior 70 ± 3 mm

Diámetro superior 60 ± 3 mm

Altura 40 ± 1 mm

3.3.1 METODOLOGÍA

Esquema 3.1: Consistencia normal

Cemento :500 gr

Agua :Se calcula con este ensayo

Ensayo
único



3.3.2 PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO

Colocar en una superficie lisa de material no absorbente en forma de anillo, 500 gr. de cemento por ensayar. Verter en el centro del anillo, una determinada cantidad de agua, y con la ayuda de la espátula volcar el cemento de la orilla para el centro, sin demorar más de 30 seg. en esta operación.

Durante un nuevo intervalo de 30 seg. esparcir el cemento seco de los costados del cono sobre la mezcla para reducir la pérdida por evaporación y provocar la absorción del agua y revolver luego vigorosamente con la espátula hasta completar 5 min. contados desde el momento de agregar agua.

3.3.3 ENSAYO

- Inmediatamente después de terminado el mezclado, colocar la pasta de cemento en el molde, sin efectuar presión, hasta enrasarla con una espátula.
- Colocar el molde con la pasta sobre la placa de vidrio y centrarlo debajo del vástago del aparato de Vicat; Colocar el extremo de la sonda Tetmayer en contacto con la superficie de la pasta y fijar el tornillo sujetador.
- Llevar el indicador a coincidir con la marca superior 0 de la escala o con una lectura inicial determinada, y soltar la sonda.
- El aparato debe estar libre de toda vibración durante el ensayo.
- La pasta tendrá consistencia normal, cuando la sonda se detiene a 6 ± 1 mm sobre el fondo del molde, 30 seg. después de soltarla. Se confeccionará pastas con distintas proporciones de agua hasta obtener la consistencia normal.
- Efectuar sólo un ensayo con cada porción de pastas.

(Norma chilena NCh 151.Of68, página 4)

3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL.

Se debe tener presente que los tiempos de fraguado inicial y final se computan desde el instante en que se inicia el mezclado de la pasta de cemento.

3.4.1 METODOLOGÍA

Se determinará el tiempo de fraguado a las siguientes pastas de cemento:

- 1ª Dosificación Muestra patrón, no contiene aditivo
- 2ª Dosificación 1.3 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.3% del peso del cemento.
- 3ª Dosificación 1.7 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.4% del peso del cemento.
- 4ª Dosificación 2.2 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.5% del peso del cemento.

Esquema 3.2: Tiempos de fraguado

	1º DOSIF: PATRÓN	2ª DOSIF: 0,3%	3ª DOSIF: 0,4%	4ª DOSIF: 0,5%
Cemento	:500 gr	500 gr	500 gr	500 gr
Aditivo	:0 gr	1,5 gr	2,0 gr	2,5 gr
Agua	:para obtener consistencia normal			
Ensayos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3.4.2 PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO

- Preparar la pasta de cemento de consistencia normal, con la cantidad de agua determinada anteriormente y por el método de mezclado manual.
- Colocar la pasta de cemento en el molde, sin efectuar presión, hasta enrasarla con la ayuda de la espátula.
- El molde con la pasta de cemento deberá permanecer en la cámara húmeda y se sacará durante el tiempo necesario para hacer las mediciones.

3.4.3 ENSAYO

- Colocar el molde con la pasta debajo de la aguja del Aparato de Vicat, colocar el extremo de la aguja en contacto con la superficie de la pasta y fijar el tornillo.
- Hacer coincidir el indicador con la marca superior 0 de la escala o con una lectura inicial determinada y soltar el dispositivo móvil.
- El aparato debe estar libre de vibraciones durante el ensayo.
- Hacer mediciones sucesivas cada 10 min a distancias iguales o superiores a 10 mm del borde interior del molde y a 5 mm entre ellas.
- Limpiar completamente la aguja después de cada medición.
- El cemento ha alcanzado el principio de fraguado cuando la aguja se detenga a $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ sobre el fondo del molde 30 seg. después de haber soltado el dispositivo móvil.
- La determinación del tiempo de fraguado final se hará con la probeta invertida. La inversión se efectuará, cuando la pasta esté suficientemente rígida.
- El cemento ha alcanzado el final del fraguado cuando solo la aguja deje una impresión y no el borde circular del accesorio.

3.5 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN

3.5.1 METODOLOGÍA

Se determinará las resistencias a la flexión y compresión a las mezclas patrón y con contenido de aditivo del 0.3%, 0.4% y 0.5% del peso del cemento a los 3, 7, 14 y 28 días.

Se ensayarán tres probetas en cada medición.

Esquema 3.3: Resistencias

	1ª DOSIF: PATRÓN	2ª DOSIF: 0,3%	3ª DOSIF: 0,4%	4ª DOSIF: 0,5%
Cemento	:500 gr	500 gr	500 gr	500 gr
Arena	:1500 gr	1500 gr	1500 gr	1500 gr
Agua	:250 ml	250 ml	250 ml	250 ml
Aditivo	:0 gr	1,5 gr	2,0 gr	2,5 gr
Día 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Día 7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Día 14	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Día 28	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3.5.2 PREPARACIÓN DEL MORTERO NORMAL

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

Cemento	:500 gr.
Arena normal seca	:500 gr. arena fina 500 gr. arena media 500 gr. arena gruesa
Agua	:250 ml.

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

3.5.3 PROBETAS

3.5.3.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

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

3.5.3.2 CONSERVACIÓN DE LAS PROBETAS

- Los moldes se cubrirán con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación del agua.
- Los moldes se trasladarán a la cámara húmeda.

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



Ilustración 3.1: Enrase de probetas rilem



Ilustración 3.2: Probetas rilem en cámara Húmeda

3.5.4 ENSAYOS

3.5.4.1 ENSAYO DE FLEXIÓN

- La probeta se apoyará, en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina a flexión.
- La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/seg.
- Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservarán húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta al ensayo de compresión.

3.5.4.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN

- Cada trozo obtenido del ensayo a flexión se ensayará a la compresión en una sección de 40mm x 40mm, 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 será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/cm²/seg. Hasta la mitad de la carga de ruptura la carga podrá aumentar a mayor velocidad, pero en todo caso la duración de cada ensayo será menor o igual en 10 seg.



Ilustración 3.3: Ensayo de compresión

3.6 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRABAJABILIDAD

Se procede con el método del cono reducido.

3.6.1 METODOLOGÍA

Este procedimiento se realizará para cada una de las siguientes dosificaciones:

- 1ª Dosificación Mortero patrón, no contiene aditivo
- 2ª Dosificación 1.3 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.3% del peso del cemento.
- 3ª Dosificación 1.7 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.4% del peso del cemento.
- 4ª Dosificación 2.2 ml de aditivo plastificante retardador de fraguado que equivalen al 0.5% del peso del cemento.

Esquema 3.4: Trabajabilidad

1º DOSIF: PATRON	2ª DOSIF: 0,3%	3ª DOSIF: 0,4%	4ª DOSIF: 0,5%

3.6.2 ENSAYO

- Limpiar y humedecer la placa de apoyo y la superficie interior del cono.
- Colocar el cono sobre la placa de modo que permanezca inmóvil durante el llenado. Colocar el mortero en el cono, en dos capas de aproximadamente igual volumen y compactar con 20 golpes de la varilla pisón.
- Enrasar con la varilla pisón, sin compactar la superficie.
- Levantar lenta y cuidadosamente el molde en dirección vertical.
- Una vez levantado el molde, medir inmediatamente la disminución de altura del mortero moldeado, con aproximación de 1mm. Hacer esta medición en el eje central del molde en su posición primitiva.
- El llenado, enrase y medición deben realizarse en un tiempo menor que 3 min.



