



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“AJUSTE DE LA DOCILIDAD EN HORMIGONES CON ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE DISMINUYENDO LA DOSIS DE AGUA Y DETERMINAR LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA MECANICA”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Guía:
Sr. José Arrey Díaz.
Constructor Civil, especialidad Hormigones.
Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales.

CAROLINA ISABEL MONSALVE REIÑANCO
VALDIVIA - CHILE
2007

DEDICATORIA

A mis queridos papas Gloria y Ascanio, gracias a sus consejos y el apoyo incondicional que me han entregado a lo largo de estos años, han servido para conseguir este anhelado logro, como ellos siempre nos han dicho “La mejor herencia que les podemos dejar son los estudios” y que sin darse cuenta inculcaron grandes enseñanzas en mi y me ayudaron a madurar con mayor rapidez para enfrentar un largo camino de esfuerzos y sacrificios fuera del hogar, y que no siempre las cosas son tan fáciles, pero hay que saber enfrentarlas y superarlas.

A mis hermanos, Yuly, Chole, Leto, Pao y Sebas, los quiero mucho y aunque no estemos cerca les dedico este logro para que no se den por vencido si quieren lograr sus metas, nada es fácil en esta vida pero hay que superar los obstáculos.

A mi abuelita (Nana), a mi tía (Chabe) y a mi primita regalona (Cony), las adoro mucho por quererme, cuidarme y apoyarme siempre.

A mis amigas, Pía, Natty Costa, Gloria, Ale y en especial en estos últimos años a mi querida amiga Natty Soto, la cual tuvo que aguantar mis angustias y mi mal humor el último año de mi carrera, fueron un apoyo incondicional durante todo este tiempo, sin ustedes no lo hubiese logrado, fueron como mi familia las quiero mucho y sé que aunque estemos lejos hemos formado lazos duraderos.

A mis padrinos Kukita y Man (QPD), a ustedes también les dedico este triunfo, ya que igual que mis papas me recordaban lo importante de ser alguien en la vida y que siempre me preocupara por superarme.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradezco a mi amiga Verioska por ayudarme a conseguir este tema, por toda su colaboración en la ejecución y a su buena voluntad, se que te esperan cosas buenas, muchas gracias.

En segundo lugar le agradezco a mi amigo Cristian por toda su ayuda en el desarrollo de esta memoria, ya que yo sola no podría haber hecho todas esas mezclas, se que quedaste todo adolorido, muchas gracias.

A Favian y Carlos, por ayudarme también en la elaboración de las mezclas.

Agradezco también a Don Leo y a Marcelo del Laboratorio por su buena disposición al ayudarme con los ensayos y mezclas realizados en el laboratorio LEMCO.

Agradezco a Johnny Gómez por ayudarme a comprar y transportar el material para la realización de los ensayos, muchas gracias.

A mi amiga Natalia por ayudarme con los materiales que me faltaban para la realización de los ensayos y por su apoyo, muchas gracias.

A Chelsy, una gringa muy buena onda y compañera de equipo el último año, por ayudarme a traducir el resumen de la memoria, muchos cariños para ella porque es muy buena persona.

A todos ustedes muchas gracias, sin su ayuda me habría costado mucho mas realizar mi memoria.

INDICE DE CONTENIDO

TEMA	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS GENERALES	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
CAPITULO I – HORMIGON	
1.1.- Antecedentes Históricos.....	5
1.2.- Generalidades.....	7
1.3.- Componentes del Hormigón.....	8
1.3.1.- Cemento.....	8
1.3.1.1.- Clasificación de los Cementos Fabricados en Chile.....	9
1.3.1.2.- Normativa de los Cementos.....	10
1.3.2.- Áridos.....	10
1.3.2.1.- Condiciones que deben cumplir los Áridos.....	11
1.3.3.- Agua.....	13
1.4.- Propiedades del Hormigón.....	13
1.4.1.-Hormigón Fresco.....	13
1.4.1.1.- Características.....	13
1.4.1.2.- Procesos que experimenta.....	14
1.4.2.- Hormigón Endurecido.....	17
1.4.2.1.- Propiedades del Hormigón Endurecido.....	18
1.4.2.1.1.- Densidad.....	18
1.4.2.1.2.- Resistencia.....	18
1.4.2.1.3.- Variaciones de Volumen.....	19
1.4.2.1.4.- Propiedades Elásticas y Plásticas.....	21

2.4.5.- Aditivos Misceláneos.....	51
2.4.5.1.- Aditivos de Cohesión – Emulsiones.....	51
2.4.5.2.-Aditivos Combinados.....	51
2.4.5.3.- Colorantes.....	52

CAPITULO III - EXPERIENCIA

3.1.- Generalidades.....	53
3.2.- Diseño de hormigones patrones.....	53
3.2.1.- Ensayos realizados a los áridos.....	53
3.2.1.1.-Granulometría.....	54
3.2.1.2.-Colorimetría.....	55
3.2.1.3.- Material Fino menor que 0,080 mm.....	55
3.2.1.4.-Densidades Reales, Netas y Absorción.....	56
3.2.2.- Dosificaciones.....	58
3.2.2.1.- Porcentaje de los áridos para la mezcla.....	58
3.2.2.2.- Dosis de Aditivo.....	64
3.2.2.3.- Dosis de Agua.....	65
3.3.- Confección de Mezclas de Prueba.....	67

CAPITULO IV - ENSAYOS Y RESULTADOS.

4.1.- Ensayo de Asentamiento del Cono de Abrams.....	79
4.1.1.- Resultados.	
➤ Hormigón H-30.....	79
➤ Hormigón HF-3,6.....	84
4.2.- Ensayos de Compresión.....	89
4.2.1.- Densidades	
➤ Hormigón H-30.....	89

➤ Hormigón HF-3,6.....	94
4.2.1.2.- Resistencias.	
4.2.1.2.1.- Ensayo de Compresión.	
➤ Compresión a los 7 Días.....	99
➤ Compresión a los 28 Días.....	105
4.2.1.2.2.- Ensayo de Flexotracción.	
➤ Flexión a los 7 días.....	111
➤ Flexión a los 28 días.....	114

CAPITULO V - CONCLUSIONES

5.1.- Conclusiones.....	117
-------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha Técnica, Aditivo Sika Aer.....	121
ANEXO 2: Ficha de Datos de Seguridad, Aditivo Sika Aer.....	124

CAPITULO VI - BIBLIOGRAFIA

6.1.- Bibliografía.....	129
-------------------------	-----

RESUMEN

Este trabajo estudió la variación provocada al utilizar aditivo incorporador de aire en distintas dosis, y agua de amasado en las mezclas de hormigón.

Para esto se confeccionaron mezclas patrón (sin aditivo), mezclas de prueba con distintas dosis de aditivo y finalmente mezclas con la misma cantidad de aditivo utilizado anteriormente pero variando la cantidad de agua incorporada a la mezcla.

En cada mezcla de prueba se determinó Resistencia, Densidad y Docilidad del hormigón, con los cuales se realizó un análisis comparativo, determinando el porcentaje en que se debe la dosis de agua para conseguir un hormigón con aditivo incorporador de aire con la trabajabilidad del hormigón patrón.

ABSTRACT

This work studied the variation caused when using incorporated additive of air in different doses, and kneaded water of in the concrete mixtures.

For this mixtures were made pattern (without additive), mixtures of test with different doses of additive and finally mixtures with the same amount of used additive previously but varying the incorporated amount of water from the mixture.

In each mixture of test one determined Resistance, Density and Dosage of the concrete, with which a comparative analysis was made, determining the percentage in that pattern is due the dose of water to obtain to a concrete with incorporated air additive with the manageable of the concrete.

INTRODUCCION

El hormigón es un material que ha sido utilizado en la construcción desde mucho antes del nacimiento de Cristo, el cual ha evolucionando y mejorando a lo largo de la historia. El inglés J. Aspdin en siglo XIX, elaboró y patentó un producto similar al cemento que conocemos hoy en día como hormigón, obtenido mediante la cocción de una mezcla de calcáreos y arcilla finamente molida. El perfeccionamiento de esta mezcla no ha cesado, ya que al mismo tiempo se han creado aditivos que se utilizan para mejorar y cambiar una o varias cualidades del hormigón, aumentando su explotación como elemento constructivo, modificando sus características según las necesidades específicas para cada obra.

Estos aditivos están destinados a producir hormigones más trabajables, de mejor terminación, resistentes, durables e impermeables, afirmándose hoy en día que se han transformado en un componente esencial, junto con el agua y los áridos, para la obtención de un hormigón de alta calidad, pero al mismo tiempo, es necesario conocer sus propiedades según las distintas dosis incorporadas a las mezclas, por lo que se hace necesario realizar un estudio de las cantidades requeridas para conseguir el resultado esperado.

Esta memoria realizó un análisis comparativo al utilizar un aditivo incorporador de aire, el cual entrega la propiedad de resistir a los ciclos de hielo – deshielo a los que se ve expuesto el hormigón, lo que se verificó en la memoria realizada por Verioska Villablanca F. titulada “Influencia del aditivo incorporador de aire en la resistencia mecánica del hormigón” donde se determinaron las variaciones en las propiedades del hormigón al utilizar distintas dosis de este aditivo.

Una de estas variaciones fue el aumento considerable en la docilidad del hormigón utilizando distintas dosis de este aditivo, en la cual esta memoria buscará determinar en que

porcentaje es necesario disminuir la cantidad del agua de amasado para obtener la docilidad obtenida por la mezcla patrón.

Para determinar este porcentaje, se disminuirá la dosis de agua en 10%, 15% y un 20% para cada una de las mezclas donde se incorporó aditivo incorporador de aire y se determinará la influencia que provocada en las propiedades del hormigón.

OBJETIVOS GENERALES

- ◆ Determinar las variaciones que experimentan las propiedades finales del hormigón al agregar distintas dosis de aditivo incorporador de aire y al mismo tiempo disminuyendo la cantidad de agua incorporada a las mezclas, todo esto referido a muestras patrones.
- ◆ Estudiar la disminución en la dosis de agua en hormigones con aditivo incorporador de aire, para mantener la docilidad del hormigón patrón.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Diseñar mezclas de prueba para hormigones de grado H-30 y HF-3,6.
- 2.- Confeccionar mezclas de prueba agregando aditivo incorporador de aire en dosis de 2,28, 3,99 y 5,64 gramos para el hormigón H-30 y de 5,64, 9,87 y 14,10 gramos para el hormigón HF-3,6.
- 3.- Confeccionar mezclas de prueba con aditivo incorporador de aire, disminuyendo la cantidad de agua en 10, 15 y 20 % de la utilizada en las mezclas patrones con aditivo, para los hormigones H-30 y HF-3,6.
- 4.- Confeccionar probetas y ensayar a compresión y a flexotracción a los 7 y 28 días, para todas las mezclas de pruebas realizadas para los hormigones H-30 y HF-3,6.

CAPITULO I

HORMIGON

1.1.- Antecedentes Históricos.

El hormigón es una masa constituida por materiales pétreos ligados con productos aglomerantes, este fue utilizado por el hombre desde comienzos de la civilización en la construcción de diversas obras, las cuales destacan por su belleza, magnitud, resistencia y extraordinaria durabilidad.

Los antecedentes históricos de su desarrollo tecnológico no son conocidos con anterioridad a los 7.000 años antes de Cristo, debido a que el avance desarrollado en las diversas épocas desapareció junto con estas civilizaciones. Sin embargo con los antecedentes recopilados se pueden distinguir tres etapas en su desarrollo.

La primera etapa corresponde al periodo comprendido ente el 7.000 hasta cercanías del siglo I antes de Cristo, el cual se caracterizó por la utilización de aglomerantes en la unión de bloques constituidos tanto por rocas y ladrillos cerámicos, siendo el primer aglomerante conocido la arcilla, posteriormente el yeso y los aglomerantes en base a cales grasas simples.

La segunda etapa corresponde al periodo correspondiente a la civilización Romana desde el siglo I antes de Cristo hasta su desaparición, en el cual se desarrolló un hormigón semejante al que conocemos hoy en día. Ellos lo utilizaban para unir bloques, obteniendo este ligante mezclando puzolana con cal, materiales pétreos y cascotes de ladrillo.

Con este producto se generó una revolución tecnológica en la construcción, la cual permitió mejorar la calidad de las fundaciones, simplificar los procedimientos constructivos y llegar a construir elementos de grandes dimensiones, resistencia y durabilidad.

La tercera etapa se inicia en el siglo XIX y es la que estamos viviendo actualmente, en donde Francia e Inglaterra utilizan el cemento hidráulico como ligante, siendo complementado, en Italia, con la utilización de los cementos puzolánicos, logrando desde entonces un extraordinario ritmo de perfeccionamiento.

En 1824, el inglés J. Aspdin, elaboró y patentó un producto similar al cemento, obtenido mediante la cocción de una mezcla de calcáreos y arcilla finamente molida.

El sin número de investigaciones han permitido mejorar y adaptar sus características a las necesidades de los distintos tipos de obras necesarias para el desarrollo eficiente de la construcción en el mundo.

En Chile los antecedentes de evolución no son muchos. Pero en 1856 se utiliza por primera vez el cemento, el cual fue importado. Se continuó trabajando de la misma forma, aunque esta no fue muy masiva, hasta 1906 donde se abrió en Chile la fábrica de Cemento Melón, con la cual se pudo aumentar y diversificar considerablemente el empleo de los hormigones a nivel nacional.

Otro hito importante, es la puesta en funcionamiento de hormigones premezclados, el cual cumplía las exigencias de calidad requeridas, simplificando todo el proceso constructivo de lo que significaba la confección del hormigón en obra.

1.2.- Generalidades.

Hoy en día el hormigón es uno de los más importantes materiales de construcción de nuestro tiempo y su tecnología está muy avanzada, por lo que es posible hacer construcciones de las cuales el 90 al 95% de ellas está construida de hormigón, y si a esto sumamos el aporte que significan los aditivos, podemos obtener, construcciones de importancia cumpliendo al máximo los requisitos exigidos para la época.

El hormigón se prepara uniendo un aglomerante inorgánico, materiales desmenuzados llamados áridos hasta formar un aglomerado artificial, los cuales se amasan con agua hasta formar una pasta que recibe el nombre de hormigón fresco o sin fraguar. El cemento que fragua con el agua, consolida y endurece la masa, adquiere así una consistencia pétreo conocida como hormigón endurecido.

A primera vista parece una cosa muy sencilla, pero el caso es muy distinto cuando el hormigón que hay que preparar debe poseer cualidades determinadas y garantías de seguridad, debido a que se ve expuesto a un sin número de factores que intervienen tanto en los materiales como en su elaboración.

Una propiedad particular del hormigón es que puede dársele cualquier forma; la mezcla húmeda se coloca en estado plástico en moldes, donde endurece. El hormigón adecuadamente proporcionado es un material duro y durable; es resistente bajo esfuerzos de compresión, pero quebradizo y casi inútil para resistir esfuerzos de tensión.

1.3.- Componentes del Hormigón.

1.3.1.- Cemento.

Los cementos pertenecen a la clase de materiales denominados Aglomerados Hidráulicos. Esta denominación comprende aquellos aglomerados que endurecen una vez mezclados con el agua y al mismo tiempo resisten a esta.

Es un polvo finísimo de color gris, la pasta de cemento (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa del hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del hormigón. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí.

Los principales componentes del cemento son la caliza (cal), sílice, alumina y el óxido férrico. Estos son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión en un horno rotatorio, donde adquiere una consistencia pastosa que al enfriarse se convierte en fragmentos de coloración oscura, compactos y duros dando creación al clínquer. Este posteriormente será sometido a molinos tubulares, provistos de bolas de acero, donde se le agrega aproximadamente un 3% de yeso para regular el tiempo del fraguado, convirtiéndolo en polvo finísimo.



Imagen N° 1: Clínquer

Fuente: Pagina en Internet, www.construaprende.com.

Cemento Pórtland, es denominado al cemento que sigue el procedimiento antes descrito, y entre todos los distintos tipos de cemento, este es el que se utiliza más ampliamente

en la construcción de edificios. En comparación con el cemento natural, el Pórtland fragua más lentamente, pero es mucho más resistente y de calidad más uniforme.

Además de este existen los cementos Pórtland con adiciones o especiales, los que a la vez de mantener las características del Pórtland poseen otras propiedades relacionadas con la durabilidad, resistencia química, etc.

1.3.1.1.- Clasificación de los Cementos fabricados en Chile.

La norma NCh 148 clasifica a los Cementos nacionales según su composición y resistencia:

- **Clasificación de los cementos según su Composición**

Denominación	Proporción de los Componentes		
	Clínquer	Puzolana	Escoria
Pórtland	100%	–	–
Pórtland Puzolánico	≥70%	≤30%	–
Pórtland Siderúrgico	≥70%	–	≤30%
Puzolánico	50 -70%	30 -50%	
Siderúrgico	25 -70%	–	30 -75%

Tabla N° 1, Clasificación de los cementos según su composición.
Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

- **Clasificación de los cementos según Resistencia.**

Grado	Tiempo de Fraguado		Resistencia Mínima			
			Compresión		Flexión	
	Inicial (min.)	Final (Máx.)	7 Días Kgf/cm ²	28 Días Kgf/cm ²	7 Días Kgf/cm ²	28 Días Kgf/cm ²
Corriente	60 min.	12h	180	250	35	45
Alta Resistencia	45 min.	10h	250	350	45	55

Tabla N° 2, Clasificación de los cementos según su resistencia.
Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

• **Cementos Comerciales en Chile**

Clase	Composición	Marca	Grado
Pórtland	Clínquer.	Súper Melón	Alta Resistencia
		Polpaico Pórtland	Alta Resistencia
Pórtland Puzolánico	Clínquer y hasta 30% de puzolana.	Melón Especial	Corriente
		Polpaico Especial	Corriente
		Melón Extra	Alta Resistencia
		Polpaico 400	Alta Resistencia
		Inacesa Especial	Alta Resistencia
Puzolánico	Clínquer y 30% a 50% de puzolana.	Inacesa Especial	Corriente
Siderúrgico	Clínquer y 30% a 75% de escoria de alto horno.	Bio Bio Especial	Corriente
		Bio Bio Alta Resist.	Alta Resistencia

Tabla N° 3, Cementos Comerciales en Chile.
Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

1.3.1.2.- Normativa.

Características	Norma de ensayo
Densidad real	NCh 154
Tiempo de Fraguado	NCh 152
Consistencia normal	NCh 151
Finura -Sist. Blaine	NCh 159
-Sist. Wagner	NCh 149
-Tamizado	NCh 150
Resistencia	NCh 158
Calor de Hidratación	ASTM C 186
Expansión Autoclave	NCh 157

Tabla N° 4, Normas que rigen los ensayos de cemento.
Fuente: Compendio tecnología del hormigón.

1.3.2.- Áridos

Se entiende por “áridos” a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable, conforman el esqueleto granular del hormigón, es el elemento mayoritario ya que representan del 80% al 90% del peso total de hormigón, por lo que son responsables en gran parte de las características del mismo.

Los áridos son generalmente inertes y estables en sus dimensiones, habitualmente más resistentes que la pasta de cemento y económicos. Por lo tanto, conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un hormigón resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos, dado por la trabajabilidad del hormigón. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación), llegado este caso se suele decir que el hormigón es “áspero”, “pedregoso” y “poco dócil”.

En el hormigón fresco, es decir, recién elaborado y hasta que comience su fraguado, tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla, en este aspecto también colabora el agregado fino (arena).

La arena debe estar presente en una cantidad mínima, que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

1.3.2.1.- Condiciones que deben cumplir los Áridos.

Para su buena integración en el hormigón el árido debe cumplir, con todas las condiciones exigidas en la norma NCh 163.

Las condiciones pueden resumirse en tres grupos:

◆ Docilidad:

De gran importancia, ya que de ella depende la facilidad que podamos obtener para manejar el hormigón en estado fresco.

Diremos que está relacionada directamente con:

- La composición granulométrica que tengan los áridos, la cual será regulada por la norma NCh 165 y NCh 163.
- El contenido de granos finos, el que es regulado por la norma NCh 163 y NCh 1223.
- Forma de los granos, regulada por la norma NCh 163 y NCh 1511.
- Porosidad, regulada por NCh 163, NCh 1239 y NCh 1117.

◆ **Resistencia Propia:**

El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuales será diseñado. Una forma indirecta de medir esta resistencia es someter la muestra a los ensayos de Desgaste de grava, por el método de la máquina de los Ángeles y partículas desmenuzables, cuyos ensayos serán regidos por las normas NCh 1369 y NCh 1327 respectivamente. Además de cumplir con estas normas de ensayo los áridos deberán satisfacer los requisitos mínimos especificados en la NCh 163.

◆ **Estabilidad Físico-Química:**

El árido debe ser capaz de soportar las condiciones físico-químicas provocadas por el ambiente al que será expuesto.

En su estabilidad química, los áridos deberán presentar inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado, además no deben poseer productos nocivos que puedan alterar el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Por otro lado en su estabilidad física, el árido debe ser capaz de soportar los ciclos alternados de altas y bajas temperaturas (ciclos de hielo-deshielo).

1.3.3.- Agua

La presencia del agua es imprescindible en la confección de los hormigones, ya que permite la hidratación del cemento y es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena compactación del hormigón.

Se entiende por agua de amasado a la cantidad de agua total contenida en el hormigón fresco. Esta cantidad es utilizada para el cálculo de la relación agua/cemento (A/C).

El agua de amasado está compuesta por:

- El agua agregada a la mezcla.
- Humedad superficial de los agregados.
- Cantidad de agua proveniente de los aditivos.

El agua debe cumplir con ciertos requisitos, los que son regulados por la norma NCh 1498. Sólo el agua potable está permitido utilizar sin necesidad de verificar su calidad, todo otro tipo de agua debe ser analizada, y el agua con algún contenido de azúcares, en forma de sacarosa o glucosa, no puede ser empleada para la preparación de hormigones.

1.4.- Propiedades del Hormigón

1.4.1.- Hormigón Fresco.

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco, es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada, dependiendo del uso que se le desea dar.

1.4.1.1.- Características del hormigón fresco.

El comportamiento del hormigón depende de:

- Relación agua / cemento (A/C)
- Grado de hidratación.
- Tamaño de las partículas.
- Amasado.
- Temperatura.

◆ **Docilidad:**

Facilidad que tiene un hormigón para ser amasado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga.

◆ **Consistencia:**

Denominamos consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica, la cual depende del:

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del árido.
- Granulometría.
- Forma de los áridos (Rodados dan mas facilidad de adaptación que los de machaqueo).
- Influye mucho el método de compactación.

1.4.1.2.- Procesos que experimenta el hormigón fresco

Durante la etapa en que el hormigón mantiene su estado fresco, experimenta una serie de procesos cuyo origen y consecuencias es necesario conocerlos.

Estos procesos son principalmente los que se describen a continuación:

◆ **Exudación del agua de amasado:**

Debido a que el hormigón está constituido por materiales de distinta densidad real, tiende a producirse una decantación de los que poseen un mayor peso unitario, que son los

sólidos, y el ascenso del más liviano, que es el agua, lo cual induce a una serie de efectos internos y externos en el hormigón.

La película superficial del hormigón presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa. Ello significa un aumento de la razón agua/cemento, lo que se traduce en una menor resistencia para esta capa.

El ascenso del agua da origen a conductos capilares, que constituyen posteriormente vías permeables, afectando en consecuencia la impermeabilidad del hormigón, especialmente por capilaridad.

El agua ascendente tiende, además, a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo éstas un espacio vacío al evaporarse posteriormente.

La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender. Este descenso puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma como variaciones de espesor o de nivel, debido al desigual descenso que se produce a ambos lados de la singularidad.

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual se puede recurrir a las siguientes medidas:

- Utilizar un contenido adecuado de granos finos en el hormigón.
- Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objeto.
- Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de éstos.
- Efectuar el hormigonado de las partes que presenten variaciones de espesor en distintas etapas constructivas, o, al menos, dejar transcurrir un tiempo de espera para permitir el asentamiento de la zona de mayor espesor. Este tiempo de espera debe ser el máximo posible, pero evitando el endurecimiento del hormigón.

◆ **Variaciones de volumen**

El agua de amasado del hormigón tiende a evaporarse si éste no se mantiene en un ambiente saturado de humedad, con lo cual se produce un proceso de secado progresivo desde la superficie externa hacia el interior.

Este desecamiento progresivo acarrea la formación de zonas de contacto entre fases líquidas (agua) y gaseosas (aire) en los conductos y poros que siempre tiene en su interior el hormigón.

Cuando estos presentan variaciones capilares, el proceso de tensión superficial interna alcanza una magnitud importante, la que al transmitirse al hormigón se traduce en una contracción de las zonas de hormigón sometidas a este proceso de secamiento.

Esto afectará principalmente a la superficie del hormigón, dado que ella es la que se seca primero, mientras que el resto de la masa permanece invariable. Ello induce contracciones diferenciales y, como consecuencia, tensiones de tracción, originadas en el confinamiento que producen las capas con mayor contenido de humedad sobre las en proceso de secado. Si este proceso de secado es muy rápido, como sucede cuando el hormigón está sometido a alta temperatura ambiente o a corrientes de viento, ello puede traducirse en grietas del hormigón aún plástico, las que por su origen se presentarán como una gran abertura en relación a su profundidad.

Este fenómeno debe ser combatido, pues las fisuras y/o grietas afectan la durabilidad del hormigón y, en obras de gran superficie y pequeño espesor relativo (pavimentos, losas) introduce una debilidad estructural al significar una disminución de su espesor.

Ello puede lograrse manteniendo un ambiente húmedo en torno al hormigón fresco que impida el inicio del secado superficial, que se produce si se hormigona en períodos de alta temperatura o fuertes vientos, utilizando pulverizadores que esparzan una neblina húmeda en el sitio hasta que sea posible iniciar el proceso de curado.

◆ **Falso fraguado del cemento**

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínquer, como regulador de su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.

Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del hormigón aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

Para evitar estos efectos desfavorables, un procedimiento efectivo consiste en aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al hormigón la plasticidad perdida sin necesidad de adición de agua.

1.4.2.- Hormigón Endurecido.

El hormigón experimenta un proceso de endurecimiento progresivo que lo transforma de un material plástico en un sólido, producido por un proceso físico - químico complejo de larga duración.

En esta etapa, las propiedades del hormigón evolucionan con el tiempo, dependiendo de las características, de las proporciones de los materiales componentes y de las condiciones ambientales a que estará expuesto durante su vida útil.

1.4.2.1.- Propiedades del Hormigón Endurecido.

1.4.2.1.1.- Densidad

La densidad del hormigón se define como el peso por unidad de volumen. Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón. Para los hormigones convencionales, formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2.35 y 2.55 kg/dm³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su densidad inicial.

1.4.2.1.2.- Resistencia

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, ya que se emplea frecuentemente para definir su calidad. El hormigón, 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, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán 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.

♦ Resistencia a la Compresión:

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón está establecido en NCh 1307.

El valor de resistencia obtenido en el ensayo no es absoluto, puesto que depende de las condiciones en que ha sido realizado.

◆ **Resistencia a la Tracción:**

La resistencia a la tracción del hormigón ha sido considerablemente menos estudiada que la resistencia a compresión, en parte debido a la mayor incertidumbre que existe para su determinación.

Esta incertidumbre comienza con la forma de ejecución del ensayo, existiendo tres formas distintas para efectuarlo: por tracción directa, por flexión ó por tracción indirecta, cada uno de los cuales conduce a valores sensiblemente diferentes.

1.4.2.1.3.- Variaciones de Volumen

El hormigón 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, temperatura y 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 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.

- 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 hormigón 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: Condiciona la velocidad de evaporación del agua al interior del hormigón.

◆ **Retracción Térmica**

El hormigón 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, los principales factores que condicionarán la magnitud de la retracción térmica son los siguientes:

- Variaciones derivadas por causas externas:
 - Magnitud y velocidad de las variaciones de la temperatura ambiental.
- Variaciones por causas internas:
 - Características del cemento.
 - Contenido de C₃A. (Aluminato tricálcico)
 - Finura de molienda.
 - Temperatura del agua en el momento de su incorporación en el hormigón.

Para atenuar los efectos derivados de la temperatura externa, la medida más eficaz consiste en el aumento de la aislación térmica, en los paramentos que limitan con el exterior.

Para disminuir los efectos térmicos generados por el proceso de hidratación de la pasta de cemento, pueden utilizarse cementos de bajo calor de hidratación, aceptándose normalmente como tales aquellos cuyo calor de hidratación a 7 días es inferior a 70 cal/g.

Para la disminución de la temperatura interna del hormigón se puede reemplazar parte del agua de amasado por hielo durante la revoltura en la hormigonera, con lo cual se logra rebajar la temperatura inicial del hormigón en obra y refrigeración del hormigón colocado, por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.

♦ **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.

Esta cal libre 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 hormigón 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 hormigón interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

1.4.2.1.4.- Propiedades Elásticas y Plásticas

El conocimiento de las propiedades elásticas del hormigón son necesarias para establecer la relación entre tensión y deformación, aspecto que adquiere gran importancia en algunos problemas de tipo estructural, particularmente cuando el cálculo de deformaciones es determinante.

◆ Propiedades Elásticas del Hormigón

La relación entre tensiones y deformaciones se establece a través del módulo de elasticidad. Para los materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante e independiente de la tensión aplicada, acostumbrando a designársele con el nombre de módulo de Young. En otros materiales, designados inelásticos en cambio, el módulo de elasticidad depende del valor de la tensión aplicada.

Lo más frecuente, sin embargo, es que los materiales presenten una combinación de ambos comportamientos, inicialmente elástico y posteriormente inelásticos al aumentar la tensión aplicada.

Este es el caso del hormigón, cuya curva de relación tensión-deformación tiene la forma indicada en la imagen N° 2, en la cual pueden observarse tres tramos característicos:

- Un primer tramo recto, en que el comportamiento es elástico y que abarca no más de un 20 % del desarrollo total de la curva.
- Un segundo tramo curvo, ascendente hasta el valor máximo de la curva tensión – deformación.
- Un tercer tramo curvo, descendente hasta la tensión de rotura.

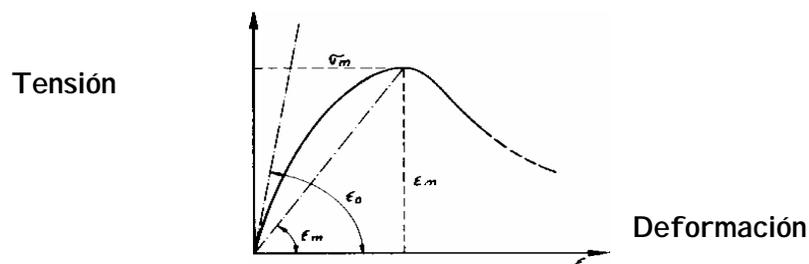


Imagen N° 2: Curva de relación Tensión -Deformación.
Fuente: Pagina en Internet, www.ucn.com.

En efecto, la forma recta se mantiene en tanto el hormigón se mantenga como un material homogéneo. Esta forma se pierde al aparecer las primeras microfisuras, normalmente en el contacto mortero - árido grueso, ya que en esta situación aun cuando el hormigón es

capaz de seguir aceptando carga, su deformabilidad aumenta. Finalmente, al fracturarse el mortero del hormigón, desaparece su capacidad de tomar carga, pero continúa deformándose hasta llegar a la rotura total.

◆ **Propiedades Plásticas del Hormigón**

A pesar del carácter frágil señalado para el hormigón para las cargas de velocidad normal de aplicación, éste presenta un comportamiento plástico cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo, produciéndose en este caso una deformación denominada fluencia del hormigón.

El mecanismo que genera la fluencia en el hormigón no es bien conocido, estimándose actualmente que es causado por la combinación de dos tipos de fenómenos, uno derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento, que se denomina fluencia básica, y otro proveniente de la migración interna de la humedad, que se traduce en una retracción hidráulica adicional.

Los principales factores que condicionan la fluencia del hormigón son las características del hormigón, principalmente el tipo y la dosis de cemento, la humedad ambiente, la magnitud de la tensión aplicada y la edad del hormigón en el momento de su aplicación.

1.4.2.1.5.- Permeabilidad del Hormigón

El hormigón es un material permeable, es decir, que al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa.

El grado de permeabilidad del hormigón depende de su constitución, estando normalmente comprendido su coeficiente de permeabilidad entre 10^{-6} y 10^{-10} cm/seg.

Las medidas que pueden diseñarse para lograr un menor grado de impermeabilidad son:

- Utilizar la razón agua/cemento más baja posible, compatible con la obtención de una trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.
- Utilizar la dosis de cemento más baja posible, compatible con la resistencia y otras condiciones que establezcan las especificaciones del proyecto.
- Emplear un contenido apropiado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de áridos del hormigón.

La determinación del coeficiente de permeabilidad debe efectuarse necesariamente en base a ensayos de laboratorio, entre los cuales pueden mencionarse dos tipos principales:

- Los de permeabilidad radial, en los que se utiliza una probeta cilíndrica con una perforación central, desde la cual se aplica agua a presión, midiéndose el agua escurrida en un cierto tiempo.
- Los de penetración del agua en el hormigón, en los cuales una losa de hormigón es sometida a presión de agua por un lado y se mide la penetración del agua en su masa después de un cierto tiempo.

1.4.2.1.6.- Durabilidad del Hormigón

Durante toda su vida útil, el hormigón 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.

◆ Agentes Físicos.

Aquí encontramos efectos de tipo Ambiental y Erosivos.

- **Tipo Ambiental.**

Dentro de este tipo, la más importante es la variación de la temperatura, en ciclos con temperaturas bajo y sobre el punto de congelación del agua (0°C), lo que se conoce con el nombre de ciclos de hielo y deshielo.

El hormigón se ve terriblemente afectado por estos ciclos debido a que, por ser permeable, contiene agua en su interior, la cual al congelarse aumenta de volumen creando tensiones internas, las que lo van dañando progresivamente.

También tenemos que decir que las variaciones de humedad (saturación-secado) producen un desgaste en el hormigón, aunque es de menor importancia.

- **Procesos Erosivos.**

Estos pueden ser abrasión mecánica, desplazamientos de materiales, vehículos o cuerpos móviles sobre la superficie, como también por cavitación, proceso destructivo que experimentan los materiales sometidos a escurrimientos de agua a altas velocidades.

