



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y  
MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**“FISURACIÓN POR RETRACCIÓN DE SECADO DE  
HORMIGONES BAJO CONDICIONES DE ALTA  
EVAPORACIÓN”**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**HERNÁN ALEJANDRO HENRÍQUEZ LOBO**

**PROFESOR GUÍA:**

**FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**VICTOR ÁGUILA OLAVE**

**GUSTAVO ARRIAGADA SEPÚLVEDA**

**SANTIAGO DE CHILE  
Marzo 2011**

## ÍNDICE

CAPITULO I .....	12
1. INTRODUCCION .....	12
1.1. Introducción General .....	12
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. <i>Objetivo General:</i> .....	14
1.2.2. <i>Objetivos Específicos:</i> .....	14
1.3. Metodología.....	15
1.4. Resultados Esperados.....	15
CAPITULO II .....	17
2. ANTECEDENTES.....	17
2.1. Materiales cementicios .....	17
2.1.1. <i>Introducción</i> .....	17
2.1.2. <i>Hidratación del cemento Pórtland</i> .....	18
2.1.3. <i>Hidratación del cemento con adiciones puzolánicas</i> .....	20
2.1.4. <i>Cementos utilizados en Chile</i> .....	20
2.2. Microestructura del hormigón .....	21
2.2.1. <i>Introducción</i> .....	21
2.2.2. <i>Microestructura de la pasta de cemento hidratada (pch)</i> .....	22
2.2.2.1. <i>Fases Sólidas</i> .....	22
2.2.2.1.1. Microcristalinas.....	22
2.2.2.1.2. Cristalinas.....	23
2.2.2.2. <i>Poros de la pch</i> .....	26
2.2.2.3. <i>Agua en la pch</i> .....	28
2.3. Microestructura durante el proceso de hidratación .....	29
2.4. El proceso de mezclado en las características del hormigón .....	30
2.5. RILEM TC 14-CPC “Reference concrete for research and testing” <sup>(14)</sup> .....	35
2.5.1. <i>Cemento</i> .....	35
2.5.2. <i>Agregados</i> .....	35
2.6. Circular E-C107: Control of Cracking in Concrete, State of the Art <sup>(9)</sup> .....	37
2.6.1. <i>Asentamiento Plástico</i> .....	37

2.6.2.	<i>Retracción en el hormigón (etapa plástica)</i> .....	37
2.7.	Norma ASTM C 1579-06 “Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (Using a steel form insert)” .....	40
2.7.1.	<i>Resumen del Método de Ensayo</i> .....	40
2.8.	Tecnología del Hormigón, A. Neville <sup>(15)</sup> .....	41
2.8.1.	<i>Áridos</i> .....	41
2.8.2.	<i>Humedad Relativa</i> .....	42
CAPITULO III .....		44
3. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DE LA CAMARA DE ENSAYOS.....		44
3.1.	Introducción .....	44
3.2.	Parámetros .....	44
3.2.1.	<i>Parámetros variables</i> .....	44
3.2.2.	<i>Parámetros Constantes</i> .....	45
3.3.	Programa de ensayos.....	46
3.4.	Recursos disponibles.....	47
3.5.	Equipo de laboratorio.....	47
3.5.1.	<i>Plataforma de vibrado</i> .....	48
3.5.2.	<i>Medida de peso</i> .....	48
3.5.3.	<i>Muestreo, Probetas y unidades de muestreo</i> .....	48
3.6.	Moldes .....	48
3.6.1.	<i>Restricciones Internas e Inductor de grietas</i> .....	49
3.7.	Cámara de ensayos.....	51
3.7.1.	<i>Condiciones ambientales</i> .....	53
3.7.2.	<i>Sensores</i> .....	53
3.7.3.	<i>Recipientes para monitoreo de la tasa de evaporación</i> .....	54
3.7.4.	<i>Herramientas para medición de grietas</i> .....	54
CAPITULO IV .....		55
4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....		55
4.1.	Cementos .....	55

4.2.	Puzolana.....	56
4.3.	Áridos .....	57
4.4.	Agua de amasado.....	59
4.5.	Cementos Pórtland puzolánicos de laboratorio .....	59
4.6.	Determinación de las dosificaciones.....	60
4.6.1.	<i>Dosificaciones utilizadas en hormigones convencionales</i>	
	<i>y en etapas.....</i>	60
CAPITULO V .....		64
5. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL.....		64
5.1.	Introducción .....	64
5.2.	Procedimiento de mezclado de los hormigones .....	64
5.3.	Fabricación de hormigones .....	64
5.3.1.	<i>Fabricación de los hormigones.....</i>	65
5.3.1.1.	<i>Método de mezclado convencional .....</i>	65
5.3.1.2.	<i>Método de mezclado en etapas .....</i>	66
5.3.2.	<i>Ensayos al hormigón fresco .....</i>	67
5.3.2.1.	<i>Asentamiento de cono de Abrams.....</i>	67
5.3.2.2.	<i>Densidad aparente .....</i>	68
5.3.2.3.	<i>Contenido de aire .....</i>	68
5.3.2.4.	<i>Densidad de la pasta de cemento .....</i>	69
5.3.3.	<i>Ensayo de Tiempo de Fraguado .....</i>	69
5.3.4.	<i>Ensayos para caracterizar las propiedades del hormigón</i>	
	<i>endurecido.....</i>	71
5.3.4.1.	<i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cúbicas .....</i>	71
5.3.5.	<i>Ensayo de fisuración .....</i>	72
5.3.6.	<i>Medición de tiempo de aparición de la fisura .....</i>	74
5.3.7.	<i>Medición de ancho de fisura.....</i>	75
CAPITULO VI .....		76
6. RESULTADOS.....		76
6.1.	Introducción .....	76
6.2.	Caracterización de los hormigones estudiados .....	76

6.2.1.	<i>Propiedades del hormigón fresco</i> .....	76
6.2.2.	<i>Tiempo de fraguado</i> .....	78
6.3.	Propiedades del hormigón endurecido .....	79
6.3.1.	<i>Resistencia a la compresión</i> .....	79
6.4.	Ensayo de fisuración: .....	80
6.4.1.	<i>Tiempo de visualización de fisura</i> .....	80
6.4.2.	<i>Ancho de la fisura</i> .....	80
6.5.	Tasa de evaporación .....	84
CAPITULO VII .....		85
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		85
7.1.	Propiedades del hormigón fresco .....	85
7.1.1.	<i>Asentamiento de cono de Abrams</i> .....	85
7.1.2.	<i>Contenido de aire</i> .....	86
7.1.3.	<i>Densidad</i> .....	86
7.1.4.	<i>Ensayos de inicio y término de fraguado</i> .....	87
7.2.	Propiedades del hormigón endurecido .....	89
7.2.1.	<i>Resistencia del hormigón a los 7 días</i> .....	89
7.2.2.	<i>Resistencia de la pasta de cemento a los 7 y 28 días</i> .....	90
7.2.3.	<i>Resistencia del hormigón a los 28 días</i> .....	90
7.3.	Ensayo de fisuración .....	91
7.3.1.	<i>Tiempo de aparición de la fisura</i> .....	91
7.3.2.	<i>Ancho inicial de la fisura</i> .....	93
7.3.3.	<i>Ancho de la fisura al termino de fraguado</i> .....	93
7.3.4.	<i>Ancho de la fisura a las 24 horas</i> .....	95
7.4.	Relación entre comportamiento del hormigón durante el proceso de fraguado y fisuración .....	95
7.5.	Tasa de evaporación .....	101
CAPITULO VIII .....		102
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....		102
8.1.	Discusión .....	102
8.2.	Conclusiones .....	103

CAPITULO IX.....	105
9. BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS .....	108
ANEXO 1. CÁLCULO DE DOSIFICACIONES .....	108
ANEXO 2. GRAFICOS TASA DE EVAPORACIÓN.....	111
ANEXO 3. PLANILLAS DE ENSAYO.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Clasificación de los cementos utilizados en Chile. ....	21
Tabla N° 2.2. Clasificación de los poros en la pch. ....	26
Tabla N° 2.3. Límite superior e inferior de la banda granulométrica recomendada por RILEM .....	36
Tabla N° 3.1. Tipos de cementos y denominación de éstos.....	45
Tabla N° 3.2. Programa de ensayos .....	47
Tabla N° 4.1. Características físicas de los cementos.....	55
Tabla N° 4.2. Características químicas de los cementos. ....	56
Tabla N° 4.3. Resultados de los ensayos mecánicos de los cementos.....	56
Tabla N° 4.4. Características físicas de las puzolanas.....	57
Tabla N° 4.5. Granulometría del árido total .....	58
Tabla N° 4.6. Pesos específicos de materiales cementicios. ....	60
Tabla N° 4.7. Dosificaciones utilizadas para un metro cúbico (áridos SSS).....	61
Tabla N° 4.8. Humedades y agua libre para las distintas series. ....	62
Tabla N° 4.9. Dosificación corregida por humedad y absorción.....	62
Tabla N° 6.1. Propiedades del hormigón fresco: Mezclado convencional.....	77
Tabla N° 6.2. Propiedades del hormigón fresco: Mezclado en dos etapas .....	77
Tabla N° 6.3. Ensayos de tiempo de fraguado: Mezclado convencional.....	78
Tabla N° 6.4. Ensayos de tiempo de fraguado: Mezclado en dos etapas .....	78
Tabla N° 6.5. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días: Mezclado convencional. ....	79
Tabla N° 6.6. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días: Mezclado en dos etapas.....	80
Tabla N° 6.7. Tiempo de aparición de la fisura.....	81
Tabla N° 6.8. Ancho de la fisura: Mezclado convencional.....	81
Tabla N° 6.9. Espesor de la fisura: Mezclado en dos etapas. ....	82
Tabla N° 6.10. Tasa de evaporación para las distintas series en ambos métodos de mezclado. ....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1. Causas más comunes de agrietamiento en hormigones.....	13
Figura N° 2.1. Modelo de CSH con los distintos estados del agua presentes en el proceso de hidratación del cemento.....	23
Figura N° 2.2. Fotografía de unos cristales de hidróxido de calcio.....	24
Figura N° 2.3. Etringita .....	25
Figura N° 2.4. Monosulfoaluminato .....	25
Figura N° 2.5. Distribución de tamaños de poros presentes en el pch.....	28
Figura N° 2.6. Resistencia del hormigón con 100% cemento Pórtland. <sup>(13)</sup> .....	33
Figura N° 2.7. Resistencia del hormigón con 85% cemento Pórtland y 15% de cenizas volantes. <sup>(13)</sup> .....	33
Figura N° 2.8. Resistencia del hormigón con 50% cemento Pórtland, 15% de cenizas volantes y 35% de escoria. <sup>(13)</sup> .....	34
Figura N° 2.9. Límites superior e inferior para la granulometría de áridos RILEM. 36	
Figura N° 2.10. Retracción a edades tempranas combinada con retracción a largo plazo para 3 diferentes condiciones de curado (Holt y Leivo, 2000). .....	39
Figura N° 2.11. Dependencia de la retracción a edades tempranas y la cuantía de evaporación antes del fraguado para hormigones normales (Holt y Leivo, 2000) .....	39
Figura N° 2.12. Influencia de la relación A/C y el contenido de agregados en la retracción (Odman 1968).....	42
Figura N° 2.13. Relación entre la retracción del hormigón y el tiempo, para hormigones almacenados a diferentes humedades relativas.....	43
Figura N° 3.1. Dimensiones y características del molde para el ensayo de fisuración .....	50
Figura N° 3.2. Moldes para el ensayo de fisuración .....	50
Figura N° 3.3 Vistas en elevación y planta de la cámara de ensayos utilizada en la investigación.....	52
Figura N° 3.4. Cámara en ambiente controlado .....	53
Figura N° 4.1. Curvas granulométricas medias de los áridos fino y grueso .....	58
Figura N° 4.2. Banda granulométrica recomendada por RILEM .....	59