Ilustración 3.5: Ensayo cono reducido

CAPÍTULO IV

MEMORIA DE CÁLCULO

4.1 CONSISTENCIA NORMAL

Los datos obtenidos a partir de la penetración de la aguja de Vicat en las diferentes consistencias de pastas de cemento se ven en la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Resultados penetración, consistencia normal.

Cemento gr	Agua ml	$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} \times 100$	Penetración	
			del fondo mm	desde superf. mm
500	200	40,0%	0	40
500	180	36,0%	0	40
500	170	34,0%	38	2
500	175	35,0%	6	34

Los resultados indican que la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia normal del cemento Bío-Bío Especial, cemento siderúrgico grado corriente, es un 35% del peso del cemento seco.

4.2 TIEMPOS DE FRAGUADO

4.2.1 1ª DOSIFICACIÓN

La pasta de cemento que no contiene aditivo plastificante retardador de fraguado, es decir, la primera dosificación, opuso resistencia a la penetración de la aguja de Vicat como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Resultados penetración, 1ª dosificación.

Hora hh:mm	Penetración		
	del fondo mm	de la superf. mm	
3:10	3	37	Inicio de fraguado
7:00	40	0	Final de fraguado

Los resultados obtenidos por la mezcla patrón, indican que el fraguado comienza a las 3 horas con 10 minutos y termina a las 7 horas después de que se inició el mezclado de la pasta de cemento.

4.2.2 2ª DOSIFICACIÓN

En la mezcla con un 0.3% de aditivo del peso del cemento, el inicio de fraguado comenzó a las 8 horas con 30 minutos y terminó a las 12 horas con 30 minutos.

Tabla 4.3: Resultados penetración, 2ª dosificación.

Hora hh:mm	Penetración		
	del fondo mm	desde superf. mm	
8:30	4	36	Inicio de fraguado
12:30	40	0	Final de fraguado

4.2.3 3ª DOSIFICACIÓN

Los resultados obtenidos por la mezcla con la 3ª dosificación, indican que el fraguado comienza a las 14 horas y termina a las 19 horas después de que se inició el mezclado de la pasta de cemento.

Tabla 4.4: Resultados penetración, 3ª dosificación.

Hora Hh:mm	Penetración		
	del fondo mm	desde superf. mm	
14:00	5	35	Inicio de fraguado
19:00	40	0	Final de fraguado

4.2.4 4ª DOSIFICACIÓN

En la mezcla con un 0.5% de aditivo del peso del cemento, el inicio de fraguado comenzó a las 17 horas con 50 minutos y terminó a las 24 horas con 40 minutos después de haber comenzado el mezclado.

Tabla 4.5: Resultados penetración, 4ª dosificación.

Hora hh:mm	Penetración		
	del fondo mm	desde superf. mm	
18:10	3	37	Inicio de fraguado
24:10	40	0	Final de fraguado

4.3 RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN

Los ensayos realizados para obtener las resistencias a la compresión los días 3 y 7 y las resistencias a la flexión, se hicieron en la prensa CBR. Las resistencias en kg/cm^2 se obtienen a través de los siguientes cálculos:

$$\text{Compresión} \quad f_c = (P * 5.98 + 15.27) / \text{área} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\text{Flexión} \quad f_f = (P * 5.98 + 15.27) * 0.234 \quad \text{kg/cm}^2$$

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

Donde: 1 Megapondio = 1000 Kilogramos

Las resistencias en kg/cm^2 se obtienen a través del siguiente cálculo:

Compresión $f_c = P / \text{área} \quad \text{kg/cm}^2$

Donde: P : Lectura en prensa CBR.

área : Área de contacto, 16 cm^2

0.234 : Constante que depende de la distancia entre los apoyos.

4.3.1 1ª DOSIFICACIÓN

Las resistencias obtenidas de la mezcla patrón son las siguientes.

Día 3 Compresión : $f_c = 76,33 \text{ kg/cm}^2$

Flexión : $f_f = 25,96 \text{ kg/cm}^2$

Día 7 Compresión : $f_c = 131,58 \text{ kg/cm}^2$

Flexión : $f_f = 47,88 \text{ kg/cm}^2$

Día 14 Compresión : $f_c = 243,16 \text{ kg/cm}^2$

Flexión : $f_f = 65,14 \text{ kg/cm}^2$

Día 28 Compresión : $f_c = 280.57 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 72.14 \text{ kg/cm}^2$

4.3.2 2ª DOSIFICACIÓN

Los resultados de las resistencias a la compresión y a la flexión de la mezcla con 0,3% de aditivo se presentan a continuación.

Día 3 Compresión : $f_c = 84.59 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 31.09 \text{ kg/cm}^2$

Día 7 Compresión : $f_c = 137.03 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 53.02 \text{ kg/cm}^2$

Día 14 Compresión : $f_c = 248.36 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 77.50 \text{ kg/cm}^2$

Día 28 Compresión : $f_c = 319.79 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 82.87 \text{ kg/cm}^2$

4.3.3 3ª DOSIFICACIÓN

Las resistencias a la compresión y a la flexión de la mezcla con 0,4% de aditivo del cemento son:

Día 3 Compresión : $f_c = 67.00 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 30.63 \text{ kg/cm}^2$

Día 7 Compresión : $f_c = 190.51 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 55.81 \text{ kg/cm}^2$

Día 14 Compresión : $f_c = 247.35 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 81.47 \text{ kg/cm}^2$

Día 28 Compresión : $f_c = 326.76 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 81.94 \text{ kg/cm}^2$

4.3.4 4ª DOSIFICACIÓN

Por último, las resistencias a la compresión y flexión de la mezcla con 0,5% de aditivo del cemento son:

Día 3 Compresión : $f_c = 55.89 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 26.43 \text{ kg/cm}^2$

Día 7 Compresión : $f_c = 162.70 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 59.08 \text{ kg/cm}^2$

Día 14 Compresión : $f_c = 248.74 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 80.54 \text{ kg/cm}^2$

Día 28 Compresión : $f_c = 308.90 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión : $f_f = 74.94 \text{ kg/cm}^2$

4.4 TRABAJABILIDAD

La consistencia de cada una de las dosificaciones de las pastas de cemento varió como se muestra a continuación:

Patrón	:5	mm
0,3% aditivo	:35	mm
0,4% aditivo	:80	mm
0,5% aditivo	:86	mm

4.5 DESCRIPCIÓN GRÁFICA

En esta sección encontrará tablas y gráficos que resumen los datos obtenidos en los ensayos para determinar los tiempos de fraguado, las resistencias y la trabajabilidad.