- ◆ **Agentes Químicos**

Podemos señalar que los agentes químicos que afectan al hormigón pueden ser internos como externos.

- **Agentes internos**

Podemos encontrar el contenido de materia orgánica o los componentes reactivos que contengan los áridos, que afecten el correcto desarrollo del fraguado y endurecimiento.

- **Agentes externos**

Compuestos agresivos que en algunos casos brinda la naturaleza como ácidos minerales, soluciones de sales y álcalis, estos pueden producir un ataque de magnitud a los elementos de hormigón.

CAPITULO II

ADITIVOS

2.1.- Historia

La historia del uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó “Cemento Pórtland”.

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885.

Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón.

Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie.

En 1938 se comienzan a emplear aditivos incorporadores de aire en la construcción de carreteras y en 1939 se fabrica un cemento con resina Vinsol como agente incorporador de aire. La técnica de emplear un aditivo incorporador de aire al hormigón se emplea en Europa sólo a partir de 1948.

En Chile, la primera fábrica de aditivos químicos para hormigón se instaló en el año 1942, comercializando principalmente acelerantes de fraguado e impermeabilizantes hidrófugos.

Luego se introdujeron los primeros aditivos reductores de agua, incorporadores de aire, retardadores y expansores.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y, por lo tanto, para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables. También se inició el uso masivo de los plastificantes en la edificación.

En la década del 70 se introdujeron en Chile los primeros aditivos superplastificantes, revolucionando la tecnología del hormigón en esa época, por cuanto se logró realizar hormigones fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

En la década de los 80 se introdujo en Chile el uso de microsílice, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón. Con este material se confeccionan hormigones de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa.

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950, originándose en Estados Unidos en la American Society for Testing and Materials (ASTM) y hacia referencia a los aditivos incorporadores de aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.

En Europa los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y 1963 en Inglaterra, en relación con el uso de cloruro de calcio como acelerador. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos de naturaleza química.

En 1975 apareció el primer texto de carácter internacional, un informe preparado por la RILEM, el cual contiene recomendaciones sobre la clasificación, uso, control de calidad y ensayos de los aditivos.

Para la Norma Chilena de clasificación de los aditivos, se debió desarrollar un importante conjunto de normas de procedimiento de ensayos, que permitieran medir los valores que se establecerían para la clasificación de los aditivos. Finalmente en 1995, con el aporte del Instituto de Normalización, industria organizada en la Asociación de Fabricante de Aditivos, docentes universitarios destacados y experimentados ingenieros, se oficializó la NCh 2182, que establece la clasificación en siete tipos de aditivos para hormigón y morteros.

En los últimos años la industria de los aditivos químicos para hormigón ha seguido desarrollando nuevos productos e introduciéndolos en el mercado nacional tales como: inhibidores de corrosión, reductores de retracción y aditivos reductores de agua de ultra alta eficiencia.

El uso en Chile de los diferentes aditivos, especialmente los reductores de agua, ha permitido desarrollar eficiente y económicamente el hormigón premezclado y las diferentes técnicas de hormigonado, tales como: hormigón bombeado, hormigón proyectado, hormigón fluido, hormigón prefabricado, hormigón bajo agua, etc.

En el año 1993 se construyó en Chile el primer proyecto portuario de gran envergadura ejecutado con inhibidor de corrosión.

Con los aditivos reductores de agua de última generación se introdujo en Chile en el año 2000 la tecnología del “Hormigón Autocompactante”. Este nuevo tipo de hormigón fue desarrollado a fines de la década de los ochenta en Japón y ha sido usado en la práctica en diferentes tipos de estructuras, incluyendo obras de gran envergadura, aprovechando las ventajas que otorga una tecnología que evita la pesada faena de vibración en la construcción con hormigón. En Chile, esta revolucionaria técnica de hormigonado se está usando en obras de edificación, túneles, elementos prefabricados y otras aplicaciones.

Actualmente, los aditivos para el hormigón presentan un buen crecimiento, producto de su acción para mejorar las propiedades del hormigón, aspecto que resulta conveniente tanto desde el punto de vista técnico como económico. Su uso está destinado a producir hormigones más trabajables, de mejor terminación, resistentes, durables e impermeables.

Hoy se afirma que los aditivos se han transformado en un componente esencial, junto con el agua y los áridos, para la obtención de un hormigón de alta calidad.

Las industrias pertenecientes a la Asociación de Fabricantes de Aditivos (AFADI), cuentan con un amplio respaldo tecnológico internacional. Además han tenido la habilidad de desarrollar los aditivos para las características especiales de nuestros cementos Portland - Puzolánicos.

2.2.- Generalidades.

Los aditivos son productos (orgánicos e inorgánicos) que, introducidos en pequeñas porciones en el momento de la fabricación del hormigón, permiten modificar algunas de sus propiedades originales. Se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado, respetando las indicaciones del fabricante, las dosis varían entre un 0.1 % y 5 % del peso del cemento.

Generalmente se emplean diluidos en el agua de amasado, aunque en el caso de algunos productos en polvo, se prefiere que sean agregados directamente al cemento.

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón. Sin embargo su uso debe ser considerado cuidadosamente, siendo importante verificar cuales son sus influencias en otras características distintas de las que se desea modificar, ya que se debe tener consideración que ellos no sólo influyen sobre las propiedades que se desea modificar, sino colateralmente sobre otras, produciendo efectos que pueden ser indeseables o nocivos para el comportamiento que se espera del hormigón.

En primera aproximación, su proporción de empleo debe establecerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, debiendo posteriormente verificarse según los resultados obtenidos en obra o, preferentemente, mediante mezclas de prueba.

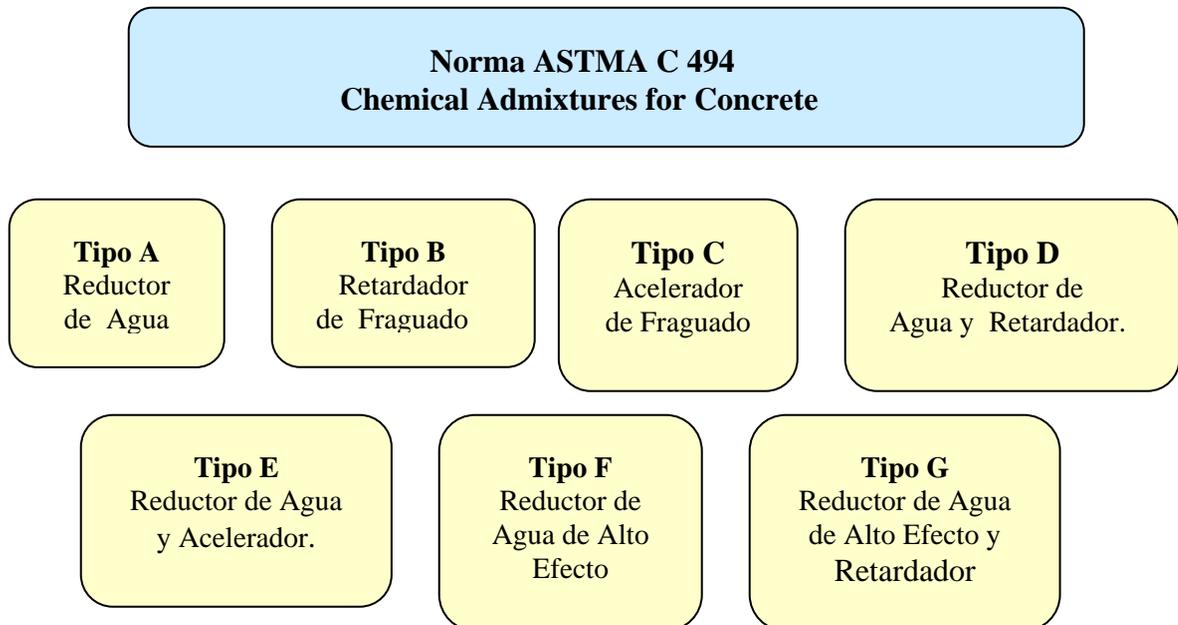
El empleo de los aditivos permite controlar algunas propiedades del hormigón, tales como las siguientes:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

2.3.- Clasificación.

Se puede decir que existen distintos criterios para su clasificación, como:

→ La norma ASTM C 494 “Chemical Admixtures for Concrete”, distingue siete tipos:



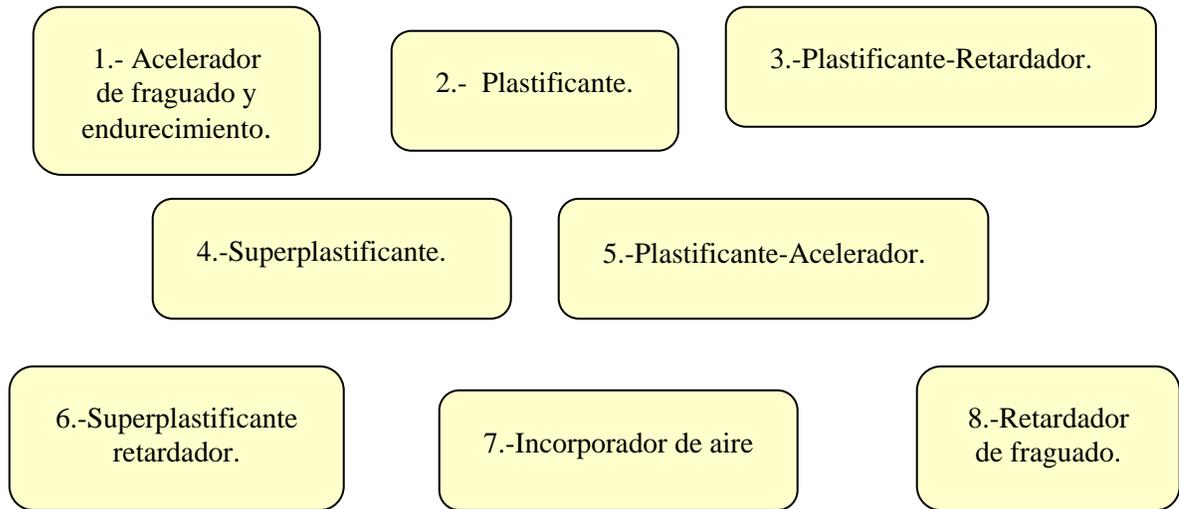
Esquema N° 1: Clasificación según ASTM C 494.

Fuente: Basado en Manual de Aditivos.

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C 260 “Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete”.

Por su parte el Código de Buena Práctica “Aditivos, Clasificación, Requisitos y Ensayos”, elaborado por el Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), establece la siguiente clasificación:

Aditivos, Clasificación, Requisitos y Ensayos, elaborado por el CTH



Esquema N° 2: Clasificación según Centro Tecnológico de Hormigón.
Fuente: Basado en Manual de Aditivos.

Finalmente, la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” establece una clasificación más amplia:

1.- Aditivos que modifican las propiedades Reológicas del hormigón fresco:

- Plastificantes–Reductores de agua.
- Incorporadores de Aire.
- Polvos Minerales Plastificantes
- Estabilizadores

2.- Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:

- Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.
- Retardadores de Fraguado.

3.- Aditivos que modifican el contenido de aire:

- Incorporadores de Aire
- Antiespumantes.
- Agentes formadores de Gas.
- Agentes formadores de Espuma.

4.- Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:

- Incorporadores de Aire.
- Anticongelantes.
- Impermeabilizantes.

5.- Aditivos Miscelaneos

- Aditivos de cohesión – emulsiones
- Aditivos combinados
- Colorantes

Esquema N° 3: Clasificación según ANFOR P 18-123.

Fuente: Basado en manual de aditivos.

Debido a que esta clasificación esta hecha desde el punto de vista de su influencia en determinadas propiedades del hormigón, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo.

2.4.- Descripción

2.4.1.- Aditivos que modifican las propiedades Reológicas del hormigón fresco

La estructura molecular de estos productos se puede esquematizar con una molécula larga de carbono, con una extremidad hidrófoba y otra hidrófila. La parte hidrófoba es rechazada al exterior de la superficie del agua, orientándose perpendicularmente a la superficie de separación agua – aire. La ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Los granos de cemento quedan individualizados, facilitándose aun más el mojado, lo que produce una

hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante.

Por otro lado las moléculas del aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento, en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas. Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de microburbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie. El efecto de incorporación de aire no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en burbujas microscópicas retenidas en su masa, las que actúan como rodamiento entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón.

2.4.1.1.- Plastificantes - Reductores de agua.

Se definen como aditivos que permiten, para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en un hormigón dado, o que para una misma cantidad de agua aumentan considerablemente esta docilidad, o incluso permiten obtener estos dos efectos simultáneamente.

El aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con una 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.

La disminución de la dosis de agua y en consecuencia de la razón agua-cemento, manteniendo una determinada trabajabilidad, permite aumentar la compacidad del hormigón y, por consiguiente, su resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por la misma razón, la retracción y en consecuencia, la tendencia a la fisuración se ven disminuidas.

La acción de los aditivos plastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico, químico y físico-químico, dependiendo de la preponderancia de alguna de ellas en su composición.

La acción física deriva principalmente de la incorporación de aire que producen algunos aditivos, cuyas burbujas actúan como una especie de rodamiento entre las partículas sólidas, disminuyen la fricción interna.

La acción química proviene principalmente de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos. Se obtiene de este modo una acción más completa (mejor mojado) de los granos de cemento, lo que permite también disminuir el roce interno entre las partículas.

La acción físico-química la producen los compuestos tensoactivos, productos orgánicos capaces de rebajar la tensión superficial o interfacial de los líquidos y en partículas de agua.

El principal efecto producido por los aditivos plastificadores - reductores de agua incide sobre la trabajabilidad del hormigón en su estado fresco. Este efecto puede traducirse en una reducción de la dosis de agua, si se mantiene constante la docilidad o fluidez del hormigón, o en un aumento de su docilidad, si se mantiene constante la dosis de agua del hormigón.

Los efectos dependen tanto del tipo de aditivo como de su dosis, de los cuales se mencionan:

- ◆ Efecto sobre el tiempo de fraguado: en algunos productos tiene efecto retardador, el que puede ser muy notorio en caso de sobredosis.
- ◆ Efecto sobre la incorporación de aire: estos productos tensoactivos tienen tendencias a producir incorporación de aire, aunque este efecto no siempre se manifiesta en un incremento de la cantidad total de aire en el hormigón, sino en un cambio en su forma.
- ◆ Efectos derivados de la reducción de la dosis de agua: esto permite obtener un aumento de la cohesión del hormigón, con el cual se reduce la tendencia a la segregación e igualmente la exudación.

2.4.1.2.- Superplastificante o Fluidificante.

Aditivos plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, en que la absorción y la capacidad de dispersión del cemento son mucho más acentuadas.

Esto se traduce en un enorme aumento de la trabajabilidad del hormigón, sin modificar la cantidad de agua. El resultado es un hormigón muy fluido (autonivelante), de baja tendencia a la segregación.

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre un 20% y un 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para hormigones de alta resistencia.

Desde el punto de vista químico existen diversos productos que tienen esta propiedad, pero en la práctica se reconocen tres grupos principales:

- ◆ Productos condensados de un naftaleno formaldehído sulfonado.
- ◆ Productos condensado de resina melamínica y formaldehídos.
- ◆ Algunos tipos de lignosulfonatos.

Los superplastificadores se emplean en dosis mayores que los plastificadores reductores de agua, (0.8 a 3%) y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente en el agua.

El efecto sobre la trabajabilidad del hormigón se mantiene entre 30 y 60 minutos según el aditivo, característica que hace conveniente agregarlo inmediatamente antes del término del amasado y obliga a una rápida colocación.

El efecto se termina una vez transcurrido el tiempo señalado, volviendo el hormigón a su docilidad inicial. Eventualmente puede agregarse una nueva dosis, remezclando el hormigón con el fin de prolongar el efecto por otro período.

Los hormigones fluidos obtenidos con estos aditivos pueden ser colocados con gran facilidad, pues son prácticamente autonivelantes y por lo tanto se reduce el trabajo de colocación y se elimina la necesidad de vibrar salvo en zonas densamente armadas.

Cuando los aditivos fluidificantes se emplean como reductores de agua se obtiene un incremento de algunas características del hormigón endurecido, especialmente de su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

Por otra parte, debido a que no producen incorporación de aire, el efecto en las resistencias es superior al obtenido con los plastificantes-reductores de agua, especialmente en las primeras edades, lo que resulta muy conveniente para su empleo en hormigones pretensados, prefabricado y obras en que se requiere desarrollo rápido de resistencias.

2.4.1.3.- Expansores – Estabilizadores

Estos aditivos buscan la forma de contrarrestar la retracción que se origina en la pasta de cemento, la cual produce efectos desfavorables en muchas aplicaciones del hormigón.

Estos aditivos forman burbujas tanto de oxígeno como de gas, por reacción de algunos de sus compuestos entre sí o con los productos de la hidratación del cemento.

Esta reacción se produce en el interior del hormigón mientras éste se mantiene fresco, de manera que al quedar atrapadas las burbujas producidas, se genera una expansión del hormigón, motivo por el cual el empleo de este tipo de aditivos se puede orientar a producir dos efectos:

- Si el hormigón está libre para expandirse, el aumento de volumen generado permite compensar la disminución de volumen que normalmente experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.
- Si el hormigón está confinado, el aumento de volumen puede generar un efecto de compresión, el cual puede compensar las tensiones de tracción que experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.

Como efecto los aditivos expansores producen un aumento de volumen en el hormigón mientras éste se mantiene aún en estado fresco. Posteriormente se produce una retracción hidráulica y como efecto secundario debe mencionarse que la formación de burbujas se traduce en la disminución de la resistencia.

2.4.2.- Aditivos que modifican el Fraguado y Endurecimiento

2.4.2.1.- Aceleradores de Fraguado y/o Endurecimiento

Entre estos productos se cuentan los aceleradores y retardadores de fraguado. Estos son productos solubles en agua, que actúan químicamente modificando las velocidades de disolución de los diversos constituyentes del cemento.

A partir del momento en que el cemento se mezcla con agua, ésta se satura, principalmente de cal y de sulfatos procedentes del yeso y de los álcalis. El aluminato tricálcico se hidrata rápidamente produciendo un aluminato cálcico hidratado y un sulfoaluminato, posteriormente se hidratan los silicatos tricálcico y bicálcico, dando lugar a diversos compuestos hidratados.

Estos aditivos adelantan el inicio de fraguado y aceleran el endurecimiento, permitiendo la obtención de resistencias más altas a edades tempranas.

Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado.

La dosis habitual varía entre el 1% y el 5% del peso del cemento, con excepción de productos y/o situaciones en que se requiere un fraguado extremadamente rápido.

Uno de los productos mas empleados en la fabricación de estos aditivos es el cloruro cálcico, se emplea habitualmente en dosis del 1% al 2% del peso del cemento, contribuyendo a adelantar el principio de fraguado y aumentar las resistencias a temprana edad.

El aumento de la relación agua-cemento en estas mezclas con aditivo acelerador disminuye el efecto del acelerador, aunque el retardado producido es menos intenso que en las respectivas mezclas sin aditivo.

Por estas características, los aceleradores son utilizados con los siguientes fines:

- Cuando se desea reducir el periodo de espera para la puesta en servicio de un elemento estructural.
- Para atenuar el efecto retardador producido sobre las resistencias iniciales del hormigón en los periodos de baja temperatura.

El efecto de un acelerador en base a cloruros depende de:

- Su concentración en el agua de amasado.
- La naturaleza del cemento.
- La temperatura.

Los efectos donde influyen estos aditivos son:

- ◆ Efecto sobre el tiempo de fraguado: La incorporación de esos aditivos disminuye el tiempo de inicio y término del fraguado, como se muestra en la siguiente tabla:

% Ca Cl ₂	Tiempo de fraguado	
	Principio (h)	Fin (h)
0	4,45	11
1	3	8
2	1,5	5

Tabla N° 5: Efecto del cloruro Cálcico sobre los tiempos de Fraguado.
Fuente : Basado en manual de aditivos.

◆ **Efecto sobre las Resistencias**

% CaCl ₂	Resistencias a la Compresión (kg/cm ²) a las edades y temperaturas que se indican			
	1 día		7 días	
	5°C	20°C	5°C	20°C
0	7	80	375	495
1	40	130	420	530
2	70	160	425	540

Tabla N° 6: Efecto de un acelerador sobre la resistencia a la compresión.
Fuente: Basado en manual de aditivos.

Las resistencias mecánicas a la compresión se ven fuertemente aumentadas en las primeras edades (1 día), efecto que tiende a disminuir a edades superiores (7 días), por lo que puede preverse que tenderán a igualarse a edades superiores, pudiendo incluso esperarse resistencias mas bajas a edades sobre 28 días.

- ◆ **Efecto sobre la Retracción:** La retracción hidráulica posterior al fraguado de la pasta de cemento se ve aumentada por la adición de cloruros, con lo que también aumenta el riesgo de fisuración.
- ◆ **Corrosión de las armaduras:** La adición de cloruros puede favorecer la corrosión de las armaduras del hormigón armado manteniendo un ambiente húmedo, debido a ello la norma NCh 163 establece valores límites de contenidos totales de cloruros en este tipo de hormigones.

2.4.2.2.- Retardadores

Su función principal es retardar el principio del fraguado de la pasta de cemento, manteniendo constante, en lo que sea posible, el tiempo de fraguado y las resistencias en las distintas edades.

El mecanismo de acción de los retardadores no es totalmente conocido. Sin embargo se supone que el aditivo es absorbido por los granos de cemento, produciéndose una capa relativamente impermeable, la cual posterga el proceso de hidratación normal, en particular del aluminato tricálcico.

Esta capa es finalmente penetrada por el agua, iniciándose el fraguado de acuerdo a su mecanismo habitual.

Los aditivos retardadores, aparte de su efecto sobre el tiempo de fraguado de la pasta de cemento, presentan efectos adicionales sobre otras propiedades del hormigón, como:

- ◆ Efecto sobre el tiempo de fraguado: El efecto varía según el producto y la dosis empleada como se aprecia en la siguiente tabla.

Producto	Dosis	Principio de Fraguado (h)	Fin de fraguado (h)
Sin aditivo	0,0	3,1	7,0
Sacarosa	0,5	5,3	13,0
	1,0	10,0	16,0
Glucosa	1,0	9,0	15,0
	2,0	14,0	22,3
Ácido	0,5	4,5	12,0
Fosfórico	1,0	6,0	14,0
	2,0	8,0	20,0

Tabla N° 7: Efecto de distintos aditivos retardadores.
Fuente: Basado en manual de aditivos.

Los antecedentes presentados permiten observar que el efecto de cada tipo de aditivo retardador es significativamente diferente, lo cual confirma la recomendación de estudiar cada aditivo en las condiciones que se va a utilizar.

- ◆ Efecto sobre el calor de hidratación: Las experiencias demuestran que el calor desprendido en las primeras 24 horas es tanto mas bajo cuanto mayor haya sido el retardo producido. Sin embargo, el calor total desarrollado es igual después de algunos

días y a los 7 días puede ser incluso superior el del mortero con el retardador que sin él.

- ◆ Efecto sobre las resistencias mecánicas: Las experiencias indican que las resistencias mecánicas son inferiores hasta los 3 días, pero después de esta edad tienden a igualarse para superarse a los 28 y 90 días, efecto que es tanto más notorio cuanto mayor sea el retardo.
- ◆ Efecto sobre la retracción: Tal como se manifiesta con las otras características del hormigón, algunas experiencias efectuadas indican que aparentemente el empleo de un aditivo retardador disminuye la retracción inicial, pero el valor final de ésta puede aumentar por sobre el del hormigón sin aditivo. Sin embargo debe señalarse que este punto no ha sido lo suficientemente investigado para establecer su plena validez.
- ◆ Efecto sobre la trabajabilidad: En general los retardadores tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, mejorando la docilidad o permitiendo una reducción del agua de amasado.

2.4.3.- Aditivos que modifican el contenido de Aire

2.4.3.1.- Incorporador de Aire

2.4.3.1.1.- Generalidades.

El hormigón además de sus componentes sólidos, contiene un porcentaje de vacíos, de formas y dimensiones variadas, provenientes del aire atrapado y de la fracción del agua de amasado que se evapora. Al utilizar un incorporador de aire se producen microburbujas esféricas cuyos diámetros oscilan entre 25 y 250 μ con una distancia entre ellos de 100 a 200 μ .

La cantidad de burbujas se ha estimado en 100.000 a 400.000 por cm^3 de hormigón, representando una superficie específica aproximada a los $23.6\text{mm}^2/\text{mm}^3$.

Para otorgar resistencia a las heladas interesa particularmente que las burbujas sean pequeñas. Según norma ASTM C- 457 la pasta de cemento esta protegida contra los efectos de los ciclos de hielo-deshielo, si el factor de distancia es menor a 0,20 mm.

En 1938 se comienzan a emplear aditivos incorporadores de aire en la construcción de carreteras, en 1939 se fabrica un Cemento con resina Vinsol como agente incorporador de aire y en 1948 se comienza a aplicar el aditivo incorporador de aire en Europa.

En hormigones convencionales, sin la utilización de aditivos tensoactivos, prácticamente no puede contener burbujas inferiores a 0,1 o 0,2 mm, ya que por su tamaño se ven expuestas a una mayor presión por lo que tienden a disolverse en el agua. Sin embargo, con aditivo tensoactivo, aún cuando la cantidad de agua sea similar, sus características serán muy distintas desde el punto de vista reológico y de su resistencia al hielo.

2.4.3.1.2.- Componentes tensoactivos.

- ◆ Lignosulfonato sódico o potásico, obtenido como sub-producto de la pasta de papel (componente utilizado también en los aditivos plastificantes).
- ◆ Abietato sódico: obtenido de tratamiento de resina vegetal como lo es la destilación de la savia de pino o abeto. (la resina Vinsol corresponde a este tipo, siendo además este su nombre comercial, fabricado en los Estados Unidos).
- ◆ Sales de Etanolamina.
- ◆ Sulfonatos de Alkilarilo, especialmente sódico: detergente sintético derivado del petróleo.
- ◆ Jabones sódicos de ácido polihidroxicaroxilicos.

2.4.3.1.3.- Mecanismo de Acción de los aditivos incorporados de aire.

Los incorporadores de aire son productos de naturaleza aniónica que, al introducirse en una pasta de cemento, quedan absorbidos sobre la superficie de las partículas de cemento formando una delgada capa de filamentos de naturaleza hidrófoba. Además otra parte del aditivo se disuelve en la fase líquida en la etapa de amasado del hormigón, es aquí donde se producen burbujas de aire, las que quedan distribuidas en dicha fase sin unirse entre ellas, ya que los filamentos se orientan hacia el interior de las burbujas, con su fase polar en la superficie. Gracias a esto se pueden adherir separadamente a los granos de cemento.

La cantidad y características del aire incorporado dependen de numerosos factores, entre los cuales podemos mencionar:

- ◆ Tipo y cantidad del aditivo: intervienen tanto sobre la cantidad como sobre el tamaño, distribución y estabilidad de las burbujas de aire incorporado.
- ◆ Tipo y dosis de cemento: mientras más fino y mayor sea la dosis de cemento menor será la cantidad de aire incorporado.
- ◆ Docilidad del Hormigón: mientras mayor sea el cono, tanto la cantidad de aire y el tamaño de las burbujas aumentará.
- ◆ Características del hormigón: estas características inciden en la cantidad de aire incorporado, son principalmente la proporción de mortero en el hormigón, tamaño máximo del árido grueso y contenidos de los granos finos entre 0,2 y 0,8 mm.
- ◆ Condiciones de fabricación y puesta en obra: tiempo de amasado (un tiempo muy extenso hace que la cantidad de aire que hay en las burbujas, especialmente las de mayor diámetro salgan a la superficie y se rompan, con lo que disminuirá la cantidad de aire atrapado en el hormigón), condiciones de transporte (perderá aire según sea el traslado que sufra) y condiciones de compactación (no debe someterse a una excesiva compactación ya que esto hará que se pierda el aire incorporado, y más aún si se está trabajando con un cono alto).

2.4.3.1.4.- Efecto provocado por el aditivo Incorporador de Aire.

Esta incorporación de aire en el hormigón produce diversos efectos sobre éste, tanto mientras se mantiene en estado plástico como cuando ya ha endurecido.

El efecto principal buscado con el uso de los incorporadores de aire es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo – deshielo, que pueden producirse en los periodos en que las temperaturas ambiente descienden bajo 0° C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible.

Sin embargo, hacen también efecto sobre otras propiedades del hormigón, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- ◆ Efecto frente a los ciclos alternados de hielo – deshielo: Cuando existen bajas temperaturas ambiente, que conducen a procesos de hielo y deshielo alternativos, las burbujas de aire incorporado en el hormigón actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Ello permite reducir las presiones hidráulicas y, con ello, las tensiones internas que se originan por este motivo, impidiendo así el deterioro progresivo que se produciría en un hormigón que no contenga aire incorporado.

La experiencia práctica acumulada indica que, para asegurar la protección de hormigones expuestos a ciclos de hielo – deshielo, deberá incorporarse del orden de 3 a 6% de aire según el tamaño máximo del árido.

Tamaño Máximo Nominal del árido (mm)	Contenido de Aire (%)
10	6.0
12	5.5
20	5.0
25	4.5
40	4.5
50	4.0

Tabla N° 8: Contenido de aire recomendado para el hormigón expuesto a ciclos de hielo-deshielo.

Fuente: Manual de aditivos, Adición y Protecciones del Hormigón.

Las cifras indicadas tienen una tolerancia de ± 1.5 puntos porcentuales y para los hormigones de grados superiores a H-35, el contenido de aire se puede reducir en un punto porcentual.

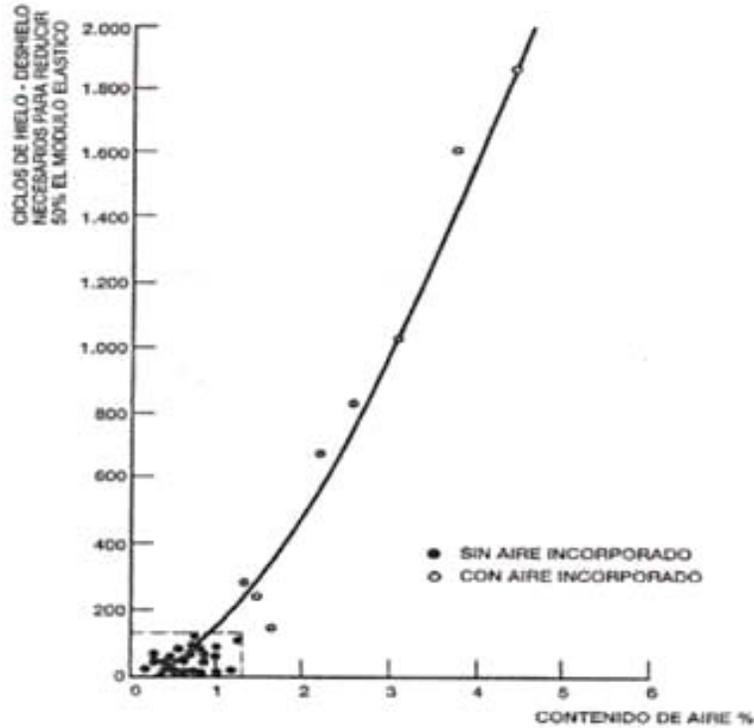


Imagen N° 3: Efecto del contenido de aire sobre la resistencia del hormigón a los ciclos de hielo – deshielo.

Fuente: Manual de aditivos, Adición y Protecciones del Hormigón.

Debe señalarse que, para que este proceso destructivo se produzca, es necesario que el hormigón esté saturado de agua, al menos hasta una cierta profundidad. No basta, en consecuencia, la existencia de las bajas temperaturas, sino que éstas deben ir unidas a la existencia de humedad en el hormigón, derivada ya sea del ambiente o del terreno adyacente.

Lo anterior implica también que, al mismo tiempo, para que se induzca el mecanismo protector descrito, las burbujas de aire no deben estar saturadas de humedad, lo cual se logra al emplear compuestos aniónicos que actúan de acuerdo al mecanismo descrito, produciendo los filamentos hidrófobos señalados. En consecuencia, de lo anterior se desprende que no cualquier producto que produzca aire atrapado en el hormigón, por ejemplo los utilizados para producir hormigones livianos, tendrá la misma acción que un incorporador de aire.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la eficacia de un aditivo incorporador de aire depende tanto de la cantidad total de aire incorporado, como del tamaño y distancia entre burbujas, siendo más efectivo mientras más pequeñas sean y próximas se encuentren.

- ◆ Efecto sobre la trabajabilidad del hormigón: Las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido, aumentando su docilidad, ya que, por su tamaño, equivalen a partículas de tamaño inferior a 2 mm, con la ventaja de tener un mejor coeficiente de forma, de ser elásticas y deformables, lo que les permite deslizarse sin rozamiento, aumentando la cohesión, con lo cual se reduce la tendencia a la segregación y la exudación, lo que facilita su puesta en obra.

Por otra parte, al disminuirse la exudación se evita la acumulación de agua bajo las barras de acero y los áridos gruesos, mejorando su adherencia, así como también disminuye la formación de lechada en las superficies.

Se debe considerar que la incorporación de aire produce disminuciones en las resistencias mecánicas del orden de 3 a 5% por cada 1% de aire incorporado. Esta pérdida de resistencia se compensa en parte al bajar la razón agua-cemento.

- ◆ Efecto sobre la impermeabilidad: En el hormigón endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canalículos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El hormigón resultante es, en consecuencia, más impermeable e, indirectamente, por ello más resistente a la acción de agentes agresivos.

2.4.3.1.5.- La normativa que regula el aditivo incorporador de aire.

Los requisitos exigidos en el código de buenas prácticas por el centro tecnológico del hormigón son los siguientes:

Ensayo	Requisitos físicos (valores referidos al hormigón patrón)	
Tiempo de fraguado inicial, diferencia máxima.	1 hora	
Resistencia a compresión y flexotracción a cualquier edad, mínima	5 % aire	70%
	4% aire	75%
	3% aire	80%
Densidad saturada a los 28 días, disminución mínima.	5 % aire	50 kg/m ³
	4% aire	25 kg/m ³
	3% aire	15 kg/m ³
Ensayo	Requisitos físicos (valores referidos a probetas con aditivo)	
Densidad saturada a 3 días, diferencia entre probeta, máximo	20kg/m ³	
Contenido de aire, diferencia entre 2 amasadas consecutivas, máximo.	1%	
Durabilidad 50 ciclos hielo/deshielo, con aire, expansión máxima	0,05%	

Tabla Nº 9, Requisitos exigidos para aditivos incorporadores de aire.
Fuente: Manual de Aditivos.