Figura N° 6.1. Fotografía correspondiente a una fisura típica, resultado de los ensayos.....	83
Figura N° 6.2. Otra fotografía de ensayos que presenta el patrón característico de fisuración de las probetas.....	83
Figura N° 6.3. Fotografía correspondiente a la fisura entrecortada, distinta al patrón característico que se observo en los ensayos.....	84
Figura N° 7.1. Asentamiento de cono promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.....	85
Figura N° 7.2. Contenido de aire promedio para las distintas series de hormigones y ambos métodos de mezclado.....	86
Figura N° 7.3. Densidad promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.....	87
Figura N° 7.4. Inicio de fraguado promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.....	88
Figura N° 7.5. Termino de fraguado promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.....	88
Figura N° 7.6. Resistencia promedio de los hormigones estudiados, a los 7 días para ambos métodos de mezclado.....	89
Figura N° 7.7. Resistencia promedio a los 7 y 28 días de las pastas de cemento utilizadas para la elaboración de los hormigones por el método de mezclado en 2 etapas.....	90
Figura N° 7.8. Resistencia promedio del hormigón a los 28 días para ambos métodos de mezclado.....	91
Figura N° 7.9. Tiempo promedio en que se visualizan las fisuras para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado.....	92
Figura N° 7.10. Ancho de fisuras promedio al instante de su visualización para las series de hormigones con finura Blaine de 9000 cm <sup>2</sup> /g, para PP15F y PP30F.....	93
Figura N° 7.11. Ancho de las fisuras promedio, al termino de fraguado para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado...	94

Figura N° 7.12. Ancho de fisura promedio a las 24 horas para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado.....	95
Figura N° 7.13. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15F-1 .....	96
Figura N° 7.14. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15F-2.....	96
Figura N° 7.15. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30F-1 .....	97
Figura N° 7.16. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30F-2.....	97
Figura N° 7.17. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15G-1 .....	98
Figura N° 7.18. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15G-2 .....	98
Figura N° 7.19. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30G-1 .....	99
Figura N° 7.20. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30G-2 .....	99
Figura N° 7.21. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PPAR-1 .....	100
Figura N° 7.22. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PPAR-2 .....	100
Figura N° A3.1 Tasa de evaporación de la serie PP15F-1 para ambos métodos de mezclado .....	111
Figura N° A3.2 Tasa de evaporación de la serie PP15F-2 para ambos métodos de mezclado .....	111
Figura N° A3.3 Tasa de evaporación de la serie PP30F-1 para ambos métodos de mezclado .....	112
Figura N° A3.4 Tasa de evaporación de la serie PP30F-2 para ambos métodos de mezclado .....	112

Figura N° A3.5 Tasa de evaporación de la serie PP15G-1 para ambos métodos de mezclado .....	113
Figura N° A3.6 Tasa de evaporación de la serie PP15G-2 para ambos métodos de mezclado .....	113
Figura N° A3.7 Tasa de evaporación de la serie PP30G-1 para ambos métodos de mezclado .....	114
Figura N° A3.8 Tasa de evaporación de la serie PP30G-2 para ambos métodos de mezclado .....	114
Figura N° A3.9 Tasa de evaporación de la serie PPAR-1 para ambos métodos de mezclado .....	115
Figura N° A3.10 Tasa de evaporación de la serie PPAR-2 para ambos métodos de mezclado .....	115

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Introducción General

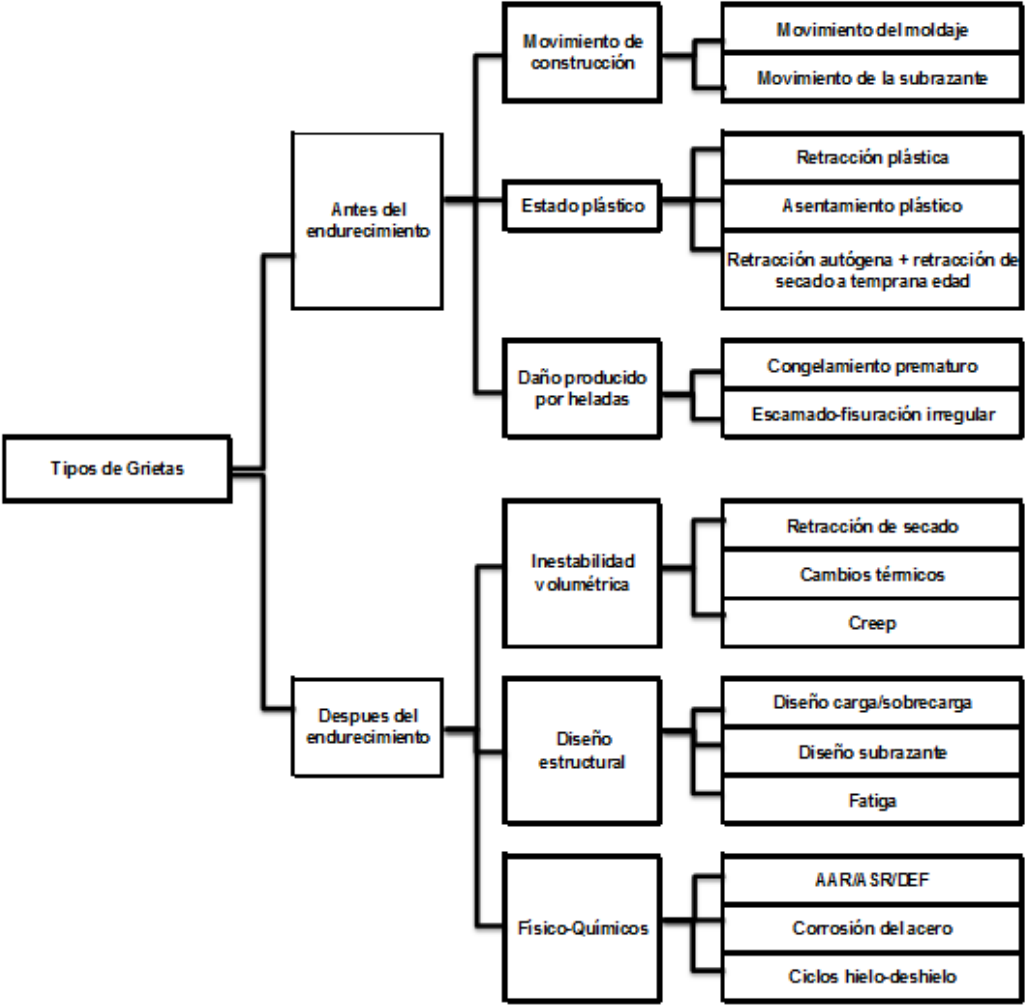
El desarrollo tecnológico que ha experimentado el hormigón en los últimos años, a través de la incorporación de nuevos cementos, diversos aditivos y adiciones, que si bien se ha traducido en formulaciones de mayor eficiencia en cuanto a resistencia y trabajabilidad, ha generado una mayor tendencia a la fisurabilidad a temprana edad, especialmente en obras de pavimentación. Para abordar el estudio de este comportamiento del hormigón se estimó necesario poner a punto un método de ensayo que permita conocer la influencia tanto de las variables de composición y calidad de los materiales como del proceso de elaboración del hormigón, teniendo en cuenta los factores ambientales ( $T^{\circ}$ , HR, velocidad del viento) que afectan al proceso de secamiento y retracción del hormigón.

De acuerdo con la circular E-C107 del Transportation Research Board <sup>(9)</sup>, los tipos de fisuramiento más comunes y distinguibles que afectan al hormigón, se presentan en la figura N° 1.1. Algunos de estos pueden producirse tanto en estado fresco mientras otros se producen en estado endurecido, dependiendo de distintas condiciones o situaciones.

Entre los daños presentes en el hormigón en estado plástico se cuenta con los problemas producidos por heladas prematuras, deformaciones o deslizamientos de encofrados o por problemas físicos dentro de los cuales podemos encontrar los conocidos como agrietamiento plástico.

En particular, este estudio se realiza al termino del estado plástico, en la etapa de endurecimiento inicial del hormigón, el cual se subdivide en retracción plástica, asentamiento plástico y retracción autógena para el hormigón en estado

plástico y que incluye los fenómenos de retracción de secado en la etapa de endurecimiento inicial (ver figura N° 1.1).



**Figura N° 1.1.** Causas más comunes de agrietamiento en hormigones

Por otra parte, asumiendo que existen distintos factores que pueden llevar al agrietamiento, se debe considerar que el proceso de agrietamiento es una suma de esos distintos factores, donde uno o más de ellos, dependiendo del caso específico e convierte en la causal determinante del fenómeno.

Entre las metodologías experimentales que actualmente se utilizan para evaluar la vulnerabilidad a la fisuración de pavimentos de hormigón, a edades tempranas, se cuenta el método de la norma ASTM C 1579 – 06 “Standard Test

Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert)”, el cual cuantifica los efectos de la retracción plástica, asentamiento plástico y retracción autógena de un determinado hormigón, mediante la comparación de su comportamiento frente a estos fenómenos teniendo como referencia el comportamiento de un hormigón patrón de características conocidas, al quedar ambos hormigones expuestos a condiciones de alta evaporación. Esta metodología de ensayo se realiza utilizando probetas sometidas a velocidades de viento, que simulan condiciones de obra a las cuales se les introducen condiciones de restricción uniaxial a la deformación, mediante resaltes solidarios la base del molde.

Para la realización del presente trabajo de título se utilizó esta metodología de ensayo debido a la necesidad del IDIEM, de implementar un ensayo estándar para evaluar la retracción del hormigón en su estado plástico, como actividad asociada a la prestación de servicios al sector construcción.

## **1.2. Objetivos**

Los objetivos propuestos para el presente estudio fueron los siguientes:

### **1.2.1. *Objetivo General:***

Comparar las características de fisuración de hormigones con altas dosis de material cementicio, en el ensayo de retracción impedida, teniendo como variables la finura y contenido de puzolana en el material cementicio y el método de elaboración de la mezcla.

### **1.2.2. *Objetivos Específicos:***

Dejar operativa una metodología en la cámara seca de IDIEM, que permita evaluar la susceptibilidad del hormigón al agrietamiento, durante la etapa de fraguado y endurecimiento inicial.

### **1.3. Metodología**

Para llevar a cabo este estudio se contemplaron las siguientes etapas:

1. Se realizó una revisión de antecedentes relacionados con:
  - a. Retracción y fisuración del hormigón a temprana edad
  - b. Hormigones de referencia para la realización de estudios y ensayos
  - c. Normativa sobre métodos de ensayo utilizados para la evaluación de retracción por secado, como también de las otras propiedades que intervienen en la fisurabilidad del hormigón.
2. Puesta a punto de la técnica experimental.
3. Desarrollo de una serie de ensayos para ajustar la metodología a utilizar en el estudio.
4. Diseñó del programa de ensayos para abordar el estudio sobre comportamiento en fisuración de hormigones representativos de los usualmente especificados en obras de pavimentación.

Los comportamientos contemplados en la evaluación de los distintos hormigones, son los siguientes:

- Curvas de tiempo de fraguado.
- Velocidad de evaporación del agua.
- Fisuración por retracción impedida (ASTM C 1579), registrando la edad de aparición de la fisura y el ancho de la fisura a las 24 horas de haber confeccionado las probetas.