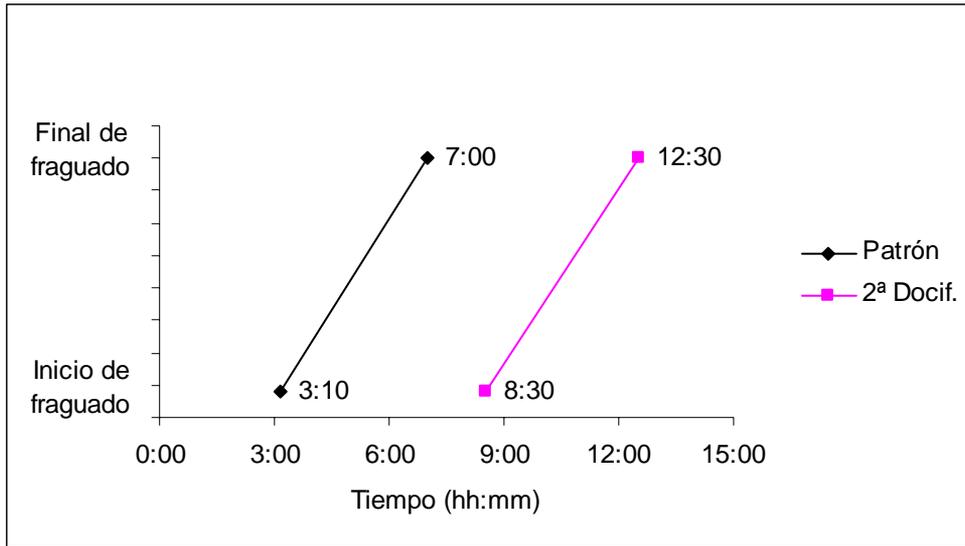
4.5.1 TIEMPOS DE FRAGUADO

A continuación, podemos ver una comparación en los tiempos de fraguado de la mezcla patrón y la mezcla con 0,3% de aditivo del peso del cemento seco.

Tabla 4.6: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.3% de aditivo.

	Patrón	0,3%
Inicio de fraguado	3:10	8:30
Final de fraguado	7:00	12:30

Gráfico 4.1: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.3% de aditivo.

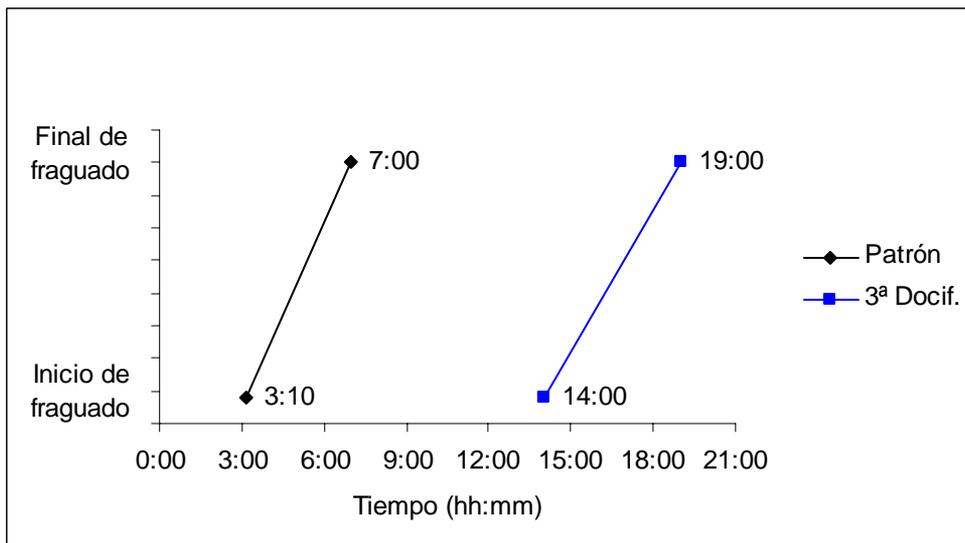


En la tabla 4.7 y gráfico 4.2 se puede apreciar la diferencia en los tiempos de fraguado de la mezcla patrón y la mezcla con 0,4% de aditivo del peso del cemento.

Tabla 4.7: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.4% de aditivo.

	Patrón	0,4%
Inicio de fraguado	3:10	14:00
Final de fraguado	7:00	19:00

Gráfico 4.2: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.4% de aditivo.

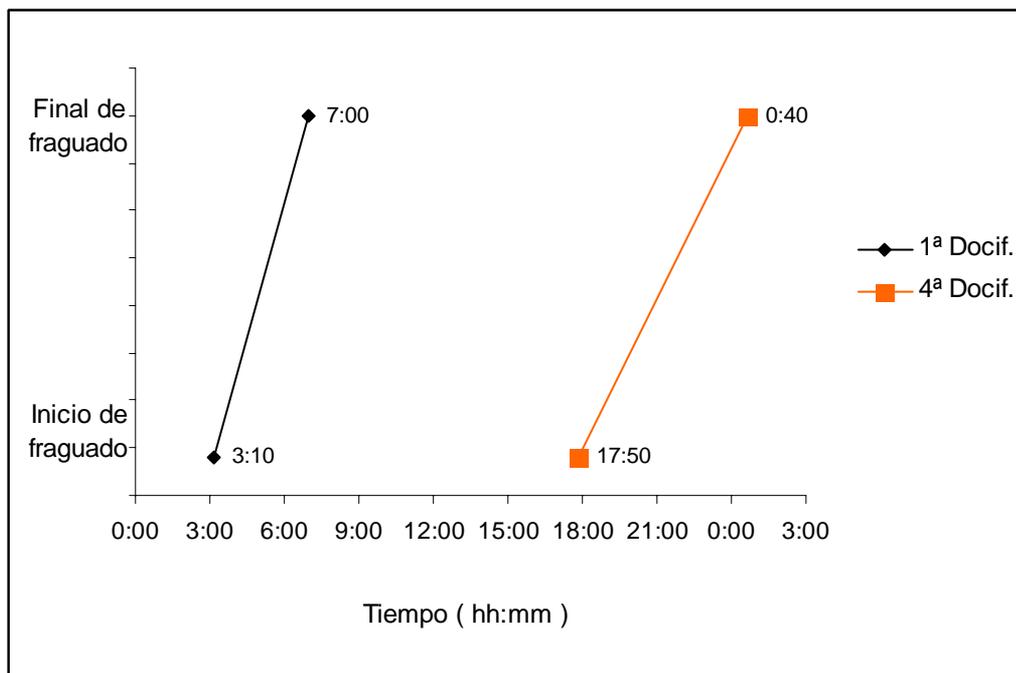


También se puede observar la diferencia entre la mezcla patrón y mezcla con 0.5% de aditivo del peso del cemento seco.

Tabla 4.8: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.5% de aditivo.

	Patrón	0,5%
Inicio de fraguado	3:10	17:50
Final de fraguado	7:00	0:40

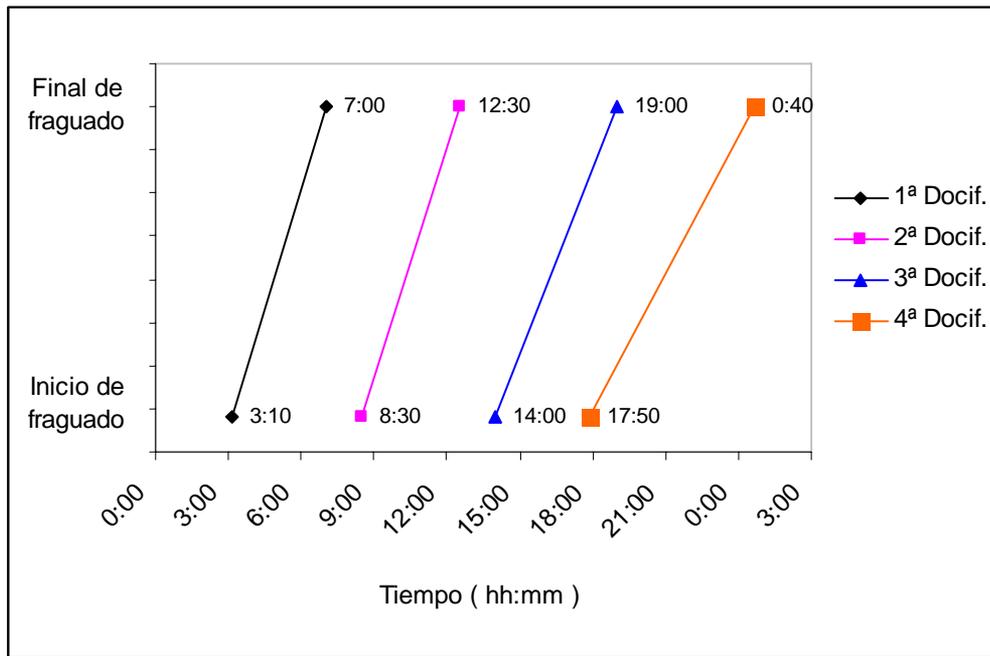
Gráfico 4.3: Tiempos de fraguado, mezcla patrón v/s mezcla con 0.5% de aditivo.