2.4.3.2.-Agentes Formadores de Espuma.

Es utilizado para la confección de hormigones celulares. Este aditivo produce burbujas de diámetro entre 0,5 a 4mm.

El efecto provocado por este aditivo, es que reduce considerablemente la resistencia final del hormigón y la densidad del hormigón.

2.4.4.- Aditivos que modifican la resistencia a las acciones Físicas y Químicas

2.4.4.1.- Anticongelantes.

Los anticongelantes son productos solubles, que activan la hidratación del cemento. Ello permite obtener un desprendimiento más rápido del calor de hidratación del cemento, aumentando así en algunos grados la temperatura del hormigón durante el amasado, por otro lado rebajan la temperatura de congelación del agua del hormigón.

Estos efectos combinados permiten que el hormigón endurezca antes que se produzca su congelamiento por efecto de las bajas temperaturas durante el hormigonado en tiempo frío.

2.4.4.2.- Impermeabilizantes o Hidrófugos de masa.

Estos aditivos están destinados a reducir la penetración o el paso de agua a través del mortero u hormigón, y son productos en base a jabones, estearato de butilo y algunos derivados del petróleo.

Se denominan hidrófugos de masa aquel que se incorpora en el mortero u hormigón en el momento del amasado. Por lo tanto se excluyen los productos aplicados superficialmente, los que se denominan impermeabilizantes superficiales.

Estos aditivos se comercializan en forma de polvo o líquido, más o menos pastosos y se utilizan en dosis que varían de un 0.5% a 5% del peso del cemento.

El agua puede incorporarse en la masa de una estructura por dos procesos diferentes:

- Presión Hidrostática: el agua tiende a atravesar la masa de hormigón, escurriendo a través de las discontinuidades que éste posee en su interior, en forma de fisuras y poros intercomunicados.

- Capilaridad: el desplazamiento del agua se produce debido a la existencia de microfisuras de tamaño capilar, que permiten la ascensión del agua por efecto de su tensión superficial.

Para aumentar la impermeabilidad del hormigón es necesario obturar las fisuras, microfisuras y poros que posee normalmente y que derivan de la generación de tensiones internas de tracción durante el proceso de hidratación y endurecimiento, y de la evaporación de parte del agua de amasado incorporada, para lograr una adecuada trabajabilidad mientras está aún en estado fresco.

En general, los hidrófugos se recomiendan para hormigones con dosis moderadas de cemento, puesto que en ellos pueden desarrollar su efecto obturador de los poros, microfisuras y fisuras capilares. Se debe tener presente que no es posible lograr impermeabilidad en base a hidrófugos en hormigones defectuosos con un gran volumen de huecos, poros o nidos de piedra.

El efecto principal de los hidrófugos se relaciona con la disminución de la permeabilidad de los hormigones y morteros, pero puede tener efecto sobre otras propiedades:

- ◆ Pueden producir un retardo del fraguado de la pasta de cemento.
- ◆ Aumentar la docilidad del hormigón.
- ◆ Disminuyen la exudación.
- ◆ Pueden disminuir las resistencias mecánicas.
- ◆ Pueden producir un aumento de la retracción hidráulica.

2.4.5.- Aditivos Misceláneos

2.4.5.1.- Aditivos de Cohesión – Emulsiones.

Las emulsiones están formadas por una fase continua (agua) y una fase discontinua (partículas extrafinas, generalmente resinas), que no se mezclan íntimamente entre sí.

Si su composición es adecuada, su principal aporte lo constituye el aumento de la cohesión entre partículas de cemento, lo cual se traduce en una mayor resistencia a la tracción.

Cuando se utilizan como imprimantes, se emplean diluidos en agua en proporciones que varían desde 1:1 a 1:5.

Dicha dispersión endurece mediante deshidratación (secado), contrariamente a lo que ocurre con el cemento, que es un aglomerante hidráulico.

La combinación de la resina y el cemento realzan las propiedades que poseen por sí mismo los aglomerantes hidráulicos, pero para que su utilización en combinación con el cemento sea efectiva, las partículas de resina deben ser lo más pequeñas posible ($\leq 0.1\mu$).

Estas partículas se dispersan dentro de la masa de la pasta de cemento, ubicándose en los microporos que dejan entre sí los granos de cemento. Se produce así la reacción normal de endurecimiento por contacto entre cemento y agua, quedando todos los poros rellenos con resina, formando un tejido que atrapa la masa de cemento.

2.4.5.2.-Aditivos Combinados.

Estos productos combinan los efectos de dos o más de los aditivos antes descritos, destacándose entre ellos los plastificantes- retardadores, plastificantes-incorporadores de aire, etc.

Estos 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.

2.4.5.3.- Colorantes.

El color de los morteros y hormigones depende del color de los áridos y del cemento, siendo este último el que confiere el color gris que le es característico, siendo la tonalidad más o menos oscura según sea su composición, principalmente en lo que concierne a contenido de adiciones, presencia de óxidos metálicos, especialmente óxido de hierro, etc.

Si se requiere incorporar un color diferente del normal a la masa de morteros y hormigones, caso en el cual es necesario recurrir al empleo de aditivos colorantes.

Los pigmentos pueden ser de origen natural o artificial, siendo en general más convenientes estos últimos por su mayor regularidad.

Estos colorantes o pigmentos son polvos finos constituidos generalmente por óxidos metálicos, empleándose también tierras coloreadas sometidas a tratamiento físico y térmico.

Su granulometría suele estar comprendida entre 0,01 y 10 μ lo que se traduce en una superficie específica Blaine entre 5.000 y 20.000 cm²/g.

Requisitos que deben cumplir los pigmentos para ser utilizados en mezclas de cemento:

- ◆ Poder colorante y regularidad de tono.
- ◆ Mojabilidad y fácil dispersión.
- ◆ Estabilidad a los agentes atmosféricos y a la luz, como también frente a la cal y los álcalis del cemento.
- ◆ Limitado contenido de sales para evitar eflorescencias.
- ◆ Neutralidad química con el cemento.

CAPITULO III

EXPERIENCIA

3.1.- Generalidades

Esta experiencia busca determinar en que medida varían las propiedades del hormigón, como la resistencia, al agregarle a la mezcla aditivo incorporador de aire y al mismo tiempo disminuir la cantidad de agua.

En primer lugar se confeccionaran hormigones patrones, a este diseño se le agregaran distintas dosis de aditivo, las que cumplirán posteriormente las función de muestras patrones, ya que a estas mismas dosificaciones se le disminuirá la cantidad de agua para realizar un análisis comparativo.

Las dosis de aditivos estarán dentro de las especificaciones que indica el fabricante dentro de la ficha técnica del aditivo, la cual se encuentra en el anexo 1.

Se harán mediciones en las mezclas patrones y en las con aditivo, de docilidad, densidad y resistencia, las cuales finalmente se compararán.

3.2.- Diseño de hormigones patrones.

Los materiales a utilizar para los hormigones patrones será cemento corriente, agua potable y en cuanto a los áridos se utilizará grava, gravilla y arena. En las otras mezclas se modificará solo la cantidad de agua, pero no así el tipo de material utilizado, sólo se agregará el aditivo, siguiendo las indicaciones del fabricante.

3.2.1.- Ensayos realizados a los áridos para la dosificación.

Se realizaron todos los ensayos exigidos para la dosificación, según norma NCh 170. Además se comprobaron requisitos generales establecidos por la norma NCh 163.

3.2.1.1.-Granulometría.

Ensayo realizado según norma NCh 165, obteniéndose los siguientes resultados:

→ Grava.

Tamiz	M. Ret.	% Ret. Parcial	% que Pasa
2"	-	-	100
1 1/2"	455,5	7,2	92,8
1"	2931,5	46,2	46,6
¾"	2450,5	38,6	7,9
½"	475,5	7,5	0,4
3/8"	4,5	0,1	0,4
Nº 4	3	0,1	0,3
Residuo	20,5	0,3	0,0
Total	6341		

Tabla Nº 10, Resultados de granulometría de la grava.
Fuente: Elaboración Propia.

→ Gravilla

Tamiz	M. Ret.	% Ret. Parcial	% que Pasa
1"	-	-	100
¾"	53	2,7	97,3
½"	889	45,9	51,3
3/8"	701,5	36,3	15,1
Nº 4	285,5	14,8	0,3
Nº 8	0	0,0	0,3
Residuo	6	0,3	0,0
Total	1935		

Tabla Nº 11, Resultados de granulometría de la gravilla.
Fuente: Elaboración Propia.

→ Arena

Tamiz	M. Ret.	% Ret. Parcial	% que Pasa
½"	-	-	100
3/8"	-	-	100,0
Nº 4	212,5	27,0	73,0
Nº 8	153,5	19,5	53,4
Nº 16	122	15,5	37,9
Nº 30	185	23,5	14,4
Nº 50	95	12,1	2,3
Nº 100	15,5	2,0	0,3
Nº 200	2,5	0,3	0,0
Residuo	0	0,0	0
Total	786		

Tabla Nº 12, Resultados de granulometría de la arena.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1.2.-Colorimetría

Ensayo realizado a la arena según norma NCh 166. Obteniéndose como resultado “NIVEL 2”.

3.2.1.3.-Material Fino menor que 0,080 mm.

Ensayo realizado según norma NCh 1223. Obteniéndose los siguientes resultados:

→ Grava

Detalle	Pesos
Masa seca antes de lavado (grs.)	6351,5
Masa seca después de lavado (grs.)	6339,5
% material fino	0,19

Tabla N° 13, Resultados del ensayo material fino menor a 0,080 mm grava.
Fuente: Elaboración Propia.

→ Gravilla

Detalle	Pesos
Masa seca antes de lavado (grs.)	1935,5
Masa seca después de lavado (grs.)	1933,5
% material fino	0,10

Tabla N° 14, Resultados del ensayo material fino menor a 0,080 mm gravilla.
Fuente: Elaboración Propia.

→ Arena.

Detalle	Pesos
Masa seca antes de lavado (grs.)	788
Masa seca después de lavado (grs.)	786
% material fino	0,25

Tabla N° 15, Resultados del ensayo material fino menor a 0,080 mm arena.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1.4.-Densidades Reales, Netas y Absorción

Ensayo realizado según norma NCh 1117, para grava y NCh 1239 para arena.

Obteniendo los siguientes resultados:

→ Grava.

Detalle	Pesos	Densidad real sss (kg/m ³)	2667
masa sss (kg)	4.643	Densidad real seca (kg/m ³)	2629
masa sumergida (kg)	2.902	Densidad neta (kg/m ³)	2732
masa seca (kg)	4.578	Absorción (%)	1,43

Tabla N° 16, Resultados del ensayo densidades reales, netas y absorción grava.

Fuente: Elaboración Propia.

→ Gravilla

Detalle	Pesos	Densidad real sss (Kg/m ³)	2626
masa sss (kg)	2.169	Densidad real seca (Kg/m ³)	2588
masa sumergida (kg)	1.343	Densidad neta (Kg/ m ³)	2690
masa seca (kg)	2.138	Absorción (%)	1,47

Tabla N° 17, Resultados de ensayo densidades reales, netas y absorción gravilla.

Fuente: Elaboración Propia.

→ Arena.

Detalle	Pesos	Dens. real sss (Kg/m ³)	2619
Masa del matraz con agua (grs.)	665,99	Dens. real seco (Kg/m ³)	2574
Masa del matraz con agua + muestra (grs.)	719,82	Dens. neta (Kg/ m ³)	2696
Masa del árido sss (grs.)	87,08	% Absorción (%)	1,77
Masa del Árido seco (grs.)	85,561		

Tabla N° 18, Resultados de ensayo densidades reales, netas y absorción Arena.

Fuente: Elaboración Propia.

→ Arena > Tamiz N° 4

Detalle	Pesos	Densidad real sss (Kg/m ³)	2650
masa sss (kg)	1.210	Densidad real seca (Kg/m ³)	2608
masa sumergida (kg)	753	Densidad neta (Kg/m ³)	2721
masa seca (kg)	1.191	Absorción (%)	1,60

Tabla N° 19, Resultados de ensayo densidades reales, netas y absorción de la Arena mayor al tamiz N° 4.

Fuente: Elaboración Propia.

→ **Porcentajes Ponderados**

Estos se obtienen de las densidades y de la granulometría obtenida, puesto que el material retenido sobre el tamiz N°4 es de 27% y el máximo dispuesto en la NCh 165 es de un 15%.

Dr sss	Densidad (Kg/m³)	% que pasa Arena	
	2630	0,73	1920
2650	0,27	716	
	Dr sss	2635	

Tabla N° 20, Resultados del ensayo densidad real saturada superficialmente seca de la Arena.
Fuente: Elaboración Propia.

Dr s	Densidad (Kg/m³)	% que pasa Arena	
	2588	0,73	1889
2608	0,27	704	
	Dr s	2593	

Tabla N° 21, Resultados del ensayo densidad real seca de la Arena.
Fuente: Elaboración Propia.

Dn	Densidad (Kg/m³)	% que pasa Arena	
	2690	0,73	1964
2721	0,27	735	
	Dn	2699	

Tabla N° 22, Resultados del ensayo densidad neta de la arena.
Fuente: Elaboración Propia.

Abs	Densidad (Kg/m³)	% que pasa Arena	
	1,47	0,73	1,1
1,6	0,27	0,4	
	Abs	1,51	

Tabla N° 23, Resultado del ensayo de absorción de la Arena.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.- Dosificaciones

Para efectuar las comparaciones confeccionaremos hormigones patrones de dos grados distintos, uno será ensayado a compresión y el otro será ensayado tanto a compresión como a flexotracción.

Se debe dejar claro que los áridos serán los mismos en todas las mezclas, y que las dosificaciones utilizadas en la confección de los hormigones patrones no serán alteradas, sólo para las demás mezclas variará el porcentaje de agua cuando se utilice el aditivo, y a este sólo se le agregará la misma cantidad ya utilizada en las mezclas patrón, sin ser modificada.

El grado de los hormigones será: H-30, HF-3,6.

3.2.2.1.- Porcentaje de los áridos necesarios para la mezcla.

La granulometría esta normalizada según norma NCh 163.

Cumpliendo estos requisitos se obtienen los porcentajes de arena, gravilla y grava a utilizar en la mezcla.

ASTM	% QUE PASA			Grava	Gravilla	Arena	Granulometría	Especificación
	Grava	Gravilla	Arena	22%	35%	43%	de la Mezcla	T. Máx. 40 mm
2"	100	100	100	22	35	43	100	100
1 ½"	92,8	100	100	20	35	43	98	100
1"	46,6	97,3	100	10	34	43	87	-
¾"	7,9	51,3	100	2	18	43	63	60 - 80
½"	0,4	15,1	100	0	5	43	48	-
3/8"	0,4	0,3	100	0	0	43	43	40 - 61
Nº 4	0,3	0,3	73	0	0	31	32	24 - 48
Nº 8	0	0,3	53	0	0,1	23	23	15 - 37
Nº 16	0	0,3	38	0	0,1	16	16	10 - 28
Nº 30	0	0,3	14	0	0,1	6	6	6 - 19
Nº 50	0	0,3	2	0	0,1	1	1	3 - 11
Nº 100	0	0,3	0	0	0,1	0	0	2 - 5

Tabla Nº 24, Ajuste de porcentajes de grava, gravilla y arena a bandas granulométricas.

Fuente: Elaboración Propia.

De los datos obtenidos para el tipo de material que se utilizará en la confección de los hormigones, la proporción que mejor se adapta a las bandas granulométricas es la de 22% de grava, un 35% de gravilla y un 43% de arena.

Se determinará la dosificación según norma NCh 170.

Resistencia media requerida (fr)

Está dada por el nivel de confianza, por la desviación estándar y la resistencia especificada.

Para nuestro diseño utilizaremos:

- Un nivel de confianza de 80%, lo que nos entrega un factor estadístico (t) de 0,842.
- Una desviación estándar (s) de 47,6 Kgf/cm².
- La resistencia a compresión a 28 días solicitados (Rc), en Kg/cm².

$$fr = Rc + s * t$$

Así con la formula anterior se calcula la resistencia media requerida (fr), con la que finalmente se calculará la cantidad de los otros materiales.

Entonces para:

- **Dosificación H-30** fr = 340[Kgf/m²].
- **Dosificación HF -3,6** fr = 364 [Kgf/m²].*

(*) Antes de calcular el fr debemos transformar esta resistencia de flexotracción a compresión. Para esto se multiplica por un factor 9.

Razón Agua-Cemento (A/C).

Una vez obtenido fr, se calcula la razón agua/cemento (A/C), esta razón es extraída, de la tabla N° 3 de la NCh 170. Depende del tipo de cemento a utilizar y de la resistencia media requerida calculada anteriormente.

La razón A/C para H-30 (fr = 340) sale directamente de la tabla.

La razón A/C para FH- 3,6 (fr = 364), se obtuvo del manual de vialidad LNV debido a que en la NCh 170 no se establece en rango para el fr calculado anteriormente.

Las Razones de A/C para las dosificaciones:

- **Dosificación H-30** A/C = **0.45**
- **Dosificación HF -3,6** A/C = **0.425**

Agua

La cantidad de agua estará condicionada por la docilidad (cono) que debe tener el hormigón. Y se obtiene de la tabla N° 22 de la NCh 170.

El cono que se le exigió a las mezclas de los hormigones H-30 es 6-9, según tabla, la cantidad de agua a introducir es de **170 lts** por metro cúbico.

El Cono que se le exigió a la mezcla de Hormigón HF 3,6 es 3-5, según tabla, la cantidad de agua a introducir es de **160 lts** por metro cúbico.

Cemento

Esta se calcula una vez obtenida la razón agua cemento (A/C) y la cantidad de agua (A) a introducir en la mezcla.

$$C = \frac{A}{A / C}$$

Tenemos entonces que las cantidades de cemento (C) para un metro cúbico de hormigón será de:

- **Dosificación H-30** C= **378 kg.**
- **Dosificación HF -3,6** C= **376 kg.**

Aire

La cantidad de aire considerada en la mezcla, se obtiene, según el tamaño máximo nominal del árido, de la tabla N° 23 de la norma NCh 170, “Hormigón- Requisitos generales”.

Entonces para el tamaño máximo nominal, de 40mm, que es el que posee el árido a utilizar en las mezclas, la cantidad de aire a considerar es de **10 lts**. Esta cantidad es utilizada para las dos dosificaciones ya que el material será el mismo.

Áridos

La cantidad de los áridos se calcularán de la siguiente forma:

Donde:

$$V = 1000 - \left(A + \frac{C}{3} + \text{aire} \right)$$

V : Volumen que ocupará los áridos.

A : Dosis de agua, calculada anteriormente.

C : Cantidad de cemento, calculado anteriormente.

Aire : Cantidad de aire, calculado anteriormente.

➤ **Dosificación H-30** **V = 694 lts.**

➤ **Dosificación HF-3,6** **V = 705 lts.**

Obtenido V, se calculará el peso de los áridos, lo que se hará utilizando la siguiente formula:

$$P = V * \frac{\partial_{rgrava} * \partial_{rarena} * \partial_{rgravilla}}{\%_{gravilla} * \partial_{rgrava} * \partial_{rarena} + \%_{grava} * \partial_{rarena} * \partial_{rgravilla} + \%_{arena} * \partial_{rgrava} * \partial_{rgravilla}}$$

Donde:

P : Peso total de los áridos.

V : Volumen que ocupan los áridos.

∂_{rarena} : Densidad real arena.

%a : Porcentaje de arena.

$\partial_{rgravilla}$: Densidad real gravilla.

%gr : Porcentaje de gravilla.

∂_{rgrava} : Densidad real grava.

%g : Porcentaje de grava.

➤ **Dosificación H-30** **P = 1773 kg.**

Entonces tenemos que las cantidades de arena, gravilla y grava a introducir en la mezcla son las siguientes:

- Arena : $1773 \times 0.43 = 762$ [kg].
- Gravilla : $1773 \times 0.35 = 621$ [kg].
- Grava : $1773 \times 0.22 = 390$ [kg].

➤ **Dosificación HF-3,6** **P =1800 kg.**

Entonces tenemos que las cantidades de arena, gravilla y grava a introducir en la mezcla son las siguientes:

- Arena : $1800 \times 0.43 = 774$ [kg].
- Gravilla : $1800 \times 0.35 = 630$ [kg].
- Grava : $1800 \times 0.22 = 396$ [kg].

Obteniendo el siguiente resumen para un metro cúbico:

➤ **Hormigón H-30**

H-30		1 m³
Fr	Kgf/cm ²	340
Razón A/C	-	0,45
Dosis de agua	Lts.	170
Cemento	Kg	378
V. Árido	Lts.	694
Peso Àridos	Kg.	1773
Peso Grava	Kg.	390
Peso Gravilla	Kg.	620
Peso arena	Kg.	762

Tabla N° 25, Dosificación H-30 para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración Propia.

Las cantidades que se utilizarán en las mezclas de prueba son las siguientes:

H-30		20 lts
Dosis de agua	Lts.	3,4
Cemento	Kg	7,6
Peso Grava	Kg.	7,8
Peso Gravilla	Kg.	12,4
Peso Arena	Kg.	15,2

Tabla N° 26, Resumen dosificación H-30 para 20 lts.
Fuente: Elaboración Propia

➤ **Hormigón HF-3.6**

HF-3.6		1 m³
Fr	Kgf/cm ²	364
Razón A/C	-	0,425
Dosis de agua	Lts.	160
Cemento	Kg	376
V. Árido	Lts.	705
Peso Áridos	Kg.	1800
Peso Grava	Kg.	396
Peso Gravilla	Kg.	630
Peso arena	Kg.	774

Tabla N° 27, Dosificación HF-3,6 para un metro cúbico.
Fuente: Elaboración Propia

Las cantidades que se utilizarán en las mezclas de prueba son las siguientes:

HF-3,6		50 lts
Dosis de agua	Lts.	8
Cemento	Kg	18,8
Peso Grava	Kg.	19,8
Peso Gravilla	Kg.	31,5
Peso arena	Kg.	38,7

Tabla N° 28, Resumen dosificación HF-3,6 para 50 lts.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.2.- Dosis de Aditivo.

La dosis de aditivo se obtuvo según las recomendaciones del fabricante (Anexo 1) y se utilizará para este trabajo Sika Aer.

Según las recomendaciones del fabricante se debe aplicar de 0,03 a 0,12 kg de aditivo por cada 100 kg de cemento.

Los límites con respecto a las cantidades de aditivo que se incorporaran a las mezclas se debe a que en ensayos anteriores utilizando este aditivo incorporador de aire se sobrepasaba el contenido de aire permitido en la norma NCh 170, "Hormigón – Requisitos generales", la cual corresponde para el tamaño máximo nominal del árido de 40mm a $4,5 \pm 1,5$ % de contenido de aire, por consiguiente se utilizará la dosis mínima recomendada por el fabricante (0,03 kg de aditivo por cada 100 kg de cemento), la dosis media de la cantidad recomendada por el fabricante (0,06 kg de aditivo por cada 100 kg de cemento) y una dosis intermedia entre estas dos (0,045 kg de aditivo por cada 100 kg de cemento) para ver en forma gradual como varían las propiedades del hormigón y evitar una incorporación excesiva del contenido de aire.

Para la dosificación H-30, en la que se ocupará 7.6 kg de cemento y 3,6 lts de agua. La dosis mínima será 2,28 grs de aditivo y la dosis media es de 5.70 grs de aditivo.

- 1° será la dosis mínima de 2,28 grs, la que se designará como H-30-01.
- 2° será una dosis intermedia de 3,99 grs, la que se designará como H-30-02.
- 3° será una dosis media de 5,70 grs, la que se designará como H-30-03.

Para la dosificación HF-3,6, en la que se ocupará 18,8 kg de cemento y 9.7 lts de agua. La dosis mínima será 5,64 grs de aditivo y la dosis media de 14.10 grs de aditivo.

- 1° será la dosis mínima de 5,64 grs, la que se designará como HF-3,6-01.
- 2° será una dosis intermedia de 9,87 grs, la que se designará como HF-3,6-02.
- 3° será la dosis media de 14,10 grs, la que se designará como HF-3,6-03.

3.2.2.3.- Dosis de Agua.

Para las nuevas mezclas se mantendrá constante la cantidad de aditivo utilizado en cada una de las mezclas anteriores, pero se disminuirá la cantidad de agua utilizada.

La dosis de agua que se disminuirá para cada una de las mezclas será de un 10%, 15% y un 20% del agua que se obtuvo en la dosificación.

(*) La cantidad de agua calculada fue modificada cuando se confeccionó el hormigón patrón, por lo que en todas las mezclas de H-30 se utilizará la misma cantidad que en el patrón.

Para la dosificación H-30-01, en la que se ocupará 7.6 kg de cemento, 2,28 grs de aditivo y 3,6 lts de agua, se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 3,24 lts de agua, la que se designará como H-30-01-01.
- 2º será la cantidad de 3,06 lts de agua, la que se designará como H-30-01-02.
- 3º será la cantidad de 2,28 lts de agua, la que se designará como H-30-01-03.

Para la dosificación H-30-02, en la que se ocupará 7.6 kg de cemento, 3,99 grs de aditivo y 3,6 lts de agua, se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 3,24 lts de agua, la que se designará como H-30-02-01.
- 2º será la cantidad de 3,06 lts de agua, la que se designará como H-30-02-02.
- 3º será la cantidad de 2,28 lts de agua, la que se designará como H-30-02-03.

Para la dosificación H-30-03, en la que se ocupará 7.6 kg de cemento, 5,70 grs de aditivo y 3,6 lts de agua, se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 3,24 lts de agua, la que se designará como H-30-03-01.
- 2º será la cantidad de 3,06 lts de agua, la que se designará como H-30-03-02.
- 3º será la cantidad de 2,28 lts de agua, la que se designará como H-30-03-03.

(*) La cantidad de agua calculada fue modificada cuando se confeccionó el hormigón patrón, por lo que en todas las mezclas de HF-3,6 se utilizará la misma cantidad que en el patrón.

Para la dosificación HF-3,6-01, en la que se ocupará 18,8 kg de cemento, 5,64 grs de aditivo y 9,7 lts de agua, se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 8,73 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-01-01.
- 2º será la cantidad de 8,25 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-01-02.
- 3º será la cantidad de 7,76 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-01-03.

Para la dosificación HF-3,6-02, en la que se ocupará 18,8 kg de cemento, 9,87 grs de aditivo y se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 8,73 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-02-01.
- 2º será la cantidad de 8,25 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-02-02.
- 3º será la cantidad de 7,76 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-02-03.

Para la dosificación HF-3,6-03, en la que se ocupará 18,8 kg de cemento, 14,10 grs de aditivo y se disminuirá la dosis de agua, en las cuales se obtendrá la siguiente dosificación:

- 1º será la cantidad de 8,73 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-03-01.
- 2º será la cantidad de 8,25 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-03-02.
- 3º será la cantidad de 7,76 lts de agua, la que se designará como HF-3,6-03-03.

3.3.- Confección de Mezclas de Prueba.

Todas las mezclas de pruebas serán confeccionadas en una botonera de eje vertical según la norma NCh 1018 “Preparación de mezclas de prueba en laboratorio”.

A continuación se detallarán todos los pasos seguidos, en cada una de las muestras patrones.

1º.-El día anterior a la realización de los hormigones se procedió a mojar el árido, de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 1018.

2º.- El día de la confección de las muestras, antes de pesar los materiales se midió la humedad de los áridos y luego se procedió a realizar las correcciones por humedad.

A continuación se entregan resúmenes de las tablas de corrección:

Corrección para H-30

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,6	-1,772	1,828
Grava (kg)	7,8	0,14	7,94
Gravilla (kg)	12,4	0,262	12,662
Arena (kg)	15,2	1,89	17,09
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 29, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-01

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,6	-1,1	2,5
Grava (kg)	7,8	0,1	7,9
Gravilla (kg)	12,4	0,26	12,66
Arena (kg)	15,2	1,26	16,46
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 30, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-01.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-02 y H-30-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,6	-0,463	3,137
Grava (kg)	7,8	0,13	7,93
Gravilla (kg)	12,4	0,20	12,60
Arena (kg)	15,2	0,65	15,85
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 31, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-02 y H-30-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-01-01 y H-30-01-02

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,24	-0,83	2,41
Grava (kg)	7,8	0,1	7,9
Gravilla (kg)	12,4	0,15	12,55
Arena (kg)	15,2	1,1	16,3
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 32, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-01-01 y H-30-01-02
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-01-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	2,88	-0,71	2,17
Grava (kg)	7,8	0,19	7,99
Gravilla (kg)	12,4	0,24	12,64
Arena (kg)	15,2	0,8	16
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 33, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-01-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-02-01 y H-30-02-02

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,24	-1,25	1,99
Grava (kg)	7,8	0,12	7,92
Gravilla (kg)	12,4	0,31	12,71
Arena (kg)	15,2	1,34	16,54
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 34, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-02-01 y H-30-02-02.
Fuente: Elaboración Propia

Corrección para H-30-02-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	2,52	-0,71	1,81
Grava (kg)	7,8	0,19	7,99
Gravilla (kg)	12,4	0,24	12,64
Arena (kg)	15,2	0,8	16
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 35, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-02-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-03-01.

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,24	-1,23	2,01
Grava (kg)	7,8	0,1	7,7
Gravilla (kg)	12,4	0,26	12,14
Arena (kg)	15,2	1,39	13,81
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 36, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-03-01.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para H-30-03-02 y H-30-03-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	7,6	-	7,6
Agua (lts)	3,06	-0,61	2,45
Grava (kg)	7,8	0,11	7,91
Gravilla (kg)	12,4	0,25	12,65
Arena (kg)	15,2	0,77	15,97
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 37, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón H-30-03-02 y H-30-03-03.
Fuente: Elaboración Propia

Corrección para HF-3,6

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	9,7	-1,93	7,77
Grava (kg)	19,8	0,21	20,01
Gravilla (kg)	31,5	0,48	31,98
Arena (kg)	38,7	1,76	40,46
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 38, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6.
Fuente: Elaboración Propia

Corrección para HF-3,6-01

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	9,7	-2,9	6,8
Grava (kg)	19,8	0,3	20,1
Gravilla (kg)	31,5	0,65	32,15
Arena (kg)	38,7	2,47	41,17
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 39, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-01.
Fuente: Elaboración Propia

Corrección para HF-3,6-02

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	9,7	-2,65	7,05
Grava (kg)	19,8	0,34	20,14
Gravilla (kg)	31,5	0,65	32,15
Arena (kg)	38,7	2,18	40,88
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 40, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-02.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	9,7	-3,24	6,46
Grava (kg)	19,8	0,28	20,08
Gravilla (kg)	31,5	0,79	32,29
Arena (kg)	38,7	2,69	41,39
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 41, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-01-01

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	8,73	-2,7	6,03
Grava (kg)	19,8	0,37	20,17
Gravilla (kg)	31,5	0,62	32,12
Arena (kg)	38,7	2,23	40,93
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 42, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-01-01.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-01-02

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	8,25	-2,82	5,43
Grava (kg)	19,8	0,3	20,1
Gravilla (kg)	31,5	0,59	32,09
Arena (kg)	38,7	2,45	41,15
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 43, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-01-02.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-01-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	7,76	-2,25	5,51
Grava (kg)	19,8	0,49	19,31
Gravilla (kg)	31,5	0,62	30,88
Arena (kg)	38,7	1,66	37,04
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 44, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-01-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-02-01

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	8,73	-2,64	6,09
Grava (kg)	19,8	0,3	20,1
Gravilla (kg)	31,5	0,58	32,08
Arena (kg)	38,7	2,28	40,98
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 45, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-02-01.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-02-02.

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	8,25	-2,49	5,76
Grava (kg)	19,8	0,39	20,19
Gravilla (kg)	31,5	0,65	32,15
Arena (kg)	38,7	1,97	40,67
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 46, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-02-02.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-02-03.

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	7,76	-2,92	4,84
Grava (kg)	19,8	0,33	20,13
Gravilla (kg)	31,5	0,62	32,12
Arena (kg)	38,7	2,49	41,19
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 47, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-02-03.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-03-01

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	7,2	-2,87	4,33
Grava (kg)	19,8	0,26	20,06
Gravilla (kg)	31,5	0,68	32,18
Arena (kg)	38,7	2,45	41,15
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 48, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-03-01.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-03-02

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	6,8	-2,76	4,04
Grava (kg)	19,8	0,33	20,13
Gravilla (kg)	31,5	0,67	32,17
Arena (kg)	38,7	2,28	40,98
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 49, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-03-02.
Fuente: Elaboración Propia.

Corrección para HF-3,6-03-03

	Cantidad	Aporte de humedad	Cantidad corregida
Cemento (kg)	18,8	-	18,8
Agua (lts)	6,4	-2,89	3,51
Grava (kg)	19,8	0,34	20,14
Gravilla (kg)	31,5	0,51	32,01
Arena (kg)	38,7	2,56	41,26
Agua abs (lts)	0,52	-	-

Tabla N° 50, Corrección por humedad utilizada en confección de hormigón HF-3,6-03-03.
Fuente: Elaboración Propia.

3°.- Realizada ya las correcciones, se procede a medir los materiales, según cantidad corregida.

La medición del aditivo se hizo en peso, en una balanza de 0,001 grs de precisión.

4°.- Reunido todos los materiales se procedió a ejecutar la mezcla de la siguiente forma:

- Previo a esto se humedeció la betonera, para esta no absorbiera el agua de amasado.
- Se introdujo en primer lugar la arena y luego el cemento, los cuales se mezclaron hasta quedar de apariencia homogénea.
- Posteriormente se agrego la gravilla, y se mezclo hasta quedar de apariencia homogénea.
- Luego se agrego la grava, y se volvió a mezclar nuevamente hasta quedar de apariencia homogénea.
- Finalmente, en el caso del los hormigones patrones se agregó solamente agua, en las otras mezclas, en el agua de amasado iba incluido además el aditivo, tal como lo indica el fabricante. El agua y el aditivo se agregaron a la betonera funcionando y se siguió mezclando hasta que la mezcla quedo de apariencia uniforme.