### **1.4. Resultados Esperados**

A partir de a la revisión de antecedentes y de los resultados de las series de hormigones ensayados, se obtendrán relaciones entre las variables de composición junto con las correspondientes al procesos de mezclado en el comportamiento frente a fisuración los distintos hormigones ensayados. Lo

anterior implica encontrar relaciones entre las distintas finuras y composición del material cementicio, y el agrietamiento del hormigón.



## **CAPITULO II**

### **2. ANTECEDENTES**

#### **2.1. Materiales cementicios**

##### **2.1.1. Introducción**

De acuerdo a algunos estudios, los materiales cementantes han sido utilizados desde ya hace aproximadamente 7.500 años, ya que se han encontrado vestigios que permiten establecer que en asentamientos en riveras del Danubio se utilizaron suelos de material calizo con arena y grava para construir sus viviendas (pisos). Posteriormente, se utilizaron como aglomerantes el yeso cocido y caliza calcinada mezclada con arcilla cocida y agua, Sin embargo, hacia el año 200 AC, se desarrolló un material aglomerante hidráulico mediante la mezcla entre la puzolana, cal y agua (civilizaciones del mar Mediterráneo).

En cuanto al cemento utilizado actualmente, fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin, y es el resultado de la mezcla conjunta de arcilla y caliza calcinadas a temperaturas de aproximadamente 1400 °C (clinker) que finamente molida con una pequeña adición de yeso, conforman el cemento Pórtland.

Por otra parte, las puzolanas utilizadas en la actualidad corresponden a materiales que por definición poseen (por si mismos) poca o ninguna propiedad cementante, pero que adicionada al cemento Portland en forma finamente pulverizada y en la presencia de humedad, reaccionará químicamente con el hidróxido de calcio obtenido en el proceso de hidratación a temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes. Las puzolanas están compuestas de materiales que contienen sílice o sílice y alumina, y que de acuerdo a su origen se clasifican en:

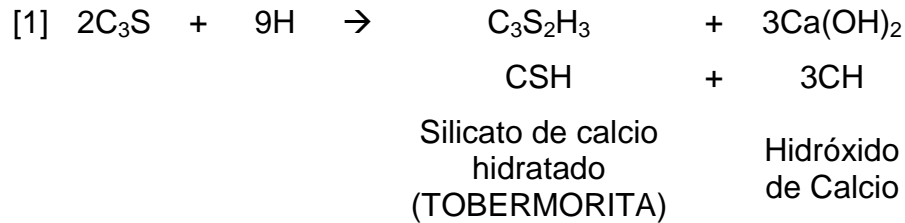
- a. Puzolanas naturales: corresponden básicamente a cenizas volcánicas geológicamente recientes, entre estas se encuentran las cenizas volcánicas formadas por erupciones de carácter explosivo y que se presentan en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente originando la formación del estado vítreo, las tobas volcánicas (zeolitas) que corresponden al producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y su posterior cementación diagenética, y las tierras de diatomeas (diatomitas) que corresponden a puzolanas de origen orgánico producto de los depósitos de caparazones silíceos de microorganismos unicelulares microscópicas (diatomeas).
  
- b. Puzolanas artificiales: corresponden a subproductos industriales que pueden o no requerir un procesamiento (como pulverizado o secado). Entre las puzolanas que actualmente se utilizan se tienen: las cenizas volantes (fly ash) que corresponden a un subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible y corresponde a un polvo fino constituido esencialmente de partículas esféricas; arcillas activadas térmicamente que corresponden a arcillas naturales cuya estructura cristalina es destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900 °C; microsílíce que corresponde a un subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón de hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferrosilicio o cenizas de cascaras de arroz producto de la calcinación controlada de la cáscara de arroz, entre otras. <sup>(1)</sup>

### **2.1.2. Hidratación del cemento Pórtland**

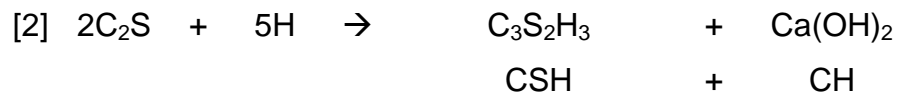
El cemento Pórtland, el cual está compuesto por una mezcla de clinker con yeso, más algunas adiciones que en total no superan el 3% en peso del cemento, es uno de los materiales de construcción más utilizados en la actualidad.

Este material, formado básicamente por silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato dicálcico ( $C_2S$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y ferroatuminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), mediante la incorporación de agua, da pie a las siguientes reacciones de hidratación:

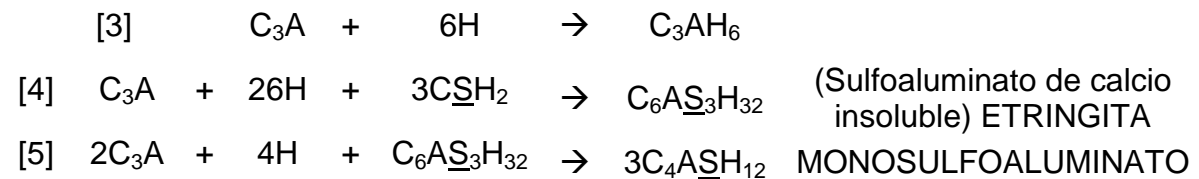
Para  $C_3S$



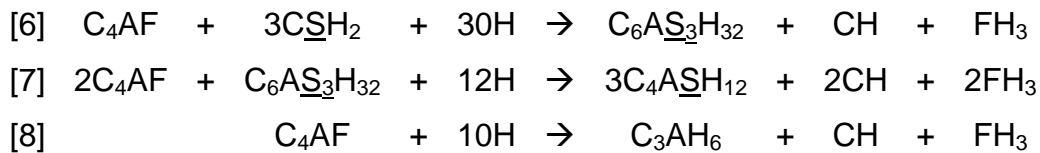
Para  $C_2S$



Para  $C_3A$



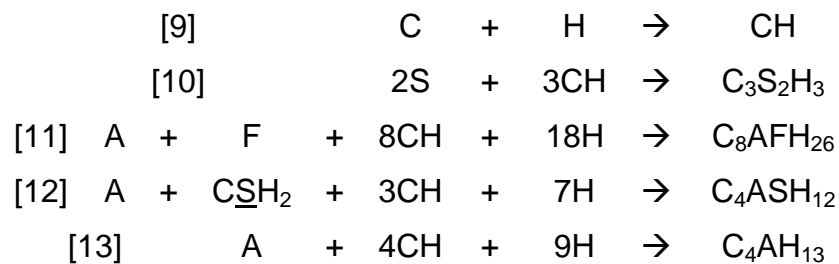
Para  $C_4AF$



Donde C (CaO), S ( $SiO_2$ ), A ( $Al_2O_3$ ), F ( $Fe_2O_3$ ), S ( $SO_3$ ) y H ( $H_2O$ ), de acuerdo a la notación utilizada en la tecnología del cemento. Además el yeso, utilizado como moderador del fraguado se denota por  $CSH_2$ .

### 2.1.3. Hidratación del cemento con adiciones puzolánicas

Debido a que en este trabajo, incluiremos cementos con adiciones de puzolanas, es necesario estudiar las reacciones de hidratación que incluyan adiciones. Debido a que las puzolanas son un material sílico-aluminoso que no posee propiedades aglomerantes por sí solo, están compuestas de los mismos óxidos del clinker, pero con diferentes composiciones mineralógicas. Las reacciones de hidratación a las que da pie la incorporación de las puzolanas, son las siguientes:



De las reacciones anteriores se puede apreciar que el hidróxido de calcio necesario para las reacciones [10] a [13] se obtiene de la propia actividad de la puzolana [9], o de las reacciones de hidratación del cemento Pórtland.

### 2.1.4. Cementos utilizados en Chile

En Chile, los cementos utilizados se clasifican de acuerdo a la norma NCh148.Of68 respecto al porcentaje de adiciones que contienen. En particular se tienen los siguientes tipos de cemento (Tabla N° 2.1).<sup>(2)</sup>

**Tabla Nº 2.1.** Clasificación de los cementos utilizados en Chile.

Tipo de cemento	Adiciones
Cemento Pórtland	0%
Cemento Pórtland puzolánico	$\leq 30\%$
Cemento puzolánico	$>30\%$ y $\leq 50\%$
Cemento Pórtland siderúrgico	$\leq 30\%$
Cemento siderúrgico	$>30\%$ y $\leq 75\%$
Cemento Pórtland con agregado tipo A	$\leq 30\%$
Cemento con agregado tipo A	$>30\%$ y $\leq 50\%$
Cemento con fines especiales	Requisitos de común acuerdo con el comprador

## **2.2. Microestructura del hormigón**

### **2.2.1. Introducción**

Considerando la composición heterogénea del hormigón formado a partir de la mezcla de un conglomerado hidráulico (cemento), agregados de distintas formas y tamaños (áridos) y agua, el hormigón puede considerarse un material que presenta distintas fases en su composición, de modo general se consideran las tres fases siguientes:

- Matriz de cemento: está compuesta básicamente por una fase sólida, poros o vacíos, y agua. La fase sólida contiene de modo general silicato de calcio hidratado en forma de gel (gel CSH), Pórtlandita o hidrato de calcio (CH), sulfoaluminatos cálcicos y granos de cemento sin hidratar.
- Áridos: Se trata del componente más homogéneo del hormigón. Ocupa la mayor parte del volumen de los materiales constituyentes del hormigón (entre el 60% y el 80%) y confieren al hormigón la mayoría de sus propiedades como peso, módulo de elasticidad y estabilidad dimensional. Por otra parte, el uso de una cantidad mayor de áridos abarata costos en la

confección del hormigón. Contribuyen en la resistencia mecánica del hormigón, en la retracción, fluencia, abrasión y durabilidad de éstos.

- Zona interfacial de transición: Parte de la matriz de cemento hidratada que se halla en las zonas superficiales de los áridos y abarca entre 50 y 100 [µm] desde la superficie del árido. Es una fase que condiciona un alto número de propiedades de los hormigones como la durabilidad y la resistencia. Su diferencia principal respecto de la matriz es su porosidad y en las características de los productos de hidratación presentes, siendo esta zona interfacial de transición la parte más débil de estas estructuras definidas.

A continuación se presentan algunas propiedades de las fases de la estructura microcristalina presentes en el hormigón que influyen en la durabilidad del hormigón y en particular en las propiedades relativas a la fisuración en estado plástico y por retracción de secado.

### **2.2.2. Microestructura de la pasta de cemento hidratada (pch)**

Como se mencionó anteriormente, la pasta de cemento producto de la mezcla conjunta de agua y cemento, produce distintos elementos de las reacciones físico-químicas. En particular se reconocen fases sólidas tanto microcristalinas como cristalinas, poros y agua en sus distintas formas.