En la tabla y gráfico siguiente se presentan las 4 mezclas con sus respectivos tiempos de fraguado.

Tabla 4.9: Tiempos de fraguado de las 4 mezclas.

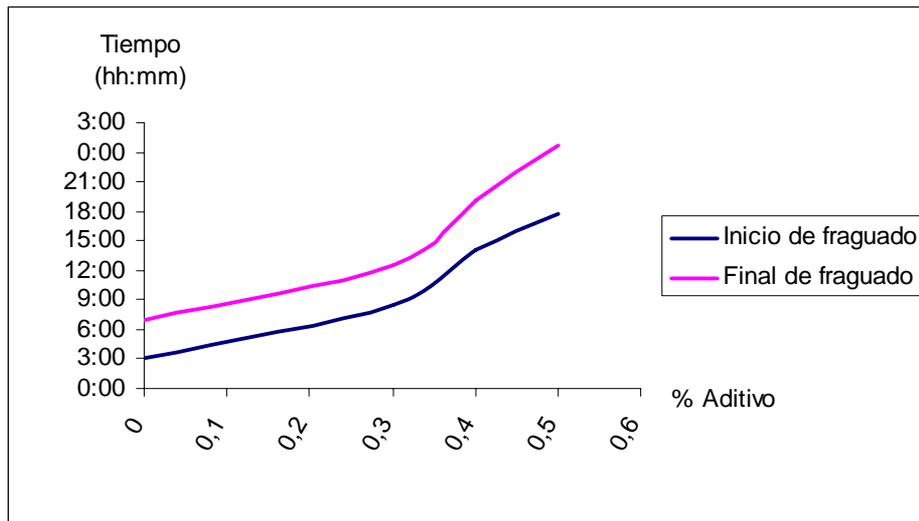
	Patrón	0,3%	0,4%	0,5%
Inicio de fraguado	3:10	8:30	14:00	17:50
Final de fraguado	7:00	12:30	19:00	0:40

Gráfico 4.4: Tiempos de fraguado de las 4 mezclas.

Finalmente, en el gráfico 4.5 se muestra como varían las curvas de inicio y final de fraguado dependiendo del porcentaje de aditivo que se le agregue a la mezcla.

Tabla 4.10: Variación del tiempo de fraguado con distintas dosis de aditivo plastificante retardador.

Mezcla	Inicio de fraguado	Final de fraguado
0	3:10	7:00
0,3	8:30	12:30
0,4	14:00	19:00
0,5	17:50	0:40

Gráfico 4.5: Variación del tiempo de fraguado con distintas dosis de aditivo plastificante retardador.

4.5.2 RESISTENCIAS

4.5.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En el gráfico 4.6 se muestra las resistencias mínimas a la compresión establecidas por la norma chilena NCh 148.Of68 y los valores obtenidos por la mezcla patrón y en el gráfico 4.7 todas las resistencias obtenidas en el estudio.

Tabla 4.11: Resistencias mínimas a la compresión según Nch 148 y mezcla patrón.

Día	Patrón	NCh 148
3	76	---
7	132	180
14	243	---
28	292	250

Gráfico 4.6: Resistencias mínimas a la compresión según NCh 148 y mezcla patrón.

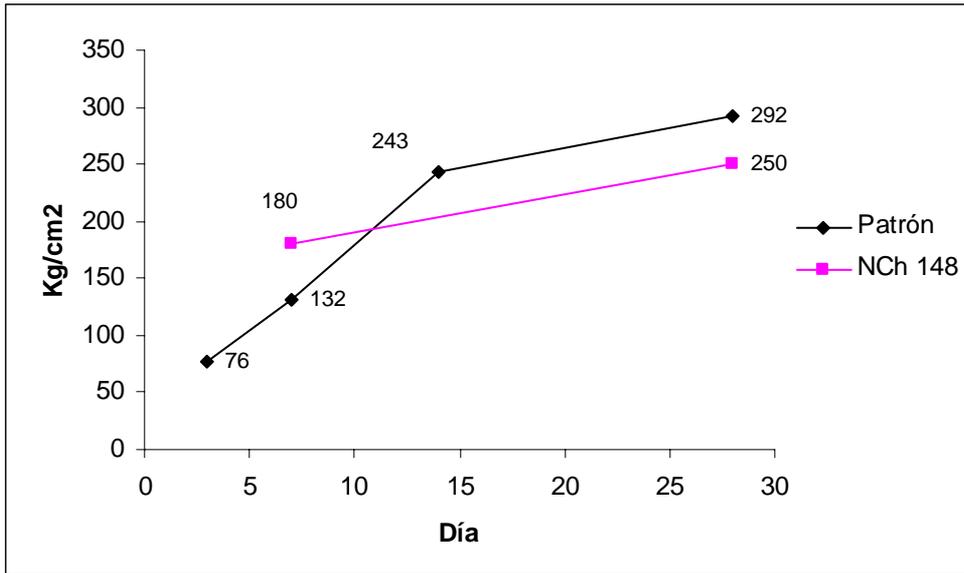
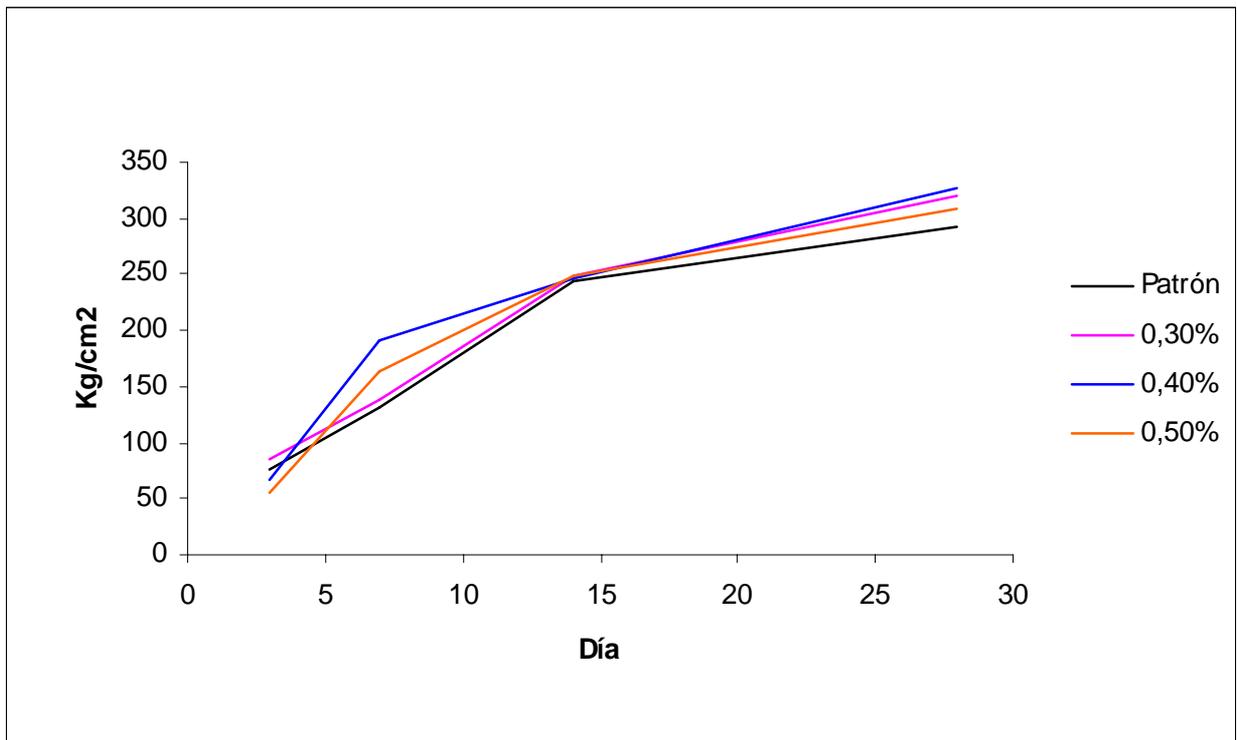