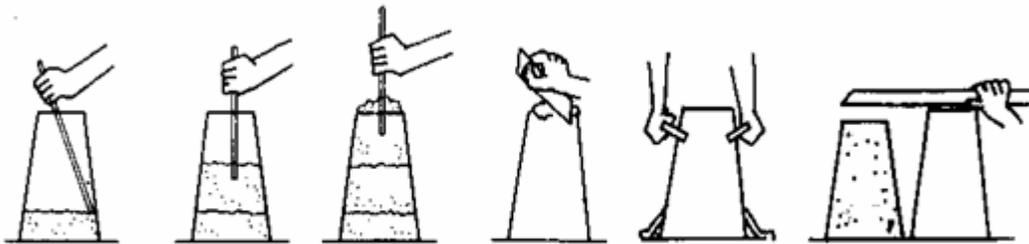


Fotografía N° 1: Betonera con arena y cemento.



Fotografía N° 2: Mezcla de Hormigón en estado fresco.

5°.- Se determinó la docilidad del hormigón, mediante el Método del asentamiento del cono de Abrams.



Ensayo de asentamientos del cono de Abrams.

Imagen N° 4, Ensayo de Asentamiento del cono de Abrams.

Fuente: Compendio tecnología del hormigón.



Fotografías N° 3: Procedimiento para el ensayo de asentamiento del cono de Abrams.

Los resultados obtenidos se incluirán en el capítulo IV de ensayos y resultados.

6°.- Se procede a llenar las probetas de ensayo, lo que fue realizado según la norma NCh 1017. La forma que se llenaron los moldes estuvo condicionada al asentamiento del cono, ya que este nos limita a compactar con vibrador o con pisón.

- ◆ Moldes compactados por vibrado, fueron aquellos en que el asentamiento del cono fue ≤ 5 cm. Y se realizó de la siguiente forma.
 - Se llenaron los moldes en una sola capa, tanto los cúbicos como los prismáticos.
 - En los moldes cúbicos se introdujo el vibrador en forma vertical en el centro, se hizo llegar hasta casi 2 cm del fondo, una vez aparecida la lechada, el vibrador se retiró lentamente.
 - En los moldes prismáticos se introdujo el vibrador en tres partes, repartidas uniformemente en el eje longitudinal central, también las inserciones se hicieron hasta casi llegar a los 2 cm del fondo y el vibrador fue retirado lentamente, una vez aparecida la lechada.
- ◆ Moldes compactados con varilla-pisón, fueron todos aquellos en que el cono fue superior a 5 cm.
 - Se colocó el hormigón en dos capas, tanto en los moldes cúbicos como en los prismáticos, se apisonó cada capa con 18 golpes para los moldes cúbicos y 64 golpes para los prismáticos.



Fotografías N° 4: Vibrado de moldes prismáticos mediante vibrador eléctrico .

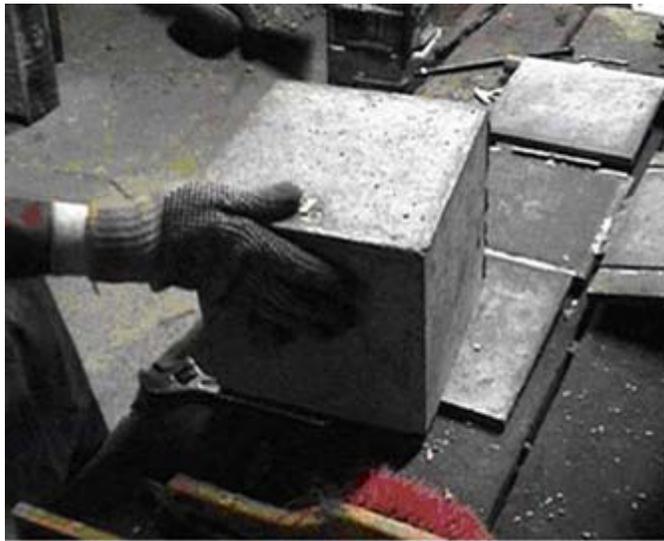


Fotografías N° 6: Vibrado de moldes cúbicos mediante varilla-pisón.

7°.- Luego de compactado los moldes, se procedió enrasar con la varilla pisón haciendo movimientos de aserrado, y finalmente con una llana se procede a darle la terminación final.

8°.- Las muestras, se dejan en un lugar seguro, protegidas del sol y de toda contaminación, se identifican, con un papel provisorio hasta su desmolde, donde serán marcadas definitivamente.

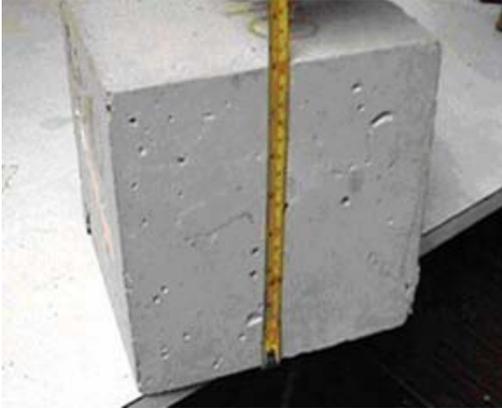
9°.- Luego de 48 hrs. se procede a desmoldar las probetas, teniendo especial cuidado de no dañarlas. Se identifican definitivamente.



Fotografías N° 6: desmolde de probetas cúbicas para luego ser pesadas, medidas y ensayadas.

10°.- Se trasladan las probetas hasta la piscina de curado, donde se mantendrán sumergidas en agua a una temperatura controlada, entre 17 y 23°C, hasta la fecha de ensayo.

11° Después de transcurrido 7 días se procede a medir los lados de la probeta y obtener su peso para luego realizar el ensayo a compresión y a flexotracción de las probetas cúbicas y cilíndricas obteniendo las primeras resistencias.



Fotografías N° 7: Medición de esquadría y masa de la probeta.

12° Transcurridos los 28 días se procederá a ensayar las probetas y se obtendrán las resistencias máximas.



Fotografías N° 8: Ensayo de compresión a una probeta cúbica correspondiente a la mezcla patrón (antes del ensayo).



Fotografías N° 9: Ensayo de compresión a una probeta cúbica correspondiente a la mezcla patrón (después del ensayo).



Fotografía N° 10: Ensayo de flexotracción a una probeta cilíndrica correspondiente a la mezcla con la tercera dosis de aditivo incorporador de aire y un 10% menos de agua (antes del ensayo).



Fotografía N° 11: Ensayo de flexotracción a una probeta cilíndrica correspondiente a la mezcla con la tercera dosis de aditivo incorporador de aire y un 10% menos de agua (después del ensayo).

CAPITULO IV

ENSAYOS Y RESULTADOS.

4.1.- Ensayo de Asentamiento del Cono de Abrams

Este ensayo se realizó siguiendo todo lo establecido en la norma NCh 1019.

4.1.1.- Resultados:

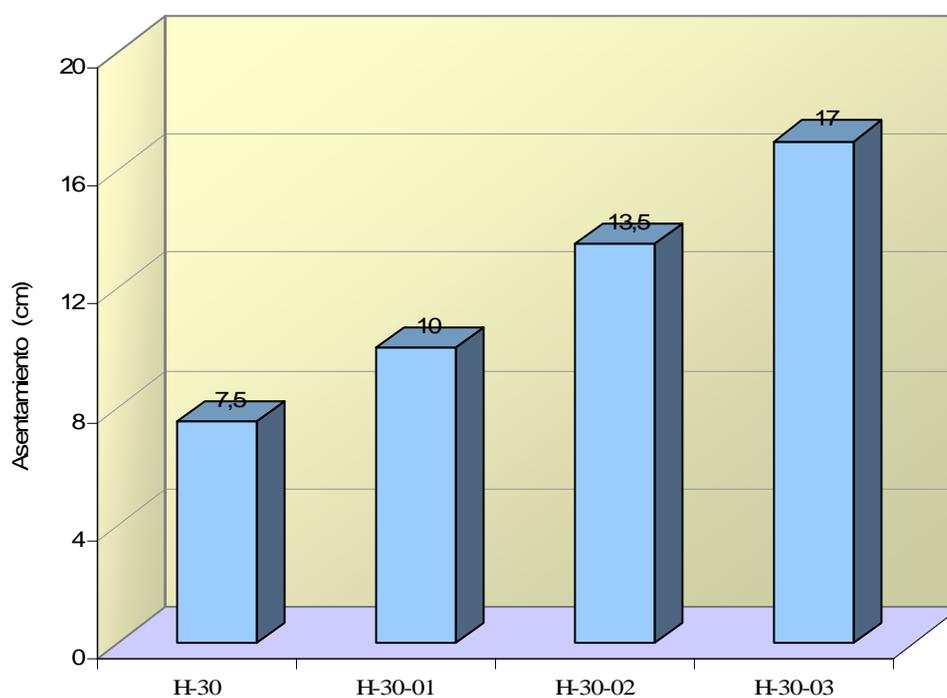
❖ Hormigón H-30

Hormigón H-30	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
H-30	16	12,8	7,5	-
H-30-01	13,2	10	10	2,5
H-30-02	13,4	9,3	13,5	6
H-30-03	14,1	9,2	17	9,5

Tabla N° 51, Resultados en la medición del cono, al agregar aditivo incorporador de Aire al hormigón H-30.

Fuente: Elaboración Propia.

Variación del Cono respecto al Patrón H-30, al agregar aditivo incorporador de Aire.



Mezclas con Variación de Aditivo.

Gráfico N° 1

Hormigón H-30-01	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
H-30-01	13,2	10	10	-
H-30-01-01	14,9	9,8	9	-1
H-30-01-02	14,1	9,7	7	-3
H-30-01-03	14,3	10	3	-7

Tabla N° 52, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30-01.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón H-30-01,
al disminuir la cantidad de agua.**

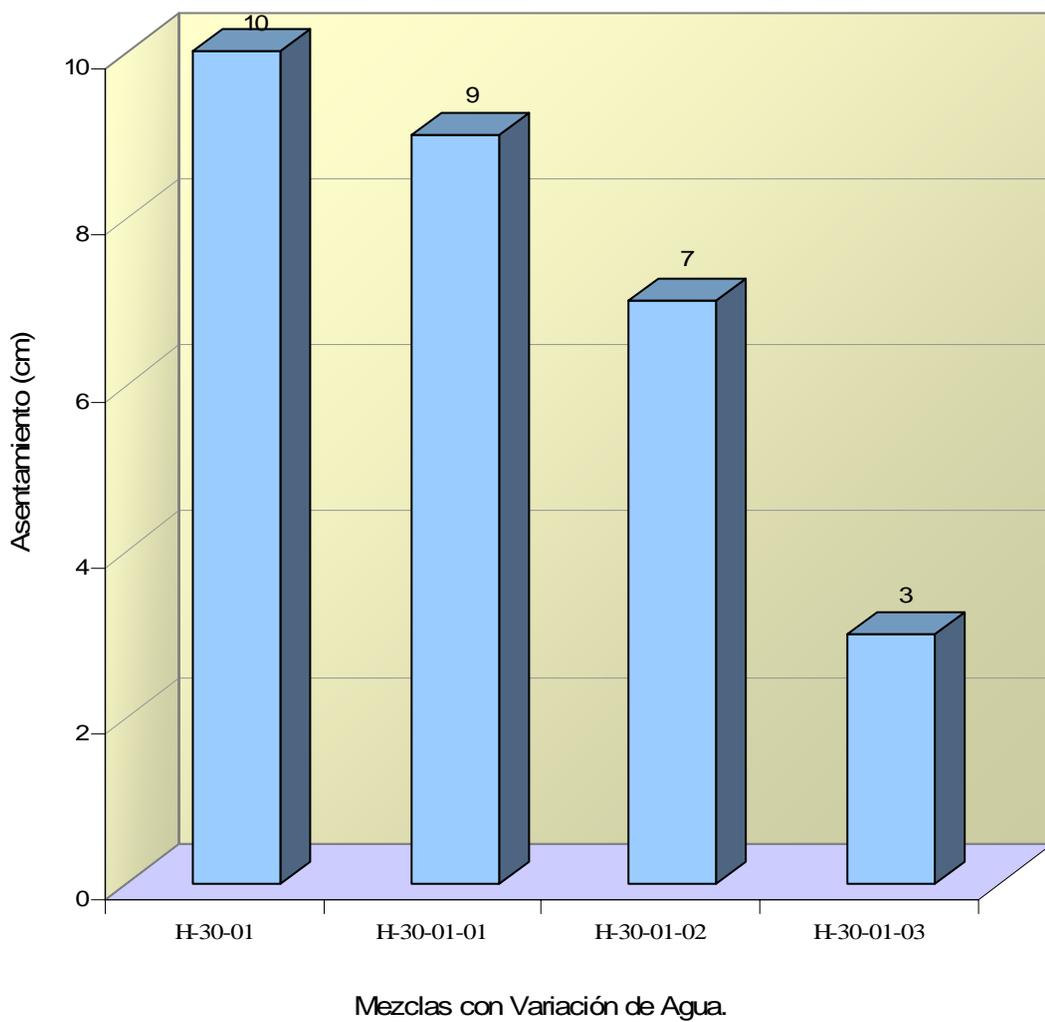


Gráfico N° 2

Hormigón H-30-02	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
H-30-02	13,4	9,3	13,5	-
H-30-02-01	14,3	10,1	11	-2,5
H-30-02-02	13,4	9,8	7,5	-6
H-30-02-03	14,3	9,8	3,5	-10

Tabla N° 53, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30-02.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón H-30-02.
Al disminuir la cantidad de agua.**

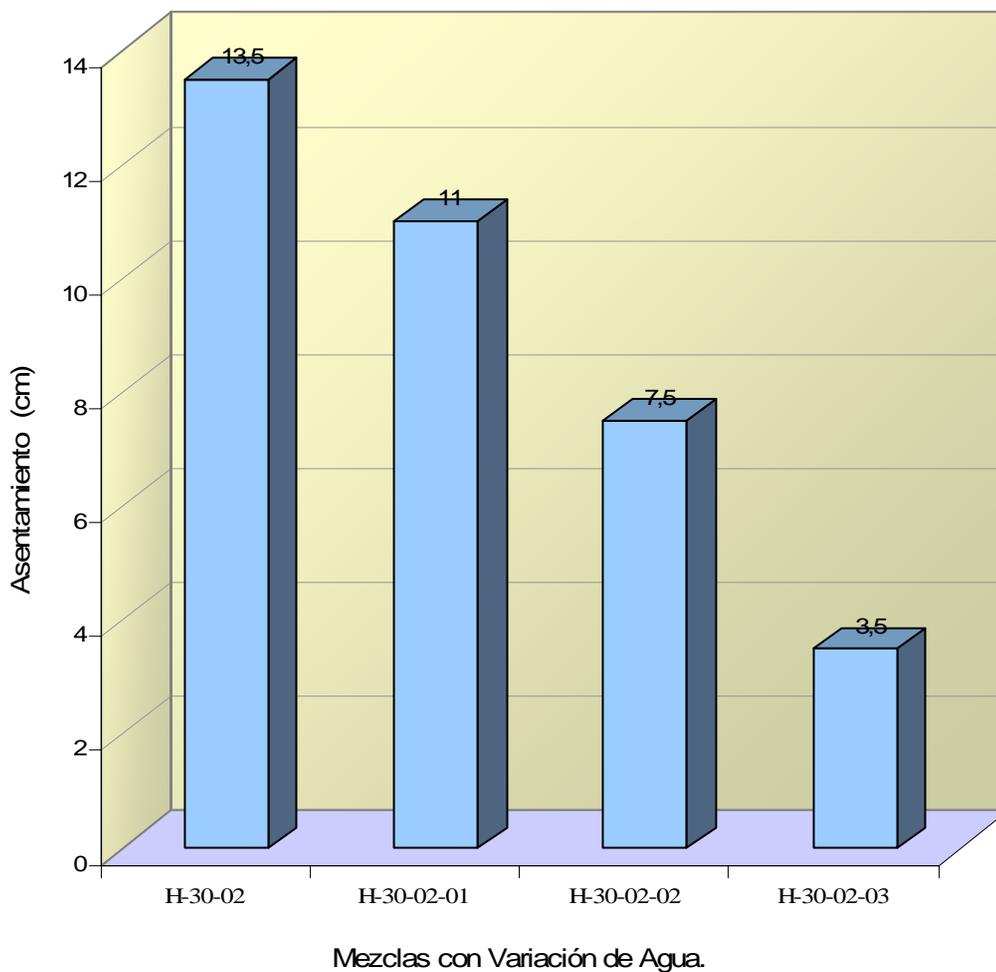


Gráfico N° 3

Hormigón H-30-03	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
H-30-03	14,1	9,2	17	-
H-30-03-01	15,9	12,1	12,5	-4,5
H-30-03-02	16,7	14,3	8	-9
H-30-03-03	18,3	15,5	4,5	-12,5

Tabla N° 54, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30-03.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón H-30-03,
Al disminuir la cantidad de agua.**

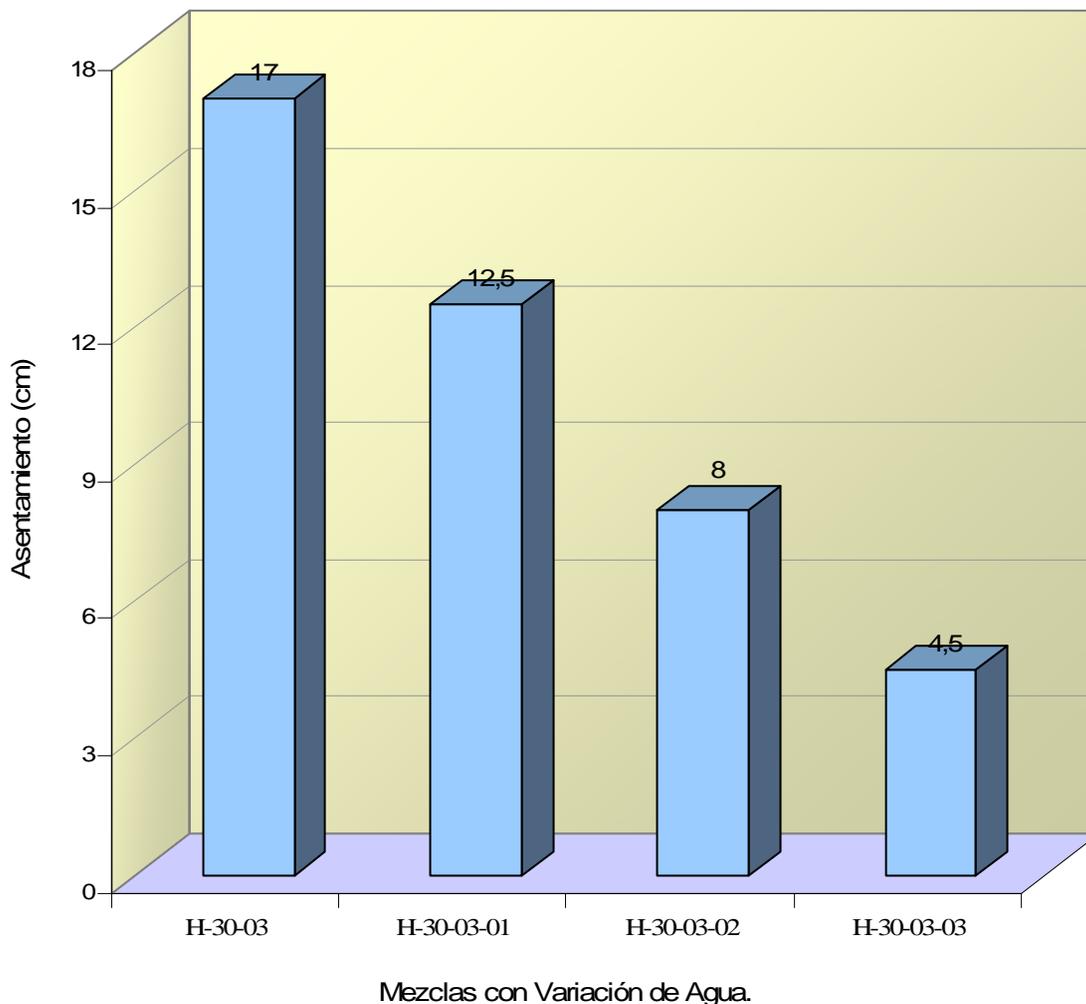


Gráfico N° 4

Resumen de Docilidad según Dosis de Aditivo y Agua, para el Hormigón H-30.

H-30	Mezclas Patrón (cm)	1er Dosis Aditivo (cm)	2do Dosis Aditivo (cm)	3er Dosis Aditivo (cm)
Patrón de Agua	7,5	10	13,5	17
1er Dosis Agua	-	9	11	12,5
2do Dosis Agua	-	7	7,5	8
3er Dosis Agua	-	3	3,5	4,5

Tabla N° 55, Resumen de Docilidad, al incorporar aditivo Incorporador de Aire y disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30.

Fuente: Elaboración Propia.

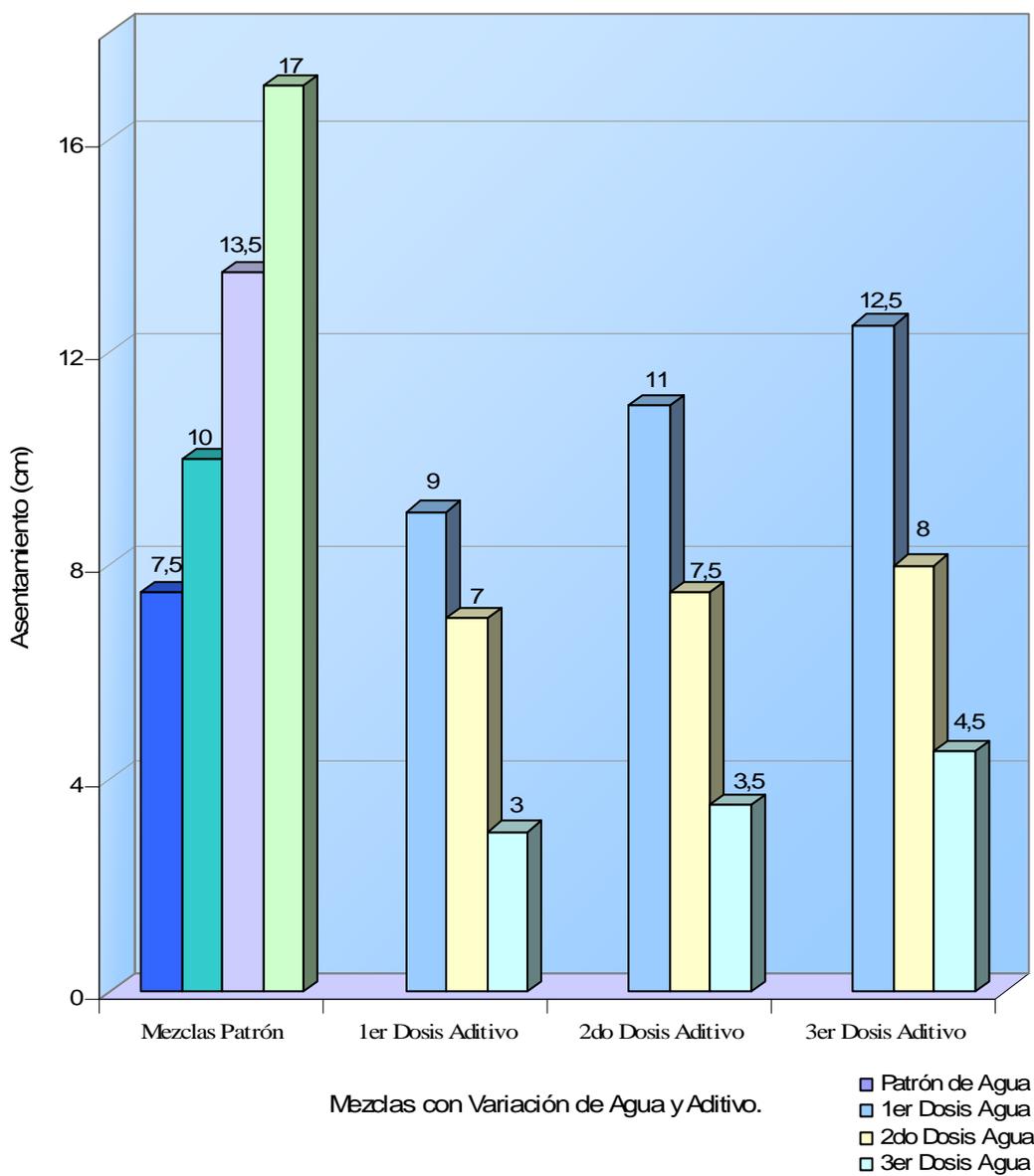


Gráfico N° 5

❖ **Hormigón HF-3,6**

Hormigón HF-3,6	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
HF-3,6	17,9	11,8	5	-
HF-3,6-01	17,5	12,1	9,5	4,5
HF-3,6-02	18,1	11,8	13	8
HF-3,6-03	17,4	11,6	17	12

Tabla N° 56, Resultados en la medición del cono, al agregar aditivo incorporador de Aire al hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón HF-3,6
al agregar aditivo incorporador de Aire.**

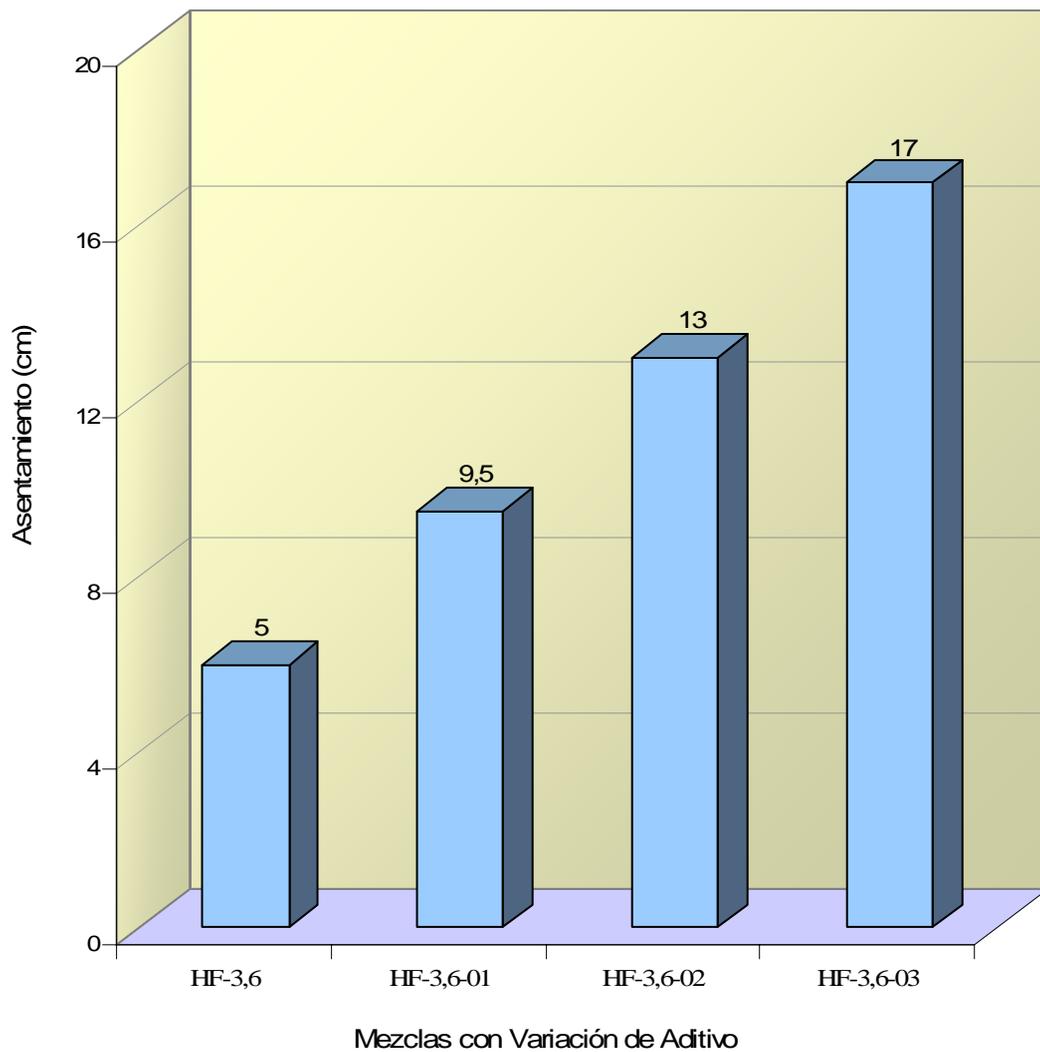


Gráfico N° 6

Hormigón HF-3,6-01	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
HF-3,6-01	17,5	12,1	9,5	-
HF-3,6-01-01	16	12,4	7,5	-2
HF-3,6-01-02	15,9	12,5	6,5	-3
HF-3,6-01-03	16,4	12,4	5,5	-4

Tabla N° 57, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Variación del Cono respecto al Patrón HF-3,6-01 al disminuir la cantidad de agua.

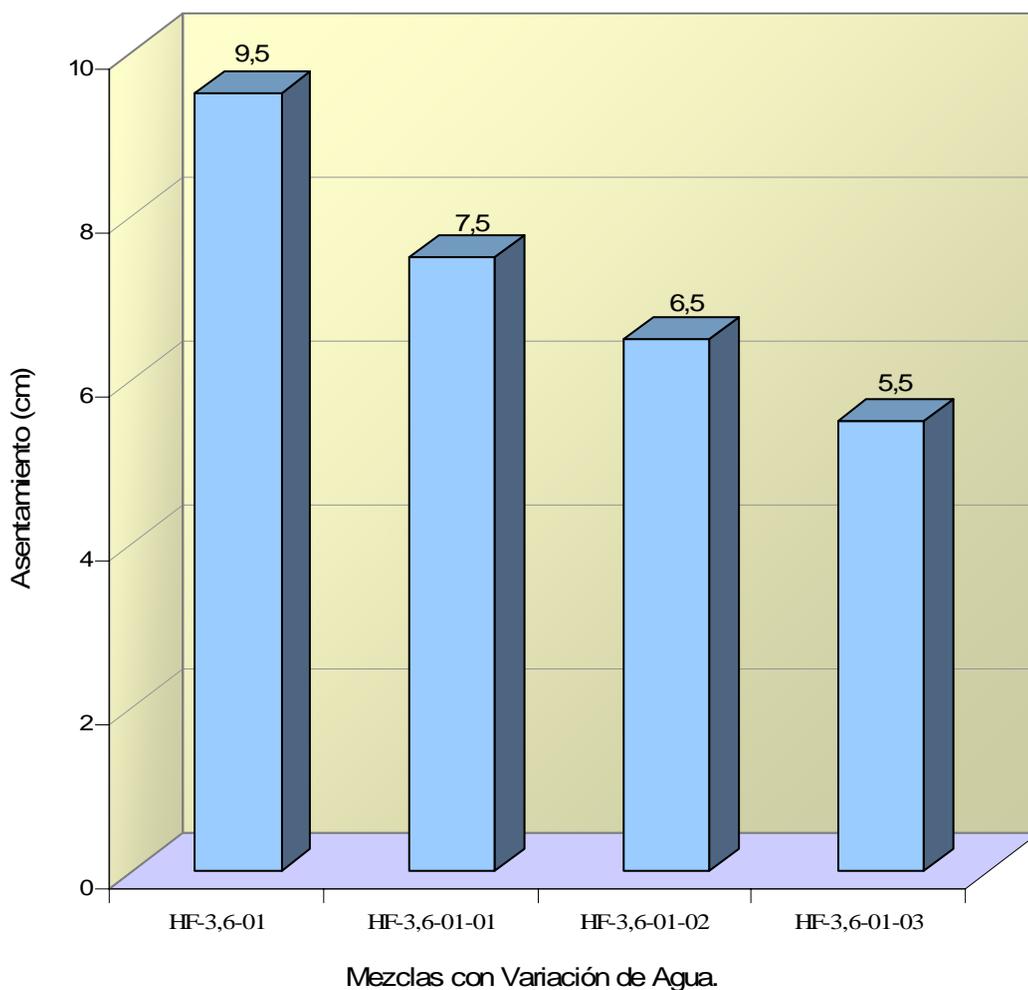


Gráfico N° 7

Hormigón HF-3,6-02	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
HF-3,6-02	18,1	11,8	13	-
HF-3,6-02-01	16,4	10,9	10	-3
HF-3,6-02-02	17,3	11,3	7,5	-5,5
HF-3,6-02-03	15,7	11,3	6,5	-6,5

Tabla N° 58, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-02.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón HF-3,6-02
Al disminuir la cantidad de agua.**

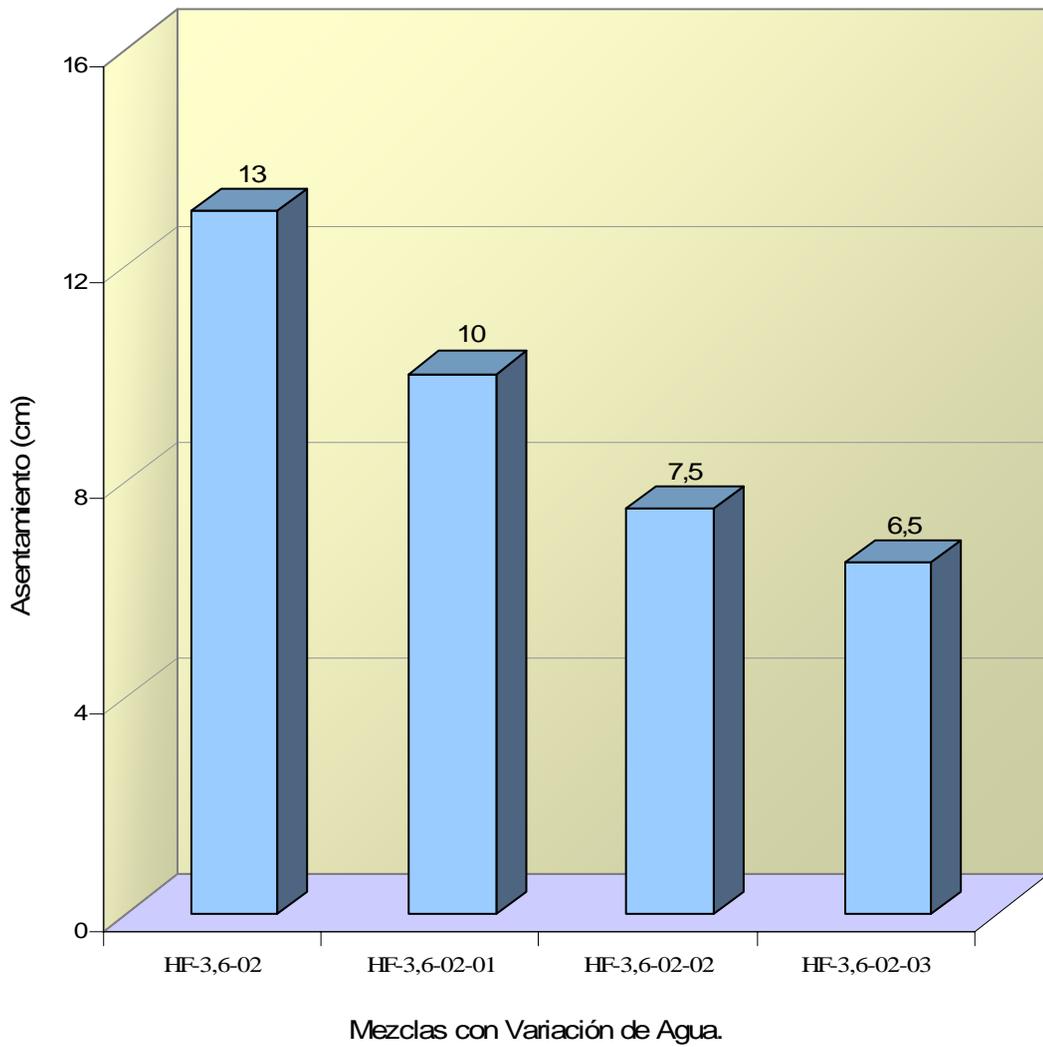


Gráfico N° 8

Hormigón HF-3,6-03	Temperatura de (°C)		Cono (cm)	Variación del cono con respecto al patrón (cm)
	Mezcla	Ambiente		
HF-3,6-03	17,4	11,6	17	-
HF-3,6-03-01	16,8	11,2	15	-2
HF-3,6-03-02	16,1	11	11	-6
HF-3,6-03-03	16,7	11,5	9,5	-7,5

Tabla N° 59, Resultados en la medición del cono, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-03.