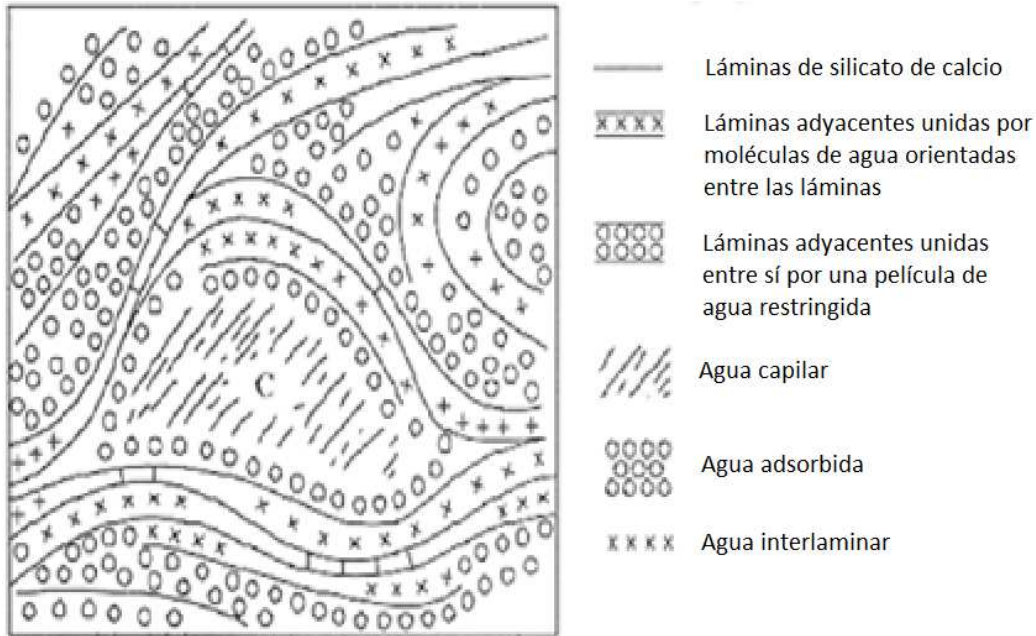
#### *2.2.2.1. Fases Sólidas*

##### 2.2.2.1.1. Microcristalinas

#### CSH (Silicatos de calcio hidratado)

Producto de la hidratación del cemento que constituye entre un 50 y 60% del volumen de sólidos presentes en la pasta. Es también la mayor fuente de resistencia de la pch ya endurecido. Presenta una estructura amorfa y aunque en

la actualidad hay varios modelos aunque sigue siendo pobremente entendida. De acuerdo al modelo de Power-Brunauer, esta fase presenta una gran superficie específica (del orden de 100 a 700 m<sup>2</sup>/g) (Ver Figura N° 2.1) .



**Figura N° 2.1.** Modelo de CSH con los distintos estados del agua presentes en el proceso de hidratación del cemento.

#### 2.2.2.1.2. Cristalinas

##### Hidróxido de Calcio o Pórtlandita (CH)

Este producto de hidratación presenta una estequiometría definida y una morfología variable, desde grandes prismas hexagonales a delgados cristales alargados. El tamaño de estos cristales depende de la cantidad de espacio disponible. Este producto ocupa entre un 20 y 25% del volumen real de la pasta de cemento endurecida (ver figura N° 2.2).

Debido a la baja superficie específica presente en estos cristales (aproximadamente 0.5 m<sup>2</sup>/g), presenta fuerzas de enlace comparativamente menores a las presentes en el CSH, lo que lleva a una contribución a la resistencia de la pch mucho menor en relación al CSH.

Por otra parte, el hidróxido de calcio por su condición básica, eleva el pH de la pch a alrededor de 12.5 y pasiviza el acero contra la corrosión electroquímica, pero puede tener efectos negativos como por ejemplo el lavado de éste producto debido a su alta solubilidad en agua, incrementando la porosidad de la pasta y bajando su resistencia.



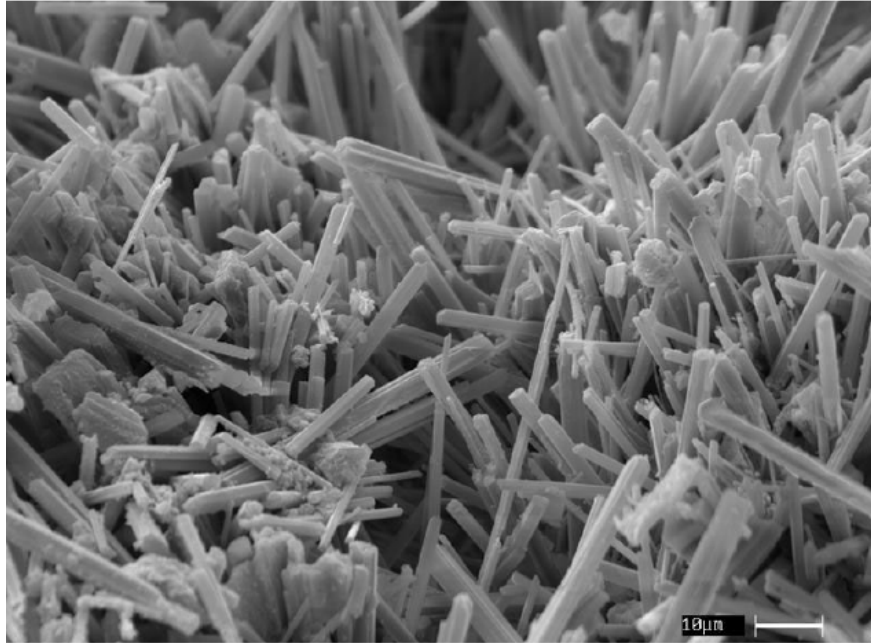
**Figura N° 2.2.** Fotografía de unos cristales de hidróxido de calcio.

#### Fases Etringita (AFt) y Monosulfoaluminato (AFm)<sub>(6)</sub>

Los productos de los aluminatos y ferroaluminatos que están presentes en la reacción química del hormigón se transforman dos veces, en una primera etapa se genera la fase AFt denominada etringita ( $C_6AS_3H_{32}$ ), ver figura N° 2.3. Esta fase crece en forma de agujas hasta que el yeso se va consumiendo y en una segunda etapa el aluminato reacciona con la etringita para formar la fase AFm denominada monosulfoaluminato ( $C_4ASH_{12}$ ) ver figura N° 2.4. Este último elemento reacciona con los sulfatos generando una reacción inversa que conduce a dichos monosulfoaluminatos a su forma de etringita incrementándose el volumen y provocando microfisuras.



Por su parte, la etringita se presenta en forma de agujas, mientras que el monosulfoaluminato se presenta en formas hexagonales similares a rosetas. Estos productos al igual que el hidróxido de calcio se alojan en los poros de la matriz de CSH.



**Figura N° 2.3. Etringita**



**Figura N° 2.4. Monosulfoaluminato**

### 2.2.2.2. Poros de la pch

Los poros o vacíos en la pch pueden clasificarse de distintas maneras, siendo la relativa al tamaño de estos la de mayor utilidad. De todos ellos, los poros capilares (entre 2,5nm y 10µm) y los macroporos (entre los 10µm y 1mm) son los más estrechamente relacionados con la durabilidad, ya que como se menciona más adelante, influyen en la permeabilidad. Sin embargo, en la retracción del hormigón, son los poros capilares y los poros de gel los que más influyen en esta propiedad. En la siguiente tabla se clasifican los poros para una pasta de cemento hidratada (Tabla N° 2.2):

**Tabla N° 2.2.** Clasificación de los poros en la pch.

<i>Designación</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Características</i>	<i>Papel del agua</i>	<i>Propiedades influenciadas</i>
Macroporos	1.0-0.1 mm	Huecos esféricos grandes	Tiene propiedades de fase sólida	Permeabilidad y resistencia
	50-10 µm	Capilares grandes	Tiene propiedades de fase sólida	Permeabilidad y resistencia
Poros capilares	10-0.05 µm	Capilares de tamaño moderado. Huecos capilares. Poros entre partículas	Genera fuerzas de tensión superficial moderadas	Permeabilidad, resistencia y retracción a elevadas HR
	10-2.5 nm	Pequeños capilares de gel	Genera fuerzas de tensión superficial intensas	Retracción a HR del 50%
Poros interlaminares	2.5-0.5 nm	Microporos, poros de gel y poros intergranulares.	Agua intensamente absorbida, no forma menisco	Retracción y fluencia
	< 0.5 nm	Microporos interlaminares. Poros intergranulares	Agua estructural implicada en los enlaces	Retracción y fluencia

Dada la clasificación anterior, para este estudio solo nos referiremos a los poros interlaminares y a los poros capilares, ya que son éstos poros los que están intrínsecamente relacionados con los cambios volumétricos.

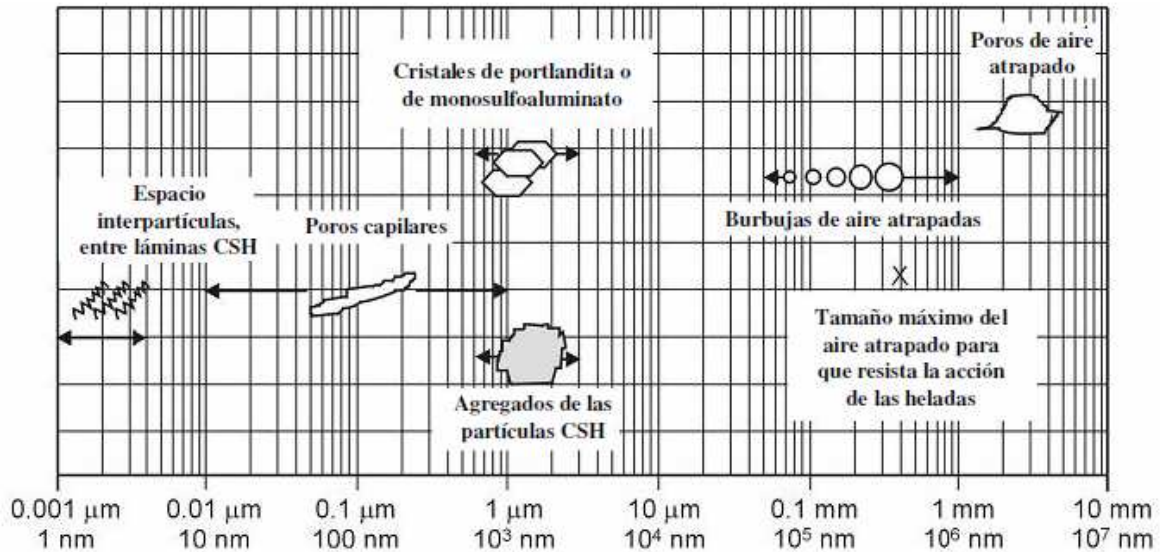
Poros interlaminares en el CSH: Corresponde al espacio entre las láminas de CSH dado que los productos de hidratación no rellenan completamente el volumen

y dejan un espacio entre las partículas del gel. Powers, basándose en datos de adsorción-desorción de vapor de agua concluyó que los poros de gel son espacios entre las fibras del gel CSH. Este concepto fue mejorado y ampliado por Feldman y Sereda que, mediante datos de adsorción de  $N_2$ , establecieron que los poros de gel son en realidad el espacio existente entre las láminas del gel CSH. Se trata de espacios flexibles que varían en función de la cantidad de agua que los puede ocupar. Su tamaño puede variar entre los 5 y 25 Å y corresponden a aproximadamente un 28% de los poros del sólido. Además, por su tamaño no afectan ni la resistencia ni la permeabilidad de la pasta de cemento (son independientes de la relación A/C). Sin embargo, pueden afectar la estabilidad dimensional (retracción y fluencia) si el agua presente en dichos poros es eliminada ya sea por aplicación de carga o bien por variación de la HR.