Tabla 4.12: Resistencias a la compresión.

Día	Patrón	0,30%	0,40%	0,50%
3	76	85	67	56
7	132	137	191	163
14	243	248	247	249
28	292	320	327	309

Gráfico 4.7: Resistencias a la compresión.



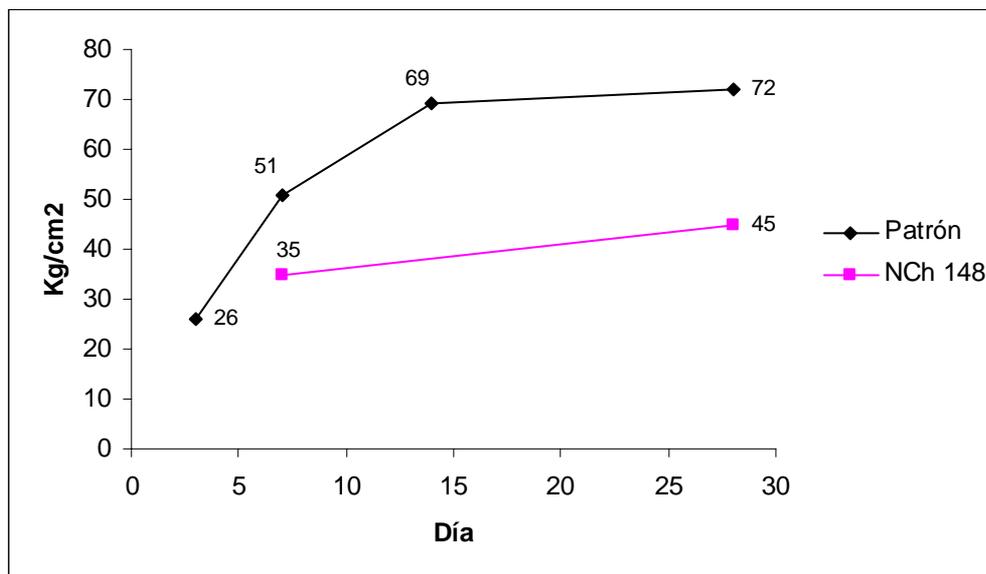
4.5.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El gráfico 4.8 muestra las resistencias mínimas a la flexión establecidas por la norma chilena NCh 148.Of68 y los valores obtenidos por la mezcla patrón.

Tabla 4.13: Resistencias mínimas a la flexión según NCh 148 y mezcla patrón.

Día	Patrón	NCh 148
3	26	---
7	51	35
14	69	---
28	72	45

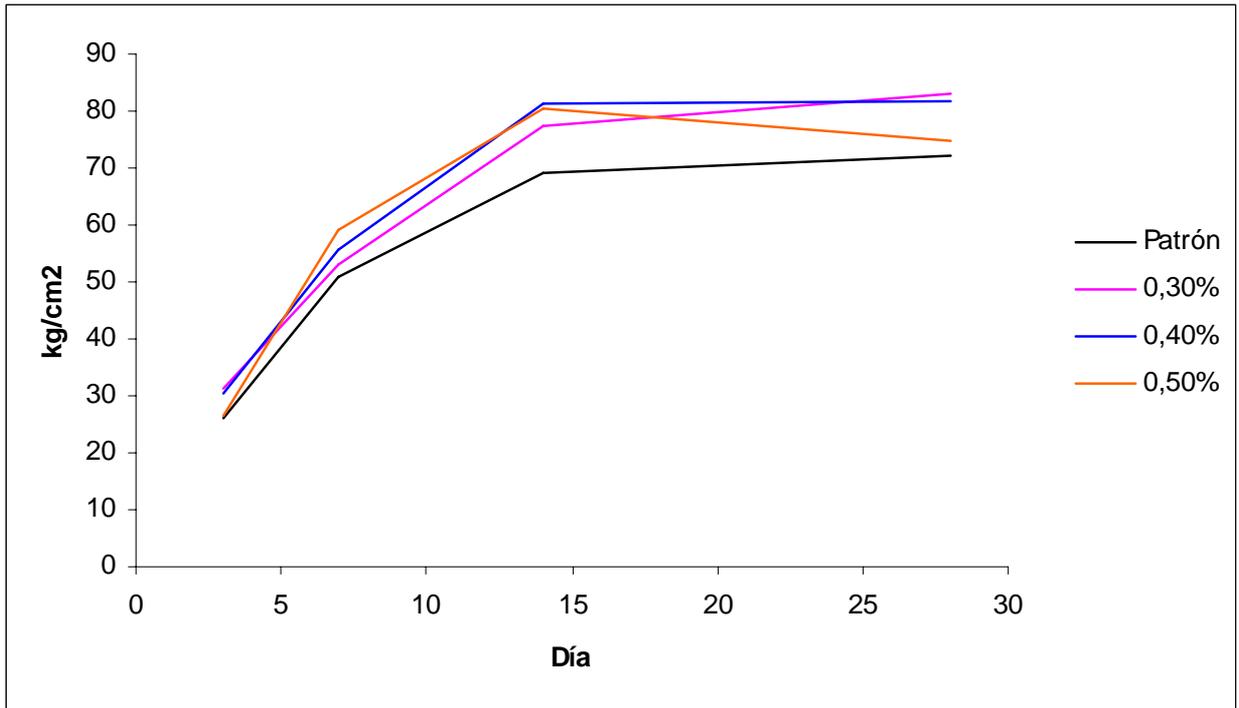
Gráfico 4.8: Resistencias mínimas a la flexión según NCh 148 y mezcla patrón.



Los valores obtenidos de las resistencias a la flexión por todas las mezclas estudiadas son las que se muestran a continuación.