Fuente: Elaboración Propia.

**Variación del Cono respecto al Patrón HF-3,6-03
al disminuir la cantidad de agua.**

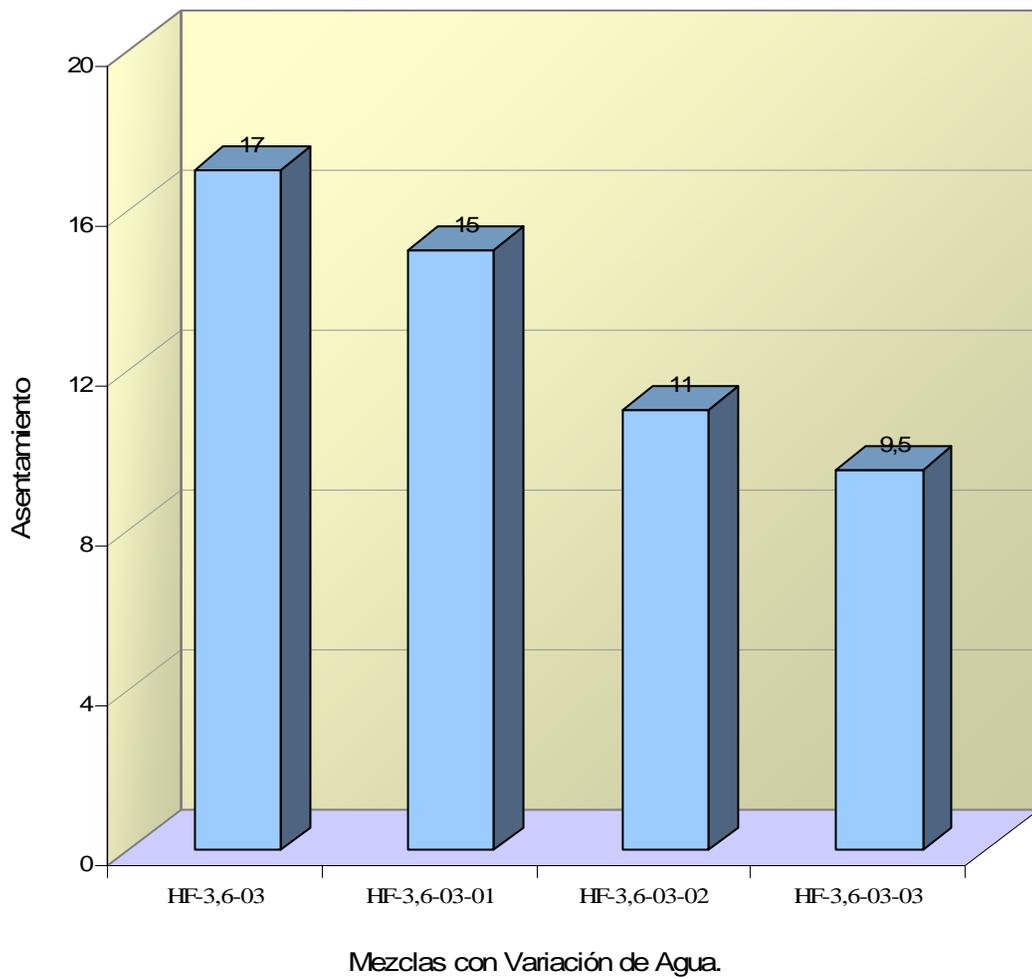


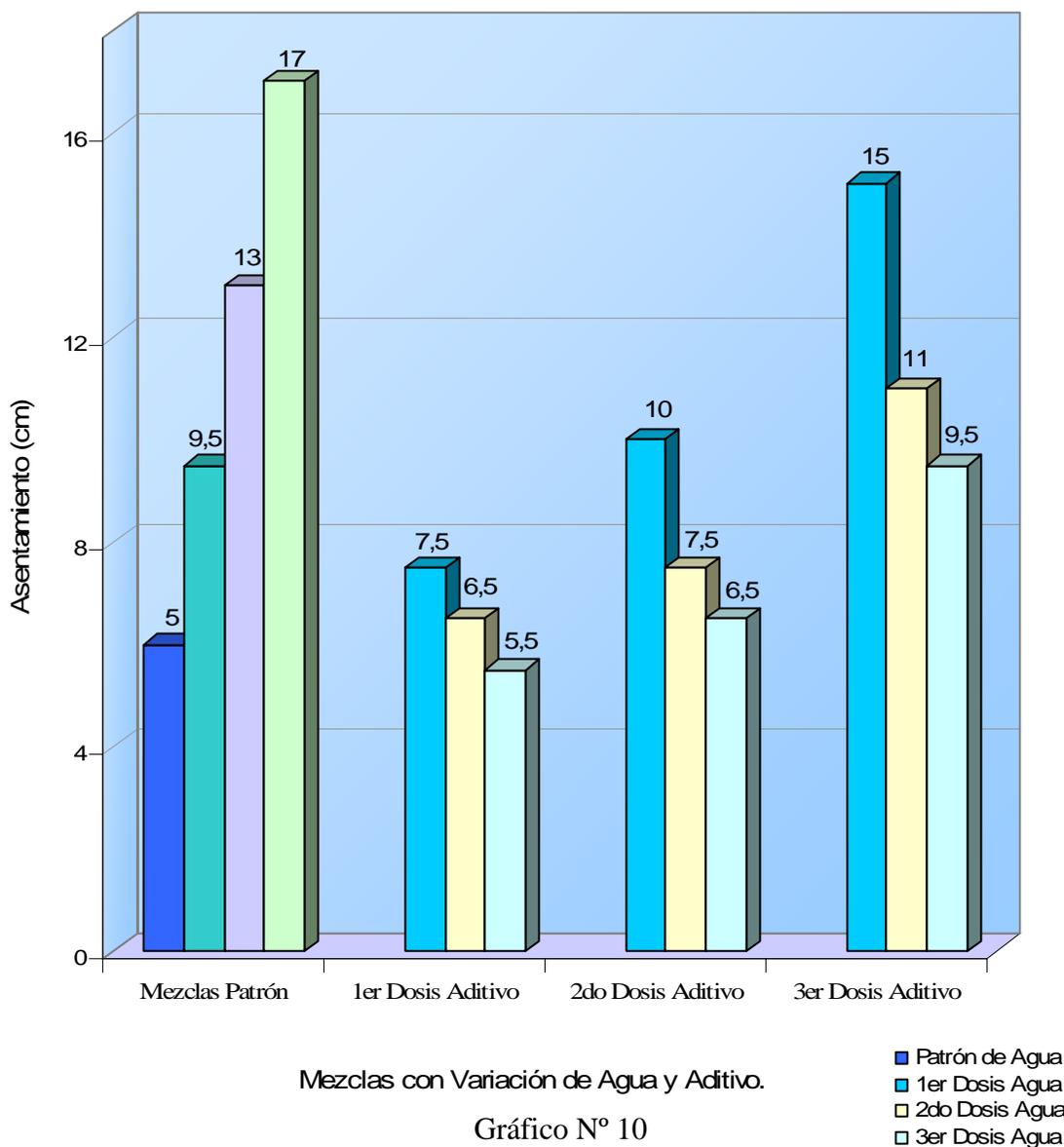
Gráfico N° 9

Resumen de Docilidad según Dosis de Aditivo y Agua, para el Hormigón HF-3,6.

	Mezclas Patrón (cm)	1er Dosis Aditivo (cm)	2do Dosis Aditivo (cm)	3er Dosis Aditivo (cm)
Patrón de Agua	5	9,5	13	17
1er Dosis Agua	-	7,5	10	15
2do Dosis Agua	-	6,5	7,5	11
3er Dosis Agua	-	5,5	6,5	9,5

Tabla N° 60, Resumen de Docilidad, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.



4.2.- Ensayos de Compresión.

Este ensayo se realizó siguiendo todo lo establecido en la norma NCh 1037.

4.2.1.- Densidades

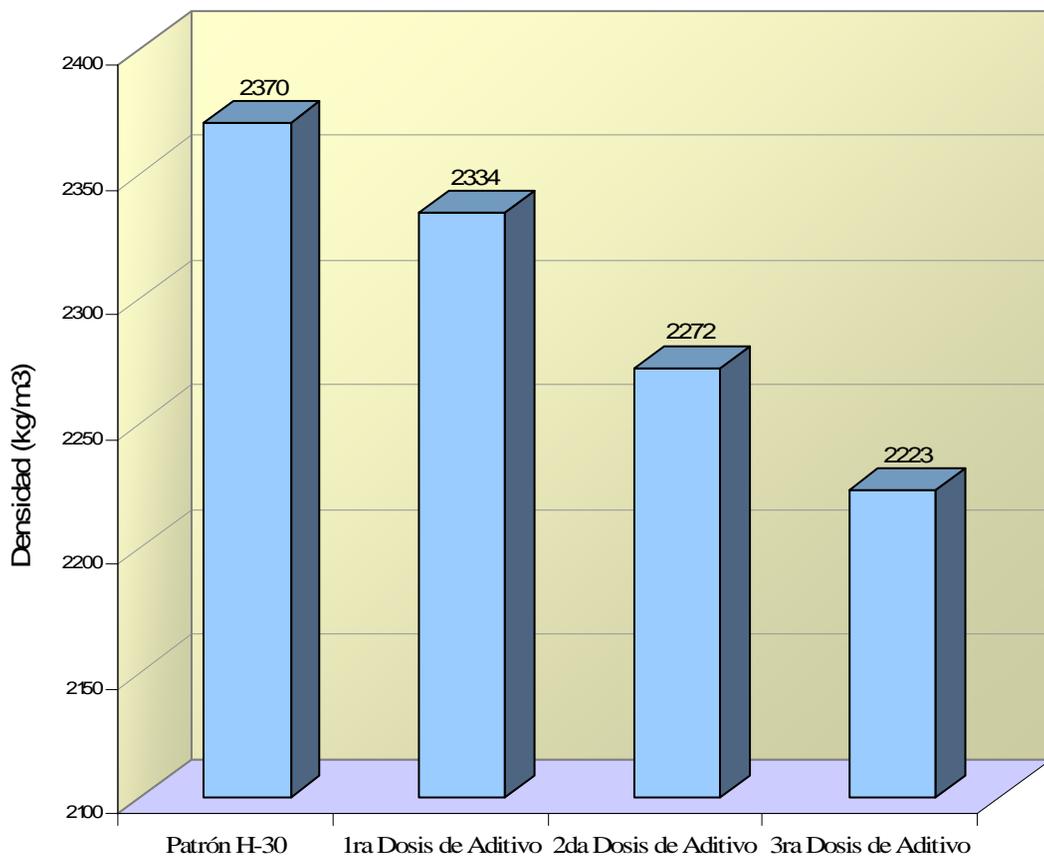
Promedio de densidades y variaciones producidas según dosis de aditivo.

❖ Hormigón H-30

	Promedio de Densidades (Kg/m ³)	Variación de Densidad (Kg/m ³)	Variación (%)
Patrón H-30	2370	-	-
1ra Dosis de Aditivo	2334	-36	-2
2da Dosis de Aditivo	2272	-98	-4
3ra Dosis de Aditivo	2223	-147	-6

Tabla N° 61, Densidades promedio, al agregar aditivo Incorporador de Aire al hormigón H-30.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades H-30
al agregar aditivo Incorporador de Aire.**



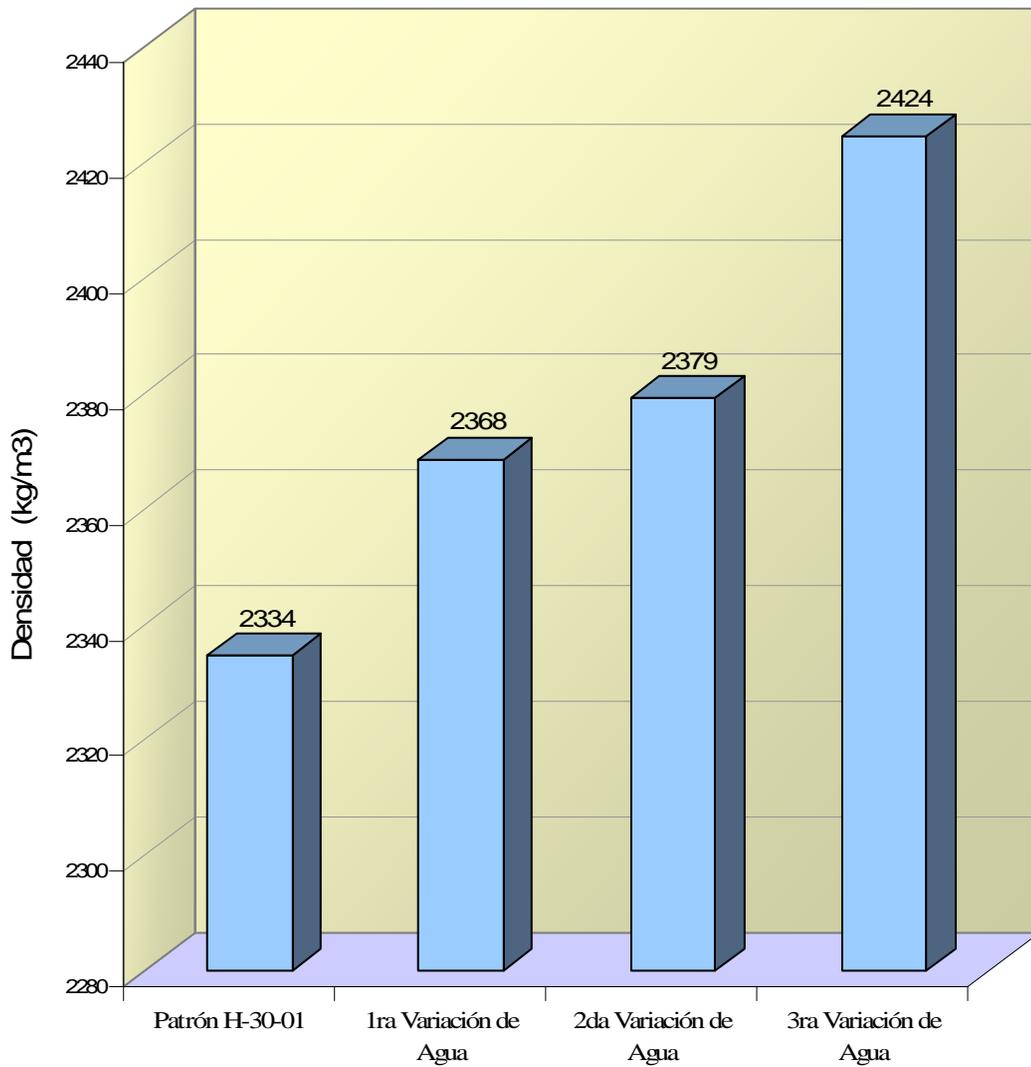
Mezclas con Variación de Aditivo.

Gráfico N° 11

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón H-30-01	2334	-	-
1ra Variación de Agua	2368	34	1
2da Variación de Agua	2379	45	2
3ra Variación de Agua	2424	90	4

Tabla N° 62, Densidades promedio, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-01.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades H-30-01
Al disminuir la cantidad de agua.**



Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 12

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón H-30-02	2272		
1ra Variación de Agua	2321	49	2
2da Variación de Agua	2339	67	3
3ra Variación de Agua	2359	87	4

Tabla N° 63 Densidades promedios, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-02.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades H-30-02
al disminuir la cantidad de agua.**

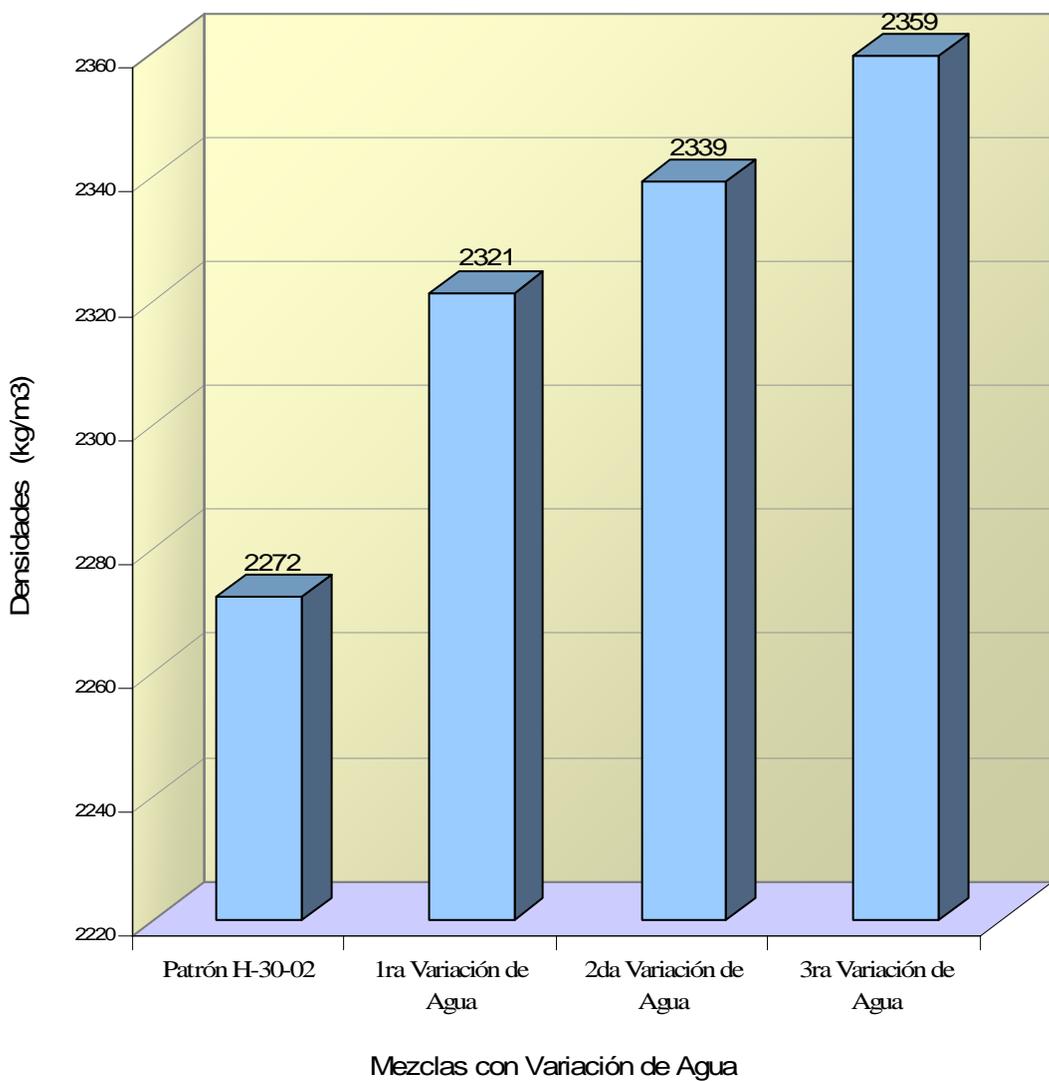


Gráfico N° 13

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón H-30-03	2223	-	-
1ra Variación de Agua	2261	38	2
2da Variación de Agua	2300	77	3
3ra Variación de Agua	2332	109	5

Tabla N° 64, Densidades promedios, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-03.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades H-30-03
Al disminuir la cantidad de agua.**

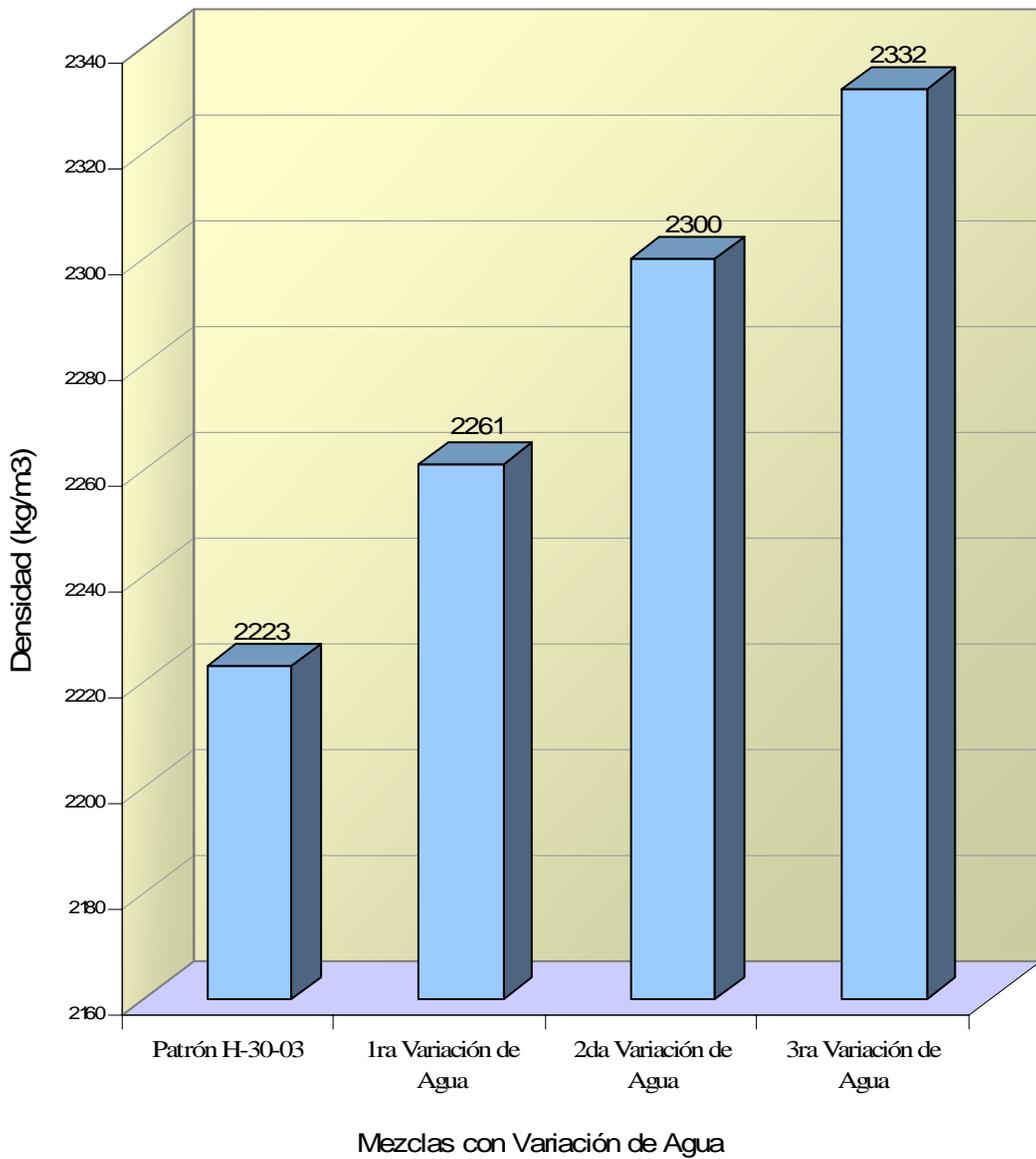


Gráfico N° 14

Resumen de Densidades según Dosis de Aditivo y Agua, para el Hormigón H-30.

Hormigón H-30	Mezclas Patrón (Kg/m ³)	1er Dosis Aditivo (Kg/m ³)	2do Dosis Aditivo (Kg/m ³)	3er Dosis Aditivo (Kg/m ³)
Patrón de Agua	2,37	2,33	2,27	2,22
1er Dosis Agua	-	2,37	2,32	2,26
2do Dosis Agua	-	2,38	2,34	2,3
3er Dosis Agua	-	2,42	2,36	2,33

Tabla N° 65, Resumen de Densidades, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón H-30.

Fuente: Elaboración Propia.

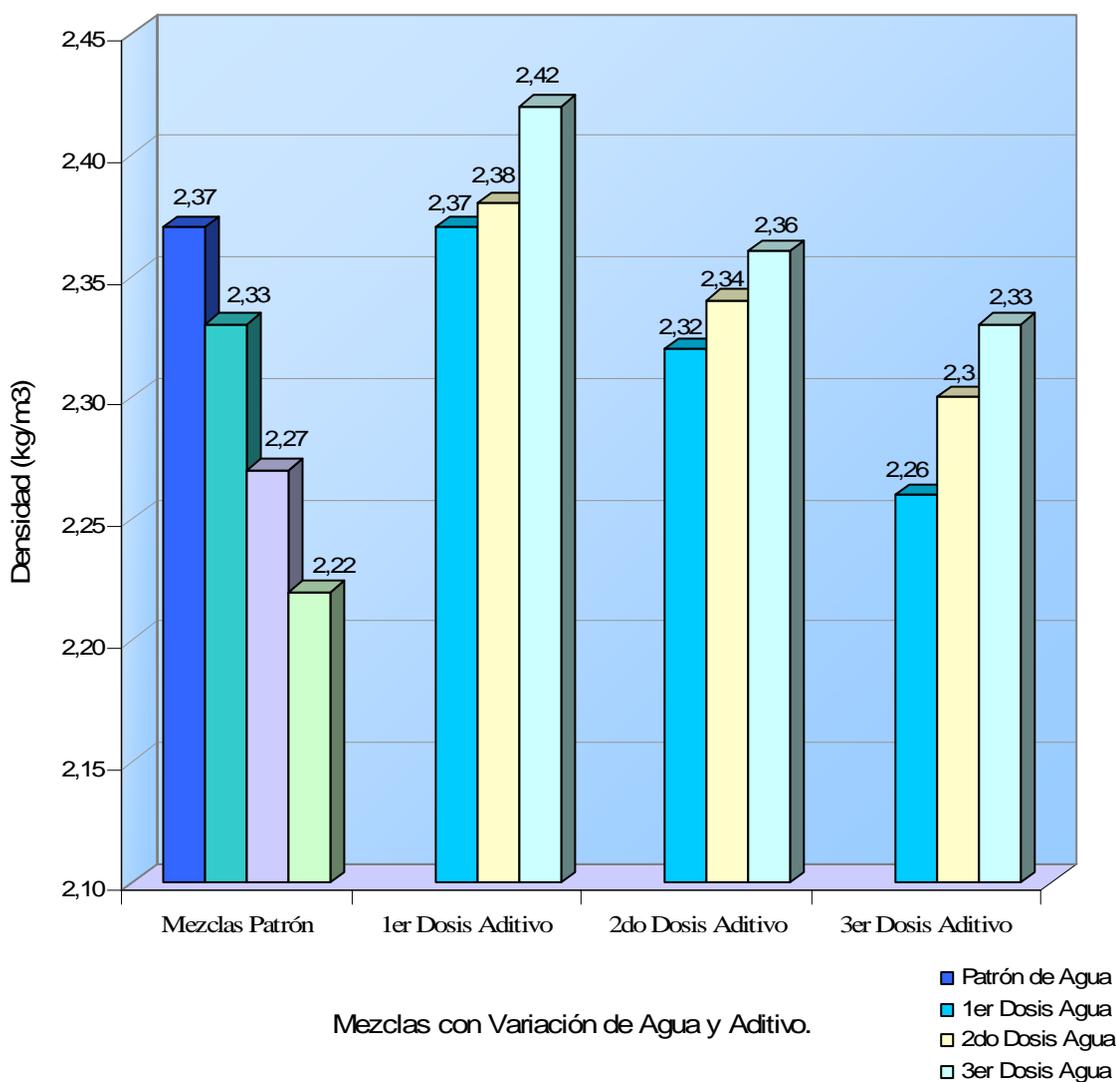


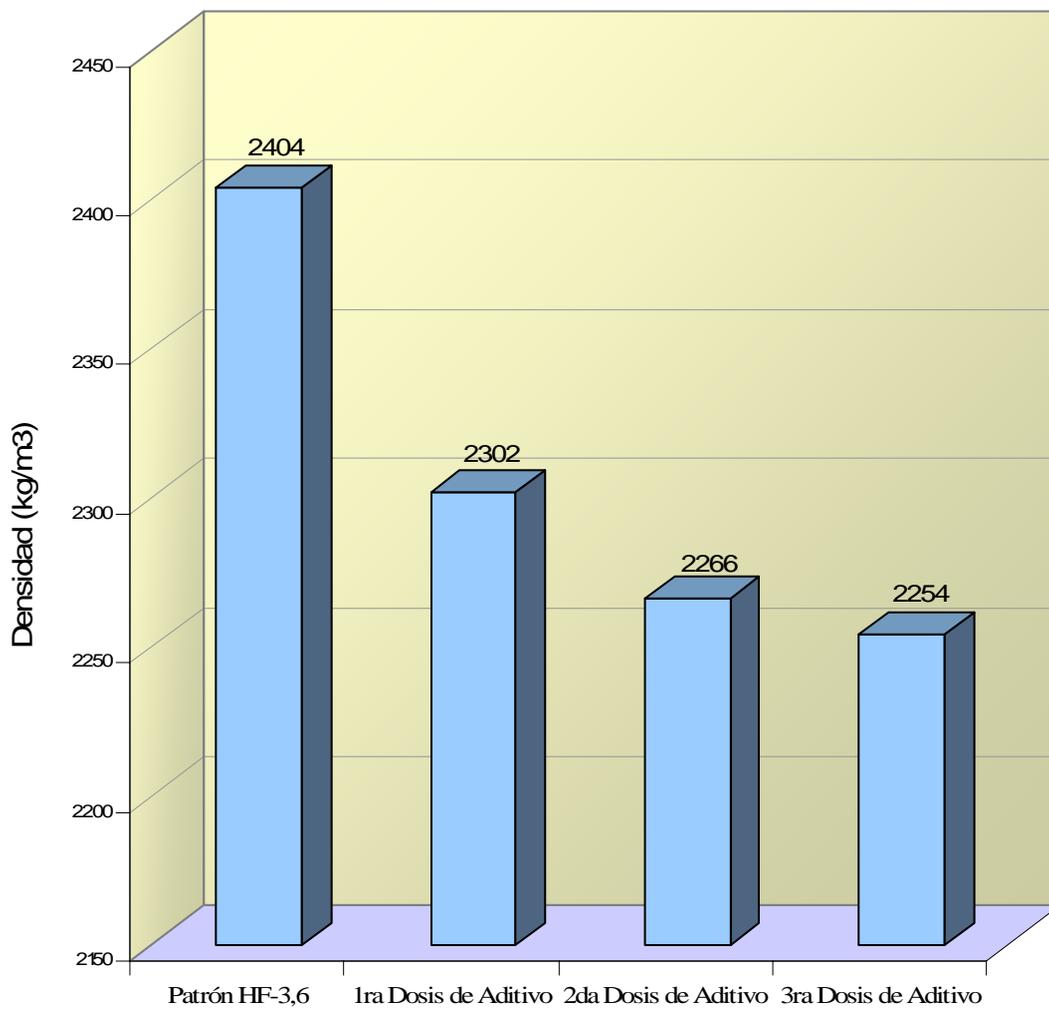
Gráfico N° 15

❖ **Hormigón HF-3,6**

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón HF-3,6	2404		
1ra Dosis de Aditivo	2302	-101,56	-4
2da Dosis de Aditivo	2266	-137,62	-6
3ra Dosis de Aditivo	2254	-149,46	-7

Tabla N° 66, Densidades promedios, al agregar aditivo incorporador de Aire al hormigón HF-3,6.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades HF-3,6
Al agregar aditivo Incorporador de Aire.**



Mezclas con Variación de Aditivo.

