



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE OBRAS CIVILES**

**DIFERENCIA ENTRE USAR SUPER-PLASTIFICANTE V/S AGUA, PARA LA
RECUPERACIÓN DE CONO DEL HORMIGÓN**

Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor

CLAUDIO ANTONIO SALGADO ROZAS

**Profesor Guía
Sr. Carlos Alarcón**

**SANTIAGO DE CHILE
Noviembre, 2015**

AGRADECIMIENTOS

A mis familiares, tíos, amigos y principalmente mis padres, por estar durante todo el proceso de mi carrera apoyándome.

A mis profesores, que aportaron de manera importante a la formación y entrega de conocimientos que hoy en día son fundamentales.

A mi profesor guía y la ayuda que recibí en el laboratorio, ya que aportaron con sus conocimientos y tiempo para la creación de esta memoria.

Y sin duda agradezco al pilar fundamental en mi vida que es mi hijo, el cual día a día me entrega motivación y fuerzas para siempre seguir adelante.

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.1.1 Antecedentes Históricos	9
1.1.2 Contextualización	14
1.1.3 Problematización	14
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACION	15
1.2.1 Pregunta central	15
1.2.2 Preguntas secundarias	15
1.2.3 Relevancia	16
1.2.4 Justificación	16
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
2. DEFINICIONES	18
2.1 ADITIVOS	19
2.2.2 Aditivo super-plastificante	21
2.2 CLIMA CÁLIDO	23
2.2.1 Clima de verano en Santiago	25
2.3 CONO DE ABRAMS	26
2.4 RELACION AGUA/CEMENTO	30
3. COLOCACIÓN DE HORMIGÓN EN CLIMA CALUROSO	32
3.1 EFECTO DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL HORMIGÓN.	36
3.2 ENFRIAMIENTO DE LOS MATERIALES DEL HORMIGON	39
3.3 PREPARACIÓN ANTES DE LA COLOCACIÓN.	40
3.4 TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y ACABADO	41
4. HORMIGÓN	42
4.1 HORMIGÓN EN CHILE	43
4.2 HORMIGÓN BOMBEADO	44
4.2.1 Materiales de un hormigón bombeado	44
4.2.2 Características de un hormigón bombeado	45
4.2.3 Ventajas de un hormigón bombeado	46

5. MARCO METODOLOGICO	47
6. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	50
6.1 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE RESISTENCIA	51
6.2 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO	52
7. CONCLUSIÓN	55
8. BIBLIOGRAFÍA	57
9. ANEXOS	60
Anexo A: DOSIFICACIÓN	61
Anexo B: SUPERPLASTIFICANTE.....	63
Anexo C: DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES REAL Y NETA, Y LA ABSORCIÓN DE AGUA DE LAS GRAVAS SEGÚN NCH 1117, 2010	66
Anexo D: DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES DE LA ARENA SEGÚN NCH 1116, 2008	67
Anexo E: DESARROLLO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN	68
Anexo F: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS SUGUN NCH1037, 2009	70
Anexo G: TAMIZADO Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA SEGÚN NORMA 165, 2009.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tolerancia en el control del asentamiento.....	11
Tabla 1.2: Máxima relación A/C y mínimo contenido de cemento.....	1
Tabla 2.1: Clasificación del asentamiento de cono	29
Tabla 6.1: Resistencia de hormigones a diferentes edades.....	50
Tabla 6.2: Datos del ensayo de hormigón levantado con agua	53
Tabla 6.3: Datos del ensayo de hormigón levantado con superplastificante	53
Tabla 9.1: Dosificación H30 (90)- 20-10	61
Tabla 9.2: Corrección por humedad	61
Tabla 9.3: Peso de agua retenido en los áridos a reemplazar	61
Tabla 9.4: Humedad libre de los áridos	62
Tabla 9.5: Dosificación corregida	62

Tabla 9.6: Dosificación corregida para 80 litros	62
Tabla 9.7: Resistencia a compresión de los diferentes cubos de hormigón en kN.....	70
Tabla 9.8: Resistencia a compresión de los diferentes cubos de hormigón en kg/cm ²	71
Tabla 9.9: Tamizado de la gravilla	72
Tabla 9.10: Tamizado de la arena	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del hormigón	10
Figura 2.1: Cono de Abrams.	26
Figura 2.2: Llenado y compactación de capas.....	28
Figura 2.3: Medida del asentamiento de cono.....	28
Figura 2.4: Asentamiento	29
Figura 3.1: Enfriamiento del hormigón con nitrógeno líquido	35
Figura 3.2: Agua adicional para mantener el asentamiento según la temperatura del hormigón	36
Figura 3.3: Tiempo de inicio de fraguado según la temperatura de colocación.....	37
Figura 3.4: Efecto de la alta temperatura inicial del hormigón sobre la resistencia a compresión.....	38
Figura 3.5: Efecto de la temperatura de los materiales sobre la temperatura del hormigón... ..	40
Figura 6.1: Curva de resistencia del hormigón	52
Figura 6.2: Comportamiento del cono levantado con agua según tiempo y temperatura del hormigón	54
Figura 6.3: Comportamiento del cono levantado con superplastificante según tiempo y temperatura del hormigón	54
Figura 9.1: Calculo de las densidades en laboratorio	67
Figura 9.2: Elaboración de mezcla en el laboratorio	68
Figura 9.3: Llenado y curado de probetas	69
Figura 9.4: Compresión de cubos de hormigón	70
Figura 9.5: Curva granulométrica de la gravilla	73
Figura 9.6: Curva granulométrica de la arena.....	74

RESUMEN

Hoy en día la planificación diaria en la construcción en la etapa de obra gruesa, está muy mal desarrollada, ya que no se incluyen diversos factores como, falla de maquinarias, falta de herramientas, atraso por faenas más complejas, desmotivación de la mano de obra, entre otros factores que influyen día a día, que hacen que en varias ocasiones la planificación no se cumpla.

Esto tiene como consecuencia que los camiones mixer programados esperen más del tiempo normal afuera de obra, ya sea por pequeños periodos de tiempo, o por tiempos más prolongados. Esto se puede observar a diario y es un problema que es muy frecuente en la mayoría de las constructoras y es ahí en donde se centra esta memoria.

Cuando tenemos largos tiempos de espera sumado a altas temperaturas ambientales, que también afecta de manera importante a las propiedades del hormigón, apreciamos visualmente que su trabajabilidad en estado fresco se pierde más rápido con el paso del tiempo, al igual que el cono del hormigón, lo cual en obra este problema frecuentemente lo mejoran añadiendo agua, sin tomar en cuenta y sin saber que sucede con las resistencias una vez fraguado el hormigón.

Es por eso, que esta investigación tiene como objetivo conocer la diferencia entre usar agua o súper-plastificante en la recuperación del cono del hormigón, cuando se presenta el problema ya antes mencionado.

Para eso, primero se estudio de forma individual los factores externos y para llegar de manera científica al resultado se hizo a través de ensayos en el laboratorio, por lo cual fue importante saber cuáles eran los ensayos con sus respectivas normas para su realización.

Con los ensayos, se determinó con exactitud lo que sucede con las resistencias del hormigón, a temprana edad como también a largo plazo, cuando se incorpora agua y cuando se añade aditivo superplastificante a la mezcla para recuperar cono.

Con esta memoria se espera que el resultado sirva para prestar mayor atención e importancia en obra, a la hora de enfrentarse con este problema y así poder darle una correcta solución.

Palabras claves: Incorporación de agua al hormigón premezclado en obra - Súperplastificante - Asentamiento de cono - Pérdida de cono en obra - Colocación de hormigón en clima cálido.

ABSTRACT

Nowadays the daily planning in the construction is developed very badly, since diverse factors are not included as, flaw of machineries, lack in tools, delay for more complex tasks, desmotivación of the workforce, between other factors that influence day after day, that do that in several occasions the planning is not fulfilled.

This has as consequence for that the mixer trucks programmed wait more of the normal time out of work, already be for small periods of time, or in more long times. This can be observed daily and is a problem that is very frequent in the majority of the construction, and it is there where it centres this memory.

When we have long times of wait, added to high environmental temperatures, which also it affects in an important way to the properties of the concrete, we appreciate visually that his trabajabilidad in fresh condition gets lost more rapid with the passage of time, just like the cone of the concrete, in work this problem frequently the improve it adding water, without bearing in mind and without knowing happens with that the resistances of concrete once hard.

It is because of it, that this investigation has as aim know the difference between using water or super - plasticizing in the recovery of the cone of the concrete, when one presents the problem already aforementioned.

For it, first we study of individual form the external factors, and for to get of a scientific way the result, it was done across tests in the laboratory, for which it was important to know which were the tests with his respective procedure for his accomplishment.

With the tests, it is determined exactly what happens with the resistances of concrete, to early age as also in the long term, when is added water and when is added superplasticizer additive to the mixture to recover cone.

With this memory it hopes that the result serves to give major attention and importance in work, at the moment of facing this problem and this way to be able to give him a correct solution.

Key words: Water incorporation in the concrete premezclado in work - Superplasticizing - Settling of cone - Loss of cone in work - Placement of concrete in hot climate.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes Históricos

Adición de Agua en Obra

La adición de agua en la obra es la que se le hace al hormigón premezclado en el camión mezclador, después que éste haya llegado al lugar de vaciado del hormigón. Tal retemplado o ajuste de mezcla del hormigón puede ser efectuado con una porción del agua de diseño que es retenida durante el mezclado inicial, o con agua adicional al diseño de la mezcla, a solicitud del comprador acuerdo con la ASTM C 94, “Especificación normativa para el Hormigón Premezclado”.

¿Por qué se agrega agua en el lugar?

Cuando el hormigón llega a la obra con un asentamiento que está por debajo del permitido por el diseño o por especificación y/o esta consistencia es tal que afecta de forma adversa a la colocación del hormigón, se le debe añadir agua al hormigón para aportarle un asentamiento (revenimiento) hasta un nivel aceptable o especificado.

Esto puede hacerse cuando el hormigón llega al lugar de trabajo siempre y cuando no se exceda el asentamiento especificado y/o la relación agua/cemento.

Esta adición de agua está de acuerdo con la ASTM C 94, “Especificación normativa para el Hormigón Premezclado”.

El proveedor de hormigón premezclado diseña la mezcla de hormigón de acuerdo con las normas industriales para garantizar el desempeño deseado.

La adición de agua adicional al diseño de la mezcla afectará las propiedades del hormigón, como es la reducción de la resistencia (Figura 1.1) y el incremento de su vulnerabilidad a grietas.

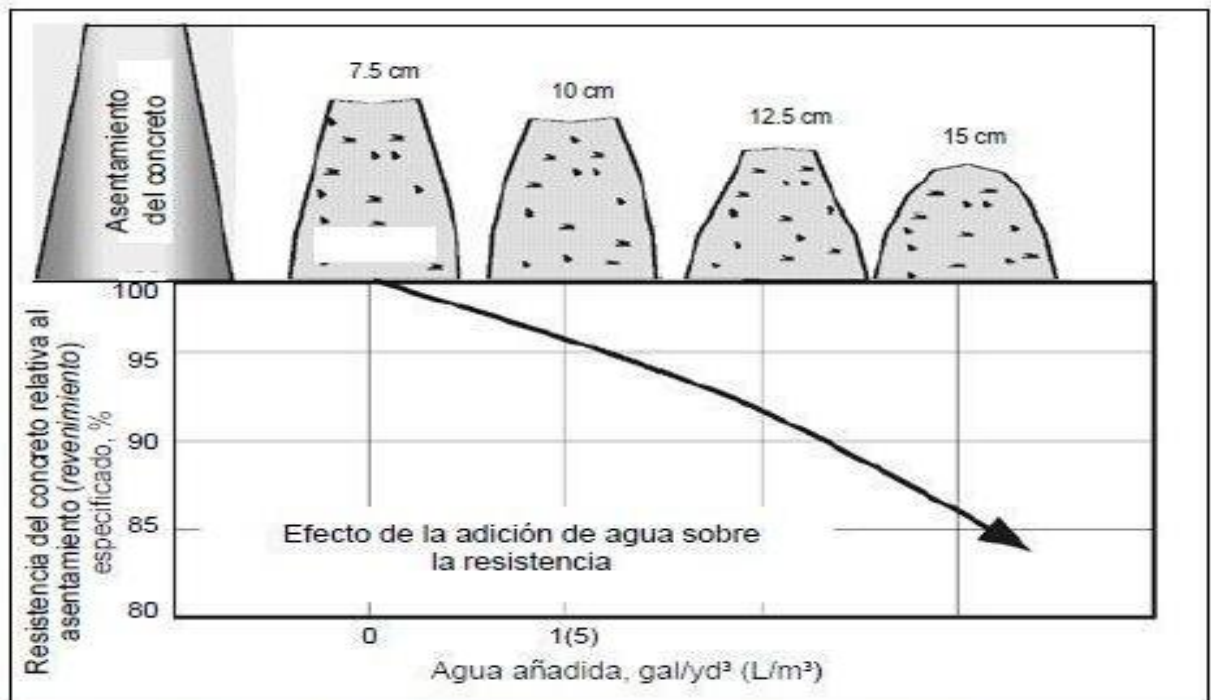


Figura 1.1: Efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del hormigón.
(Fuente: NRMCA Publicación 186, "Ready mixed Concrete" Richard D. Gaynor, Silver Spring, 1995)

Si el comprador solicita agua adicional al diseño original de la mezcla, él mismo asume la responsabilidad por la calidad resultante del hormigón a través de la firma de la guía de despacho.