Tabla 4.14: Resistencias a la flexión

Día	Patrón	0,30%	0,40%	0,50%
3	26	31	31	26
7	51	53	56	59
14	69	78	81	81
28	72	83	82	75

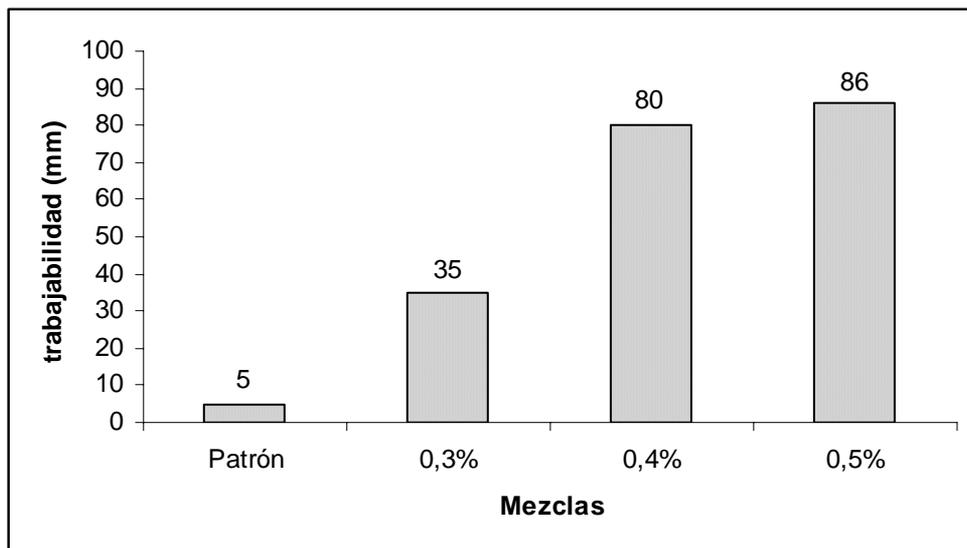
Grafico 4.9: Resistencias a la flexión

4.5.3 TRABAJABILIDAD

En el gráfico 4.10 se indican las diferencias de altura respecto al molde del cono reducido, de cada una de las mezclas.

Tabla 4.15: Variación de altura entre las mezclas.

Mezcla	Trabajabilidad
Patrón	5
0,3%	35
0,4%	80
0,5%	86

Gráfico 4.10: Variación de altura entre las mezclas.

CONCLUSIÓN

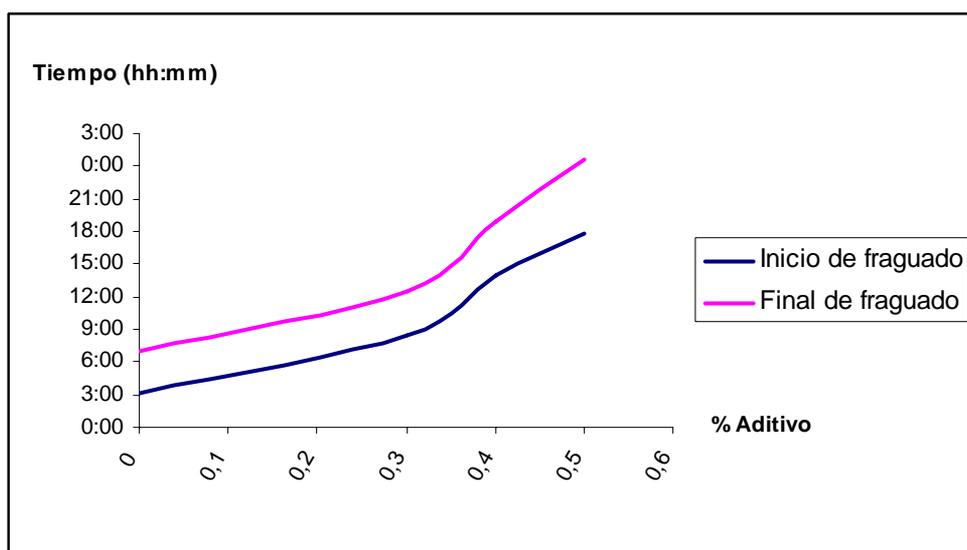
Para determinar los tiempos de fraguado fue necesario obtener la consistencia normal del cemento siderúrgico Bío-Bío grado corriente. Este se logró con un 35% de agua del peso del cemento seco.

El inicio y final de fraguado obtenidos de la mezcla patrón, cumplieron con el mínimo (1 hora) y máximo (12 horas) establecidos en la norma NCh 148.Of68 para cementos grado corrientes, respectivamente.

También se puede apreciar que el proceso de fraguado de cada una de las dosificaciones, se comporta más o menos constante, es decir, que el tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final del fraguado es básicamente, el mismo. Por lo mismo, se puede concluir que el efecto del aditivo es retardar sólo el inicio de fraguado y no el proceso mismo.

En el gráfico 4.5 se puede apreciar lo dicho anteriormente y además ver como se retarda el inicio de fraguado con la aplicación de distintas dosis de aditivo en la pasta de cemento.

Gráfico 4.5: Variación del tiempo de fraguado con distintas dosis de aditivo plastificante retardador.



Por otra parte, el procedimiento establecido por la norma NCh 158.Of67 para determinar la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros de cemento no pudo ser cumplida a cabalidad, dado que no estaba al alcance de nuestras manos la reparación de la mezcladora eléctrica exigida para tal efecto y tampoco se encontraba disponible la mesa compactadora, sin embargo el procedimiento manual se hizo tratando de asemejarse lo más posible a lo que establece la norma.

La consecuencia de esto fue obtener menores resistencias que las esperadas en condiciones normales. En los gráficos 4.6 y 4.8 se puede ver que a pesar de no poder cumplir con lo señalado, las resistencias de las mezclas patrón alcanzaron las mínimas determinadas por la norma NCh 148.Of68 para los cementos grado corriente, a excepción de la resistencia a la compresión el día 7.

Gráfico 4.6: Resistencias mínimas a la compresión según NCh 148 y mezcla patrón.