Gráfico N° 16

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón HF-3,6-01	2302	-	-
1ra Variación de Agua	2313	11	0,5
2da Variación de Agua	2331	29	1,3
3ra Variación de Agua	2359	57	2,5

Tabla N° 67, Densidades promedios, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-01.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades HF-3,6-01
Al disminuir la cantidad de agua.**

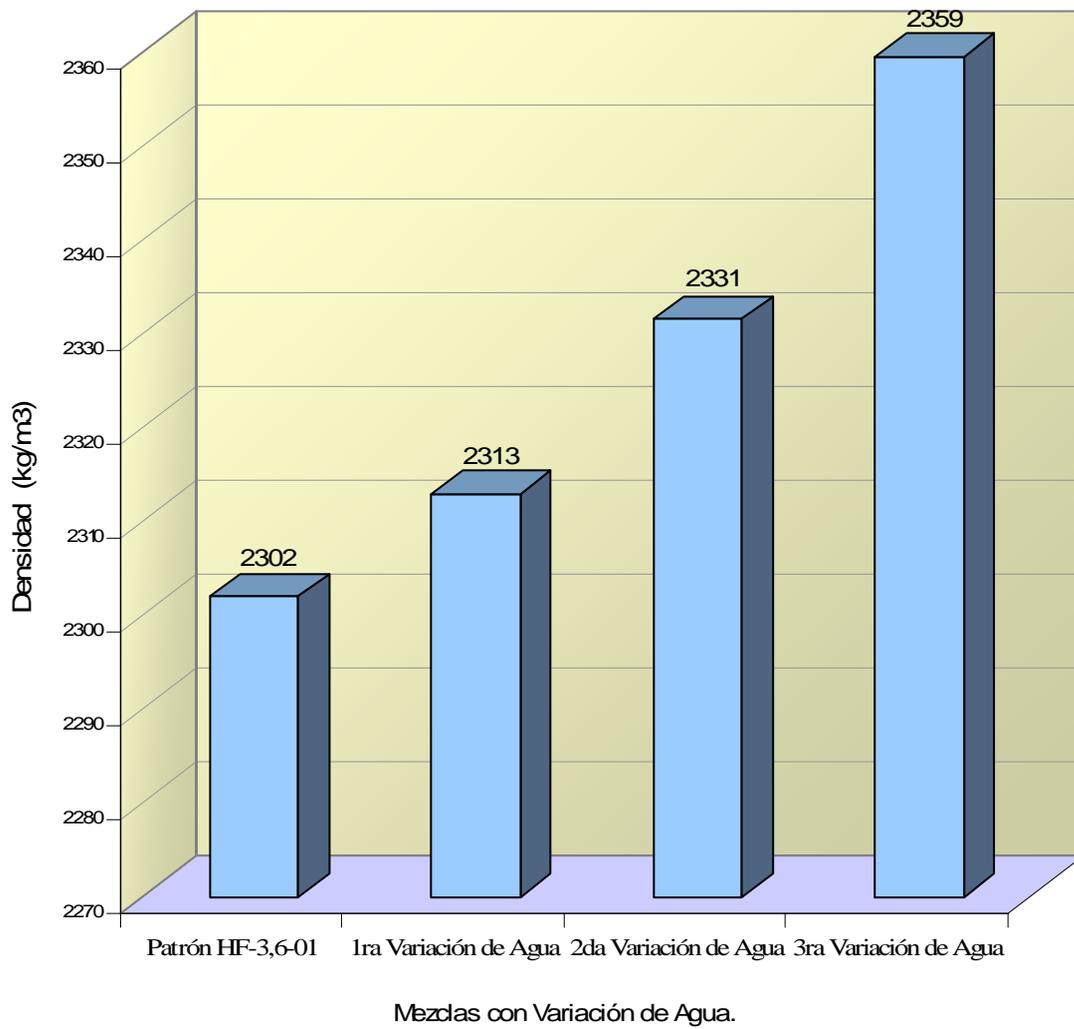
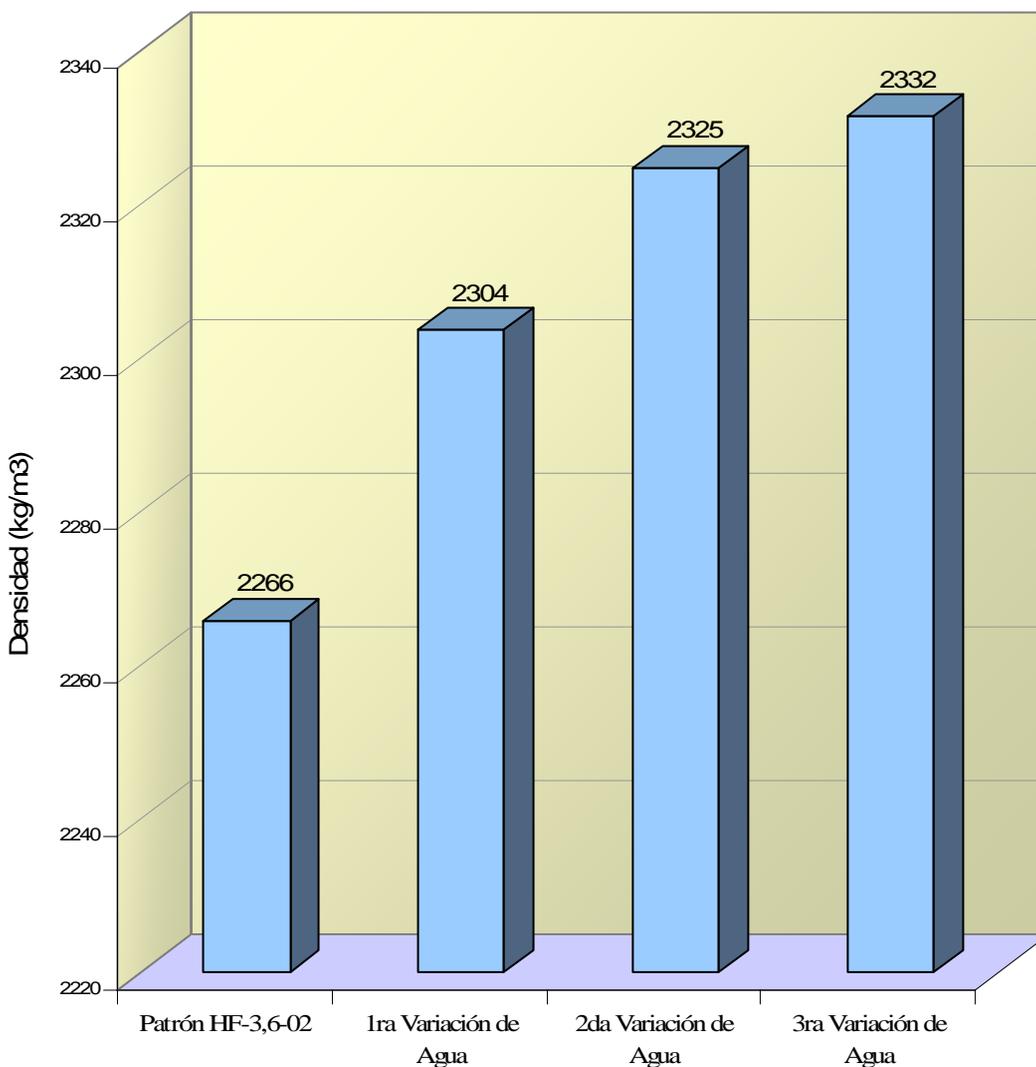


Gráfico N° 17

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón HF-3,6-02	2266	-	-
1ra Variación de Agua	2304	37,79	2
2da Variación de Agua	2325	59,01	2,6
3ra Variación de Agua	2332	65,66	3

Tabla N° 68, Densidades promedios, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-02.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades HF-3,6-02
Al disminuir la cantidad de agua.**



Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 18

	Promedio de Densidades (Kg/m³)	Variación de Densidad (Kg/m³)	Variación (%)
Patrón HF-3,6-03	2254	-	-
1ra Variación de Agua	2282	28,08	1
2da Variación de Agua	2294	39,78	2
3ra Variación de Agua	2317	63,31	3

Tabla N° 69, Densidades promedios, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-03.
Fuente: Elaboración Propia.

**Promedio de Densidades HF-3,6-03
Al disminuir la cantidad de agua.**

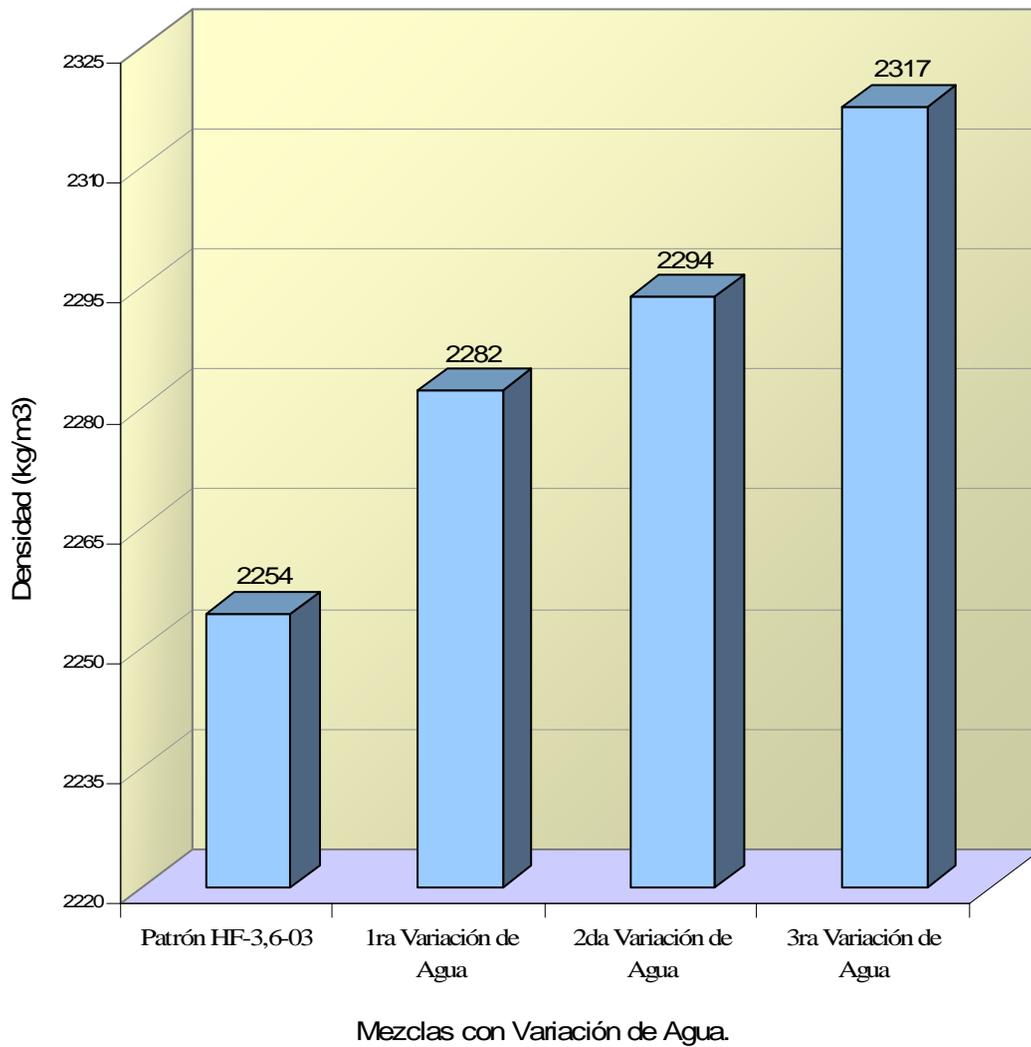


Gráfico N° 19

Resumen de Densidades según Dosis de Aditivo y Agua, para el Hormigón HF-3,6.

Hormigón HF-3,6	Mezclas Patrón (Kg/m ³)	1er Dosis Aditivo (Kg/m ³)	2do Dosis Aditivo (Kg/m ³)	3er Dosis Aditivo (Kg/m ³)
Patrón de Agua	2,40	2,30	2,27	2,25
1er Dosis Agua	-	2,31	2,30	2,28
2do Dosis Agua	-	2,33	2,32	2,29
3er Dosis Agua	-	2,36	2,33	2,32

Tabla N° 70, Resumen de Densidades, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

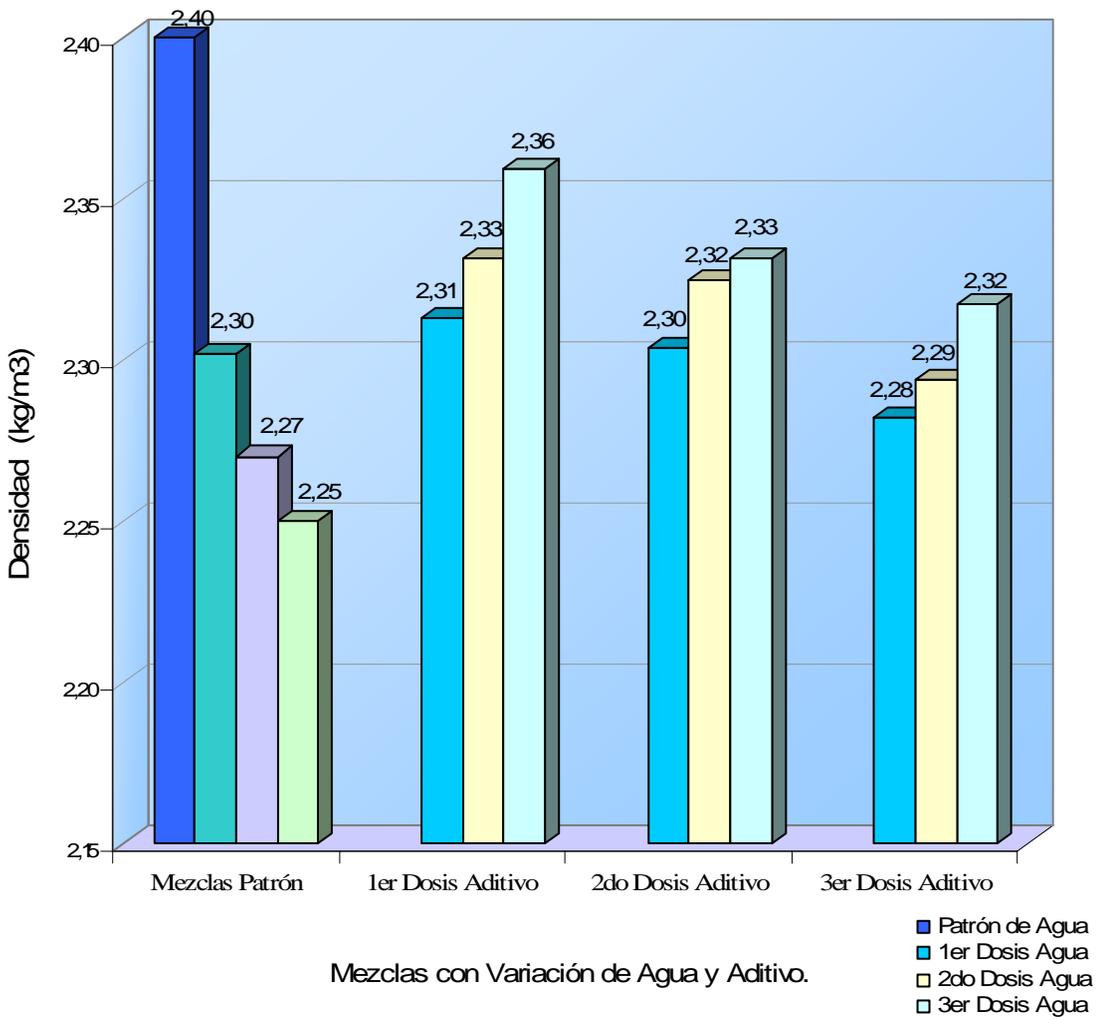


Gráfico N° 20

4.2.2.-Resistencias

4.2.2.1.- Ensayo de Compresión

➤ **Resistencia a la Compresión obtenida a los 7 días (Kgf/cm²):**

❖ **H-30**

	H-30	H-30-01	H-30-02	H-30-03
Resistencia (Kgf/cm²)	207,51	136,9	126,67	91,11

Tabla N° 71, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al agregar aditivo incorporador de Aire Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Aditivo.

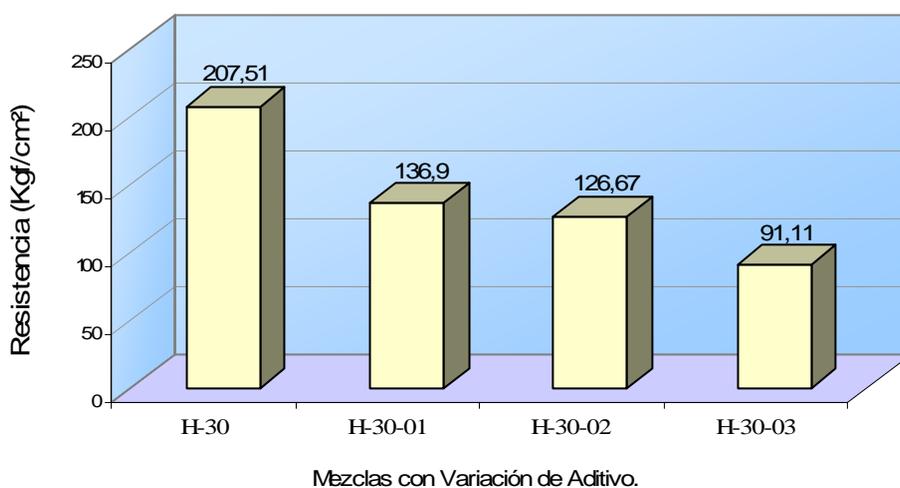


Gráfico N° 21

	H-30-01	H-30-01-01	H-30-01-02	H-30-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	136,9	177,78	190,48	207,5

Tabla N° 72, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.

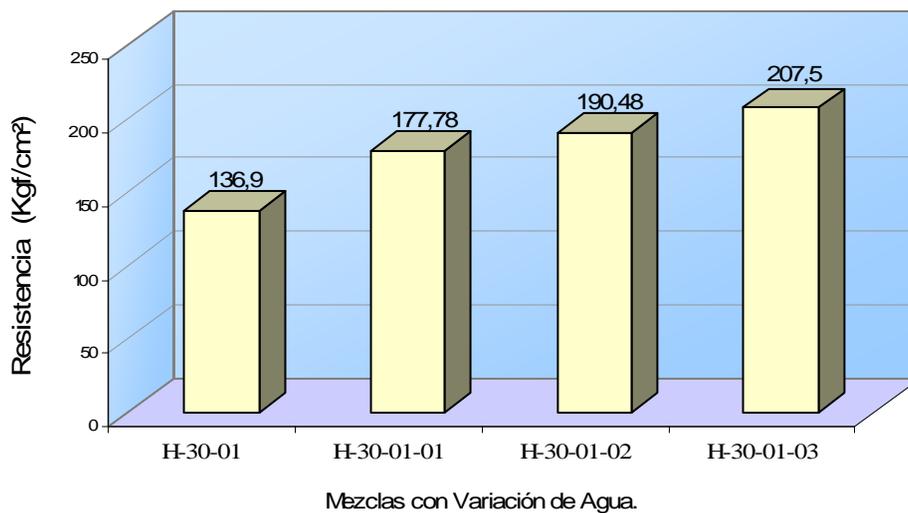


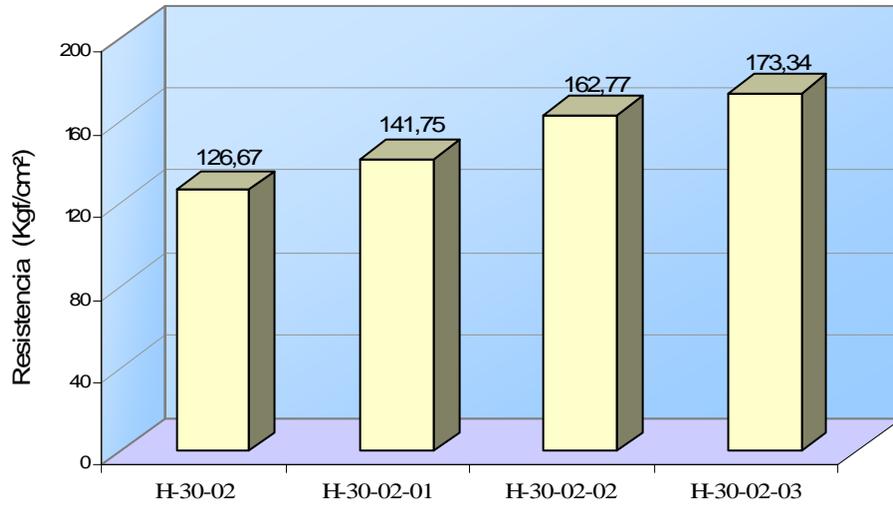
Gráfico N° 22

	H-30-02	H-30-02-01	H-30-02-02	H-30-02-03
Resistencia (Kgf/cm²)	126,67	141,75	162,77	173,34

Tabla N° 73, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua.

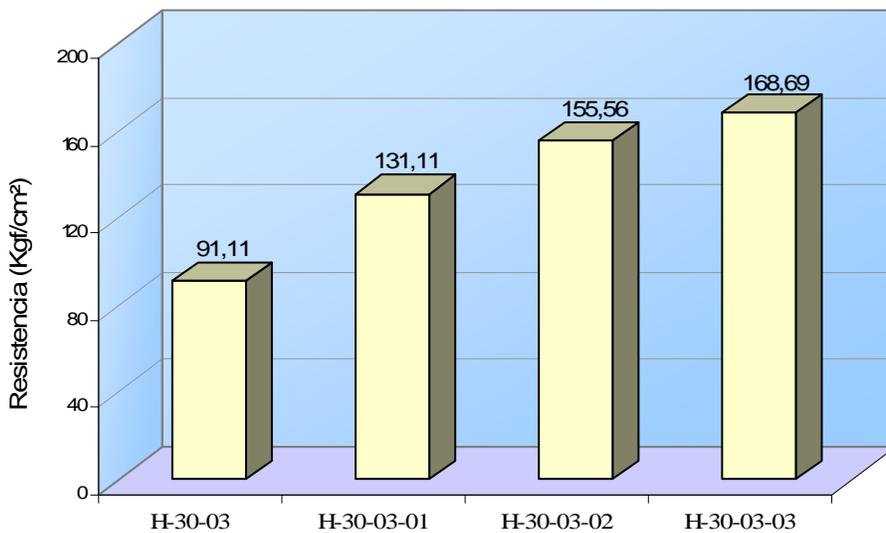
Gráfico N° 23

	H-30-03	H-30-03-01	H-30-03-02	H-30-03-03
Resistencia (Kgf/cm²)	91,11	131,11	155,56	168,69

Tabla N° 74, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-03.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 24

Resumen Resistencia a Compresión a los 7 días de H-30, (Kgf/cm²):

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	207,51	136,9	126,67	91,11
1er Dosis Agua	-	177,78	141,75	131,11
2do Dosis Agua	-	190,48	162,77	155,56
3er Dosis Agua	-	207,5	173,34	168,89

Tabla N° 75, Resumen de Resistencias a Compresión a los 7 días, al incorporar aditivo Incorporador de Aire y disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30.
Fuente: Elaboración Propia.

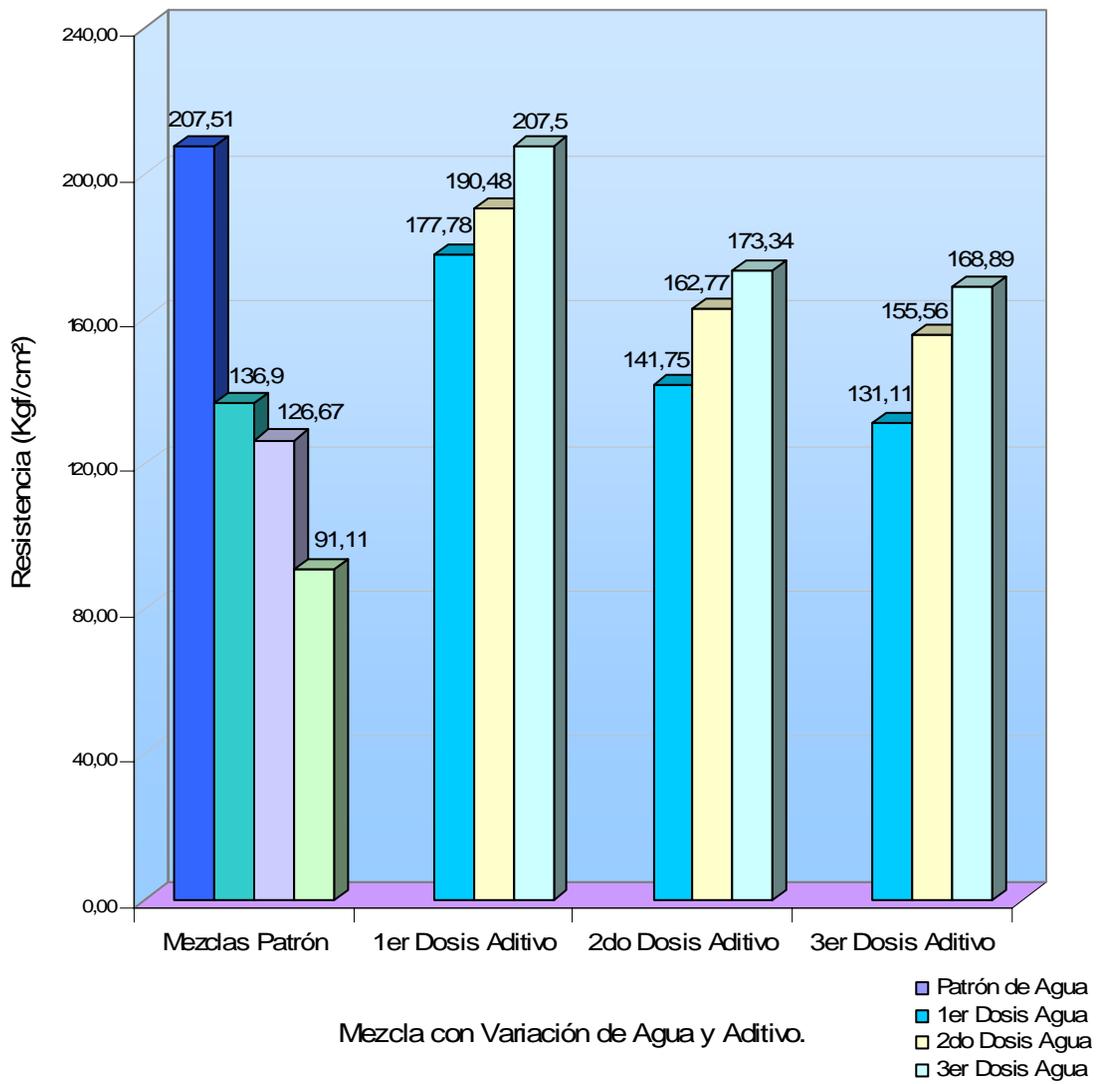


Gráfico N° 25

➤ **Resistencia a la Compresión obtenida a los 7 días, (Kgf/cm²):**

❖ **HF-3,6**

	HF-3,6	HF-3,6-01	HF-3,6-02	HF-3,6-03
Resistencia (Kgf/cm²)	230,34	164,44	143,49	106,31

Tabla N° 76, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al agregar aditivo incorporador de aire para el hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de aditivo.

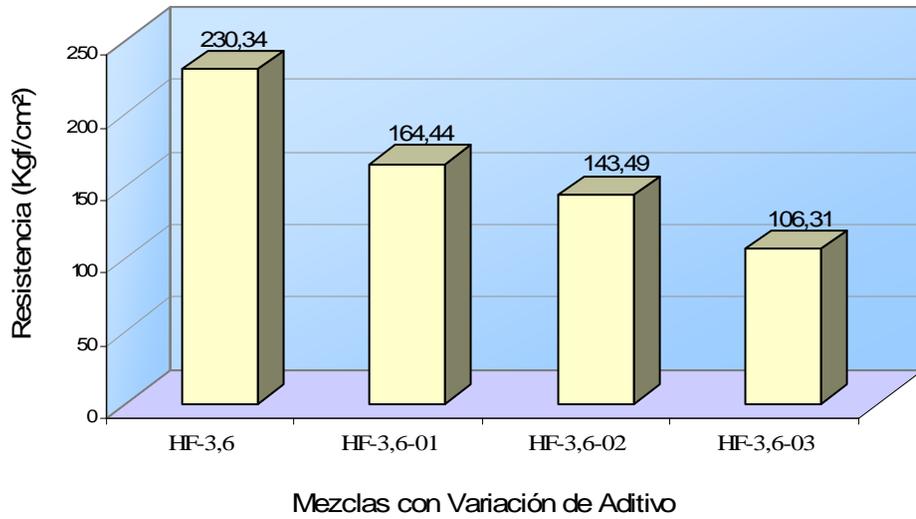


Gráfico N° 26

	HF-3,6-01	HF-3,6-01-01	HF-3,6-01-02	HF-3,6-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	164,44	175,43	183,6	198,02

Tabla N° 77, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.

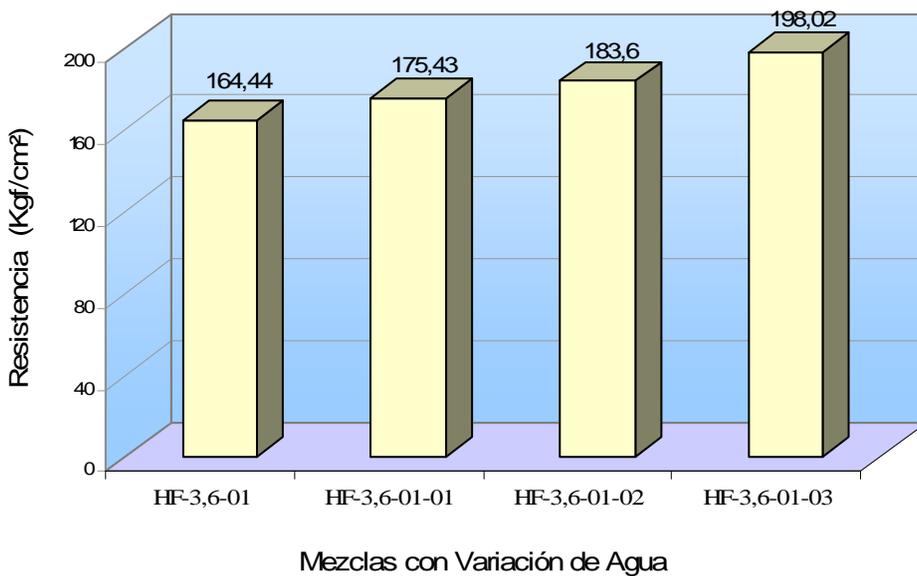


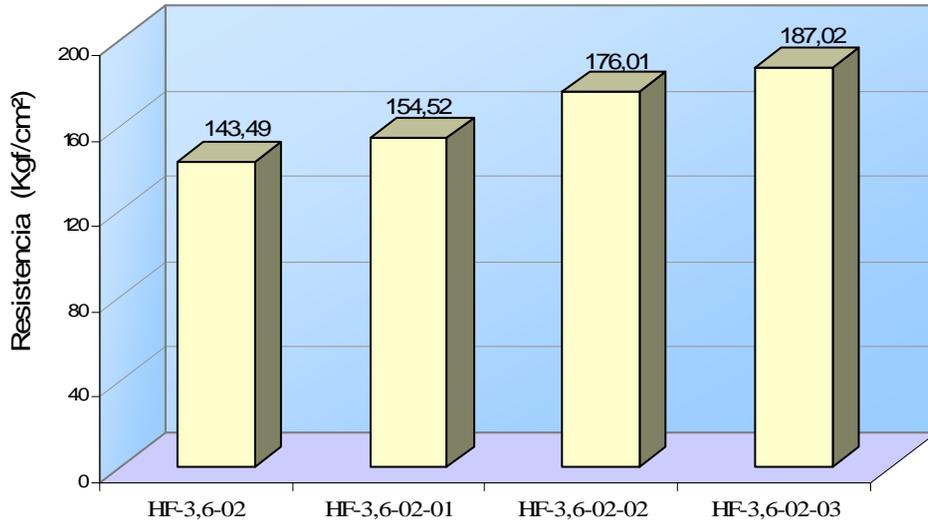
Gráfico N° 27

	HF-3,6-02	HF-3,6-02-01	HF-3,6-02-02	HF-3,6-02-03
Resistencia(Kgf/cm²)	143,49	154,52	176,01	187,02

Tabla N° 78, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua

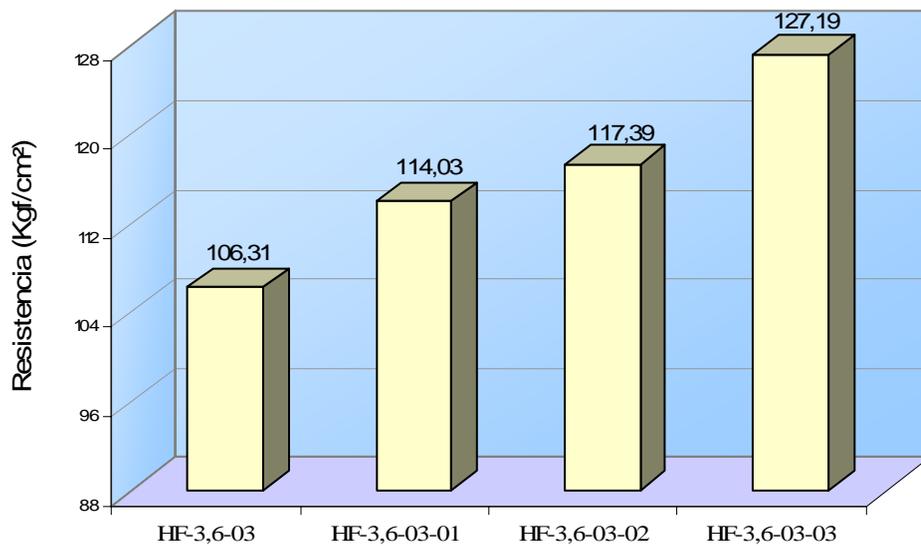
Gráfico N° 28

	HF-3,6-03	HF-3,6-03-01	HF-3,6-03-02	HF-3,6-03-03
Resistencia (Kgf/cm²)	106,31	114,03	117,39	127,19

Tabla N° 79, Resistencias a la Compresión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-03.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua

Gráfico N° 29

Resumen Resistencia a la Compresión a los 7 días de HF-3,6 (Kgf/cm²):

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	230,34	164,44	143,49	106,31
1er Dosis Agua	-	175,43	154,52	114,03
2do Dosis Agua	-	183,6	176,01	117,39
3er Dosis Agua	-	198,02	187,02	127,19

Tabla N° 80, Resumen de Resistencias a la Compresión a los 7 días, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

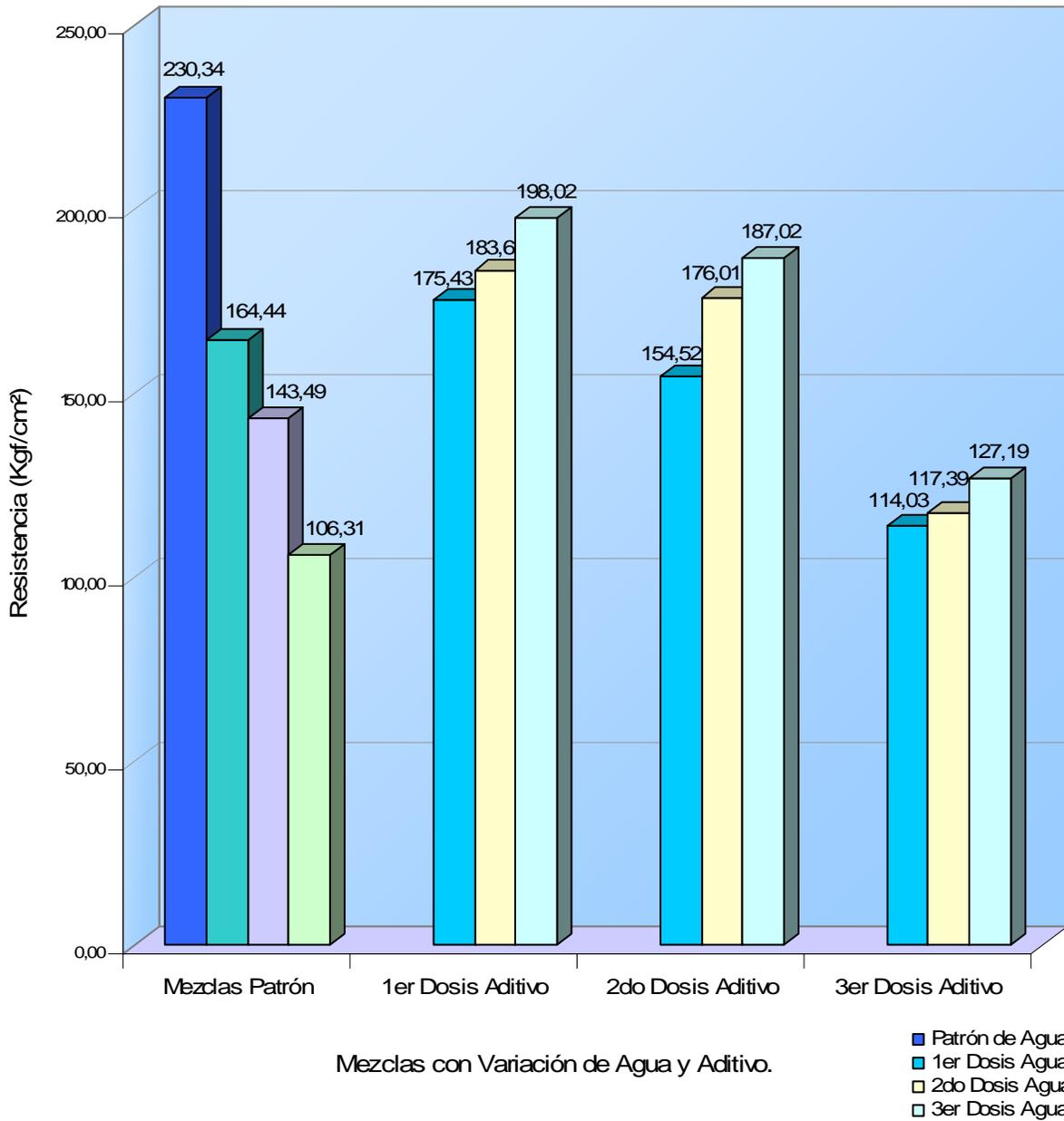


Gráfico N° 30

➤ **Resistencia a la Compresión obtenida a los 28 días, (Kgf/cm²):**

❖ **H-30**

	H-30	H-30-01	H-30-02	H-30-03
Resistencia (Kgf/cm²)	314,57	260,72	190,95	148,50

Tabla N° 81, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al agregar aditivo Incorporador de Aire al hormigón H-30.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Aditivo.