La alternativa de utilizar un aditivo reductor de agua o un súper-plastificante para incrementar el asentamiento del hormigón debería ser considerado siempre que se evite la segregación, el incremento del asentamiento del hormigón con el empleo de aditivos usualmente no alterará de forma significativa sus propiedades.

¿Cómo añadir agua en la obra?

El asentamiento máximo permisible del hormigón debe ser especificado o determinado a partir del asentamiento nominal especificado más las tolerancias.

Tabla 1.1: Tolerancia en el control del asentamiento.

Asentamiento de cono, cm	Tolerancia, cm
≤ 2	± 1
3 a 9	± 2
≥ 10	± 3

Fuente: NCh 170 of 2013.

Antes de descargar el hormigón en la obra, debe ser determinado el asentamiento real de la mezcla. Si se mide el asentamiento, debe hacerse sobre una muestra proveniente del primer cuarto de yarda cúbica (0.2 m³) de hormigón descargado y el resultado se utilizará como un indicador de la consistencia y no como un ensayo de aceptación. Los ensayos para la aceptación del hormigón deben hacerse de acuerdo con la ASTM C 172. (NCh 171. E Of 2008)

En el lugar de trabajo, se deberá añadir agua a la mezcla entera, de manera que el volumen de hormigón a ser reemplazado sea conocido.

Un principio para tener en cuenta, que trabaja razonablemente bien es: 5 litros de agua por metro cúbico para 25 mm de incremento en el asentamiento. En la práctica, se le puede colocar agua durante la descarga por diversos problemas que pueden aparecer en esta.

Toda el agua añadida al hormigón en el lugar de la obra debe ser medida y anotada.

La ASTM C 94 requiere de 30 revoluciones o giros adicionales de la olla (tolva) a velocidad de mezclado después de la adición de agua. De hecho, 10 revoluciones serán suficientes si el camión puede mezclar a 20 revoluciones por minuto (r.p.m.) o más.

La cantidad de agua añadida deberá ser controlada de manera que el asentamiento y/o la relación agua/cemento máxima, que se indica en la especificación, no sea excedida. No se permite adición de agua alguna después que se haya descargado más de una pequeña porción del hormigón.

Una vez que se haya obtenido el asentamiento o la relación agua/cemento deseada, no se permitirá ninguna adición posterior de agua.

Efectuarse una reunión de trabajo, para establecer los procedimientos adecuados a seguir, determinar quién está autorizado a solicitar una adición de agua y para definir el método a utilizar para documentar el volumen de agua añadido en la obra.

ASTM C 94 Adición de agua en obra.

Establecer el asentamiento máximo permisible y el contenido de agua permitido por la especificación del trabajo.

Estimar o determinar el asentamiento del hormigón a partir de la primera porción de hormigón descargado del camión.

Añadir una cantidad de agua tal, que no se exceda el asentamiento o la relación agua/cemento máxima de acuerdo con la especificación.

Medir y anotar la cantidad de agua añadida. Una cantidad de agua en exceso de la permitida debe ser autorizada por un representante designado por el comprador.

Mezclar el hormigón durante 30 revoluciones de la tolva, de la mezcladora a velocidad de mezclado.

No añadir agua si:

- Se alcanza la relación agua/cemento máxima. (Tabla 1.2)
- Si se obtiene el asentamiento máximo.
- Si ha sido descargada de la mezcladora más de un 10% de la mezcla.

Tabla 1.2: Máxima relación A/C y mínimo contenido de cemento.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima Relación a/c	masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Fuente: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Hormigon/Temas/DosificacionHormigones.pdf

Como estas medidas y precauciones no se cumplen y sumado a las altas temperaturas registradas en Santiago, teniendo 30,4 C° como promedio de máximas registradas en verano del 2015 (Según la “Dirección Meteorológica de Chile”), es por eso que nace la inquietud de estudiar el comportamiento del hormigón y su resistencia.

Además, como se verá más adelante, el uso de hormigón para la construcción en la capital es alto, en comparación a otros materiales de construcción.

1.1.2 Contextualización

El problema de pérdida de cono ocurre en la mayoría de las obras y más aún en tiempos calurosos como en verano, pero el problema real y más importante es la mala práctica que tienen las obras al incorporar agua al hormigón para recuperar cono.

Este problema se presenta cuando los camiones llegan a obra y aún están vaciando el camión anterior o cuando la partida que se desea hormigonar aún no está preparada, entonces el camión debe esperar y en el proceso de espera el hormigón va perdiendo trabajabilidad y su asentamiento de cono.

En algunos casos la obra pide hormigón a frecuencias mayores de la capacidad de descarga para evitar los retrasos de camiones y prefieren dejar a la espera obteniendo como resultado la pérdida de cono en la mezcla.

1.1.3 Problematización

El hormigón es el material más usado en la construcción actualmente, y los edificios son básicamente hormigón y acero, es por esto su importancia

Usar agua para la recuperación de cono es la práctica más frecuente en obra y esto hace que las resistencias bajen y puedan afectar directamente a la resistencia final del elemento.

Este estudio es muy importante de hacer, ya que si el resultado final del estudio revela que la resistencia del hormigón baja considerablemente al añadir agua en comparación al uso de un aditivo super-plastificante, esto puede servir para tomar conciencia y puedan usar en el 100% de los casos super-plastificante para la recuperación de cono en obra.

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

1.2.1 Pregunta central

¿Cuál es la diferencia en la resistencia del hormigón, entre usar agua o súper-plastificante, para recuperar cono al momento de la colocación del hormigón?

¿Se mantendrá o disminuirá la resistencia del hormigón a los 28 días de fraguado, usando super-plastificante para la recuperación de cono?

1.2.2 Preguntas secundarias

¿Qué pasara con la temperatura del hormigón una vez levantado su cono en ambos casos?

¿Cómo se comportaran las propiedades del hormigón en estado fresco después de recuperar cono con agua y para cuando es recuperado con aditivo superplastificante?

1.2.3 Relevancia

El resultado que se espera obtener de esta investigación es demostrar cuantitativamente lo que se reduce la resistencia del hormigón con la incorporación de agua, simulando lo que pasa a diario, con ensayos en laboratorio, y espero obtener y demostrar que lo correcto en los casos de que el hormigón haya perdido cono, es la incorporación de super-plastificante a la mezcla y demostrar que las propiedades del hormigón se mantienen o disminuyen levemente.

El impacto es, que los que agregan agua al hormigón premezclado tomen conciencia sobre el tema, ya que ellos desconocen de cuanto realmente afecta esa practica erronea que hacen al añadir agua, porque no hay ningún artículo o estudio sobre el verdadero valor en el que el hormigón se ve afectado, por lo tanto se espera que con el estudio se preocupen más del tema y puedan así acostumbrarse y preocuparse de tener varios litros de super-plastificante para cuando se vean afectados a problemas de pérdida de cono.

1.2.4 Justificación

Esta investigación tiene como fin crear conciencia en que es mejor invertir un poco más en la utilización de un súper-plastificante, ya que a largo plazo la utilización de agua podría traer más problemas y un costo mucho mayor.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo general

Conocer la diferencia entre usar, agua o superplastificante para la recuperación de cono del hormigón.

1.3.2 Objetivos específicos

Conocer las diferentes variables que afectan directamente a la baja de cono del hormigón.

Analizar el efecto que causa la adición de superplastificante en el hormigón

Saber el comportamiento real de la resistencia del hormigón en sus diferentes edades, cuando el cono del hormigón es levantado con agua y para cuando es levantado con superplastificante.

Y también saber el comportamiento en estado fresco del hormigón una vez que es levantado su cono para los ambos casos anteriores.

2. DEFINICIONES

2.1 ADITIVOS

Los aditivos son productos que, introducidos en pequeña porción en el hormigón, modifican 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 entre un 0.1 % y 5 % del peso del cemento.

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón. Sin embargo su empleo debe ser considerado cuidadosamente, siendo importante verificar cual es su influencia en otras características distintas de las que se desea modificar.

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.

Los aditivos se clasifican según la norma ASTM C 494 "Chemical Admixtures for Concrete", distingue siete tipos:

- TIPO A: Reductor de Agua.
- TIPO B: Retardador de Fraguado.
- TIPO C: Acelerador de Fraguado.
- TIPO D: Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E: Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F: Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G: Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador.

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C260 "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:

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

Según la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” establecen una clasificación más amplia.

Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:

- Plastificantes – Reductores de agua:

- Incorporadores de aire.
- Polvos minerales Plastificantes.
- Estabilizadores.

- Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:

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

- Aditivos que modifican el contenido de aire:

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

-Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:

-
- Incorporadores de Aire.
 - Anticongelantes.
 - Impermeabilizantes.

- Aditivos miscelaneos:

- Aditivos de cohesión – emulsiones
- Aditivos combinados
- Colorantes
- Agentes formadores de espuma

Debido a que esta clasificación está 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.

Y finalmente tenemos la Nch 2182 - Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos.

Esta norma clasifica y establece los requisitos de los aditivos químicos que se agregan al hormigón y al mortero durante su fabricación y se clasifican en los siguientes ocho tipos de aditivos:

- TIPO A: Aditivos plastificantes.
- TIPO B: Aditivos retardadores.
- TIPO C: Aditivos aceleradores.
- TIPO D: Aditivos plastificantes y retardadores.
- TIPO E: Aditivos plastificantes y aceleradores.
- TIPO F: Aditivos superplastificantes.
- TIPO G: Aditivos superplastificantes y retardadores.
- TIPO H: Aditivos incorporadores de aire.

2.2.2 Aditivo super-plastificante

Corresponden a una nueva generación de aditivo plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución de los aditivos reductores de agua, en que la absorción y la capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.

Es un aditivo de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada.

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 20% y 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.

-Efectos:

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 periodo.

Los homigones 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 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.

Otro factor importante a tener en consideración, es sobre la base de ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra indican que la sobredosis de aditivo superplastificantes o su aplicación en un hormigón de composición inadecuada puede producir una fuerte segregación, depositándose las partículas sólidas en una masa compacta y dura, mientras el agua de amasado sube a la superficie del hormigón.

- Ventajas de usar Super-plastificante:

- Consistencia fluida sin disminución de resistencias mecánicas.
- Hormigón de altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua (15% –25%).
- Incremento de la impermeabilidad, durabilidad y resistencia al ciclo hielo/deshielo.
- Confiere al hormigón una superficie de excelente calidad y permite realizar formas complicadas.
- Aumento de la productividad de la faena de hormigonado, facilidad de colocación, compactación y terminación superficial.
- Mejora substancialmente las características del hormigón bombeado, reduciendo las presiones de bombeo y aumentando considerablemente el rendimiento del equipo

2.2 CLIMA CÁLIDO

El clima cálido es definido por el Comité 305 (Hot Weather Concreting) del ACI como “una combinación de las condiciones que tienden a deteriorar la calidad del hormigón en estado fresco o endurecido, mediante la aceleración de la velocidad de pérdida de

humedad y la velocidad de hidratación del cemento”. Dichas condiciones se citan a continuación:

- Alta temperatura ambiental
- Alta temperatura del hormigón
- Baja humedad relativa

- Velocidad del viento
- Radiación solar

Algunos problemas potenciales del hormigón en estado fresco son los siguientes:

- Incremento en la demanda de agua.
- Incremento en la pérdida de fluidez o asentamiento y el correspondiente problema de la adición de agua en la obra.
- Incremento en la velocidad de fraguado, lo que resulta en una mayor dificultad para manejar, compactar y darle acabado al hormigón, asimismo una mayor probabilidad de tener juntas frías.
- Incremento en la tendencia de agrietamiento por retracción plástica.