Poros capilares: Este tipo de porosidad es inherente al exceso de agua que se emplea durante el amasado para conseguir una buena trabajabilidad, vale decir corresponde al espacio utilizado por el agua libre de la pasta de cemento. De acuerdo a los estudios de Powers y Brownyard, la relación mínima de A/C para que se pueda producir la hidratación completa del cemento es igual a 0.39, pero para que los poros de gel se hallen completamente llenos es necesaria una relación A/C mayor a 0.44. Esto implica que a mayores relaciones A/C, los productos de hidratación no rellenan el volumen libre en la pch, dejando un volumen remanente que forma los poros capilares, yendo en aumento hasta una relación de A/C igual a 0.7. El volumen y tamaño de estos poros vendrá determinado por la relación A/C y por el grado de hidratación del material cementicio. Los tamaños para estos poros varían entre 3 a 5 [µm] para relaciones A/C altas (del orden de 0.6), y un tamaño entre 10 y 50 [nm] para relaciones A/C bajas (del orden de 0.4).

En general, para tamaños menores a los 50 [nm] los poros capilares tienen más importancia en la estabilidad dimensional (retracción por secado y creep), mientras que para tamaños mayores a 50 [nm] los poros capilares afectan en mayor medida la resistencia y permeabilidad de la pasta de cemento.

En la figura N° 2.5 se puede observar una distribución con los distintos tamaños de poros y otros elementos presentes en la pasta de cemento hidratada.



**Figura N° 2.5.** Distribución de tamaños de poros presentes en el pch.

### 2.2.2.3. Agua en la pch

A continuación se presentan los distintos estados en los que se puede encontrar agua en el proceso de hidratación del cemento:

**Agua químicamente ligada:** Agua que es parte integral de varios de los productos de hidratación presentes. Para eliminarla es necesario descomponer los productos a los que permanece ligada.

**Agua interlaminar:** Agua ligada con la estructura del gel CSH, puede ser eliminada solo por un secado muy intenso a humedades relativas inferiores a 11% resultando en una retracción considerable del sólido.

**Agua adsorbida:** corresponde al agua ligada a la superficie externa del CSH, puede ser removida bajo secado con una humedad relativa menor a 30%, resultando en la retracción de la pasta de cemento.

Agua capilar: corresponde al agua presente en los poros mayores a 2.5 [nm]. De acuerdo a su comportamiento en los capilares mayores a 50 [nm], el agua existente corresponde a agua libre porque al ser removida no produce cambios volumétricos. Para tamaños de capilares entre 2.5 y 50 [nm], la remoción de agua origina retracción debido a nuevos enlaces formados entre las laminas de C-S (tensión capilar).

En la figura N° 2.1 se observa un modelo de CSH donde además se observan los distintos estados del agua presente en el proceso de hidratación del cemento.

### **2.3. Microestructura durante el proceso de hidratación**

El proceso de formación de los productos de hidratación se puede dividir en tres fases de acuerdo a la actividad presente en la pasta:

Fase inicial: Aproximadamente a los 10 minutos de mezclados el cemento con el agua ya se puede observar gel alrededor de los granos de cemento no hidratados, junto con pequeñas laminas delgadas de silicato de calcio hidratado CSH. Aproximadamente a la hora, el gel adquiere un espesor de 1 [mm] y pequeños bastones de  $AF_t$  (etringita) se nuclean en la superficie del mismo, aún no existen fuerzas de atracción entre las partículas.

Fase intermedia: Fase caracterizada por la hidratación de aproximadamente el 30-40% del silicato tricálcico (C3S) y por el comienzo de la fase de endurecimiento de la pasta. Entre 3 y 5 horas después de realizada la mezcla, se puede verificar la aparición de una cierta cohesión en la pasta. Durante las 5 y 10 horas de confeccionada la mezcla la reacción del silicato tricálcico genera productos de CSH que forman una cubierta sobre la red de bastoncitos de etringita que se han generado formando una estructura coherente.

Fase final: Pasadas las 24 horas de confeccionado el hormigón, el C3S sigue en proceso de reacción y generando productos de hidratación. A medida

que los granos completamente hidratados se van superponiendo entre sí, la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta aumentan. El esqueleto básico se forma entre los 7 y 28 días.

#### **2.4. El proceso de mezclado en las características del hormigón**

El proceso de mezclado en un sistema heterogéneo como es el caso del hormigón tiene una gran importancia debido a que variaciones en este proceso pueden llegar a generar diferencias considerables en el resultado final del mezclado. Por ejemplo, al incrementar la energía de mezclado (tanto su velocidad como el tiempo de mezclado) debido a la desfloculización (separación de las partículas) que genera, que permite hacerla más trabajable, lo que implica la posibilidad de disminuir la cantidad de agua necesaria para que tenga la misma docilidad. Por otra parte, el fenómeno de la desfloculización permite que una mayor superficie de las partículas de cemento quede expuesta, lo que implica una mayor resistencia inicial

Se realizaron varios estudios en que se variaron tanto el proceso de incerción de las materias primas del hormigón como los porcentajes de están en distintos momentos y se obtuvieron resultados que sorprendieron ya que incluso permitían aumentar las resistencias hasta en un 25% solo modificando este proceso.

Por ejemplo, Tamimi <sup>(10)</sup> agregó el agua de amasado en dos ocasiones, inicialmente se agregaron los áridos más un 25% del peso del cemento en agua, luego se agregó el cemento y posteriormente el resto del agua. Este procedimiento disminuyó la tasa de exudación y aumentó la resistencia a la compresión en un 25%. El tiempo de mezclado total fue de 2 minutos.

Por otra parte, Pope y Jennings<sup>(11)</sup> incluyeron el agua en varias etapas, pero con morteros. El ingreso de los materiales fue similar a lo que hizo Tamimi, primero un porcentaje de agua junto a los áridos, luego el cemento y finalmente el resto del agua, aunque el tiempo de mezclado fue considerablemente mayor al

anterior ya que se mezcló por 5 minutos. Al igual que en el ejemplo anterior se obtuvieron notables mejoras en la homogeneidad y resistencia de los morteros. Además, los resultados mostraron una microestructura de la zona interfacial de transición más uniforme y de menor grosor total lo que permite que los productos de hidratación se empaqueten más ajustadamente contra la superficie.

Rejeb estudió el mezclado en etapas comparando un método de mezclado donde se agregó en primer lugar los áridos gruesos, los áridos finos y el cemento seco, los cuales fueron mezclados por 30 segundos y luego se les agregó el agua con el superplastificante, mezclándolos por tres minutos más.

En el segundo caso se premezcló el cemento con el agua y el superplastificante por dos minutos en un mezclador de alta velocidad, luego se agregaron los áridos grueso y luego los finos en un mezclador normal, mezclando por dos minutos más.

En el tercer caso, se premezcló el mortero por dos minutos en un mezclador de alta velocidad y luego se le agregó el árido grueso, mezclando por dos minutos más.

Los resultados obtenidos mostraron un aumento en la resistencia de los mezclados en etapas entre un 14 y 19% en el premezclado del mortero y un incremento en la resistencia entre un 13 y 15% en el premezclado de la pasta de cemento. Además, ambos métodos incrementaron el descenso de cono entre 0.5 y 1 cm.

Por otra parte Tyson, Vernon y Wang <sup>(13)</sup>, estudiaron 3 hormigones con distinto material cementicio, el primero con el 100% de cemento Pórtland, el segundo con un 85% de cemento Pórtland más un 15% de ceniza volante, y el tercero con un 50% de cemento Pórtland más un 35% de escoria y el 15% restante fue ceniza volante.

Estos cementos fueron estudiados con tres distintos procesos de mezclado. Un primer proceso consistió en agregar los áridos finos y gruesos con el agua y el aditivo incorporador de aire, y revolver la betonera por 15 segundos. Luego, el material cementicio fue agregado y mezclado por 60 segundos, durando el proceso de mezclado del agua y el cemento por 60 segundos. El segundo método de mezclado consistió en preparar la pasta de cemento (agua más cemento) mediante un mezclado a alta velocidad por 30 segundos, para luego agregar la pasta, los áridos finos y gruesos en una betonera y mezclar durante 30 segundos, durando el proceso de mezclado del agua y el cemento por 2 minutos y 45 segundos. El tercer método de mezclado se realizó de la misma forma que el anterior salvo la diferencia en que en este procedimiento se mezcló la pasta de cemento por 60 segundos y el proceso de mezclado total del agua y del cemento fue de 3 minutos y 15 segundos.

De los resultados obtenidos de este estudio se observa que para los dos primeros hormigones, vale decir el hormigón con 100% de cemento Pórtland y el hormigón con 85% cemento Pórtland más un 15% de ceniza volante, el método de mezclado de la pasta de cemento con 60 segundos a alta velocidad tuvo una menor resistencia a los 3 y 7 días que el mezclado convencional (primer método de mezclado) y una resistencia igual al método convencional a los 28 días, mientras que el método de mezclado de la pasta de cemento con 30 segundos a alta velocidad tuvo una resistencia menor a los 3 días, sin embargo a los 7 y 28 días, obtuvo resistencias bastante mayores que los otros 2 métodos de mezclado, ver Figuras N° 2.6 y N° 2.7. En el caso del tercer hormigón, el cual fue confeccionado con 50% de cemento Pórtland más un 35% de escoria y un 15% de ceniza volante, los resultados observados muestran que los tres métodos de mezclado prácticamente tienen las mismas resistencias como se observa en la figura N° 2.8.



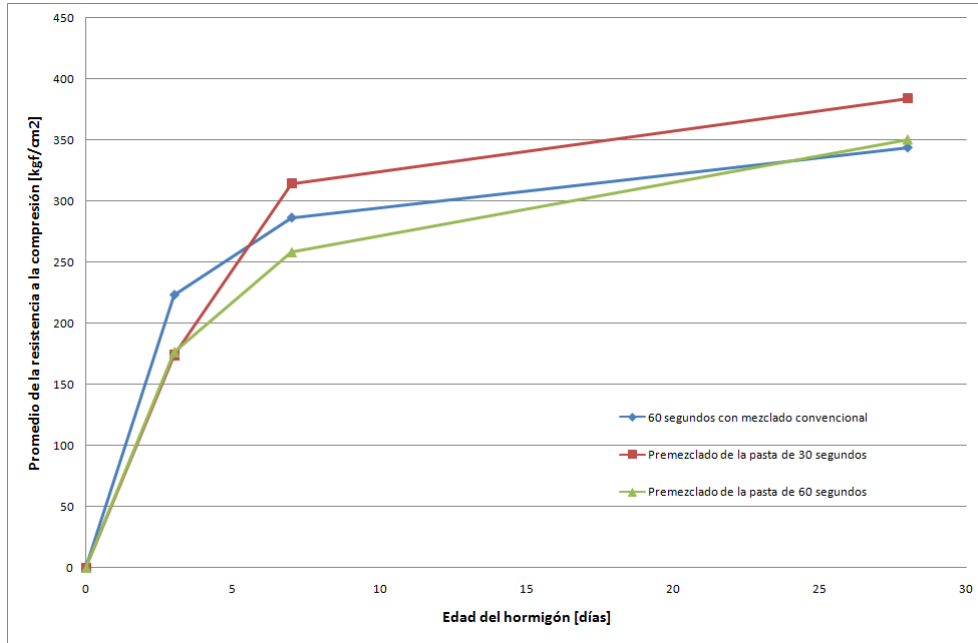


Figura Nº 2.6. Resistencia del hormigón con 100% cemento Pórtland. <sup>(13)</sup>