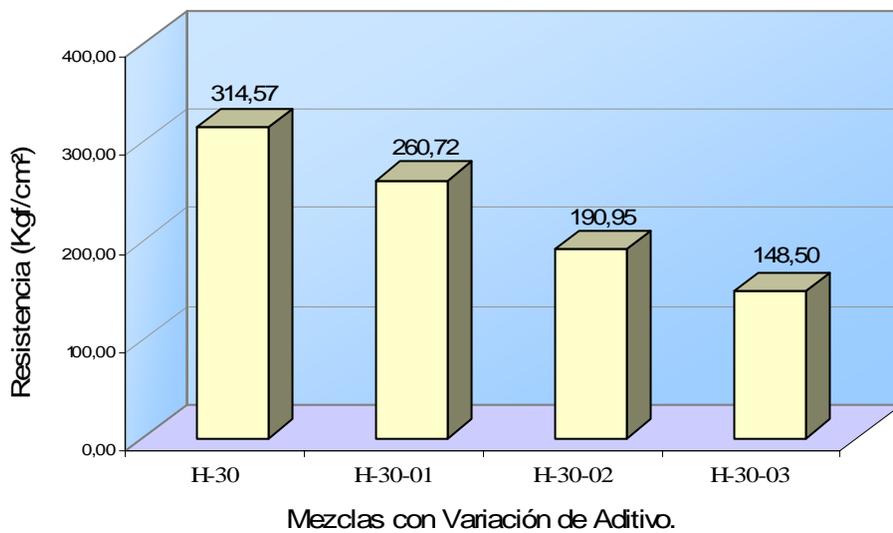


Gráfico N° 31

	H-30-01	H-30-01-01	H-30-01-02	H-30-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	260,72	276,12	318,38	382,97

Tabla N° 82, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón H-30-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.

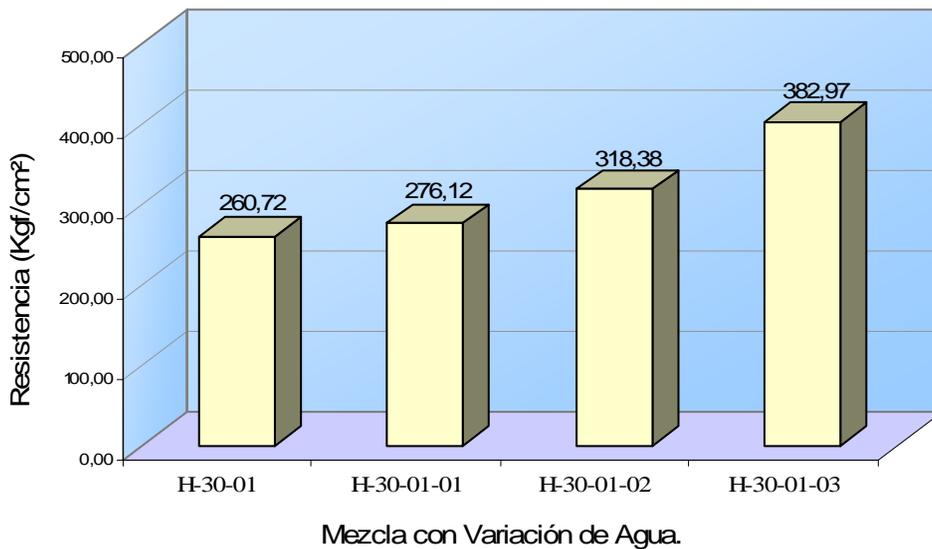


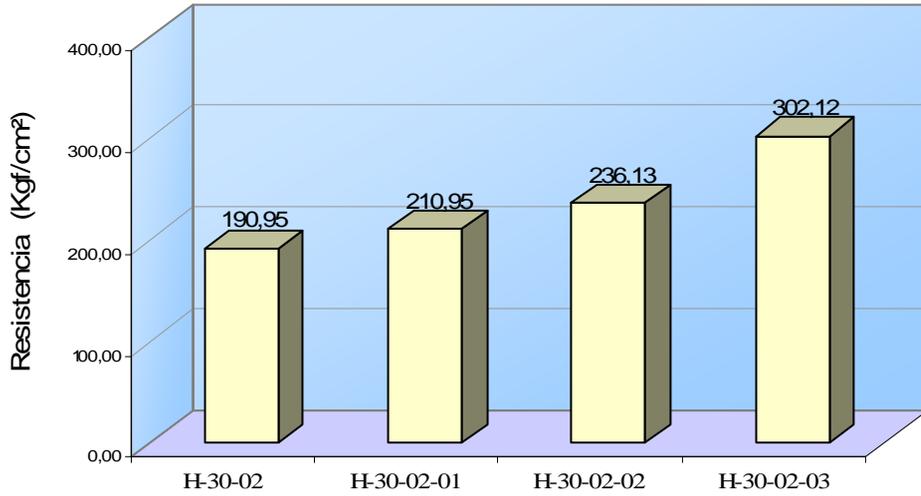
Gráfico N° 32

	H-30-02	H-30-02-01	H-30-02-02	H-30-02-03
Resistencia (Kgf/cm²)	190,95	210,95	236,13	302,12

Tabla N° 83, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al agregar aditivo Incorporador de Aire al hormigón H-30-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua.

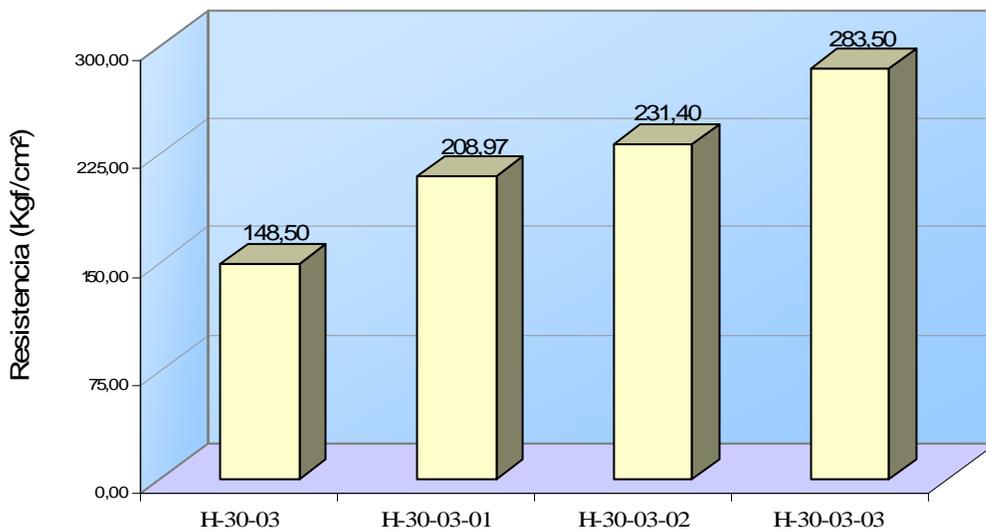
Gráfico N° 33

	H-30-03	H-30-03-01	H-30-03-02	H-30-03-03
Resistencia (Kgf/cm²)	148,50	208,97	231,40	283,50

Tabla N° 84, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón H-30-03.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 34

Resumen Resistencia a compresión a los 28 días de H-30, (Kgf/cm²):

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	314,57	260,72	190,95	148,5
1er Dosis Agua	-	276,12	210,95	208,87
2do Dosis Agua	-	318,38	236,13	231,4
3er Dosis Agua	-	382,97	302,12	283,5

Tabla N° 85, Resumen de Resistencias a la Compresión a los 28 días, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón H-30.
Fuente: Elaboración Propia.

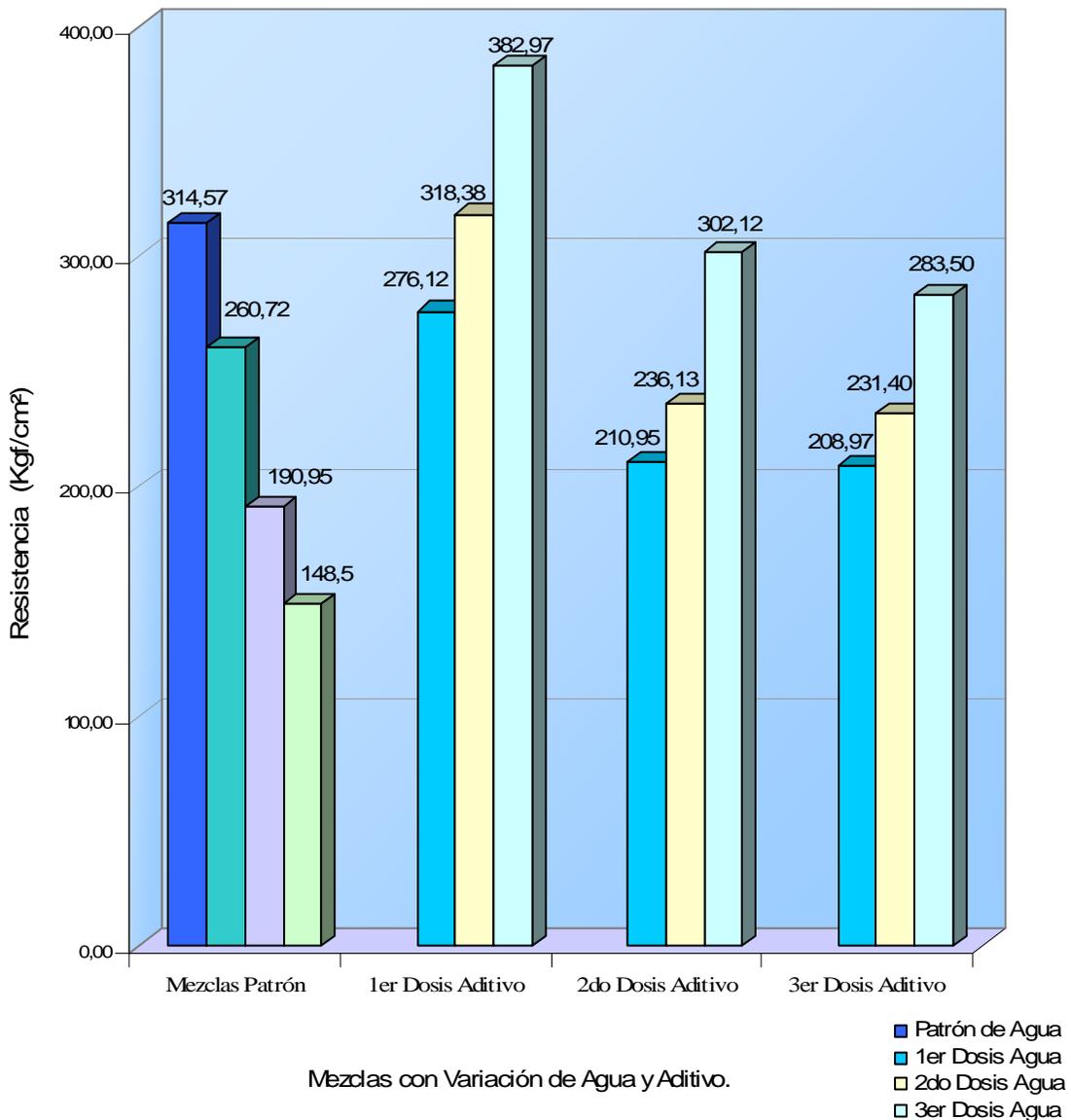


Gráfico N° 35

❖ HF-3,6

	HF-3,6	HF-3,6-01	HF-3,6-02	HF-3,6-03
Resistencia (Kgf/cm²)	337,79	241,22	166,11	147,18

Tabla N° 86, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al agregar aditivo incorporador de Aire al hormigón HF-3,6

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Aditivo.

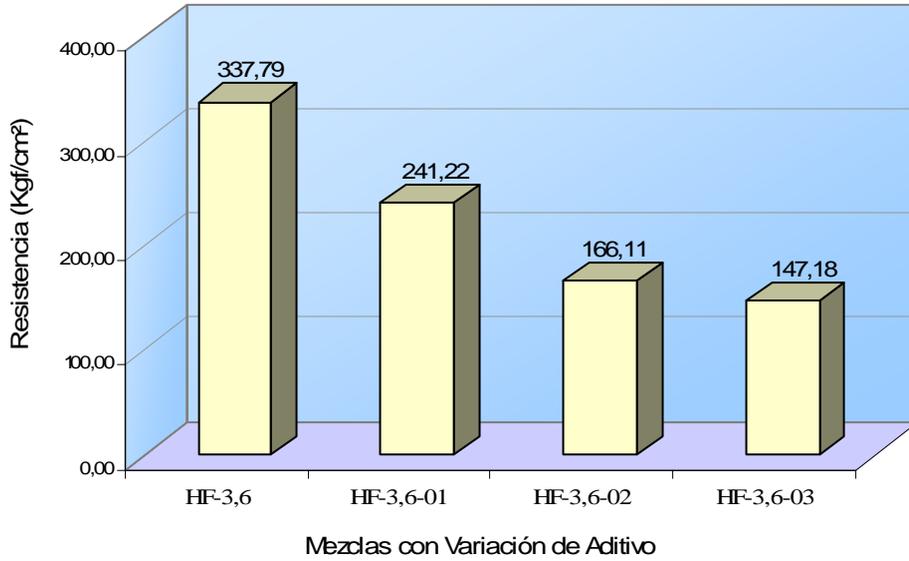


Gráfico N° 36

	HF-3,6-01	HF-3,6-01-01	HF-3,6-01-02	HF-3,6-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	241,22	250,52	258,39	272,76

Tabla N° 87, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.

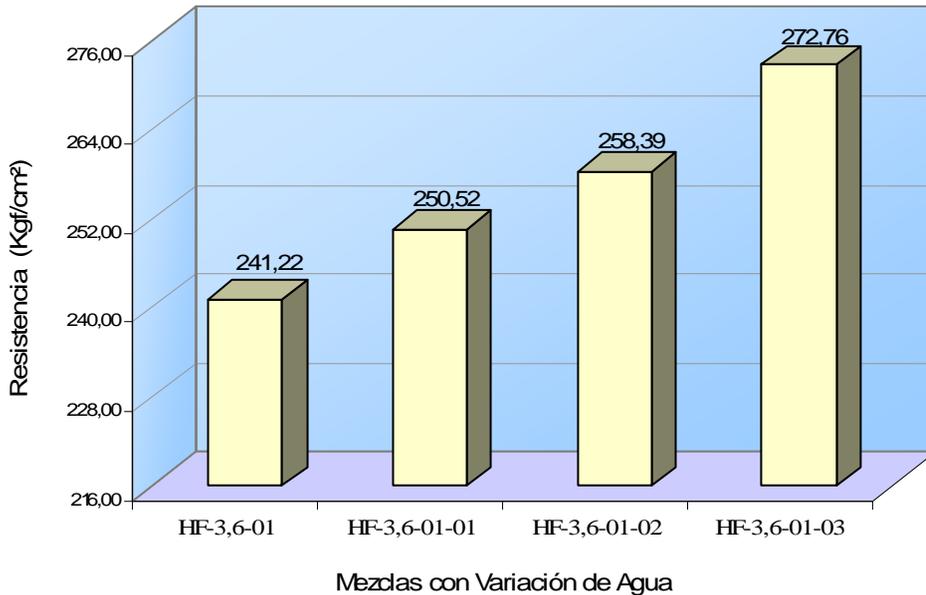


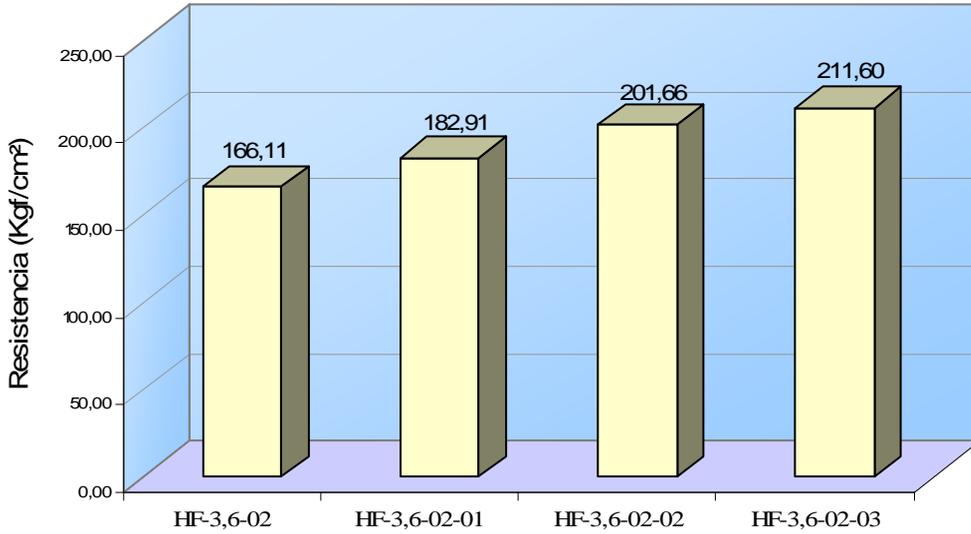
Gráfico N° 37

	HF-3,6-02	HF-3,6-02-01	HF-3,6-02-02	HF-3,6-02-03
Resistencia (Kgf/cm ²)	166,11	182,91	201,66	211,60

Tabla N° 88, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua

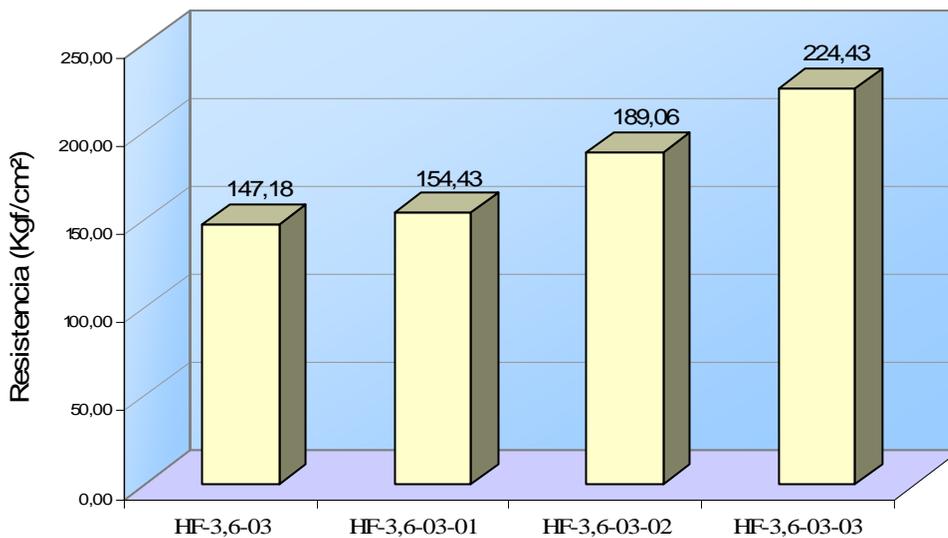
Gráfico N° 38

	HF-3,6-03	HF-3,6-03-01	HF-3,6-03-02	HF-3,6-03-03
Resistencia (Kgf/cm ²)	147,18	154,43	189,06	224,43

Tabla N° 89, Resistencias a la Compresión a los 28 días, al disminuir la cantidad de agua al hormigón HF-3,6-03.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia compresión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua

Gráfico N° 39

Resumen Resistencia a compresión a los 28 días de HF-3,6, (Kgf/cm²):

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	337,79	241,22	166,11	147,18
1er Dosis Agua	-	250,52	182,91	154,43
2do Dosis Agua	-	258,39	201,66	189,06
3er Dosis Agua	-	272,76	211,60	224,43

Tabla N° 90, Resumen de las Resistencias a la Compresión a los 28 días, al agregar aditivo incorporador de Aire y disminuyendo la cantidad de agua al hormigón HF-3,6.
Fuente: Elaboración Propia.

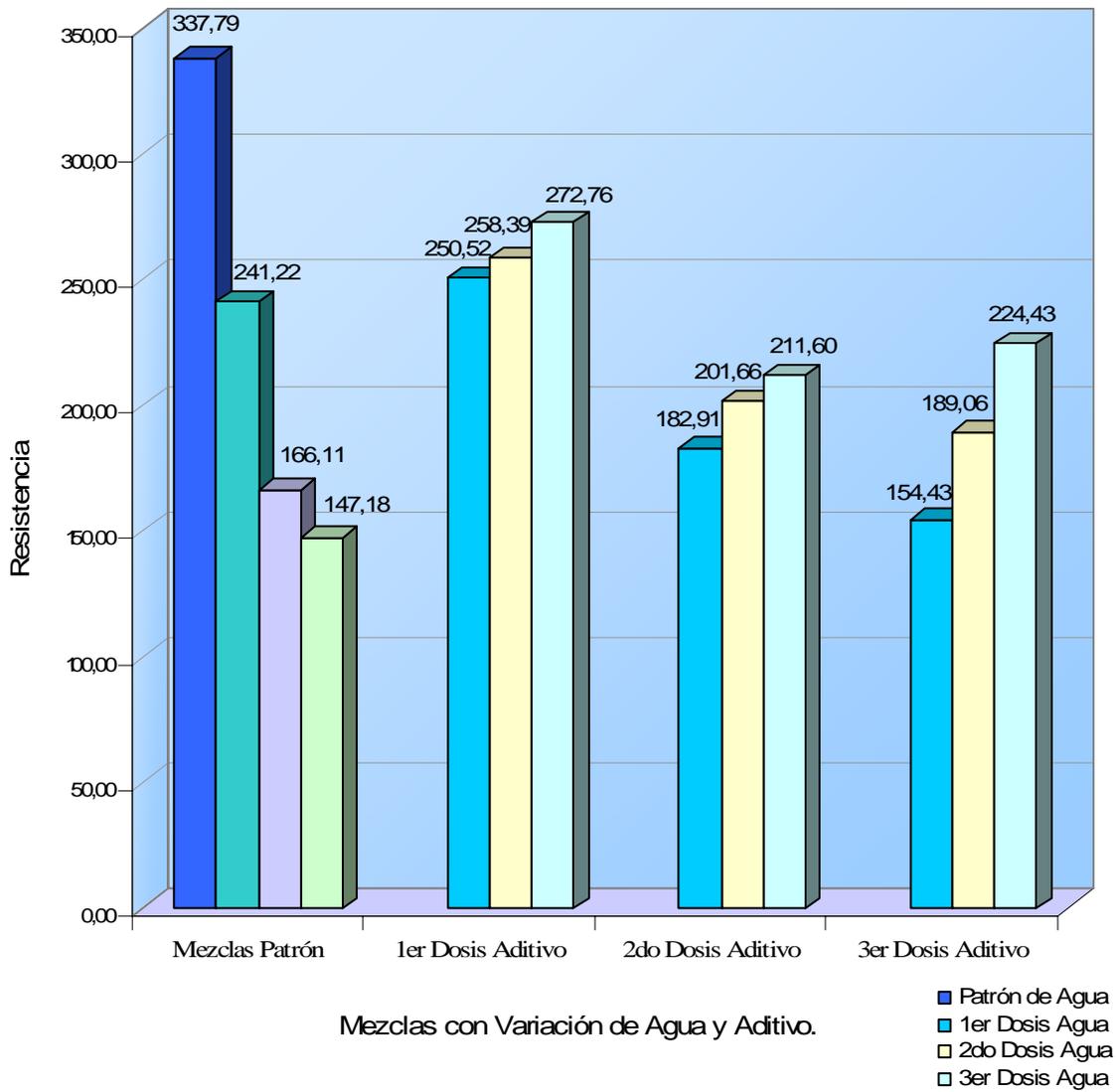


Gráfico N° 40

4.2.2.2.- Ensayo de Flexotracción.

Este ensayo se realizó siguiendo todo lo establecido en la norma NCh 1038.

➤ **Resistencia a la Flexotracción obtenida a los 7 días, (Kgf/cm²):**

❖ **HF-3,6**

	HF-3,6	HF-3,6-01	HF-3,6-02	HF-3,6-03
Resistencia (Kgf/cm²)	35,07	27,49	22,45	18,71

Tabla N° 91, Resistencias a la Flexión a los 7 días, al agregar aditivo incorporador de Aire al hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 7 días, según las distintas dosis de Aditivo.

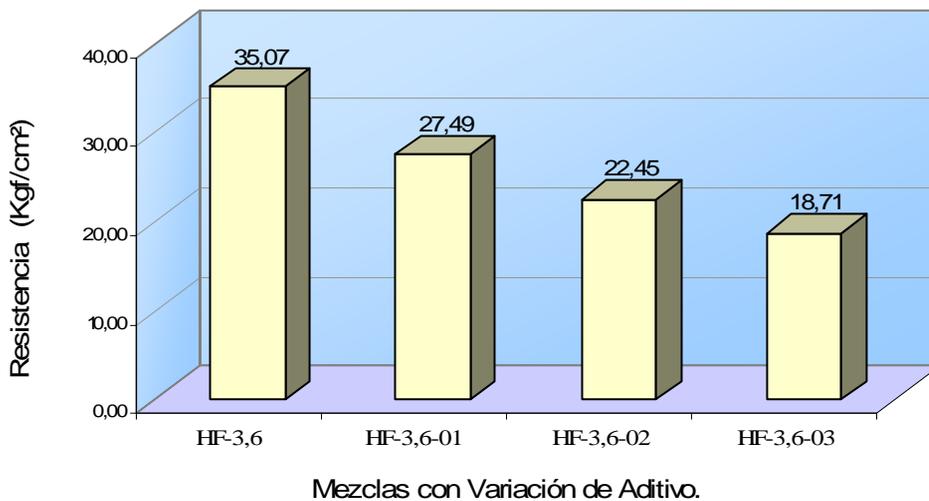


Gráfico N° 41

	HF-3,6-01	HF-3,6-01-01	HF-3,6-01-02	HF-3,6-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	27,49	28,50	30,26	32,27

Tabla N° 92, Resistencias a la Flexión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-01.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.

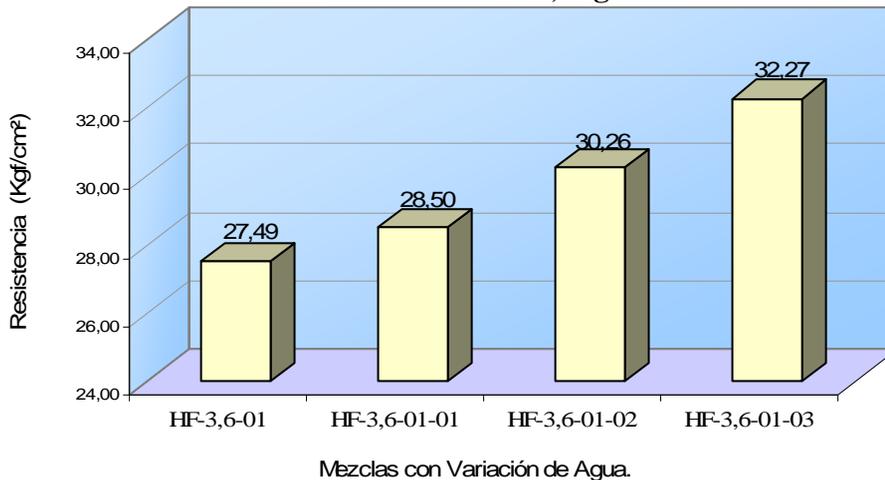


Gráfico N° 42

	HF-3,6-02	HF-3,6-02-01	HF-3,6-02-02	HF-3,6-02-03
Resistencia (Kgf/cm²)	22,45	23,00	25,26	29,22

Tabla N° 93, Resistencias a la Flexión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-02.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.

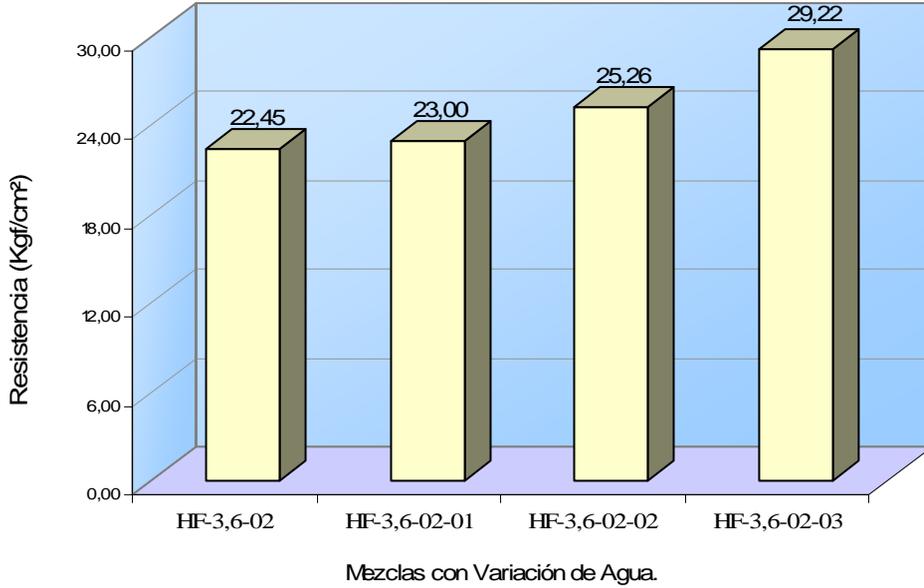


Gráfico N° 43

	HF-3,6-03	HF-3,6-03-01	HF-3,6-03-02	HF-3,6-03-03
Resistencia (Kgf/cm²)	18,71	19,41	20,99	25,77

Tabla N° 94, Resistencias a la Flexión a los 7 días, al disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6-03.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 7 días, según las distintas dosis de Agua.