Por otro lado, el hormigón en estado endurecido tiene los siguientes problemas en climas cálidos:

- Pérdida de resistencia a edades de 28 días y posteriores como resultado de una mayor demanda de agua y de una temperatura mayor del hormigón.
- Tendencia a la retracción por secado y al agrietamiento debido a diferenciales térmicos.
- Reducción de la durabilidad.
- Mayor variación en la apariencia superficial.

Otros factores que complican las operaciones de hormigonado en climas cálidos son los siguientes:

- La utilización de cementos con una alta finura de molido.
- El uso de hormigones de altas resistencias con altos contenidos de cemento.

- El diseño de secciones estructurales estrechas y con una cuantía grande de acero de refuerzo.
- Necesidades económicas de continuar los trabajos de hormigonado en ambientes muy cálidos.

(Hot Weather Concreting)

2.2.1 Clima de verano en Santiago

Las temperaturas en Chile y particularmente en Santiago son cada vez más altas, siendo 35,5 °C la temperatura más alta registrada históricamente en Santiago en Marzo del año 2015.

La Dirección Meteorológica marcó 35,5°C, superando el récord histórico desde que se tiene registro (1901), que correspondía al 14 de marzo de 2012, cuando el termómetro marco 35,2°C.

“Esta es la temperatura más alta para el mes de marzo en la Estación Quinta Normal, que es la más antigua y que marca la temperatura oficial en Santiago, aunque es posible que en otros puntos de la Región Metropolitana la temperatura sea mayor, como Colina” explicó Evita Amador, de la Dirección Meteorológica.

Aunque utilicemos medios para crear zonas con mayor sombra, esto no sería de gran utilidad, ya que la temperatura bajo sombra es de 34°C, un poco más bajo que bajo sol, es por eso que este problema es difícil de controlar ya que depende de un factor natural.

Este efecto se crea por las altas presiones que hacen que el aire se vuelva más pesado a nivel del suelo y más caliente, explica Gianfranco Marconi, meteorólogo de Chileweather.

2.3 CONO DE ABRAMS



Figura 2.1: Cono de Abrams. (Fuente NCh.1019)

La Nch 1019 establece las especificaciones y procedimientos para determinar la docilidad del hormigón fresco, mediante el ensayo realizado tanto en obra como en laboratorio, conocido como método del cono de Abrams.

El método es aplicable sólo a hormigones cuyo árido sea de tamaño inferior o igual a 50 mm (2") y de plasticidad y cohesión suficientes para aceptar el ensayo.

El ensayo del cono de Abrams permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta un tronco cónico moldeado con hormigón fresco, con la limitación de no determinar docilidades para asentamientos inferiores a 2 cm o mayores a 18 cm.

El molde utilizado para este ensayo consiste en un tronco de cono recto metálico cuyo diámetro superior es de $100 + 1.5$ mm, diámetro inferior de $200 + 1.5$ mm, y altura igual a $300 + 1.5$ mm. ; Provisto de dos pisaderas en la parte inferior para la sujeción por parte del operador durante el llenado, y dos asas en el tercio superior para levantar el molde después del llenado.

Procedimiento:

La cantidad de hormigón necesaria para efectuar el ensayo no será inferior a 8 litros y se determina de acuerdo a la NCh.1019.

- Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, rígida, no absorbente, ambos limpios y humedecidos sólo con agua.
- El operador se posa sobre las pisadoras evitando el movimiento del molde durante el llenado.
- Se llena el molde con tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonando cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón distribuidos uniformemente.
- La capa inferior se apisona en toda su profundidad; la mitad de los golpes se darán alrededor del perímetro ligeramente inclinado. La capa media y superior se debe apisonar penetrando la capa subyacente. Al apisonar la última capa se debe mantener un exceso permanente sobre el borde superior del molde.
- Terminado el llenado y compactado del molde, se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla-pisón y se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde.
- Inmediatamente llenado el molde, enrasado y retirado los residuos de hormigón, se carga el molde con las manos, se liberan las pisaderas; se procede a levantar el molde en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un lapso de 5 a 10 segundos.
- Se coloca el molde al lado del hormigón moldeado.
- Todo el procedimiento de llenado, compactado, enrase y levantamiento del cono, no debe demorar más de 3 minutos.
- Luego de levantado el molde, se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto al molde, aproximando a 0.5 cm. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original.

- Si el hormigón se inclina decididamente hacia un lado después de retirado el molde o sufre disgregaciones, se repite el ensayo, si por segunda vez se presenta este fenómeno, se considera el hormigón no apto para realizar el ensayo del cono por carecer de la plasticidad y cohesión necesaria. (DETERMINACIÓN DE LA DOCILIDAD – MÉTODO DEL CONO DE ABRAMS - Norma Chilena 1019)



Figura 2.2: Llenado y compactación de capas. (Fuente NCh.1019)

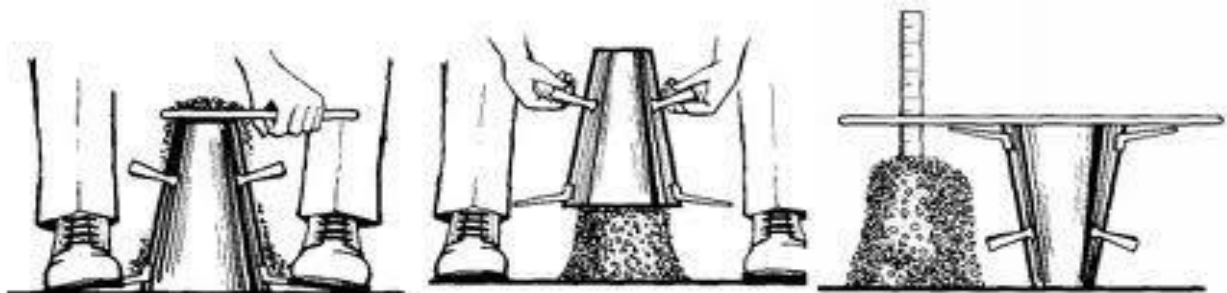


Figura 2.3: Medida del asentamiento de cono. (Fuente NCh.1019)

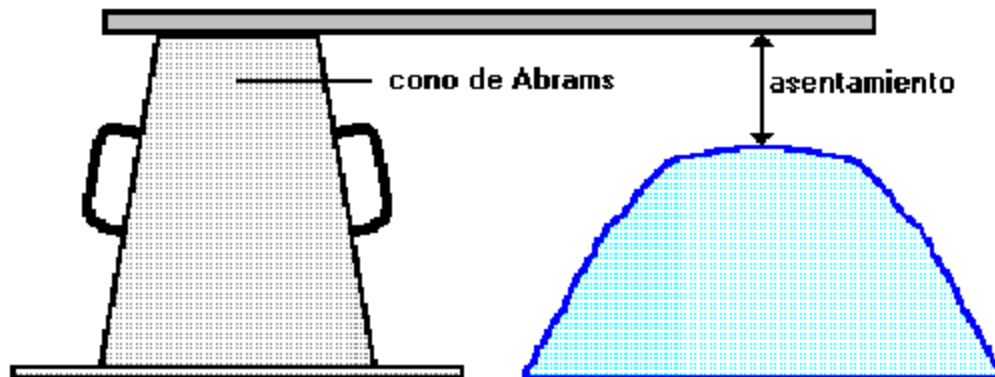


Figura 2.4: Asentamiento. (Fuente NCh.1019)

Expresión de resultados:

Expresar el asentamiento del cono de Abrams como la diferencia entre la altura original y el descenso de altura del hormigón moldeado.

Tabla 2.1: Clasificación del asentamiento de cono.

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0-2
Plástica (P)	3-5
Blanda (B)	6-9
Fluida (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Fuente: NCh.171

2.4 RELACION AGUA/CEMENTO

La relación agua / cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua cemento es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

$$R = \frac{a(gr)}{c(gr)}$$

R Relación agua / cemento

a: Masa del agua del hormigón fresco

c: Masa del cemento del hormigón

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Como en la mayoría de las transformaciones química, las cantidades de elementos que participan en esta relación están en proporción fija. La hidratación completa de 100 g de cemento portland requiere 20 g de agua, aproximadamente, lo que corresponde a una relación agua / cemento = 0,2. En los minúsculos intersticios 3 del gel en formación se fijan por, por adsorción, otras moléculas de agua, a razón también de 20 g de agua por 100 g de cemento, aproximadamente, al final del proceso.

En consecuencia el cemento portland fija, para su endurecimiento, una cantidad de agua correspondiente a una relación agua / cemento = 0,4.

El agua suplementaria no está fijada y ocupa en la pasta de cemento endurecido cierto volumen en forma de poros capilares.

Cuanto mayor sea la existencia de agua en exceso habrá mayor cantidad de capilares en la pasta de cemento. Cuando la cantidad total de capilares corresponde a una relación $a/c = 0,7$, los capilares son tan numerosos que están unidos entre si formando una red permeable. La proporción de capilares con relación a la materia sólida será 1:2 (fig. 3).

En consecuencia, si se agregan 70 g de agua a 100 g de cemento ($a/c = 0,7$)

- Los primeros 20 g son fijados químicamente.
- Los 20 g siguientes son fijados por adsorción
- Los 30 g restantes quedan libres en la red de capilares

Esta representación simple de la formación de la pasta de cemento endurecido suscita las constataciones siguientes:

- La influencia de la relación agua / cemento sólo concierne a la pasta de cemento endurecida, y no depende de las propiedades de los agregados del hormigón.
- La disminución de la resistencia del hormigón debida al aumento de la relación agua / cemento se explica por la disminución de la compacidad de la pasta de cemento.
- La porosidad incrementada debido a un aumento de la relación agua / cemento acarrea una disminución de la compacidad y en consecuencia de la resistencia química del hormigón.
- La cantidad suplementaria de agua, libre y móvil en la pasta de cemento endurecida, provoca un aumento del coeficiente de retracción del hormigón. (Traducción del Bulletin du Ciment N° 7 – Julio 1978 – Suiza)

3. COLOCACIÓN DE HORMIGÓN EN CLIMA CALUROSO

El clima es el principal factor que afecta a la pérdida de cono del hormigón, las condiciones del clima en obra son muy diferentes a las asumidas al momento de especificar, diseñar y pueden ser distintas a las condiciones de laboratorio en las cuales se almacenan y ensayan las probetas de hormigón.

Las condiciones de un clima caluroso influyen adversamente a la calidad del hormigón, principalmente acelerando la tasa de pérdida de humedad y la velocidad de hidratación del cemento. Las Condiciones perjudiciales del clima caluroso incluyen:

- Alta temperatura ambiente.
- Alta temperatura del hormigón.
- Baja humedad relativa.
- Radiación solar.
- Alta velocidad del viento.

Estos diversos factores pueden afectar al hormigón de las siguientes formas:

- Aumento de la demanda de agua.
- Aceleración del asentamiento, llevando a la adición de agua en obra.
- Aumento de la tendencia de fisuración plástica.
- Necesidad de curado temprano
- Aumento de la temperatura del hormigón, afectando en la pérdida de resistencia a lo largo del tiempo.
- Aumento del potencial de fisuración térmica.

Como en verano en Chile tenemos altas temperaturas, la adición de agua es una práctica frecuente para recuperar el asentamiento, entre otras propiedades, lo cual da como resultado:

- Disminución de la resistencia, por el aumento de la relación A/C.
- Disminución de la durabilidad, debido a la fisuración.
- Aumento de la permeabilidad
- Apariencia no uniforme de la superficie.
- Aumento de la tendencia de retracción por secado.
- Disminución de la resistencia a abrasión, por la tendencia a rociar agua durante el acabado.

Cuando tomar Precauciones.

La temperatura más favorable para lograr una alta calidad del hormigón fresco es normalmente más baja que aquella obtenida en un clima cálido, sin enfriamiento artificial.

Es deseable una temperatura del hormigón de 10°C a 15°C para maximizar las propiedades de la mezcla. Pero obtener esta temperatura en un clima cálido no siempre es posible, muchas especificaciones requieren sólo que el hormigón tenga una temperatura igual o inferior a 29°C a 32°C, durante su colocación.

La especificación ASTM C 94 (AASHTO M 157) para el hormigón premezclado dice que se puede encontrar alguna dificultad cuando la temperatura del concreto se aproxima a 32°C. Sin embargo, esta especificación no presenta una temperatura máxima, a menos que se usen agregados o agua caliente.

Las precauciones se deben planear con antelación para oponerse a los efectos de las altas temperaturas cuando el hormigón se coloca a una temperatura entre 25°C y 35°C.