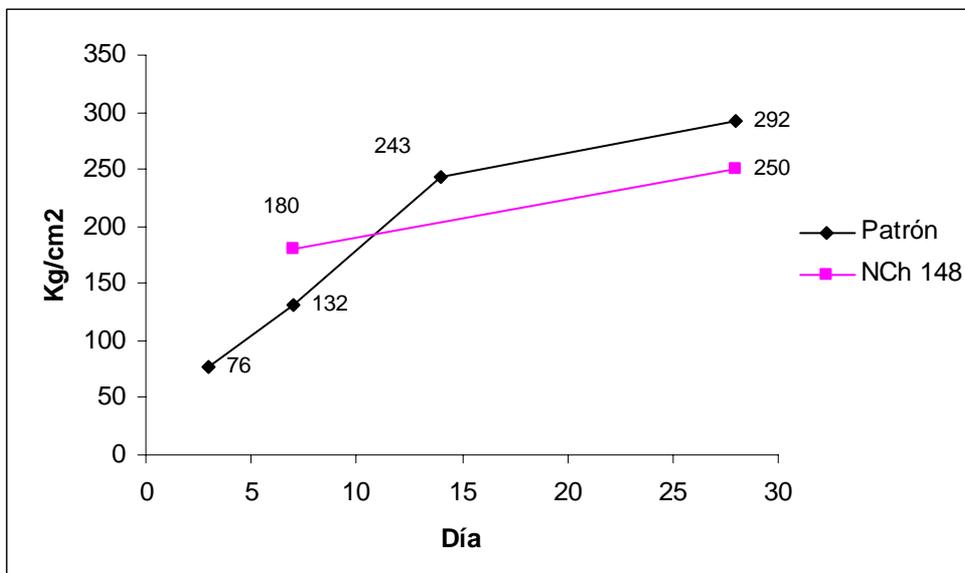
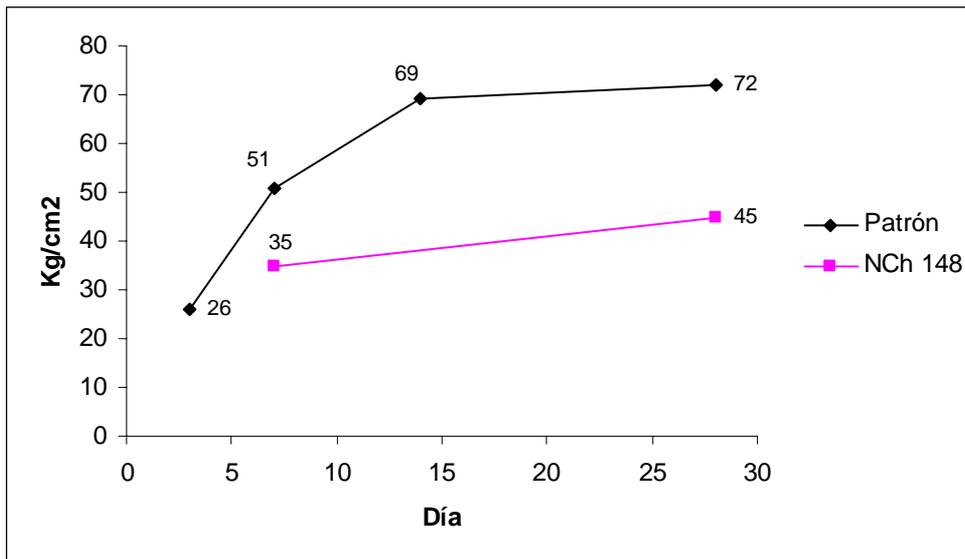


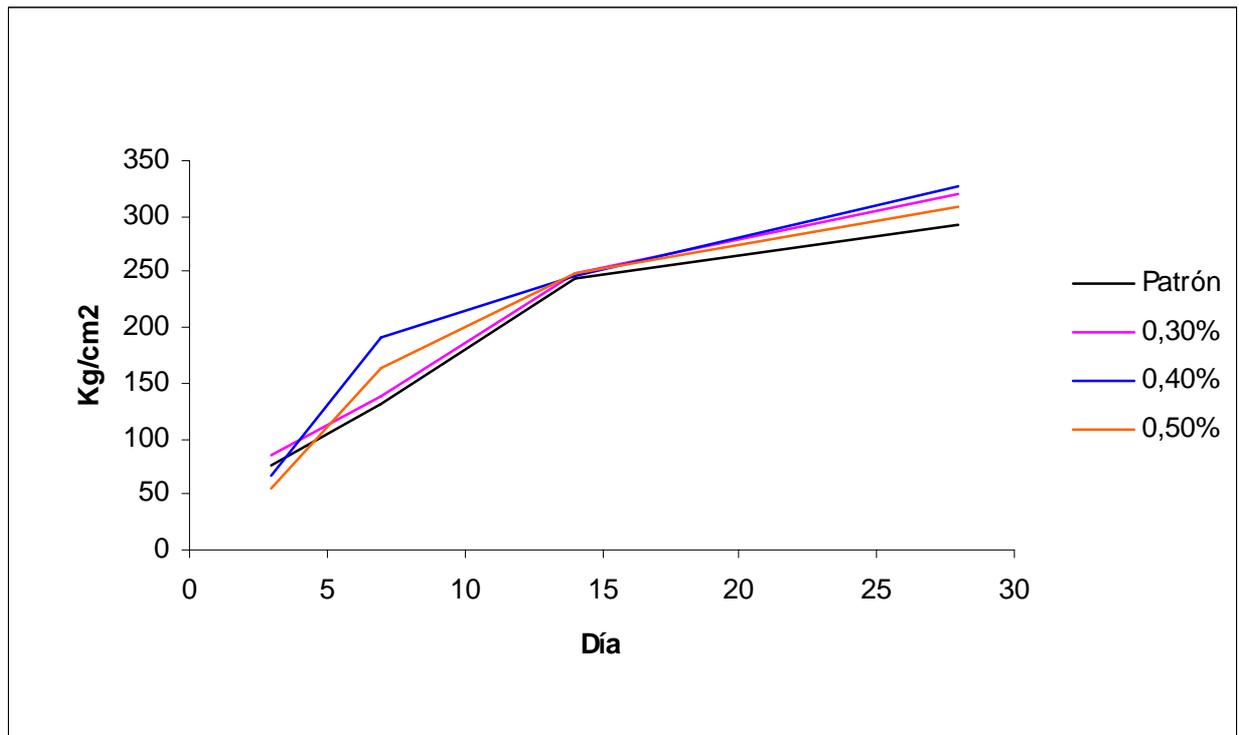
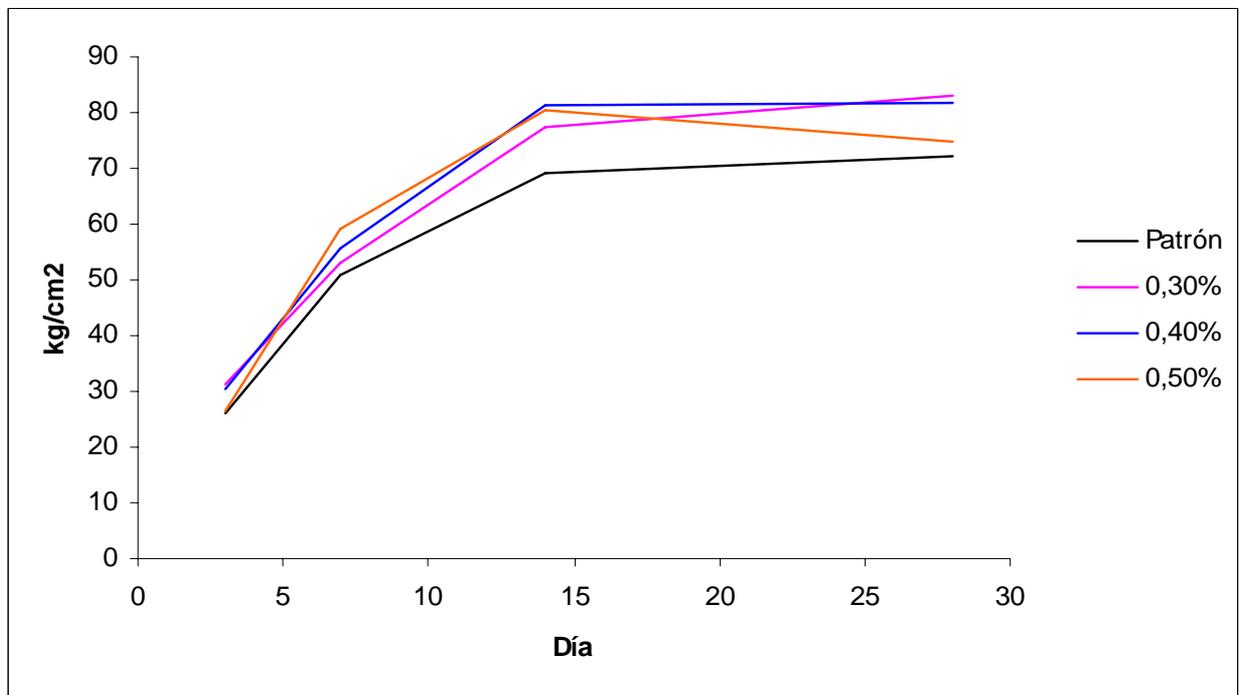
Gráfico 4.8: Resistencias mínimas a la flexión según NCh 148 y mezcla patrón.