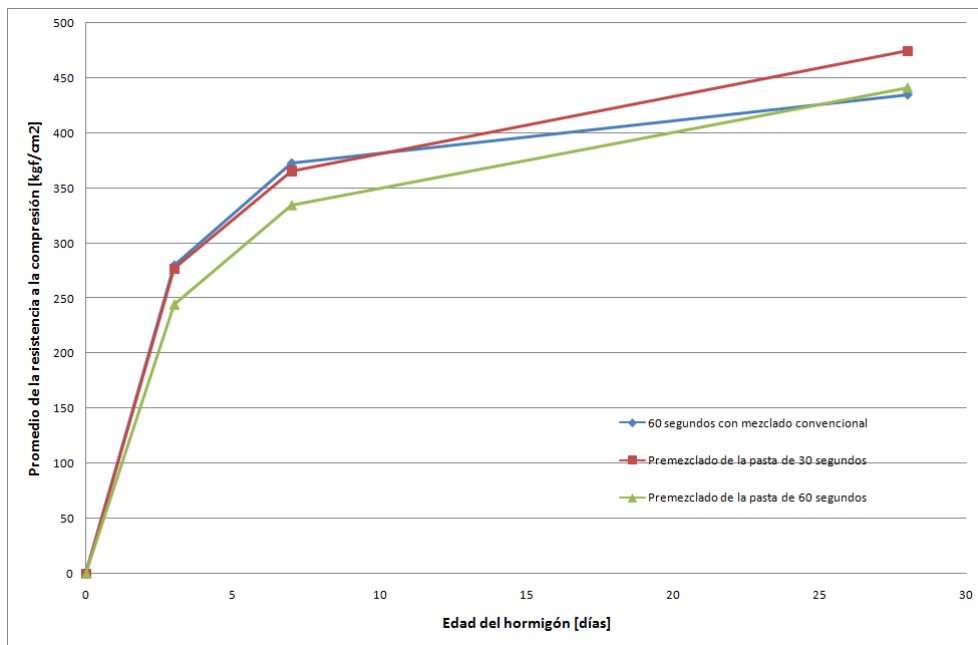
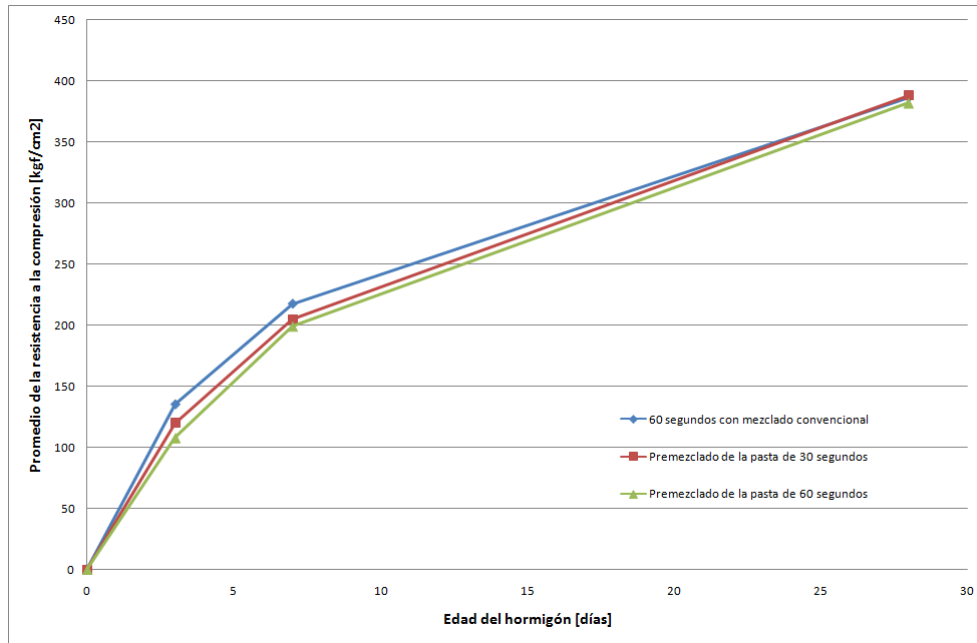


Figura Nº 2.7. Resistencia del hormigón con 85% cemento Pórtland y 15% de cenizas volantes. <sup>(13)</sup>



**Figura Nº 2.8.** Resistencia del hormigón con 50% cemento Pórtland, 15% de cenizas volantes y 35% de escoria.<sup>(13)</sup>

Verónica Latorre<sup>(5)</sup> en su memoria de título verificó la influencia de algunas variables de composición de la pasta de cemento y el proceso de mezclado, en las propiedades de trabajabilidad y resistencia en hormigones de prueba.

En particular, se realizaron ensayos variando el procedimiento de mezclado para las distintas relaciones A/C y variando además el porcentaje de puzolana en el material cementicio.

Se concluyó que las propiedades del hormigón se ven afectadas en forma positiva mediante el mezclado en etapas, principalmente debido a que se obtienen hormigones con resistencias iniciales significativamente mayores, variando éstas entre un 10% y un 18% (a los 7 días) dependiendo del porcentaje de adición puzolánica incorporado, haciendo que las resistencias sean prácticamente coincidentes al finalizar el proceso de hidratación del material cementicio. Cabe mencionar que estos resultados se obtuvieron curando las probetas bajo agua. Por otra parte, se obtienen hormigones más uniformes y mejor mezclados, lo que afecta directamente en la obtención de hormigones menos segregables.

## **2.5. RILEM TC 14-CPC “Reference concrete for research and testing”<sup>(14)</sup>**

Este reporte recuerda el informe original realizado por el comité CPC-14 de Rilem, el cual fue publicado en la revista N° 39 de Materiales y Estructuras en 1974, y tuvo por objetivo entregar los resultados de varios ensayos interlaboratorios realizados con el fin de definir gradualmente un posible concreto de referencia.

Para la realización de este trabajo de investigación, se tomó como referencia algunas de las conclusiones para llegar a un hormigón que presentara algunas características de hormigón de pruebas y que cumpliera con los parámetros utilizados para los hormigones de pavimentos:

### **2.5.1. Cemento**

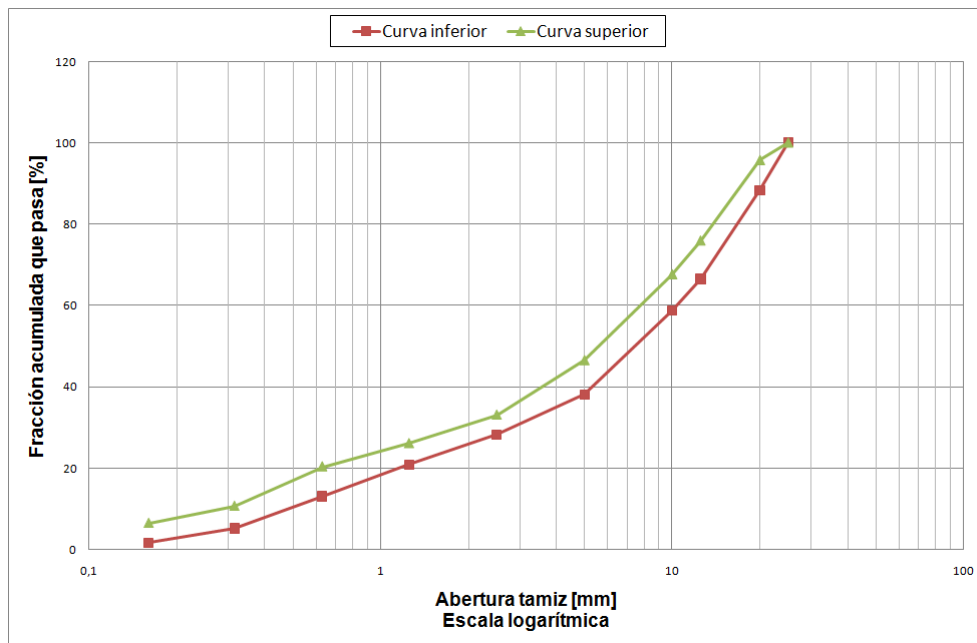
Tipo y calidad: Rilem recomienda un cemento Pórtland puro con resistencia a la compresión recomendada a los 28 días de  $50 \pm 5$  MPa, y un contenido de aluminato tricálcico C3A mayor a 7%. En nuestro caso, se utilizó un cemento Pórtland alta resistencia (Melón Súper) y un cemento Pórtland puzolánico de alta resistencia (Melón Extra).

### **2.5.2. Agregados**

Granulometría: Las curvas granulométricas del árido total que se utilizó en los hormigones del presente trabajo, se ciñeron a la recomendación de la RILEM<sup>(14)</sup> que establece una banda específica para hormigones que se emplean en investigación. En la tabla N° 2.3 y en la figura N° 2.9 se observan los límites superior e inferior de la banda granulométrica recomendada por RILEM.

**Tabla N° 2.3.** Límite superior e inferior de la banda granulométrica recomendada por RILEM

Tamaño del Tamiz	Límite Inferior	Límite Superior
[mm]	[%]	[%]
25	100	100
20	88,3	95,7
12,5	66,5	75,9
10	58,7	67,6
5	38,1	46,5
2,5	28,3	33,1
1,25	20,8	26,1
0,63	13,1	20,4
0,315	5,2	10,7
0,16	1,7	6,5



**Figura N° 2.9.** Límites superior e inferior para la granulometría de áridos RILEM

## **2.6. Circular E-C107: Control of Cracking in Concrete, State of the Art**<sup>(9)</sup>

Esta circular de la Transportation Research Board examina las causas del agrietamiento en los pavimentos de hormigón utilizados en la actualidad. También muestra varios ensayos que pueden ser llevados a cabo para evaluar la susceptibilidad del material al agrietamiento, y provee algunos estudios de casos y su posible prevención.

Algunos puntos de interés para este estudio son los relativos al agrietamiento del hormigón en estado plástico, A continuación se detalla lo que hay en esta circular referente a este tipo de agrietamiento.

### **2.6.1. Asentamiento Plástico**

El asentamiento plástico se produce en las mezclas frescas de hormigón cuando este se asienta con el tiempo (debido a la decantación de las partículas más pesadas) y se encuentra con algunas restricciones. El agrietamiento por asentamiento plástico se observan frecuentemente cuando ocurren cambios en la sección transversal (por ejemplo sobre las barras de acero en el hormigón armado).

### **2.6.2. Retracción en el hormigón (etapa plástica)**

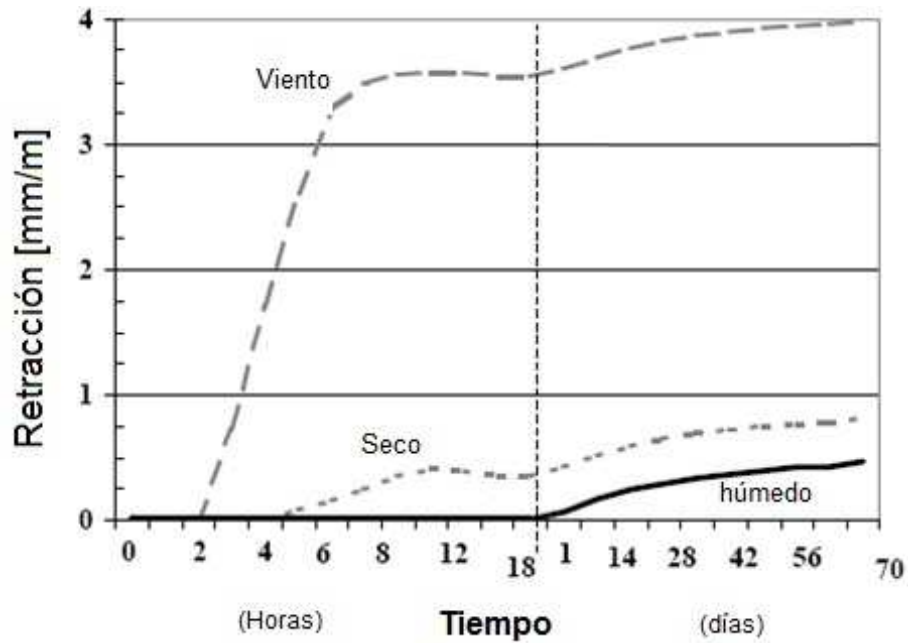
La retracción plástica puede ocurrir en la superficie del hormigón fresco dentro de las primeras horas después de puesto, Según Cohen et Al (1989), cuando la velocidad de evaporación de agua desde la superficie del hormigón excede la velocidad de exudación, comienza el secado resultando en gran tensión capilar desarrollada cerca de la superficie. Esto puede ser atribuible generalmente a altas tasas de evaporación por altas temperaturas, baja humedad ambiental, viento, y a la dosificación de materiales empleados en la mezcla. El agrietamiento por retracción plástica es un problema para estructuras con grandes superficies

expuestas tales como cubiertas de puentes (decks) y pavimentos, en que la superficie es alta en relación al volumen de hormigón puesto.