La lista de precauciones siguiente reduce o evita los problemas potenciales de la colocación en clima caluroso:

- Uso de materiales y proporciones que tengan un buen registro en condiciones de clima cálido.
- Enfriamiento del hormigón o de uno o más ingredientes.(Figura 3.1)

- Uso de un hormigón con una consistencia que permita su rápida colocación y consolidación.
- Reducción al máximo del tiempo de transporte, colocación y acabado.
- Programación de la colocación del hormigón para limitar la exposición a las condiciones atmosféricas, como por la noche o durante condiciones favorables de clima.
- Consideración de métodos para limitar la pérdida de humedad durante la colocación y el acabado, tales como sombrillas, niebla y rociado.
- Aplicación temporaria, después del acabado, de películas que retienen la humedad,
- Organización de una reunión antes del inicio de la construcción para discutir las precauciones necesarias en el proyecto.



Figura 3.1: Enfriamiento del hormigón con nitrógeno líquido.
(Fuente: NRMCA Publicación 186, "Ready mixed Concrete" Richard D. Gaynor, Silver Spring, 1995)

3.1 EFECTO DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL HORMIGÓN.

A medida que la temperatura del hormigón aumenta, hay una pérdida de asentamiento que normalmente se compensa inadvertidamente con la adición de agua al hormigón en la obra. En temperaturas más elevadas, una mayor cantidad de agua se necesita para mantener el asentamiento constante. La adición de agua sin la adición de cemento resulta en mayor relación Agua/Cemento, disminuyéndose la resistencia en todas las edades y afectando negativamente otras propiedades del hormigón endurecido.

A este efecto se le suma el efecto adverso de altas temperaturas sobre resistencias en edades más avanzadas, aun cuando no hay adición de agua. La adición de cemento para compensar el aumento del agua de mezcla puede ser insuficiente para que se logren las propiedades deseadas, pues el aumento del cemento va a aumentar aún más la temperatura del hormigón y la demanda de agua.

El siguiente grafico muestra que si la temperatura del hormigón fresco aumenta de 10°C a 38°C, se hacen necesarios cerca de 20kg/m³ de agua adicional para mantener el asentamiento de 75mm. Esta agua adicional podría disminuir la resistencia entre 12% a 15% y producir probetas con resistencias a compresión que no cumplen las especificaciones.

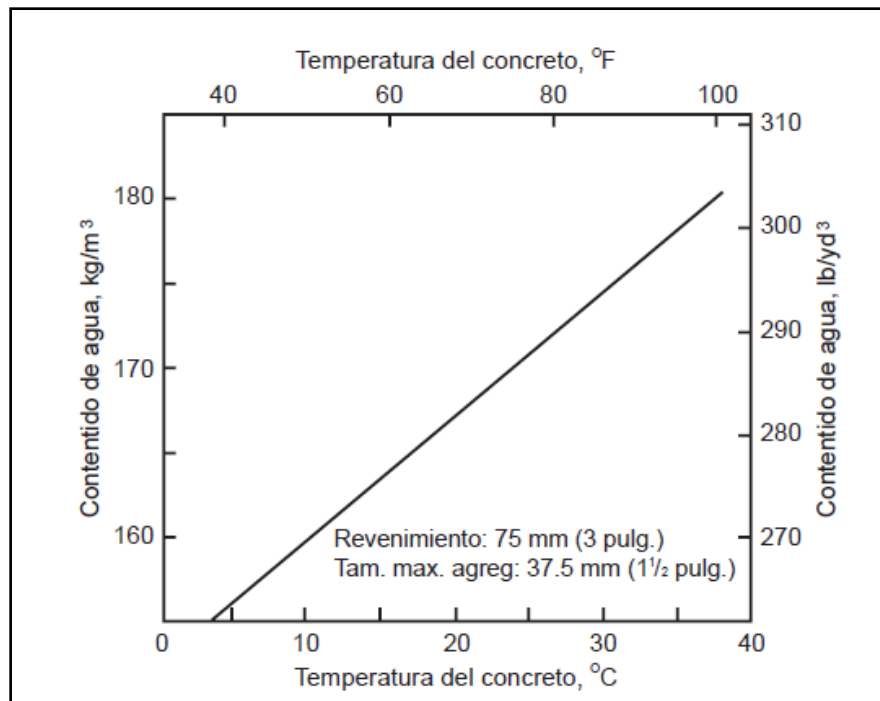


Figura 3.2: Agua adicional para mantener el asentamiento según la temperatura del hormigón.

(Fuente: PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, capítulo 13, Julio Rozas, 2011)

Se puede medir la temperatura inicial del hormigón y la final después de 2 horas y ver cuánta agua adicional necesita y medir que pasa con la resistencia a diferentes edades.

La alta temperatura del hormigón fresco aumenta la velocidad de fraguado y disminuye el tiempo disponible para el transporte, colocación y acabado. Se puede reducir el tiempo de fraguado en 2 o más horas con el aumento de 10°C de la temperatura del hormigón.

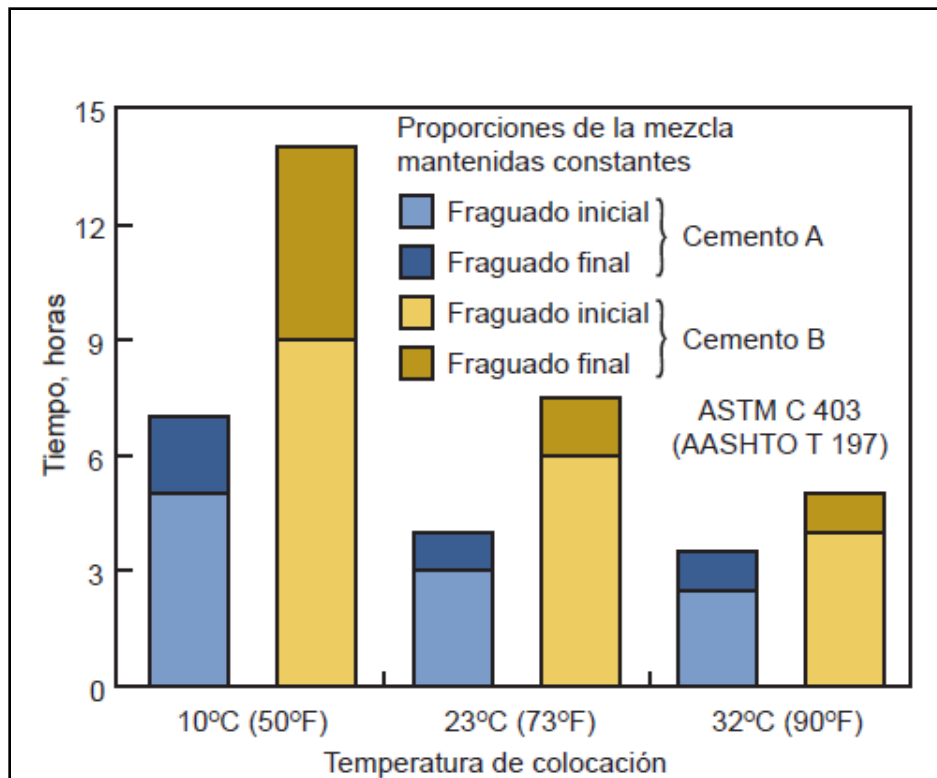


Figura 3.3: Tiempo de inicio de fraguado según la temperatura de colocación.
(Fuente: PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, capítulo 13, Julio Rozas, 2011)

El hormigón debe permanecer plástico el tiempo suficiente para permitir la colocación de cada capa sin el desarrollo de juntas frías o discontinuas. Los aditivos retardadores ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo B), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182, NMX-C-255, NTC 1299 (tipo B) o NTP 334.088 y aditivos de control de hidratación pueden compensar los efectos de aceleración causados por las altas temperaturas.

En un clima caluroso, hay un aumento de la tendencia de formación de fisuras tanto antes como después del endurecimiento. La evaporación rápida del agua del hormigón recién colocado puede causar agrietamientos por contracción plástica antes que la superficie endurezca.

Las fisuras también se pueden desarrollar en el hormigón endurecido como resultado del aumento de la contracción por secado debido al aumento del contenido de agua o los cambios de volumen debidos al efecto térmico a medida que el hormigón se enfría.

La incorporación de aire también se afecta por el clima caluroso. En temperaturas elevadas, es necesario un aumento del contenido de aditivo para la producción de un determinado contenido de aire.

El siguiente grafico muestra el efecto, sobre la resistencia, de la alta temperatura inicial del hormigón. Las temperaturas del hormigón en el momento del mezclado, colocación y curado fueron 23°C, 32°C, 41°C y 49°C. Después de 28 días, las probetas recibieron curado húmedo a 23°C, hasta las edades de ensayo de 90 días y un año.

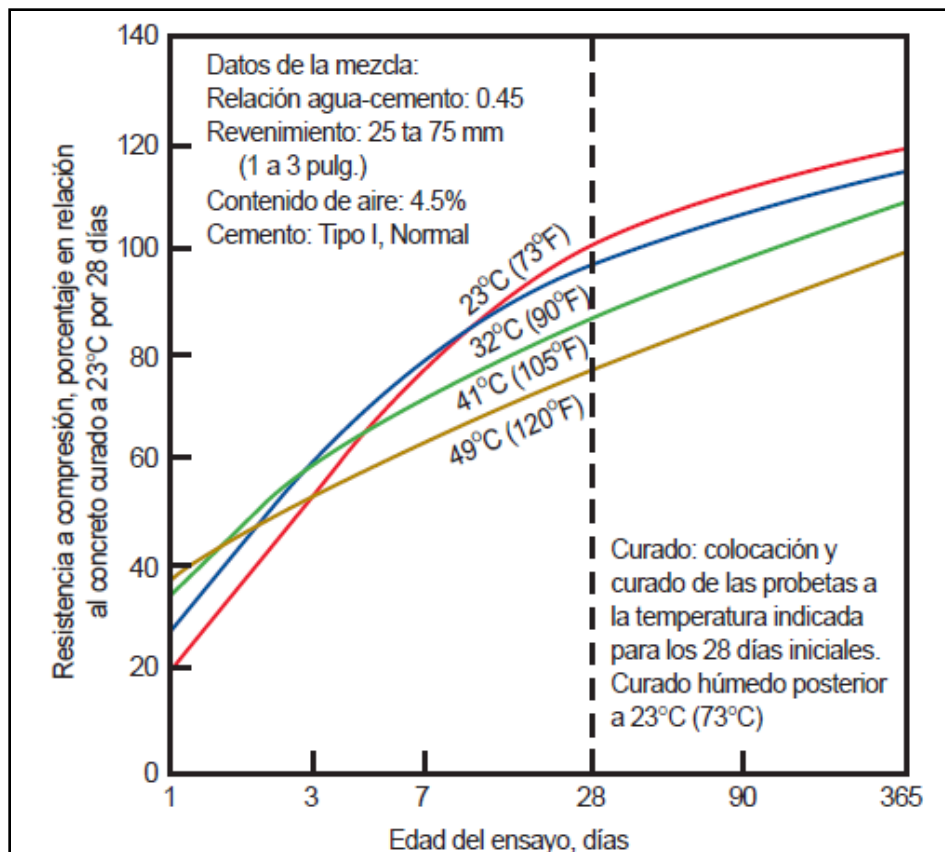


Figura 3.4: Efecto de la alta temperatura inicial del hormigón sobre la resistencia a compresión. (Fuente: PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, capítulo 13, Julio Rozas, 2011)

Los ensayos, usando hormigones idénticos con la misma relación agua-cemento, muestran que mientras las temperaturas elevadas del hormigón producen resistencias tempranas mayores que a 23°C, en edades más avanzadas las resistencias son menores. Si el contenido de agua ha sido aumentado, para mantener el mismo asentamiento (sin el aumento del contenido de cemento), la reducción de la resistencia es aún mayor.

La correcta producción, curado y ensayo a compresión de las probetas de hormigón durante el clima caluroso es fundamental. Se debe garantizar que los procedimientos de norma (NCh1017) con relación al curado de las probetas (16°C a 27°C) para ensayos de resistencia para la aceptación y control de calidad del hormigón se cumplan. Si se hace el curado inicial de probetas por 24 a 38 horas, la resistencia a compresión a los 28 días puede ser de 10% a 15% menor que aquellas curadas a la temperatura especificada por la norma.

Debido a los efectos perjudiciales de las altas temperaturas, todas las operaciones en el clima caluroso se deben dirigir para la mantención del hormigón frío.