También podemos concluir que la variación de la dosis de aditivo en las pastas de cemento, no afectó significativamente las resistencias a la compresión y a la flexión, ya que cada una de ellas se comportó de manera semejante a la mezcla patrón respectiva. Con esto se comprueba que el efecto de los aditivos plastificantes retardadores, se basa sólo en mejorar la trabajabilidad y retardar el inicio de fraguado.

Sin embargo, se observa una pequeña variación favorable. Esto se debe a un efecto secundario característico de los aditivos plastificantes, ya que al aumentar la trabajabilidad se compacta mejor la mezcla y con esto, disminuye la permeabilidad y aumentan las resistencias mecánicas.

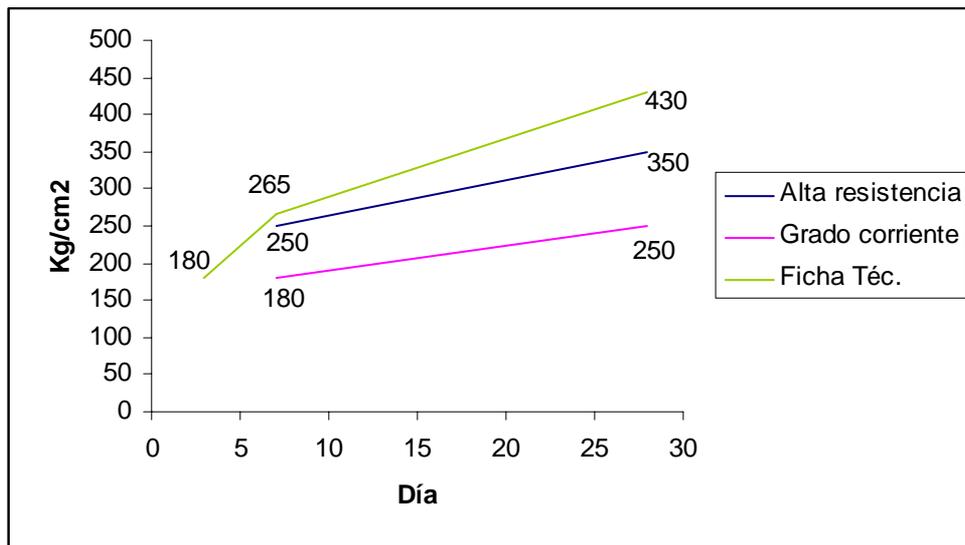
Otro aspecto a considerar, son los aumentos de resistencias que se dieron en las diferentes mezclas con aditivo, ya que en las resistencias a la flexión (gráfico 4.9) se aprecia una mayor variación en comparación con las resistencias a la compresión (gráfico 4.7)

Grafico 4.7: Resistencias a la compresión.**Grafico 4.9:** Resistencias a la flexión

Otro aspecto a considerar es que las resistencias del cemento Bío-Bío especial (grado corriente) indicadas en la ficha técnica del producto, son muy altas comparadas con las mínimas establecidas por la NCh 148.Of68 para cemento grado corriente inclusive, comparadas con los cementos de alta resistencia.

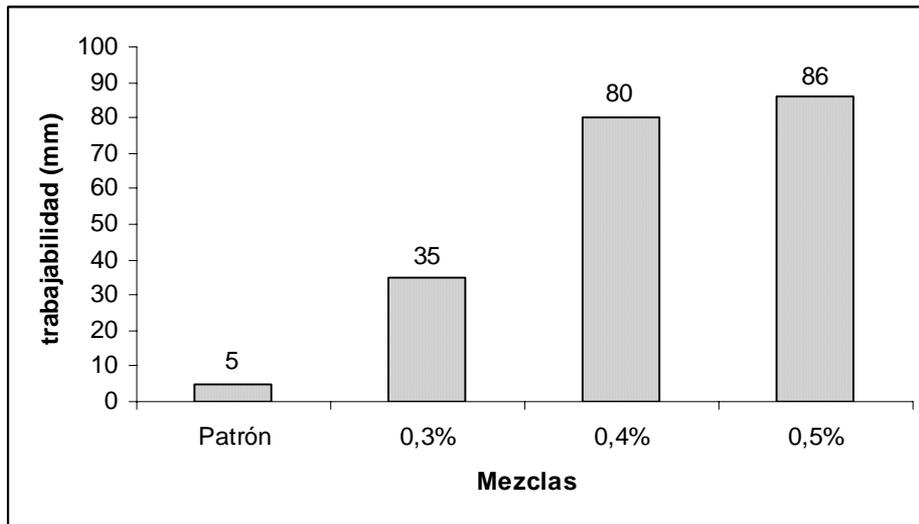
Por lo mismo, no se cumplieron las expectativas del cemento señaladas por la ficha técnica.

En el siguiente gráfico se indican las resistencias mínimas a la compresión establecidas por la norma para cementos grado corriente y alta resistencia y la resistencia del cemento Bío-Bío especial (grado corriente) puestas en la ficha técnica del producto.



Finalmente, se constató que con el uso del aditivo plastificante retardador, se aumenta notablemente la trabajabilidad en la pasta de cemento.

No obstante, con el aditivo Plastiment HER se observó que no fue trascendente el aumento de la trabajabilidad utilizando un 0,5% del aditivo del peso del cemento, en comparación con la dosis de 0,4%. Esto quiere decir que al utilizar una dosis mayor a 0.4% de aditivo, el resultado que se obtiene es retardar más el inicio de fraguado, sin aumentar notablemente la trabajabilidad (gráfico 4.10).

Gráfico 4.10: Variación de altura entre las mezclas.

ANEXO A

NORMATIVA PARA EL USO DE ADITIVOS EN HORMIGONES Y MORTEROS

La norma chilena NCh 2182.Of95 no sólo clasifica a los aditivos, como se mostró al comienzo del capítulo II, además determina requisitos para el uso del aditivo en hormigones y morteros y la confección de hormigones de prueba.

Existen otras normas que regulan métodos de ensayos como lo son:

- NCh 2281/1 – Aditivos para hormigón – Método de ensayo – Parte 1:
Determinación de la densidad
- NCh 2281/2– Aditivos para hormigón – Método de ensayo – Parte 2:
Construido de sólidos por secado.
- NCh 2281/3– Aditivos para hormigón – Método de ensayo – Parte 3:
Determinación del contenido de cenizas.
- NCh 2281/4– Aditivos para hormigón – Método de ensayo – Parte 4:
Determinación del contenido de cloruros.

BIBLIOGRAFÍA

- NCh 148.Of68 – Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales.
- NCh 162.Of77 – Cemento – Extracción de muestras.
- NCh 151.Of68 – Cemento – método de determinación de la consistencia normal.
- NCh 152.Of71 – Cemento – Método de determinación del tiempo de fraguado.
- NCh 158.Of67 – Cemento – Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento.
- NCh 2257/3.Of96 – Morteros – Determinación de la consistencia – Parte 3: Método del asentamiento del cono.
- Manual de productos y servicios de cementos Bío – Bío.
- Ficha técnica Plastiment H.E.R.
- Páginas Web:
 - www.idiem.uchile.cl
 - <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag%201.htm>