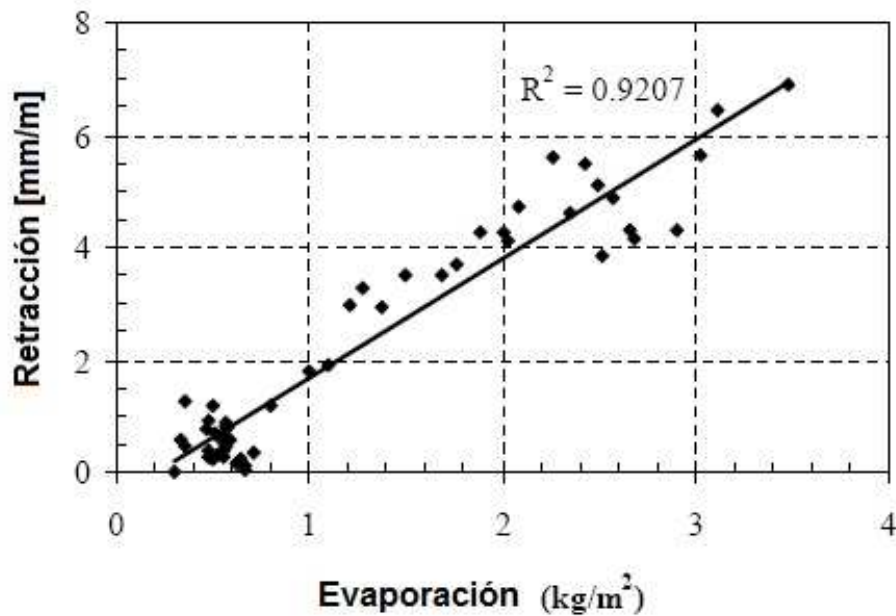
Las grietas causadas por retracción plástica pueden ser de un ancho en la superficie superior de 2 a 3 mm, pero éste disminuye rápidamente bajo la superficie. Típicamente las grietas por retracción plástica no exceden los 30 mm de espesor, pero podrían traspasar el elemento completamente en la vertical; sin embargo, los mecanismos que resultan de la formación de grietas por retracción plástica no explican este comportamiento. Es probable que los siguientes eventos incluyendo la retracción por secado y el cargar la pieza, puedan causar que las grietas de retracción plástica se propaguen.

La figura 2.10 muestra la influencia de las condiciones de secado en edades tempranas en la magnitud de la retracción. Las 3 diferentes condiciones de curado incluyen cámara húmeda (100% H.R.), cámara seca (40% H.R.) y secado con viento (40% H.R. con viento de 2.5 m/s). Holt<sup>(9)</sup> sugirió que hay un alto riesgo de agrietamiento a edades tempranas cuando la deformación por retracción, a edades tempranas excede los 1000  $\mu\text{m}/\text{m}$ .

La magnitud de la retracción está directamente relacionada con la pérdida de agua del hormigón, mayores evaporaciones resultan en mayores retracciones. Esta correlación es mostrada en la figura N° 2.11 (Holt y Leivo, 2000; Holt y Leivo 2001)<sup>(9)</sup>, para hormigones de resistencia normal con diferentes proporciones que son expuestas a diferentes condiciones de curado.



**Figura Nº 2.10.** Retracción a edades tempranas combinada con retracción a largo plazo para 3 diferentes condiciones de curado (Holt y Leivo, 2000).



**Figura Nº 2.11.** Dependencia de la retracción a edades tempranas y la cuantía de evaporación antes del fraguado para hormigones normales (Holt y Leivo, 2000)

## **2.7. Norma ASTM C 1579-06 “Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (Using a steel form insert)”**

### **2.7.1. Resumen del Método de Ensayo**

Esta metodología intenta evaluar los efectos de la evaporación, asentamiento y retracción autógena a edades tempranas, en el agrietamiento plástico de hormigones reforzados con fibras, hasta y por algunas horas después del final del fraguado.

Este método de ensayo consiste en utilizar dos probetas, la primera con un hormigón patrón (que puede o no incluir fibra en su dosificación) y una segunda de hormigón con fibras incorporadas, para comparar el comportamiento de ambas probetas frente al agrietamiento por retracción plástica. Estas probetas son preparadas de acuerdo a una metodología preestablecida y son expuestas a condiciones controladas de secado antes de su término. Las condiciones de secado intentan ser bastante severas para inducir el agrietamiento debido a retracción plástica en la probeta hecha para el hormigón patrón.

Un parámetro importante en este método es la velocidad de pérdida de agua por evaporación, que es controlada por las condiciones atmosféricas circundantes a las probetas de ensayo. Ya que las probetas de hormigón no siempre tendrán la misma velocidad de evaporación de agua que el recipiente de agua usado para medir ésta pérdida en el ensayo (debido a los efectos de evaporación y exudación), la velocidad de evaporación de  $1.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  desde el recipiente de agua representa la velocidad mínima de evaporación que debe ser conseguida para este ensayo. La pérdida de humedad desde las probetas de hormigón pueden también ser monitoreadas e informadas, sin embargo, la velocidad de evaporación desde la superficie libre del agua en el recipiente es un parámetro que puede ser usado para cuantificar las condiciones ambientales de secado.



El ensayo se termina en el momento del final de fraguado de acuerdo a la norma ASTM C 403/403M. Sin embargo, a 24 hrs. del inicio del mezclado, es determinado el espesor promedio de la grieta.

Los resultados obtenidos pueden ser usados para comparar el desempeño de hormigones con diferentes dosificaciones, hormigones con o sin adiciones de fibras y hormigones con diferentes tipos y porcentajes de aditivos.

Este método intenta controlar las variables atmosféricas para cuantificar el rendimiento relativo de una mezcla de hormigón fresco dada. Debido a que muchas otras variables como la finura del cemento, graduación de los agregados, procedimientos de mezclado, descenso de cono, contenido de aire, temperatura del hormigón y terminación de la superficie también pueden influir en el agrietamiento potencial, una especial atención debe prestarse para mantener estos parámetros tan consistentes como sea posible entre mezclas.

## **2.8. Tecnología del Hormigón, A. Neville**<sup>(15)</sup>

De acuerdo a Neville, los factores que afectan la retracción plástica son los siguientes:

### **2.8.1. Áridos**

Los áridos son los materiales componentes que ejercen la mayor influencia en la retracción del hormigón ya que restringen la cantidad de retracción que se puede producir.

Otro factor que influye en la retracción plástica es la compresibilidad del árido, el cual influye directamente ya que si este es muy poco compresible, solo da lugar a que la pasta de cemento se comprima.

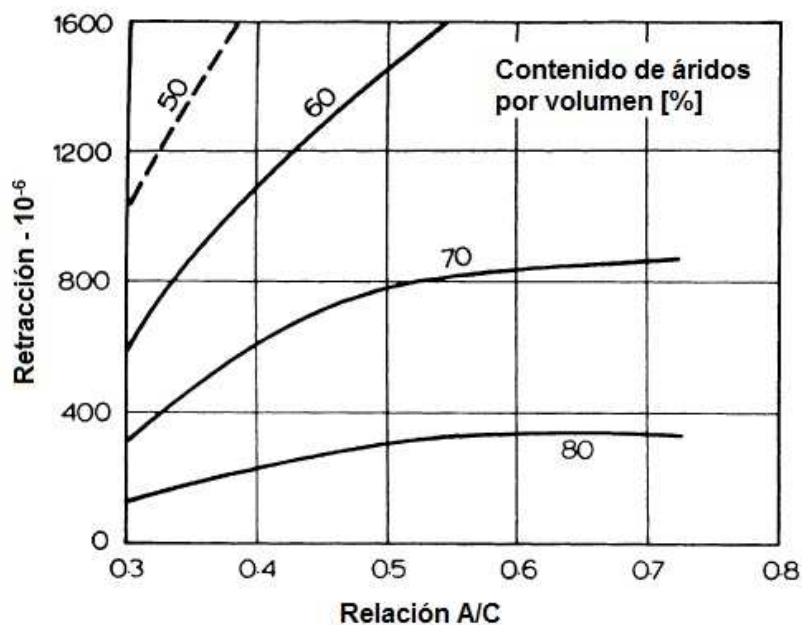
Por otra parte, el tamaño y la granulometría de estos no influyen por sí mismos en la magnitud de la retracción. Sin embargo, los agregados de mayor

tamaño permiten utilizar mezclas con menor relación A/C y por ende disminuyen la retracción al reducir dicha relación.

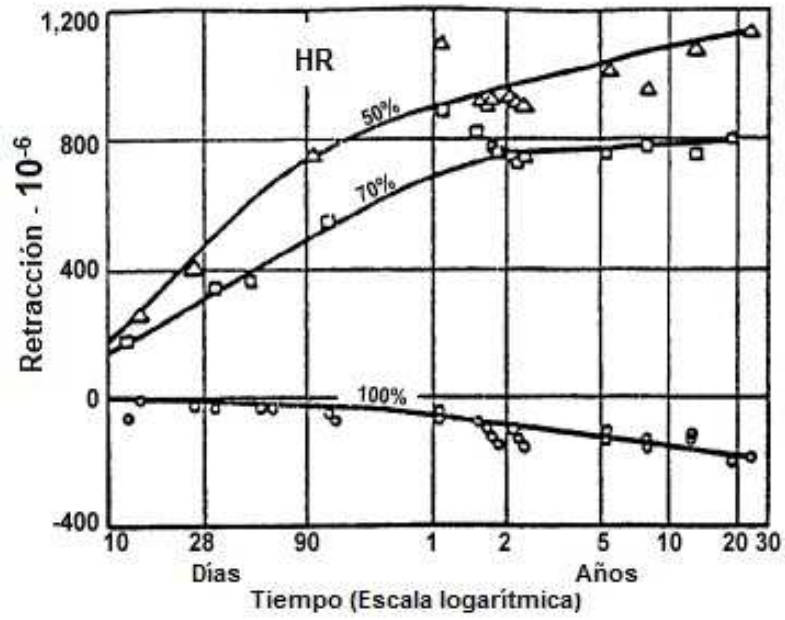
La doble influencia de la relación A/C y el contenido de agregado, se pueden combinar en el gráfico de la figura N° 2.11, sin embargo se debe aclarar que los valores de retracción proporcionados son referenciales y no representan los encontrados en climas fríos.

### 2.8.2. Humedad Relativa

La humedad relativa del medio que rodea al hormigón afecta mucho la magnitud de la contracción, como se muestra por ejemplo en la figura N° 2.13. En esta misma figura se ilustra la mayor magnitud absoluta de la retracción comparada con la expansión en agua.