3.2 ENFRIAMIENTO DE LOS MATERIALES DEL HORMIGON

El método usual para enfriamiento del hormigón es la disminución de la temperatura de los materiales antes del mezclado. En el clima cálido, los agregados y el agua de mezcla se deben mantener lo más fríos posible, pues estos materiales tienen una mayor influencia sobre la temperatura del hormigón que los otros materiales.

La contribución de cada ingrediente para la temperatura del hormigón se relaciona con la temperatura, calor específico y cantidad de cada material. El gráfico 1.4 muestra gráficamente el efecto de la temperatura de los materiales sobre la temperatura del hormigón.

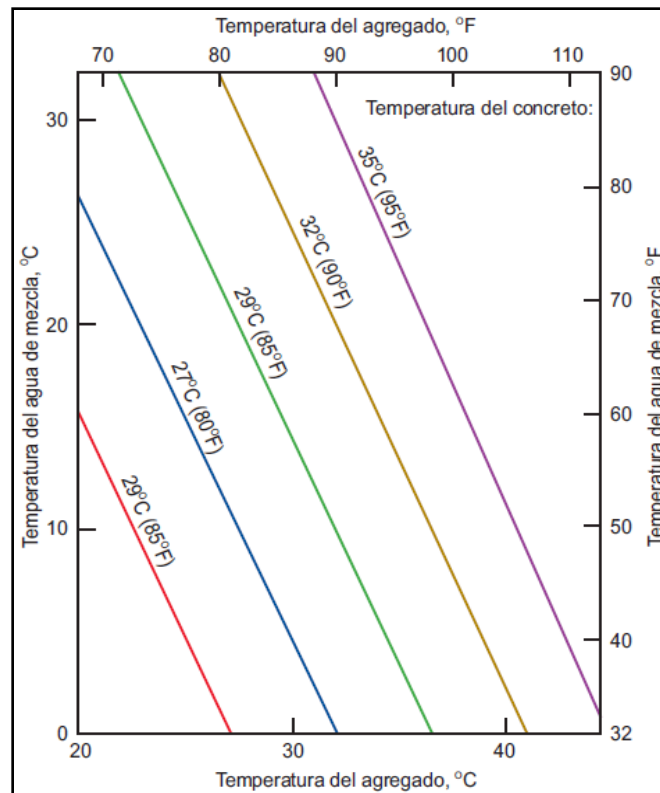


Figura 3.5: Efecto de la temperatura de los materiales sobre la temperatura del hormigón. (Fuente: PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, capítulo 13, Julio Rozas, 2011)

3.3 PREPARACIÓN ANTES DE LA COLOCACIÓN.

Antes de la colocación del hormigón en un clima cálido, se deben tomar algunas precauciones para mantener o reducir la temperatura del hormigón. Mezcladoras, canalones, esteras transportadoras, tolvas, líneas de bombeo y otros equipos para el manejo del hormigón se deben proteger, pintar de blanco o cubrir con mantas húmedas para reducir el calor del sol.

Los moldajes, armaduras y sub-rasantes, se deben rociar con agua fría un poco antes de la colocación del hormigón. El rociado del área durante las operaciones de instalación y acabado no sólo enfría las superficies de contacto y el aire circundante como también aumenta la humedad relativa.

Esto disminuye el aumento de la temperatura del hormigón y minimiza la tasa de evaporación del agua del hormigón.

En losas sobre el terreno, el humedecimiento de la sub-rasante en la noche anterior a la colocación es una buena práctica. No debe haber agua libre ni charcos en la cimbra o sub-rasante en el momento de la colocación del hormigón.

Durante periodos extremadamente cálidos, los resultados se pueden mejorar restringiéndose la instalación por la mañana temprano o por la noche, especialmente en climas áridos. Esta práctica resulta en menor contracción térmica y menos fisuración de las losas y pavimentos gruesos.

3.4 TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y ACABADO

Se debe transportar y colocar el hormigón lo más rápido posible, durante el clima caluroso. Los retrasos contribuyen para la pérdida del asentamiento y para el aumento de la temperatura del hormigón. Se debe disponer de mano de obra y equipos suficientes para manejar y colocar el hormigón inmediatamente después de su entrega.

El mezclado prolongado incluso a la velocidad de agitación, se debe evitar. Si ocurren retrasos, se debe parar la mezcladora y después agitar intermitentemente para minimizar el calor generado por el mezclado.

La ASTM C94 (AASHTO M 157) requiere que la descarga del hormigón sea en una hora y media o antes que el tambor se revolucione 300 veces, lo que ocurra primero. Durante el clima caluroso, el límite de tiempo se puede reducir para 1 hora o incluso hasta 45 minutos. Si se desea un límite específico de tiempo para la descarga, se debe incluirlo en la especificación de proyecto.

También es razonable obtener datos de ensayo de las mezclas de prueba simulándose el tiempo, mezclado y anticipándose la temperatura del hormigón, para que, si es necesario, se especifique una reducción en el límite del tiempo. Como el fraguado es más rápido en clima caluroso, se debe tomar un cuidado extra con las técnicas de colocación para prevenir juntas frías.

En la colocación de hormigón en muros, se pueden especificar capas menos profundas para asegurar el tiempo suficiente para la consolidación con la capa anterior. Las sombrillas y pantallas temporarias ayudan a minimizar la formación de juntas frías. El emparejado de las losas se debe efectuar inmediatamente después que el brillo del agua se haya desaparecido de la superficie o cuando el concreto pueda soportar el peso de la persona que va a hacer el acabado, con nomás que 5 mm de deformación.

El acabado en días secos y ventosos requiere más cuidados. El secado rápido de la superficie del concreto puede causar fisuración por contracción plástica.

4. HORMIGÓN

4.1 HORMIGÓN EN CHILE

El hormigón es el material de construcción más usado a nivel mundial con 25 billones de toneladas al año. El mismo escenario se vive en Chile, donde el 80% de las construcciones son hechas con este elemento. Sin embargo, la composición de este material en nuestro país no utiliza las mismas proporciones que en el resto del mundo. "El cemento, que es la materia prima del hormigón, está compuesto de clínker -mezcla de arcilla y caliza molida cocidas a altas temperaturas-, adiciones y yeso.

Lo normal en el mundo es utilizar gran cantidad de clínker y solo un poco de adiciones, al contrario de lo que sucede en Chile, donde la industria optó por usar adiciones naturales y en más cantidad en desmedro del clínker. Esto, en sí, hace al hormigón chileno más sustentable, ya que es la producción de este último la que deja una importante huella de carbono", indica Sanhueza, quien añade que "recién ahora otros países como Estados Unidos están usando estas proporciones para hacer más sustentable su producción".

Es así como la composición del material, más esta nueva mirada a largo plazo, hacen del hormigón chileno un gran aliado de la sustentabilidad. "Nuestro propósito es dar a conocer una nueva mirada a las empresas y a la sociedad en general, de que en Chile se hace un hormigón que es bastante sustentable. No queremos promocionar una industria en específico, sino colocar en valor los atributos de un material que en nuestro país es el más usado en construcción", explica Eduardo Sanhueza (Subdirector del IDIEM)

4.2 HORMIGÓN BOMBEADO

El hormigón bombeado es aquel que es conducido a presión por medio de un tubo rígido o flexible y vaciado directamente sobre el elemento a hormigonar.

4.2.1 Materiales de un hormigón bombeado

-Cemento:

Utilizar cualquier tipo de cemento, recomendándose uno de menor superficie específica, si es de mayor superficie específica éste hará aumentar el frotamiento de la capa, requiriéndose mayores presiones de bombeo.

Emplear dosis de cemento mayor para hormigones normales, debido a la cantidad de finos necesarios para poder bombearlo.

-Agua:

Debe cumplir con los requisitos de la norma NCh 1498.

-Áridos:

Deberán cumplir con los requisitos de la norma NCh 163.

Utilizar preferentemente árido rodado, en caso contrario, si se utiliza material chancado, éste deberá aproximarse a la forma cúbica.

Deberán tener una buena distribución granulométrica, para lograr obtener una adecuada docilidad, cohesión y auto-lubricación de las mezclas.

El tamaño máximo del árido grueso deberá ser igual o menor que el 40% del diámetro interno de la tubería, en caso de material redondeado, e igual o menor que 1/3 del diámetro, cuando sea chancado.

Las arenas deberán tener en la fracción más fina, entre un 15% y un 30% del total de áridos bajo 0,3 mm (Malla N°50), y entre un 5% y un 10% bajo 0,15 mm (Malla N°100)

Es recomendable que las arenas tengan un módulo de finura entre 2,4 y 3,0.

-Aditivos:

Los aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma NCh 2181.

El empleo de aditivos plastificantes o superplastificantes es imprescindible en los hormigones bombeables y se utilizan principalmente para:

- Mantener el nivel de trabajabilidad requerida disminuyendo la dosis de agua o sin reducir la dosis de agua aumentar la trabajabilidad sin afectar las resistencias mecánicas.
- Obtener una mezcla más plástica
- Disminuir el frotamiento en las paredes del conducto.
- Mejorar la calidad de la película lubricante.
- Mejorar su resistencia mecánica y la durabilidad.

4.2.2 Características de un hormigón bombeado

El hormigón debe cumplir con los siguientes requisitos para que pueda ser bombeado:

- Hormigón homogéneo.
- La docilidad deberá ser la necesaria para permitir cambios de forma y de dirección del flujo durante su paso por la bomba y tubería sin presión excesiva.
- Asentamiento de cono superior a los 7 cm, se utiliza habitualmente asentamientos mayores a 10 cm.
- Una cohesión que impida la exudación o segregación bajo presión.
- Volumen de bombeo de 20m/hora - 80m/hora.

- Distancia máxima de bombeo vertical de 100 m.
- Distancia máxima de bombeo horizontal de 200 m.
- Tamaño máximo del árido de 40 mm, 20 mm, 13 mm y 10 mm.
- Volumen de hormigón en 30 ml de tubo de 0,37 m.
- Longitud de tubería por m de hormigón de 81 ml.
- Peso del hormigón por cada 3 m de tubo de 89 kg.

4.2.3 Ventajas de un hormigón bombeado

- Mayor rendimiento del hormigón, evitando pérdidas.
- Menor cantidad de personas en proceso de hormigonado.
- Mayor productividad en menor tiempo.
- Máxima utilización del espacio, utilizándose en edificación en altura principalmente en sitios inaccesibles o con grandes volúmenes de hormigonado.
- No es necesario contar con equipos auxiliares como grúas o elevadores.

5. MARCO METODOLOGICO

Para el desarrollo de la tesis uno de los aspectos más importantes sin duda es el trabajo en el laboratorio, con el fin de poder conocer en detalle lo que sucede con el hormigón cuando se realiza la mala práctica de incorporar agua en obra.

Para realizar esta investigación lo principal fue estudiar los distintos componentes del hormigón.

Principalmente se realizó un estudio de las características de los áridos, para determinar sus diferentes densidades, y la absorción de los materiales, tanto como para la gravilla como para la arena. También se determinó su granulometría para así posteriormente confeccionar una correcta dosificación.

Se diseñó un hormigón H030 (90)-20-10 tomando en cuenta los ensayos previos de los áridos.

Con el fin de hacer el ensayo mucho más práctico, se realizó una mezcla de 80 litros de hormigón en una betonera de eje vertical.

Previo a la amasada se mide la humedad de la gravilla y de la arena, para realizar una corrección por humedad a la dosificación por medio del método A.C.I

En la betonera se mezclan los áridos con el cemento y luego se agrega el agua. Una vez que está todo mezclado uniformemente se mide cono, se verifica con el de la dosificación y se inicia el ensayo.

Tomando ese punto como tiempo inicial cero.

Para reflejar y comparar con lo que pasa con la realidad en obra, es necesario que el cono baje a medida que pasa el tiempo, es por eso que luego de medir el cono inicial, se esperan 30 minutos y se vuelve a medir cono, este proceso se realiza al tiempo inicial cero, luego a los 30, 60 y 90 minutos.

Junto con medir cono, también se mide la temperatura ambiental y la temperatura del hormigón en los diferentes tiempos, además una vez finalizado el ensayo cuando el cono es levantado para ambos casos, se medirá nuevamente la temperatura del hormigón para comparar y posteriormente hacer un análisis.

Al llegar al minuto 90, se mide cono y a su vez se saca una muestra y se llenan 4 probetas cúbicas 15x15, las cuales se vibran y se dejan curando bajo agua. Con el fin de usar esas muestras como un hormigón patrón, para después poder compararlo con un hormigón con cono levantado.