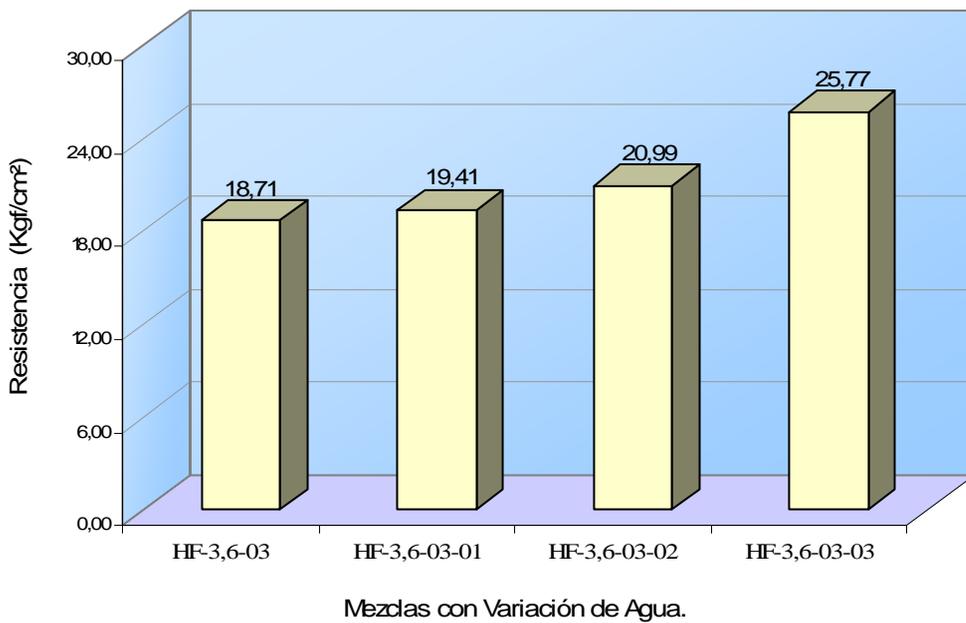


Gráfico N° 44

Resumen de Resistencias a la Flexión a los 7 días de HF-3,6, (Kgf/cm²):

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	35,07	27,49	22,49	18,71
1er Dosis Agua	-	28,50	23,00	19,41
2do Dosis Agua	-	30,26	25,26	20,99
3er Dosis Agua	-	32,27	29,22	25,77

Tabla N° 95, Resumen de las Resistencias a la Flexión a los 7 días, al incorporar aditivo Incorporador de Aire y disminuir la cantidad de agua para el hormigón HF-3,6.

Fuente: Elaboración Propia.

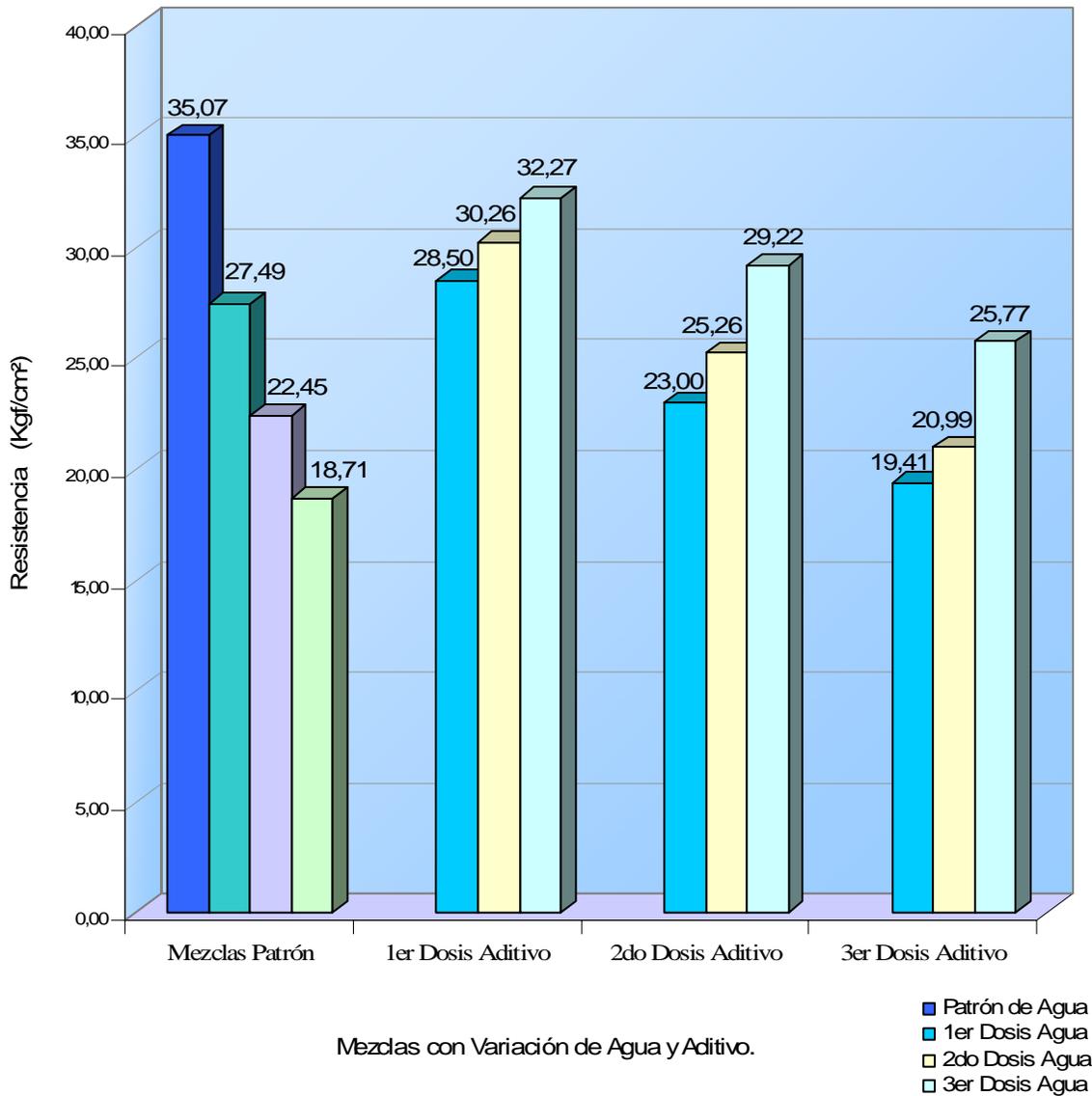


Gráfico N° 45

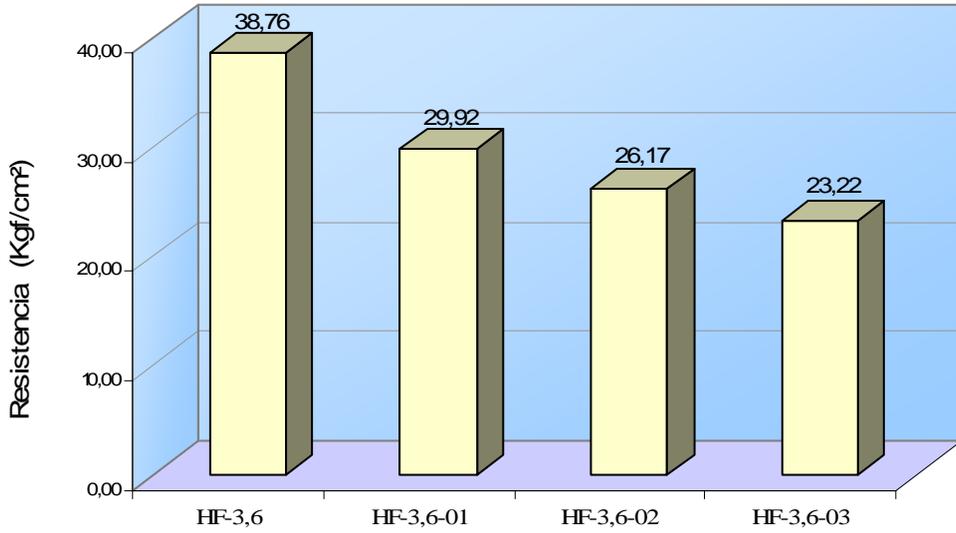
➤ **Resistencia a la Flexión obtenida a los 28 días, (Kgf/cm²):**

	HF-3,6	HF-3,6-01	HF-3,6-02	HF-3,6-03
Resistencia (Kgf/cm²)	38,76	29,92	26,17	23,22

Tabla N° 96, Resistencias a la Flexión, HF-3,6 a los 28 días.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 28 días, según las distintas dosis de Aditivo.



Mezclas con Variación de Aditivo.

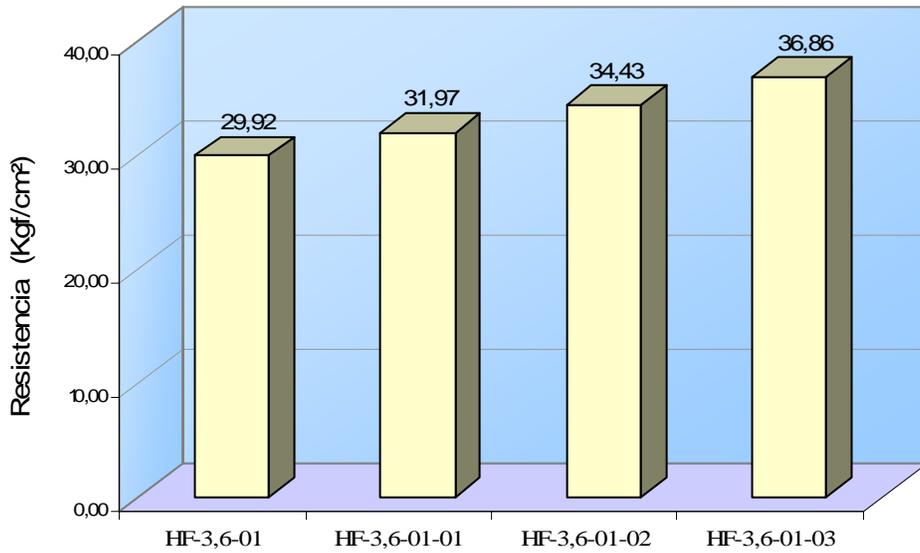
Gráfico N° 46

	HF-3,6-01	HF-3,6-01-01	HF-3,6-01-02	HF-3,6-01-03
Resistencia (Kgf/cm²)	29,92	31,97	34,43	36,86

Tabla N° 97, Resistencias a la Flexión, HF-3,6-01 a los 28 días.

Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



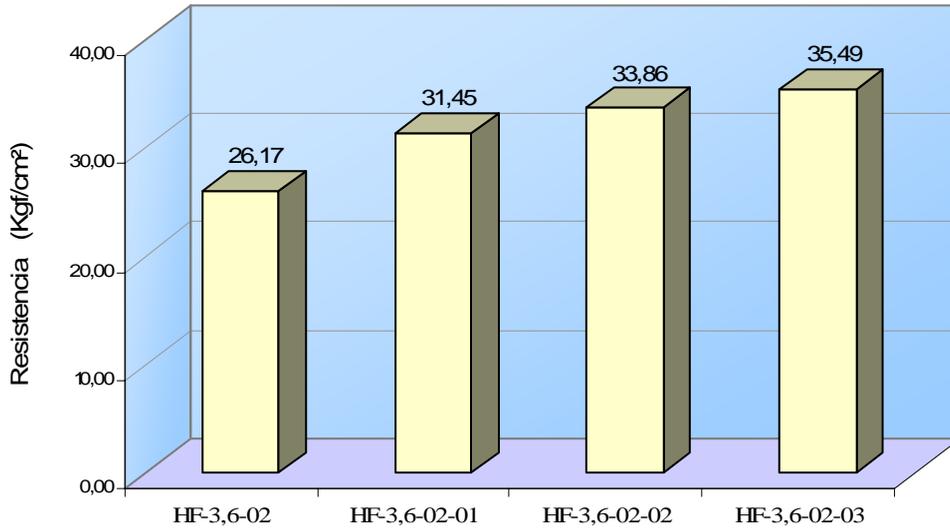
Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 47

	HF-3,6-02	HF-3,6-02-01	HF-3,6-02-02	HF-3,6-02-03
Resistencia (Kgf/cm ²)	26,17	31,45	33,86	35,49

Tabla N° 98, Resistencias a la Flexión, HF-3,6-02 a los 28 días.
Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



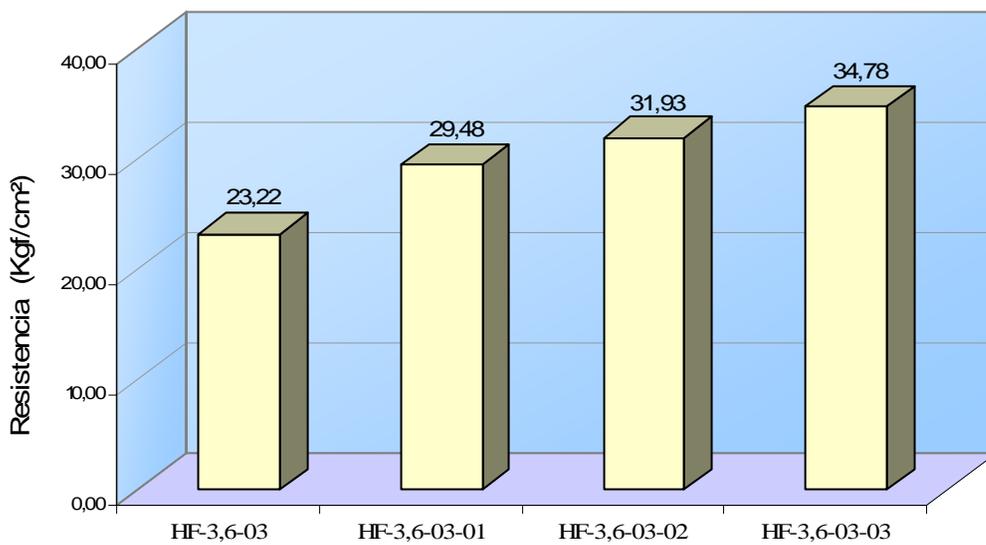
Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 48

	HF-3,6-03	HF-3,6-03-01	HF-3,6-03-02	HF-3,6-03-03
Resistencia (Kgf/cm ²)	23,22	29,48	31,93	34,78

Tabla N° 99, Resistencias a la Flexión, HF-3,6-03 a los 28 días.
Fuente: Elaboración Propia.

Resistencia a la Flexión a los 28 días, según las distintas dosis de Agua.



Mezclas con Variación de Agua.

Gráfico N° 49

Resumen de Resistencias a la Flexión a los 28 días de HF-3,6.

	Mezclas Patrón	1er Dosis Aditivo	2do Dosis Aditivo	3er Dosis Aditivo
Patrón de Agua	38,76	29,92	26,17	23,22
1er Dosis Agua		31,97	31,45	29,48
2do Dosis Agua		34,43	33,86	31,93
3er Dosis Agua		36,86	35,49	34,78

Tabla N° 100, Resumen de las Resistencias a la Flexión, HF-3,6 a los 28 días.
Fuente: Elaboración Propia.

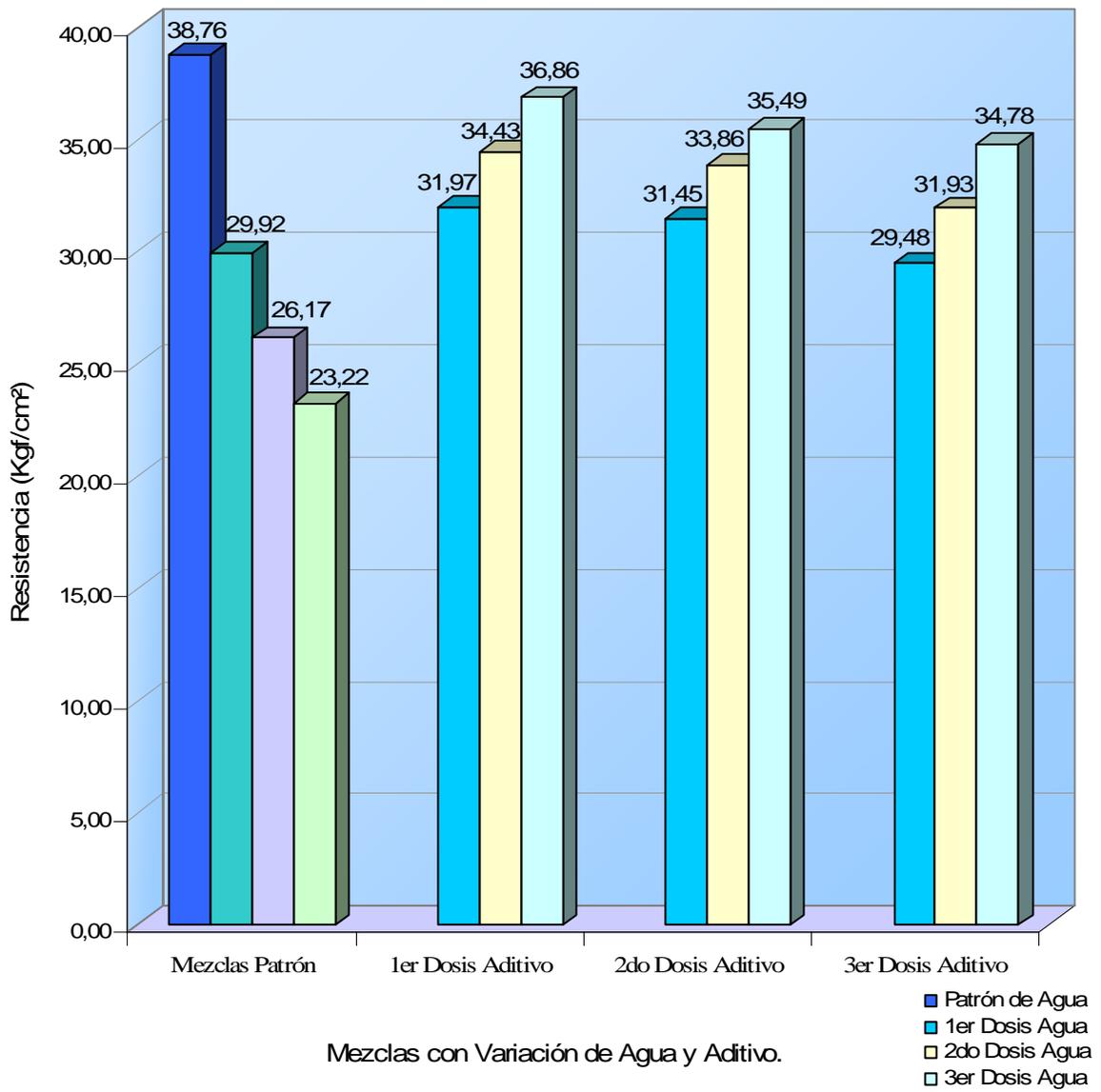


Gráfico N° 50

CONCLUSIONES

La presente memoria es la continuación de la investigación realizada por Verioska Villablanca Fica, la cual se titula “Influencia del aditivo incorporador de aire en la resistencia mecánica del hormigón”, en la cual se obtuvo como conclusión que el aditivo incorporador de aire produce un considerable aumento de la trabajabilidad, disminución en las densidades y una disminución importante en la resistencia de los hormigones. Por otro lado estos efectos se ven aumentados al aumentar la dosis de aditivo.

El objetivo de la presente memoria es determinar en que porcentaje debe disminuirse al agua de amasado para igualar la trabajabilidad del hormigón patrón.

Los resultados de las experiencias realizadas se analizan a continuación:

➤ **Docilidad**

Al utilizar distintas dosis de aditivo incorporador de aire a las mezclas se obtuvo un considerable aumento de las docilidades, obteniendo con la dosis máxima incorporada de aditivo, para el hormigón a compresión H-30 un aumento de 127 % y para el hormigón HF-3,6 un aumento de hasta 240 %.

Para mantener la docilidad de las mezclas patrones, se disminuyó la cantidad del agua de amasado a las mezclas de prueba con aditivo incorporador de aire, un 10%, un 15 % y hasta un 20 %, obteniendo los siguientes resultados:

Para el hormigón patrón H-30 se obtuvo que:

- a) Para disminuciones en un 10 % de la dosis de agua, en las tres dosificaciones con distintas dosis de aditivo incorporador de aire no se logra igualar la docilidad obtenida por la mezcla patrón, obteniendo trabajabilidades mayores.

- b) Para disminuciones en un 15 % de la dosis de agua, en las tres dosis de aditivo incorporador de aire se obtuvieron docilidades similares a la obtenida por la mezcla patrón.
- c) Para disminuciones en un 20 % de la dosis de agua, en las tres dosificaciones con distintas dosis de aditivo incorporador de aire, se obtiene un asentamiento mucho menor al de la mezcla patrón H-30.

Para el hormigón patrón HF-3,6 se obtuvo que:

- a) Para disminuciones en un 10 % y de un 15% de la dosis de agua, en las tres dosificaciones con distintas dosis de aditivo incorporador de aire no se logra igualar la docilidad obtenida por la mezcla patrón, obteniendo trabajabilidades mayores.
- b) Para disminuciones en un 20 % de la dosis de agua, solo se obtiene un asentamiento para el hormigón con la dosis mínima de aditivo incorporador de aire.

El objetivo de disminuir la cantidad de agua se obtuvo para el hormigón H-30 en un 15 % para las tres dosis de aditivo, y para el hormigón HF-3,6 una disminución del 20 % solo a la dosis mínima de aditivo.

Para estas mismas mezclas de pruebas se realizó una comparación en cuanto a:

➤ **Densidad**

De los resultados obtenidos en las distintas mezclas de prueba se obtuvo que al máximo aumento en las densidades se produce en las mezclas con dosis mínima de aditivo utilizada (0,03 %) y con la reducción máxima de agua, la que corresponde a un 20%.

- a) Para el hormigón H-30, el aumento fue de 4 %.
- b) Para el hormigón HF-3,6, el aumento fue de 2,5 %.

➤ **Resistencia**

De las resistencias a compresión a mezclas con aditivo incorporador de aire y reducción de agua, se produjo un aumento en las resistencias debido a la reducción de la razón agua / cemento (A/C).

El mayor aumento se produce con la mayor reducción de agua (20 %) y para la dosis mínima de aditivo, para los dos hormigones estudiados.

- a) Para el hormigón H-30, el aumento fue de 46,89 %.
- b) Para el hormigón HF-3,6, una disminución fue de 23,2 %.

ANEXO 1

Ficha Técnica, Aditivo Sika Aer.

Ficha Técnica
Versión Octubre, 2006
Sika Aer

Sika® Aer

Aditivo incorporador de aire

Construcción

Definición

General

Sika® Aer es un aditivo elaborado a base de agentes tensoactivos que adicionado al hormigón genera microburbujas que se reparten uniformemente en la masa del hormigón. No contiene cloruros.

Usos

- Hormigón sometido a bajas temperaturas.
- Hormigón de subterráneos, cimientos, sobrecimientos, obras hidráulicas en general (represas, canales, etc.).
- Hormigón en carreteras, aeropuertos, etc.
- Transporte del hormigón en camión tolva.
- Hormigón a la vista, hormigón bombeado.

Ventajas

Hormigón fresco:

Sika® Aer confiere al hormigón las siguientes cualidades:

- Permite un aumento en la trabajabilidad y/o una disminución en el agua de amasado.
- Reduce la segregación en el hormigón, especialmente en las faenas de transporte.
- Reduce la exudación en el hormigón.
- Incrementa la cohesión interna de la masa del hormigón.
- Permite reducir el tiempo de vibración y colocación.
- Mejora el aspecto superficial del hormigón.

Hormigón endurecido:

- Incremento de la impermeabilidad.
- Aumento de las resistencias a la acción de aguas agresivas.
- Incremento de las resistencias a ciclos de hielo y deshielo.

Datos Básicos

Color

Líquido color café

Almacenamiento

Sika® Aer se puede almacenar durante 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro y en lugar fresco y bajo techo. A temperaturas bajo 5°C se puede producir turbidez en el aditivo, lo cual no altera su efectividad.

Presentación

Tambor 200 kg.

Datos Técnicos

Densidad

1,02 kg/dm³

Aplicación

Consumo

0,03 a 0,12 kg por cada 100 kg de cemento.

Método de aplicación

Se utiliza diluido en el agua de amasado en una dosis variable comprendida entre un 0,3 y 1,2 por mil, referido al peso del cemento. Mayores dosis pueden ser utilizadas si así se determina en ensayos previos con los materiales a usar en la obra.

La incorporación de aire en un hormigón depende principalmente de:

- Los agregados pétreos (granulometría y forma de los granos).
- Razón A/C.
- Dosis de cemento por m³ de hormigón elaborado.
- Finura del cemento.
- Relación áridos finos/gruesos.
- Tipo de mezcladora y tiempo de mezclado.
- Temperatura, etc.



Sika®

Según las necesidades, la cantidad de aire incorporado debe estar comprendida entre un 3 y 6%. Es indispensable controlar esos valores durante la taena.

Sika® Aer se entrega listo para su uso y se emplea disuelto en el agua de amasado, de acuerdo a la dosis determinada en el laboratorio. No deben prepararse diluciones de antemano.

Al no disponer de aparatos automáticos de dosificación, utilizar un recipiente con la medida exacta para cada amasada, evitándose con ello errores de dosis.

Notas

Todos los datos técnicos del producto indicados en esta hoja de datos se basan en pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Restricciones Locales

Observe, por favor, que como resultado de regulaciones locales específicas el funcionamiento de este producto puede variar de un país a otro. Consultar, por favor, la hoja de datos local del producto para la descripción exacta de los campos de aplicación.

Instrucciones de seguridad

Salud y Seguridad

Para información y consejo sobre seguridad en la manipulación, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben referirse a la ficha de datos de seguridad vigente, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a la seguridad. En caso de emergencia llamar al CITUC a los siguientes fonos: 6353800 por intoxicaciones ó 2473600 por emergencias químicas.

Observaciones

La información, y, en particular, las recomendaciones relacionadas a la aplicación y uso final de productos de Sika, se dan en buena fe basada en el conocimiento y experiencia actual de Sika de los productos cuando se han almacenado apropiadamente, manipulados y aplicados bajo las condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en materiales, sustratos y condiciones reales del sitio son tales que ninguna garantía en relación a la comercialización o de aptitud para un propósito particular, ni cualquier obligación que surja en absoluto de cualquier relación legal, puede ser inferida de esta información, ni de cualquier otra recomendación escrita, o de cualquier otra sugerencia ofrecida. El usuario debe probar la aptitud del producto para la aplicación y propósito propuesto. Sika se reserva el derecho para cambiar las propiedades de sus productos. Deben observarse los derechos de propiedad de terceras partes. Todas las órdenes de compra son aceptadas sujetas a nuestras condiciones actuales de venta y entrega. Los usuarios siempre deben referirse a la más reciente edición de la Ficha Técnica local del producto correspondiente, copias de la cual se proporcionarán a su solicitud.



Sika S.A. Chile
Ptda. S. Alameda 85
San Joaquín
Santiago
Chile
Tel. 56 2 510 6510
Fax 56 2 552 3735
www.sika.cl



ANEXO 2

Ficha de Datos de Seguridad, Aditivo Sika Aer.



Ficha de Datos de Seguridad

según Directiva 91/155/EEC y Norma ISO 11014-1
(ver instrucciones en Anexo de 93/112/EC)

Página 1/5

Revisión: 15.01.2007

Código: 1029000

1. Identificación del producto y de la empresa

Identificación del producto:

Nombre comercial

Sika Aer

Información del fabricante/distribuidor

Fabricante/distribuidor: Sika S.A. Chile

Dirección: Av. Pte. Salvador Allende 85

Código postal y ciudad: Santiago de Chile

País: Chile

Número de teléfono: 510 65 10

Telefax: 552 37 35

Información general: Ecología

Teléfono de urgencias: **Intoxicaciones, CITUC: + 562 635 3800**

Emergencias Químicas, CITUC-QUIMICO: +562 247 3600

2. Composición/información de los componentes

Descripción química

Solución Acuosa de Resina Vinsol

3. Identificación de peligros

Identificación de Riesgos de Materiales Según NCh 1411 (HMIS Rating)

H : 1 F : 0 R : 0 PPE : B

H : Health : Salud

F : Flammability : Inflamabilidad

R : Reactivity : Reactividad

PPE: Personal Protective Equipment: Equipo de Protección Personal (Ver Pto 8)

4. Primeros auxilios

Instrucciones generales

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

En caso de inhalación

Procurar aire fresco.

Si se sienten molestias, acudir al médico.

En caso de contacto con la piel

Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.

En caso de contacto con los ojos

Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos.

Tratamiento médico necesario.

En caso de ingestión

No provocar el vómito.

Requerir inmediatamente ayuda médica.

Nombre comercial: Sika Aer	Página 2/5
Revisión: 15.01.2007	Código: 1029000
5. Medidas de lucha contra incendios	
Medios de extinción adecuados: Elegir los medios de extinción según el incendio rodeante.	
Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad: Chorro de agua	
Equipo de protección para el personal de lucha contra incendios Usar equipo respiratorio autónomo.	
Indicaciones adicionales Refrigerar con agua pulverizada los recipientes en peligro. El producto no arde por si mismo Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.	
6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental	
Medidas de protección del medio ambiente: En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.	
Métodos de limpieza Recoger con materiales absorbentes adecuados. Tratar el material recogido según se indica en el apartado "eliminación de residuos". Eliminar los residuos con agua	
7. Manipulación y almacenamiento	
Manipulación: Indicaciones para manipulación sin peligro Ver capítulo 8 / Equipo de protección personal	
Almacenamiento: Exigencias técnicas para almacenes y recipientes Mantener los recipientes herméticamente cerrados y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado.	
Indicaciones para el almacenamiento conjunto Mantener alejado de alimentos, bebidas y comida para animales.	
Información adicional relativa al almacenamiento Proteger de las heladas. Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares directos.	

Nombre comercial: **Sika Aer**

Página 3/5

Revisión: 15.01.2007

Código: 1029000

8. Límites de exposición y medidas de protección personal

Protección personal:

Medidas generales de protección e higiene
Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.
Observar las medidas de precaución habituales en el manejo de productos químicos.
Preveer una ventilación suficiente o escape de gases en el area de trabajo

Protección de las manos
Guantes de goma natural o sintética

Protección de los ojos
Gafas protectoras

Protección corporal
Ropa de trabajo

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto:

Estado físico: Líquido
Color: Pardo
Olor: suave olor a colofonia

Datos signif. p. la seguridad

Punto de ebullición	> 100 °C
Punto de inflamación:	No aplicable
Inflamabilidad	No aplicable
Temperatura autoinflamació	No aplicable
Peligro de explosión:	No aplicable
Límite explosión inferior	No aplicable
Límite explosión superior	No aplicable
Densidad a 20°C	1.01 - 1.02 g/cm3
Solubilidad en agua a 20°C	El producto es miscible.
pH a 20°C	10.5 - 11.5
Viscosidad a 20°C	5 - 15 mPa.s

Nombre comercial: Sika Aer	Página 4/5
Revisión: 15.01.2007	Código: 1029000
10. Estabilidad y reactividad Condiciones que deben evitarse No se conocen Materias que deben evitarse / Reacciones peligrosas Posibles reacciones peligrosas con: Acidos Descomposición térmica y productos de descomposición peligrosos Utilizando el producto adecuadamente, no se descompone.	
11. Informaciones toxicológicas Sensibilización: No se conocen efectos sensibilizantes a largo plazo Experiencia sobre personas Contacto con la piel: Puede causar irritación Contacto con los ojos: Irritación Inhalación: Puede causar irritación Ingestión: Puede causar perturbaciones en la salud	
12. Informaciones ecológicas Indicaciones adicionales Debido al pH puede poner en peligro los organismos acuáticos No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.	
13. Eliminación de residuos No desperdicie el Producto. Use abundante agua para el lavado del envase y luego utilícelo como agua para amasado. Si ha de eliminar el producto, agregar cemento y dejar endurecer (el residuo endurecido es inerte), o bien identifique como residuo especial. Para la disposición final, tomar contacto con la autoridad competente y/o empresa autorizada de eliminación de residuos. La eliminación está regulada por la legislación vigente.	
14. Información relativa al transporte ADR/RID Información complementaria Mercancía no peligrosa	

Nombre comercial: Sika Aer	Página 5/5
Revisión: 15.01.2007	Código: 1029000
14. Información relativa al transporte (continuación)	
IMO/IMDG Información complementaria Mercancía no peligrosa	
IATA/ICAO Información complementaria Mercancía no peligrosa	
15. Disposiciones de carácter legal Según la legislación nacional correspondiente, el producto no requiere etiqueta.	
16. Otras informaciones	
La información contenida en este ficha de Datos de Seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicarán nuestras Condiciones Generales de Venta en vigor. Por favor, consulte la Hoja Técnica del producto antes de su utilización.	

BIBLIOGRAFÍA

- CZERNIN WOLFGANG. “La Química del cemento”. Ed. Palestra, Barcelona_1963, España.
- PARKER HARRY. “Diseño simplificado de concreto reforzado”. Ed. Limusa 1971, México.
- HUMMEL ALFRED, METZGER GERARDO. “Prontuario del hormigón”. Ed. Palestra, Barcelona1966, España.
- ZABALETA, HERNAN. “Compendio de Tecnología del Hormigón”. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago 1988, Chile.
- ZABALETA, HERNAN; MONTEGU, JORGE. “Manual de Aditivos: Adiciones y Protecciones del Hormigón”. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago 1990, Chile.
- “Manual de Ensayos”. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago 1989, Chile.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 148 of. 1968. Cemento – Terminología y Unidades.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 163 of. 1979. Áridos para Morteros y Hormigones – Requisitos Generales.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 164 of. 1976. Áridos para Morteros y Hormigones – Extracción y Preparación de Muestras.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 165 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Tamizado y Determinación de la Granulometría.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 166 of. 1962. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 170 of. 1985. Hormigón – Requisitos Generales.

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 171 of. 1975. Hormigón – Extracción de Muestras del Hormigón.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1017 of. 1975. Hormigón – Confección y Curado en Obra de Probetas para Ensayos de Comprensión y Tracción.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1018 of. 1977. Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1019 of. 1974. Construcción – Hormigón – Determinación de la Docilidad – Método del Asentamiento del Cono de Abrams.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1037 of. 1977. Hormigón – Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1038 of. 1977. Hormigón – Ensayo e Tracción por Flexión.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1117 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta y la Absorción de Agua de las Gravas.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1223 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación del Material Fino menor a 0,080 mm.
- 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.

Referencias de Internet

- Reyes S, Constituyentes del Hormigón.
<http://www.construaprende.com/Trabajos/T10/T10Pag01.html>
- De la Peña Bernardo, 2003. “Los Aditivos - Una Solución Real”, Jefe Departamento Técnico - SIKA S.A. Chile.
http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_Articulo=972
- “Aditivos para Hormigón y Mortero”.
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%209.htm>
- “Hormigón Fresco y Endurecido”.
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%207.htm>
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/exudacionT7.htm>
- Ficha técnica **Sika® Aer**, Aditivo incorporador de aire
<http://www.sika.cl/productos/products-det-group.asp?idGru=1>