A su vez como han pasado 90 minutos es normal que el cono baje y es ahí cuando se levanta añadiendo agua. Una vez alcanzado el cono inicial se mide su temperatura y se llenan 4 probetas más, las cuales se vibran y se dejan curando bajo agua.

Se hacen dos amasadas con el mismo procedimiento, para tener un resultado comparable.

También se hacen 2 amasadas más, siguiendo el mismo procedimiento inicial, con la diferencia de que una vez pasado los 90 minutos, en la etapa de levantar cono, fue mediante la adición de un super-plastificante a la mezcla, al igual que cuando se levanta cono con agua. Luego se llenan 4 probetas, se vibran y se dejan curando bajo agua.

Las 4 probetas son para ensayar a compresión a diferentes edades, para ver el comportamiento de la resistencia del hormigón, estas muestras son ensayadas a compresión a los 2, 7 y dos probetas a 28 días.

Como lo mencionado anteriormente estas probetas cúbicas son ensayadas pasado los 2 días, a los 7 y dos probetas a los 28 días para reflejar el comportamiento en su proceso de endurecimiento, para así obtener una curva de resistencia del hormigón. Este proceso se realizará para los 3 casos para hormigón patrón, hormigón con cono levantado con agua y otro levantado con súper-plastificante.

Realizado esto, según Normas Chilenas de Construcción vigentes, y registrado los datos en cada etapa del proceso, se comienza con el análisis y la comparación de datos.

6. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizar los ensayos y obtener todos los resultados de las pruebas, se comienza con el análisis de las muestras.

6.1 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE RESISTENCIA

La curva de resistencia del hormigón, es el comportamiento de la resistencia con el paso del tiempo medido en días.

Por lo general un hormigón a los 28 días ha alcanzado su resistencia final, teniendo en cuenta que el hormigón no deja de endurecer a medida que pasa el tiempo, pero pasados los 28 días el aumento de la resistencia es más lento y menor, teniendo un aumento en la resistencia de un 10% a los 56 días y un 15% a los 90 días.

Los resultados a compresión fueron transformados a Kg/cm², la siguiente tabla muestra los resultados ya promediados. En la cual se puede apreciar que al añadir agua a la mezcla para levantar cono, en comparación a la mezcla que se levanta con un superplastificante, la resistencia del hormigón baja considerablemente tanto a temprana edad como en su resistencia final.

Cuando se levanta cono con un superplastificante se puede apreciar que a temprana edad la resistencia es menor que un hormigón sin modificar su cono, en este caso el hormigón patrón, pero a su vez es mayor al que se ha levantado su cono con agua.

Al paso de una semana se puede apreciar que el cono levantado con agua ya está por debajo de las demás resistencia con una diferencia considerable, y el hormigón con aditivo superplastificante ya ha superado la resistencia del hormigón patrón, manteniéndose estas constantes hasta sus resistencias finales.

Tabla 6.1: Resistencia de hormigones a diferentes edades.

	Resistencia a los 2 días Kg/cm ²	Resistencia a los 7 días Kg/cm ²	Resistencia a los 28 días Kg/cm ²
Hormigón Patrón	106	228	304
Hormigón con cono levantado con agua	61	152	232
Hormigón con cono levantado con Superplastificante	99	232	319

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el siguiente grafico se puede apreciar lo que ha sido mencionado anteriormente, con la curva de la resistencia de cada uno de los hormigones.

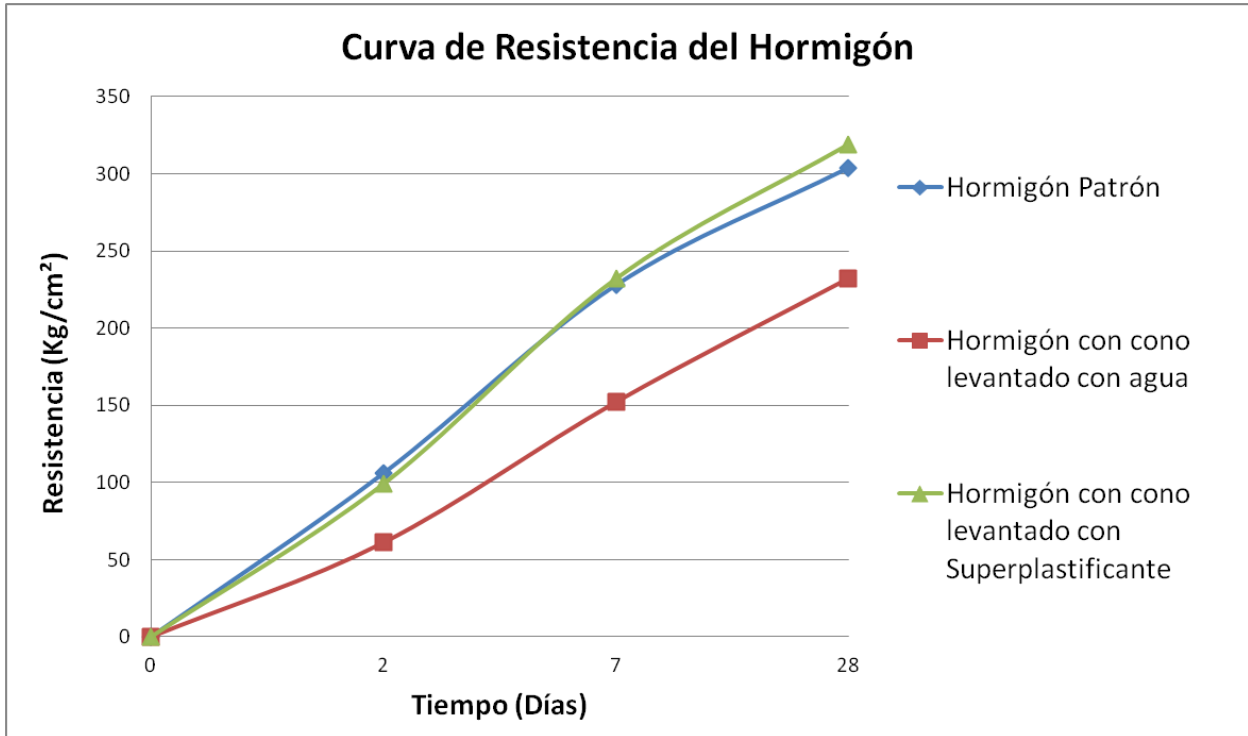


Figura 6.1: Curva de resistencia del hormigón. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

6.2 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

Para reflejar el comportamiento de la temperatura del hormigón se realizó una sustracción entre la temperatura del hormigón y la medioambiental, con el fin de graficar esta diferencia y estudiar su comportamiento.

Para esto se tomó el resultado de una de las mezclas, una en la cual se haya levantado cono con agua y otra con aditivo Superplastificante.

Y se aprecia que aumenta la temperatura interna del hormigón en el caso que se levanta cono con aditivo superplastificante, y esto afecta directamente al rango de tiempo de utilización del hormigón (trabajabilidad), en comparación a un hormigón con baja temperatura interna, que su trabajabilidad ideal es más prolongada.

Las siguientes tablas muestran los resultados medidos en el laboratorio.

Tabla 6.2: Datos del ensayo de hormigón levantado con agua.

Cono levantado con agua una vez llegado a los 90 min				
Tiempo (Min)	Cono (cm)	T° del Hormigón (C°)	T° Ambiental (C°)	Diferencia entre las T° (C°)
0	11,0	24,6	21,8	2,8
30	7,1	27,5	21,9	5,6
60	4,5	28,6	2,8	5,8
90	3,0	30,5	22,1	8,4
95	11,0	28,3	22,1	4,8

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 6.3: Datos del ensayo de hormigón levantado con superplastificante.

Cono levantado con superplastificante una vez llegado a los 90 min				
Tiempo (Min)	Cono (cm)	T° del Hormigón (C°)	T° Ambiental (C°)	Diferencia entre las T° (C°)
0	10,5	18,9	17,2	1,7
30	8,0	19,3	17,2	2,1
60	5,5	19,4	17,3	2,1
90	3,8	20,7	17,5	3,2
95	10,5	21,9	18,0	3,9

Fuente: Elaboración propia, 2015.

El minuto 95 corresponde al hormigón con cono levantado, con el fin de ver el comportamiento de su temperatura una vez modificado.

En los siguientes gráficos se puede apreciar que ambas curvas se comportan similares, hasta el minuto 90, pero al añadir agua a la mezcla se ve que la temperatura del hormigón baja.

Al contrario de lo que pasa con el cono del hormigón que se levanta con un superplastificante, la temperatura de este se eleva, ya que al añadir un aditivo a la mezcla se producen mayores reacciones químicas al interior del hormigón, es por eso que la temperatura aumenta, este efecto tiene como consecuencia que una vez pasado aproximadamente 30 minutos el cono baje considerablemente a una velocidad mucho mayor.

Por lo tanto en estado fresco al usar agua para levantar cono y al bajar la temperatura interna, tiene como ventaja que el cono decaiga a una velocidad menor durante el paso del tiempo.

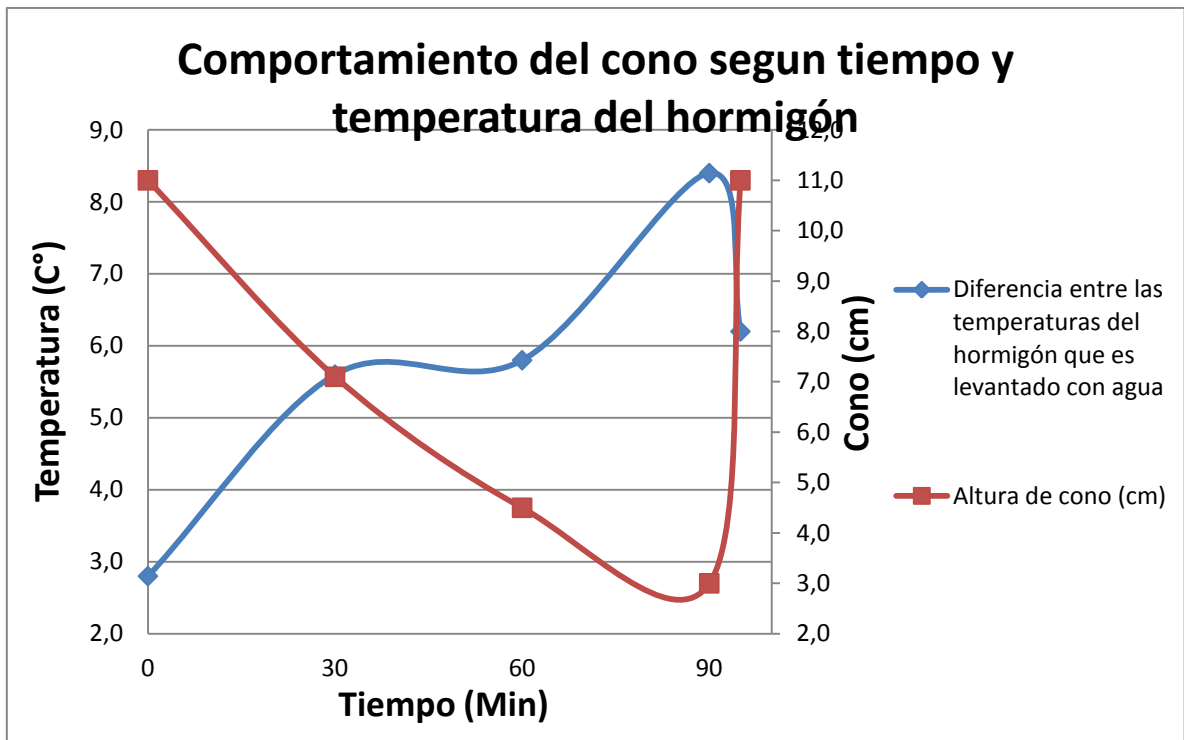


Figura 6.2: Comportamiento del cono levantado con agua según tiempo y temperatura del hormigón. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

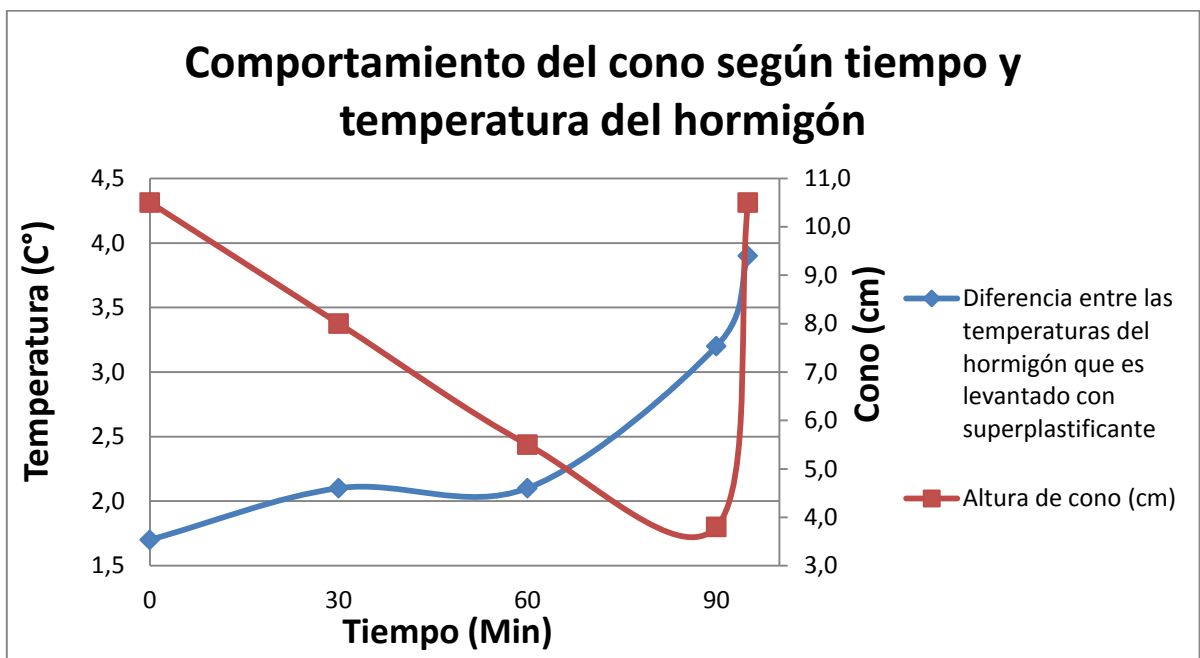


Figura 6.3: Comportamiento del cono levantado con superplastificante según tiempo y temperatura del hormigón. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

7. CONCLUSIÓN

Como se planteo inicialmente, la problemática de la adición de agua para mejorar la trabajabilidad del hormigón, es sin duda una mala práctica y es un problema importante que por lo general se potencia en verano.

El uso del hormigón en Chile para la construcción es alto, y lo principal a la hora de su instalación es la trabajabilidad y ésta cualidad se torna mucho más importante cuando es un hormigón bombeado, ya que para esto se necesita como requisito mínimo un cono 10 o superior para no tener problemas en la descarga.

Al momento de levantar cono con respecto a la trabajabilidad, la diferencia que se observa en el laboratorio es alta, porque si bien al añadir agua a la mezcla y volver al cono inicial, ésta mezcla no alcanza la cohesión ideal que se logra al levantar cono con un aditivo superplastificante. Esto se provoca porque el aditivo genera una reacción química que hace que mas partículas de cemento se hidraten generando una mayor cohesión entre las partículas según las especificaciones del aditivo, a diferencia de lo que provoca la adición de agua a la mezcla ya que químicamente no logra el mismo efecto.

En relación a la resistencia, la adición de agua baja la resistencia del hormigón en un 40% a temprana edad, y en un 20% aproximadamente en su resistencia final según este estudio.

En comparación al uso de un superplastificante, que si bien a temprana edad su resistencia es menor en aproximadamente un 8%, su resistencia final es igual o levemente superior en un 4,7%

Con esto se demuestra que agregar agua adicional a la que se considera en la dosificación, es un daño importante que se le causa al hormigón y que lo correcto e ideal sin duda sería añadir un aditivo superplastificante a la mezcla.

Sin embargo la trabajabilidad de la mezcla al añadir superplastificante se podría ver limitada o acotada en el tiempo, lo que podría presentar problemas de colocación en la obra.

Por eso es de vital importancia tomar en cuenta este estudio, ya que se podrían generar problemas estructurales importantes y poner a más de alguien en riesgo.

8. BIBLIOGRAFÍA

-
- CIP 26- Adición de agua en obra - Publicado por National Ready Mixed Concrete Association en 1995. <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/26p.pdf>
 - NCh 170, 2013 - Requisitos generales para el hormigón.
 - NCh 171, 2008- Extracción de muestras del hormigón.
 - Aditivos y sus efectos - <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/reologT9.htm>
 - Aditivos para hormigón y mortero <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%209.htm>
 - Hormigonado en un clima cálido - Publicado por National Ready Mixed Concrete Association en 2014. <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/12pr.pdf>
 - Máximas temperaturas Ambientales en Santiago - Publicado por X. Bertin, S. Roldán, P. Tapia y C. Luna en 2015 - Publicado en el diario nacional La Tercera.
 - Relación Agua/Cemento - Traducción del Bulletin du Ciment N° 7 – Julio 1978 – Suiza - Publicado en <http://es.scribd.com/doc/163059852/Traduccion-del-Bulletin-du-Ciment-N%C2%BA-7-Julio-1978-Suiza#scribd>
 - Colocación del hormigón en un clima caluroso - Publicado por National Ready Mixed Concrete Association Publicación 186 Concrete Richard D. Gaynor, Silver Spring, 1995.
 - Diseño y control de mezclas de hormigón, capítulo 13, Julio Rozas, 2011.
 - Hormigón sustentable - Publicación de Revista Beauchef Magazine (2do semestre 2013) por Eduardo Sanhueza.
 - Tecnicas especiales del hormigonado - Publicado en http://www7.uc.cl/sw_educ/construccion/materiales/html/lab_h/obra_h2.html
 - NCh 1498, 2012 - Hormigón y mortero - Agua de amasado.
 - NCh 163, 2013 - Áridos para morteros y hormigones.

- Apuntes de Tecnología del Hormigón -Universidad Andrés Bello.
- ASTM C 94 - Especificación normativa para el Concreto Premezclado.
- NCh 165, 2009 - Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.
- NCh 1037, 2009 - Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
- NCh 1116, 2008 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente.
- NCh 1117, 2010 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas.
- Instituto Nacional de Normalización - www.inn.cl
- NCh 1019, 2009 - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams.
- NCh 1934, 1992 - Hormigón preparado en central hormigonera.
- NCh 2182, 2010 - Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos.

9. ANEXOS

Anexo A: DOSIFICACIÓN

Tabla 9.1: Dosificación H30 (90)- 20-10.

Materiales	Cantidad
Agua	198
Gravilla	745
Arena	1095
Cemento	330

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La dosificación se corrigió a través del método A.C.I

Nota: Para cada mezcla realizada en el laboratorio, se le hizo un previo análisis de la humedad de los áridos para poder corregir la dosificación.

En la siguiente tabla se resta la humedad con la absorción para así obtener la humedad libre de los áridos.

Tabla 9.2: Corrección por humedad.

Método de corrección por humedad			
	% de Humedad	Absorción (%)	Humedad libre (%)
Gravilla	2	1,87	0,13
Arena	4,5	4,38	0,12

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Luego se obtiene el porcentaje de agua contenido en los áridos, el resultado será sumado a los áridos correspondientes de la dosificación inicial.

Tabla 9.3: Peso de agua retenido en los áridos a reemplazar.

Corrección de Áridos			
	% de Humedad	Peso (kg)	Agua (kg)
Gravilla	2	745	14,9
Arena	4,5	1095	49,28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Con la humedad libre obtenida anteriormente, se calcula la humedad de los materiales en litros, para luego restárselo a la cantidad de agua de la dosificación inicial.

Tabla 9.4: Humedad libre de los áridos.

Corrección de Agua			
	Humedad libre (%)	Peso (kg)	Agua (lt)
Gravilla	0,13	745	0,9685
Arena	0,12	1095	1,314
			2,2825

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como resultado de lo anterior se obtiene la siguiente dosificación corregida, la cual fue utilizada para la los ensayos.

Tabla 9.5: Dosificación corregida.

Dosificación corregida	
Materiales	Cantidad
Agua	195,72 lt
Gravilla	759,90 kg
Arena	1144,28 kg
Cemento	330 kg

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se hará una mezcla con 80 litros de hormigón para que el ensayo sea más práctico.

Tabla 9.6: Dosificación corregida para 80 litros.

Dosificación para 80 litros	
Materiales	Cantidad
Agua	15,66 lt
Gravilla	60,79 kg
Arena	91,54 kg
Cemento	26,40 kg

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Anexo B: SUPERPLASTIFICANTE

Sika Viscocrete 5100 CL

DEFINICIÓN

Sika® Viscocrete®5100 CL - Reductor de agua de alta eficiencia

Es un aditivo de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Usos principales

- Hormigón prefabricado y pretensado
- Hormigón Auto Compactante sin necesidad de vibración
- Hormigón con máxima reducción de agua
- Hormigón de alta resistencia
- Hormigón con mantención prolongada de la fluidez
- Hormigón impermeable y de alta durabilidad
- Hormigón bajo agua y hormigón bombeado
- Hormigón de elementos esbeltos y con alta cuantía de acero
- Hormigón a la vista sin defectos estéticos

NORMAS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD QUE SATISFACE

Cumple con los requisitos especificados para superplastificantes en las normas SIA162 (1989) y EN 934-2.

Ventajas con respecto a similares o sustitutos

Sika® Viscocrete® 5100 CL actúa por diferentes mecanismos. Mediante su adsorción superficial y el efecto de separación espacial de las partículas de cemento, en paralelo al proceso de hidratación, se obtienen las siguientes propiedades:

- Fuerte comportamiento auto compactante. Por lo mismo, es altamente apropiado para la producción de Hormigón Auto Compactante, sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete - SCC).
- Excelente mantención de la fluidez a través del tiempo.
- Extremadamente alta reducción de agua (30%), lo que resulta en hormigón de alta resistencia y densidad.
- Excelente fluidez, lo que resulta en el trabajo reducido al mínimo para la colocación y compactación.
- Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial
- Mejoramiento del comportamiento en fluencia y retracción.
- Reducida velocidad de carbonatación del hormigón.

Sika® Viscocrete® 5100 CL no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión, por lo que puede ser utilizado sin restricciones en hormigón armado y pre tensado.

MANIPULACIÓN E INSTALACIÓN

Condiciones recomendadas de Almacenaje, Manipulación, Transporte y Aplicación del producto

Recomendaciones de Almacenaje

Sika® Viscocrete® 5100 CL puede almacenarse durante 1 año en su envase original cerrado, protegido del sol directo y del congelamiento a temperaturas entre 5°C y 35°C.

En caso de congelamiento, el producto puede ser utilizado si posteriormente se descongela lentamente a temperatura de 20°C y se agita en forma intensa.

Método de Aplicación

Sika® Viscocrete® 5100 CL se utiliza en dosis de 0,3 a 1,5% del peso del cemento, dependiendo del efecto deseado.

El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado en el momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Puede también ser agregado posterior al amasado para aumentar la fluidez del hormigón en obra. Para un óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 1 minuto.

Para el uso del Hormigón Auto Compactante se requiere de un diseño especial para el hormigón. Favor contáctese con nuestro Departamento Técnico.

Sika® Viscocrete® 5100 CL puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos Sika, para lo cual se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada.

En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas

Recomendaciones de 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, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a la seguridad. En caso de emergencia llamar al CITUC a los siguientes teléfonos: (56 2) 635 38 00 por intoxicaciones ó (56 2) 247 36 00 por emergencias químicas.

Anexo C: DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES REAL Y NETA, Y LA ABSORCIÓN DE AGUA DE LAS GRAVAS SEGÚN NCH 1117, 2010

La densidad real y neta de los áridos permite conocer los volúmenes compactos del árido con el fin de dosificar morteros u hormigones. Relacionada con la densidad aparente permite conocer la compacidad del árido. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos de árido y con la permeabilidad de los morteros y hormigones.

La norma establece los procedimientos para determinar las densidades real y neta y la absorción de agua de los áridos gruesos o gravas de densidad real normal.

El procedimiento consiste en determinar la masa de una muestra pesándola al aire, en estado seco y en estado saturado superficialmente seco. Luego determinar su volumen por diferencia entre las pesadas al aire ambiente y la sumergida en agua. Conocida la masa y su volumen se calcula las densidades real y neta y la absorción de agua, en función de los valores obtenidos para las diferentes condiciones de pesada.

NOTAS: Cada valor de densidades y absorción de un árido se obtendrá como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

Las densidades se expresarán en kg/m^3 , aproximando a 10 kg/m^3 , y la absorción se expresará en porcentaje, aproximando a 0,05%.

Se acepta la determinación de densidades y absorción de las gravas cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por un mismo operador en ensayos sobre muestras gemelas, sea:

- igual o inferior a 30 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- igual o inferior a 0,3% en la determinación de la absorción de agua.
- Siguiendo los procedimientos de la norma y tomando en cuenta las notas y recomendaciones se obtuvo como resultado lo siguiente:

$$D_{rss} = 2677 \text{ kg/m}^3$$

$$D_{rs} = 2630 \text{ kg/m}^3$$

$$D_n = 2760 \text{ kg/m}^3$$

$$A_b = 1,8 \%$$

Anexo D: DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES DE LA ARENA SEGÚN NCH 1116, 2008

La densidad aparente en determinado estado de compactación permite transformar peso a volumen o viceversa. Relacionado con la densidad real permite conocer el grado de compacidad o huecos que posee el árido.

La norma NCh 1116 establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos, la cual puede ser suelta o compactada. La densidad aparente compactada puede obtenerse por apisonado o por percusión; en estos casos suelen llamarse densidad aparente apisonada y densidad aparente asentada, respectivamente.

Para determinar la densidad aparente se vacía el árido en una medida de capacidad volumétrica especificada de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido. Se determina la masa del árido que llena la medida. Se obtiene la densidad aparente dividiendo la masa del árido por la capacidad volumétrica de la medida para dos muestras gemelas, expresando el resultado como el promedio aritmético de los dos ensayos.

- Siguiendo los procedimientos de la norma y tomando en cuenta las notas y recomendaciones se obtuvo como resultado lo siguiente:

$D_{rss} = 2636 \text{ kg/m}^3$ $D_{rs} = 2525 \text{ kg/m}^3$

$D_n = 2840 \text{ kg/m}^3$ $A_b = 4,4 \%$



Figura 9.1: Calculo de las densidades en laboratorio. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Anexo E: DESARROLLO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

Principalmente se separan los materiales y se van agregando a la betonera, agregando la porción de agua al final.

Al mezclar los materiales se van registrando los datos de temperatura y midiendo cono cada 30 minutos.



Figura 9.2: Elaboración de mezcla en el laboratorio. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Cuando se volvió al cono inicial utilizando agua se utilizó como promedio 2,5 litros, en el caso cuando el cono se levanto con aditivo superplastificante se utilizó como promedio 2,6 cc.

Luego se aplica desmoldante a las probetas cúbicas, se llenan con hormigón y luego son vibradas. Una vez llenado los cubos se introducen y se dejan curar bajo agua.



Figura 9.3: Llenado y curado de probetas. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Anexo F: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS SUGUN NCH1037, 2009

Luego de hacer las mezclas de hormigón se esperan 2 días y se ensayan los cubos a compresión, esto también se repite a los 7 y 28 días.



Figura 9.4: Compresión de cubos de hormigón. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

La siguiente tabla muestra los resultados promediados de las 4 mezclas de hormigón.

Tabla 9.7: Resistencia a compresión de los diferentes cubos de hormigón en kN.

	Resistencia a los 2 días (kN)	Resistencia a los 7 días (kN)	Resistencia a los 28 días (kN)
Hormigón Patrón	235	503	671
Hormigón con cono levantado con agua	134	336	512
Hormigón con cono levantado con Superplastificante	218	512	705

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como los resultados están en kN, se multiplica cada resultado por 1000 para pasar el valor a Newton, luego se divide por 9,81kg/N y el resultado se divide por el área del cubo que en este caso es 225 cm², para obtener los siguientes resultados en kg/cm².

Ejemplo: El valor obtenido por el ensayo a compresión a los 2 días del hormigón patrón fue 235kN

Por lo tanto:

$$235kN \times 1000 = 235.000N$$

$$\frac{235.000N}{1} \times \frac{1kg}{9,81N} = 23.955 kg$$

$$\frac{23.955 kg}{225 cm^2} = \mathbf{106 kg/cm^2}$$

Tabla 9.8: Resistencia a compresión de los diferentes cubos de hormigón en kg/cm².

	Resistencia a los 2 días Kg/cm ²	Resistencia a los 7 días Kg/cm ²	Resistencia a los 28 días Kg/cm ²
Hormigón Patrón	106	228	304
Hormigón con cono levantado con agua	61	152	232
Hormigón con cono levantado con Superplastificante	99	232	319

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Anexo G: TAMIZADO Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA SEGÚN NORMA 165, 2009

La granulometría es la determinación más corriente y una de las más importantes que se realizan a un árido; y representa la distribución de los tamaños que posee el árido. La granulometría está directamente relacionada con las características de manejabilidad del hormigón fresco, la demanda de agua, la compactación y la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

La norma Nch 165 establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos de densidad real normal.

La granulometría permite también obtener el módulo de finura del árido y su expresión gráfica representada por la curva granulométrica.

Para determinar la granulometría de un árido se considera la masa de una muestra de ensayo; se tamiza la muestra y se determina la masa de las fracciones del árido retenidas en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes parciales retenidos y se expresa la granulometría.

Siguiendo los pasos y procedimientos de la norma se establece lo siguiente:

Tabla 9.9: Tamizado de la gravilla.

Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa Acumulado
1	25,4	0	0	0	0	100,0
3/4	19,05	570	570	8,8	8,8	91,2
3/8	9,525	4245	4815	65,6	74,4	25,6
4	4,76	1185	6000	18,3	92,7	7,3
8	2,36	225	6225	3,5	96,1	3,9
16	1,18	75	6300	1,2	97,3	2,7
30	0,6	60	6360	0,9	98,2	1,8
50	0,3	65	6425	1,0	99,2	0,8
100	0,149	35	6460	0,5	99,8	0,2
Residuo	Residuo	15	6475	0,2	100,0	0,0

Fuente: Elaboración propia, 2015.

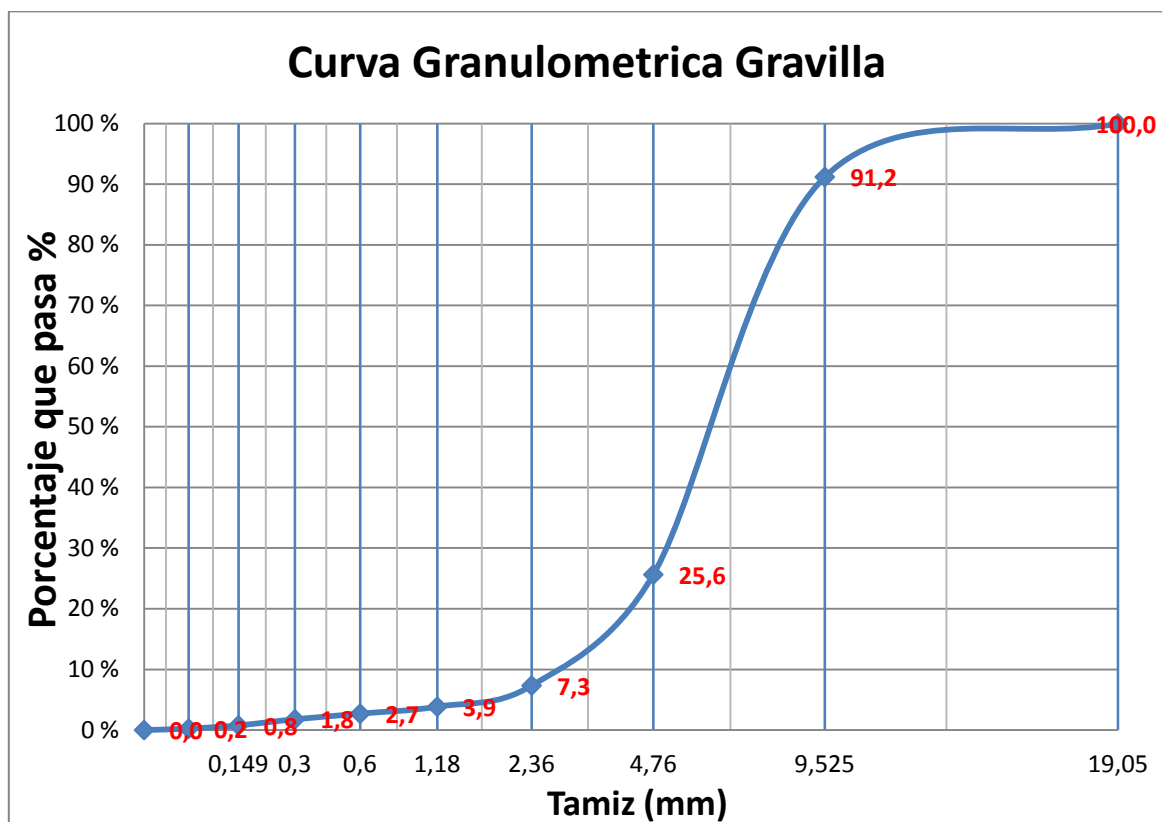


Figura 9.5: Curva granulométrica de la gravilla. (Fuente: Elaboración propia, 2015)

Tabla 9.10: Tamizado de la arena.

Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa Acumulado
3/4	19,05	0	0	0,0	0,0	100,0
3/8	9,525	10	10	0,3	0,3	99,7
4	4,76	300	310	9,8	10,2	89,8
8	2,36	675	985	22,1	32,3	67,7
16	1,18	570	1555	18,7	51,0	49,0
30	0,6	545	2100	17,9	68,9	31,1
50	0,3	600	2700	19,7	88,5	11,5
100	0,149	265	2965	8,7	97,2	2,8
Residuo	Residuo	85	3050	2,8	100,0	0,0

Fuente: Elaboración propia, 2015.

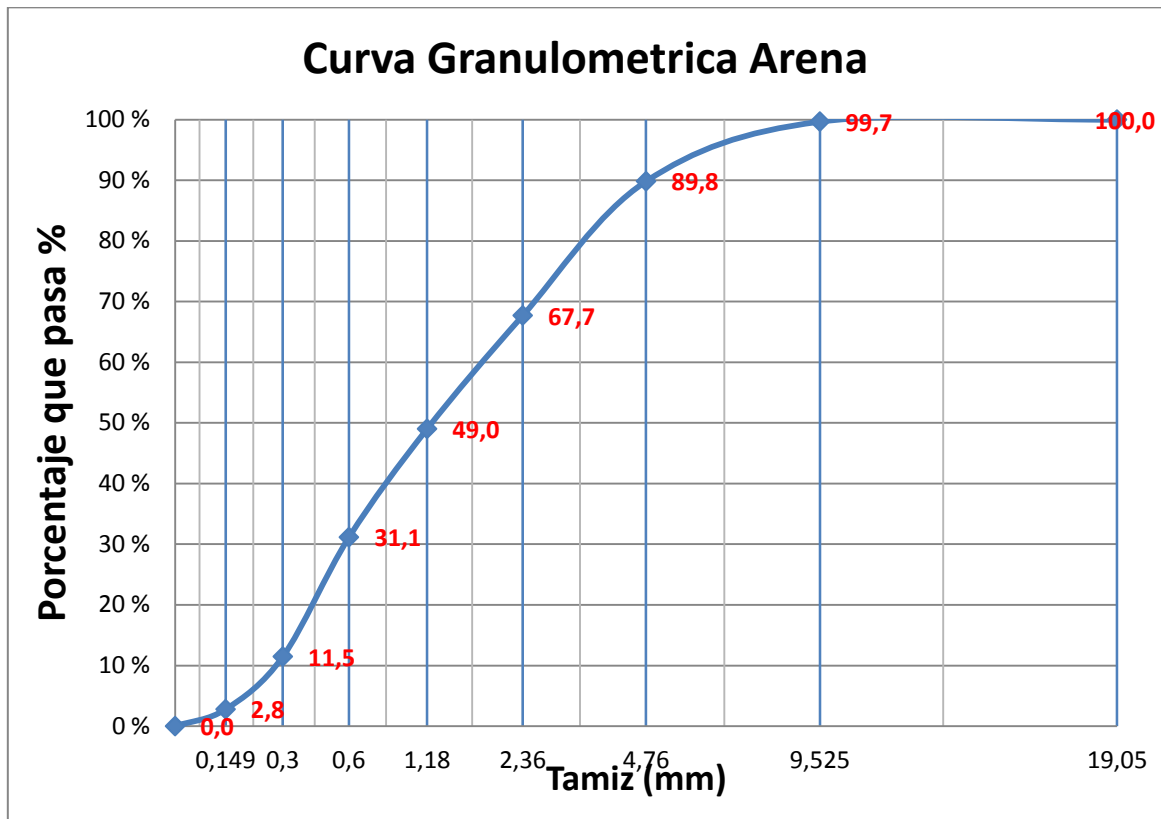


Figura 9.6: Curva granulométrica de la arena. (Fuente: Elaboración propia, 2015)