**Figura N° 2.12.** Influencia de la relación A/C y el contenido de agregados en la retracción (Odman 1968).



**Figura N° 2.13.** Relación entre la retracción del hormigón y el tiempo, para hormigones almacenados a diferentes humedades relativas.

## CAPITULO III

### 3. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DE LA CAMARA DE ENSAYOS

#### 3.1. Introducción

En este capítulo se describe la metodología utilizada para el desarrollo de la experiencia, y se establecen los parámetros y variables que influyen en el comportamiento del hormigón frente al agrietamiento plástica. Además se incluyen las características de las probetas y la cámara de ensayos utilizada en el desarrollo de la experiencia.

#### 3.2. Parámetros

Por lo visto en el capitulo anterior, existen muchos factores en el desarrollo del agrietamiento plástico en el hormigón, sin embargo, para el propósito de esta experiencia se diferenciarán los parámetros en “parámetros variables” y “parámetros constantes”.

##### 3.2.1. *Parámetros variables*

Las variables consideradas en el desarrollo de esta experiencia son las siguientes:

**Método de mezclado:** Se considerarán 2 métodos de mezclado de los materiales componentes del hormigón, de acuerdo a la experiencia realizada por Verónica Latorre en su memoria de título y corresponden a:

- Mezclado convencional (MC)
- Mezclado en etapas (ME)

**Material Cementicio:** Se consideran diferentes composiciones o tipos de cemento, variando el contenido y finura de la puzolana adicionada a un cemento Pórtland puro, como se describe en la Tabla N° 3.1.

**Tabla N° 3.1.** Tipos de cementos y denominación de éstos.

	Denominación
- Cemento Melón Súper (Pórtland) más 15% de puzolana, la cual tiene una finura Blaine de 9000 cm <sup>2</sup> /g.	PP15F
- Cemento Melón Súper (Pórtland) más 30% de puzolana, la cual tiene una finura Blaine de 9000 cm <sup>2</sup> /g.	PP30F
- Cemento Melón Súper (Pórtland) más 15% de puzolana, la cual tiene una finura Blaine de 4500 cm <sup>2</sup> /g.	PP15G
- Cemento Melón Súper (Pórtland) más 30% de puzolana, la cual tiene una finura Blaine de 4500 cm <sup>2</sup> /g.	PP30G
- Cemento Melón Extra (Pórtland Puzolánico, Alta Resistencia)	PPAR

PP: Cemento Pórtland Puzolánico;

Contenido de puzolana [% peso]: 15% ó 30%;

Finura de molienda (Puzolana): F = 9000 cm<sup>2</sup>/g ó G = 4500 cm<sup>2</sup>/g

### 3.2.2. *Parámetros Constantes*

Dados los objetivos propuestos respecto a este Trabajo de Título, se mantendrán constantes los siguientes parámetros:

**Granulometría de los áridos:** La granulometría utilizada corresponde a la utilizada en los hormigones de referencia entregada por el antecedente N° 2.6.2 del capítulo anterior. Se emplearán áridos de tamaño máximo 20 [mm], separado en 2 fracciones, una para el árido grueso (sobre la malla N° 4) y una para el árido fino (entre malla N° 100 y malla N° 4).

**Humedad relativa:** De acuerdo al antecedente N° 2.9.2 del capítulo anterior, en la medida en que se disminuya la humedad relativa de curado,

aumenta la retracción presente en el hormigón. Sin embargo, dado que se estos ensayos corresponden a una comparación entre los dos tipos de mezclado, se utilizará una humedad relativa de  $50\% \pm 15\%$ .

**Relación Agua / Material cementicio:** Se utilizó una relación Agua / Material cementicio (A/C) constante de 0.45, valor que corresponde al de un hormigón típico que se utiliza en obras de pavimentación.

### **3.3. Programa de ensayos**

El programa experimental contempló la realización de 5 series de ensayo de fisurabilidad, utilizando la cámara propuesta por la norma ASTM C 1579, según se describe en la Tabla N° 3.2. El hormigón utilizado en cada una de estas series fue caracterizado determinando sus propiedades en estado fresco:

- Densidad aparente (hormigón / pasta de cemento)
- Exudación
- Asentamiento de cono
- Contenido de aire
- Densidad de pasta (mezclado en etapas)

Además, se realizaron ensayos a compresión a 3 probetas de 15 x 15 x 15 [cm] por serie. De las cuales 1 probeta se ensayó a los 7 días y las otras 2 probetas se ensayaron a los 28 días.

En la Tabla 3.2 se presenta el programa de ensayos

**Tabla Nº 3.2.** Programa de ensayos

Denominación conforme al tipo de cemento empleado	Cemento		Puzolana		Método de Mezclado		Repeticiones
	Tipo	[%]	Tipo	[%]	MC	ME	
PP15F	Pórtland Puzolánico	85	9000	15	X	X	2
PP30F	Pórtland Puzolánico	70	9000	30	X	X	2
PP15G	Pórtland Puzolánico	85	4600	15	X	X	2
PP30G	Pórtland Puzolánico	70	4600	30	X	X	2
PPAR	Pórtland Puzolánico comercial	100	-	-	X	X	2

MC = Mezclado convencional.

ME = Mezclado en etapas.

### **3.4. Recursos disponibles**

Para la etapa experimental del presente estudio, se dispuso del Laboratorio de Hormigones del IDIEM, que cuenta con las instalaciones y equipos necesarios para la dosificación, elaboración y ensayo de hormigones bajo condiciones controladas. En este caso, aparte de los ensayos de caracterización del hormigón fresco (docilidad, densidad aparente, contenido de aire). Se requirió de una cámara especial para el ensayo de fisuración en condiciones de evaporación de agua controladas (temperatura, humedad y viento) que se describe en el punto 3.7.

### **3.5. Equipo de laboratorio**

- Betonera
- Mesa Vibradora
- Horno eléctrico para secado de los áridos
- Máquina para ensayos de compresión marca Toni Technik

### **3.5.1. Plataforma de vibrado**

Se utilizó la plataforma de vibrado del laboratorio de hormigones de Idiem, la cual cubre los requisitos de frecuencia mínima de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 192/192M para una mesa vibradora (mayor a 60 Hz).

### **3.5.2. Medida de peso**

Se pesaron los recipientes de monitoreo de velocidad de evaporación con una balanza marca Jadever de capacidad 30 [kg] y exactitud de  $\pm 0.01$  [kg].

### **3.5.3. Muestreo, Probetas y unidades de muestreo**

Las probetas fueron preparadas de acuerdo a las condiciones aplicables de la norma ASTM C 192/192M.

Una unidad de muestreo está comprendida de 2 probetas de control y 2 probetas de hormigón con la misma dosificación.

## **3.6. Moldes**

Para confeccionar las probetas del ensayo de fisuración se utilizaron moldes con las dimensiones que se indican en la Figura N° 3.1. Los moldes fueron confeccionados con madera contrachapada, sin embargo la norma permite otros materiales como metal o plástico. El espesor de la madera utilizada fue de 18 mm, y se aplicó como impermeabilizante barniz poliuretano a las superficies del molde.

El molde utilizado en el ensayo de fisuración fue diseñado para un hormigón con árido de tamaño máximo 19 mm, la norma establece que para agregados mayores, la profundidad del molde debe ser igual a 65 mm más 2 veces el tamaño máximo del árido.

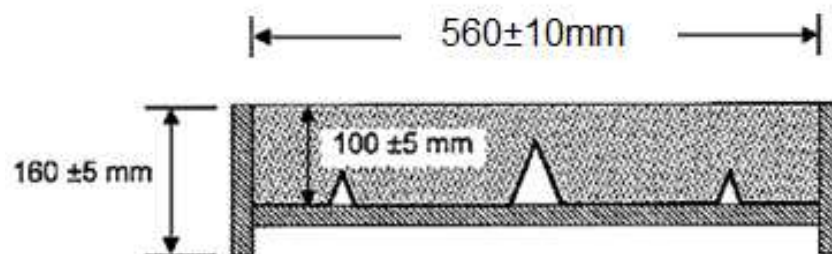


Además, para simular la situación presente en los pavimentos, se dejó una pequeña pendiente con una altura en el borde exterior de 1 cm (ver figura N° 3.3)

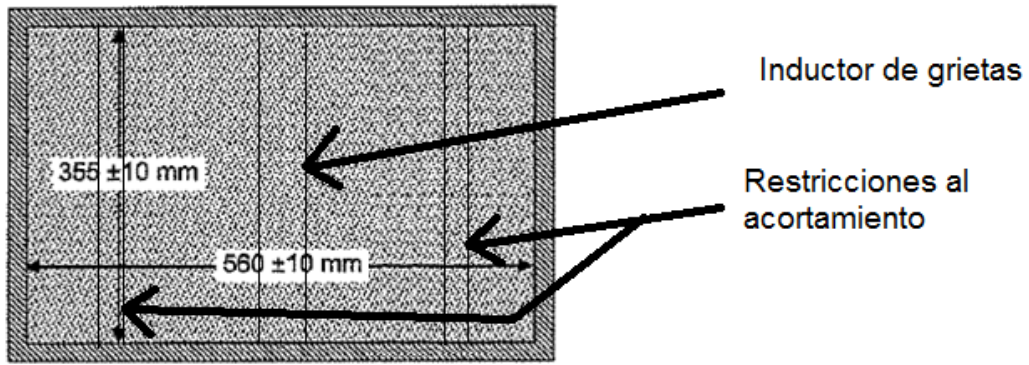
### 3.6.1. Restricciones Internas e Inductor de grietas

Para crear condiciones de restricción a la deformación por secamiento del hormigón se incorporan en el fondo del molde, dos resaltes perpendiculares al eje longitudinal y a  $\pm 190$  mm del eje central que restringen el acortamiento del hormigón en la zona inferior y un inductor de grietas que corresponde a un resalte paralelo a los anteriores, en el eje central del molde que aumenta las tensiones en la zona superior del elemento en esa zona. Estos elementos deben ser doblados en una pieza, de una lámina de metal, como la mostrada en la figura N° 3.1, o hecho de una pieza de metal sólida. En particular, para este trabajo de investigación y debido a los costos excesivos, se confeccionaron los resaltes a partir de perfiles de acero y masilla epóxica. El inductor de grietas central tiene  $64 \pm 2$  mm de alto y los resaltes que materializan las restricciones son de 32 mm de altura (ver figura N° 3.1)

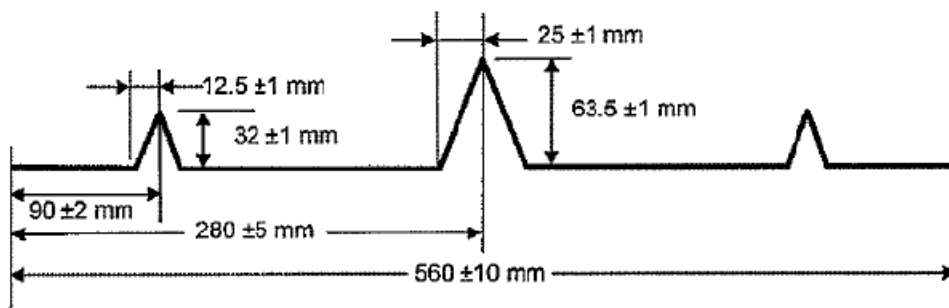
Para facilitar la extracción de las probetas de sus moldes, se utilizó un líquido desmoldante que cubrió tanto los lados y fondo del molde como las restricciones y el inductor de grietas, a fin de reducir la adherencia con el hormigón.



a) Vista corte longitudinal



b) Vista en planta



c) Dimensiones de la elevación de la probeta

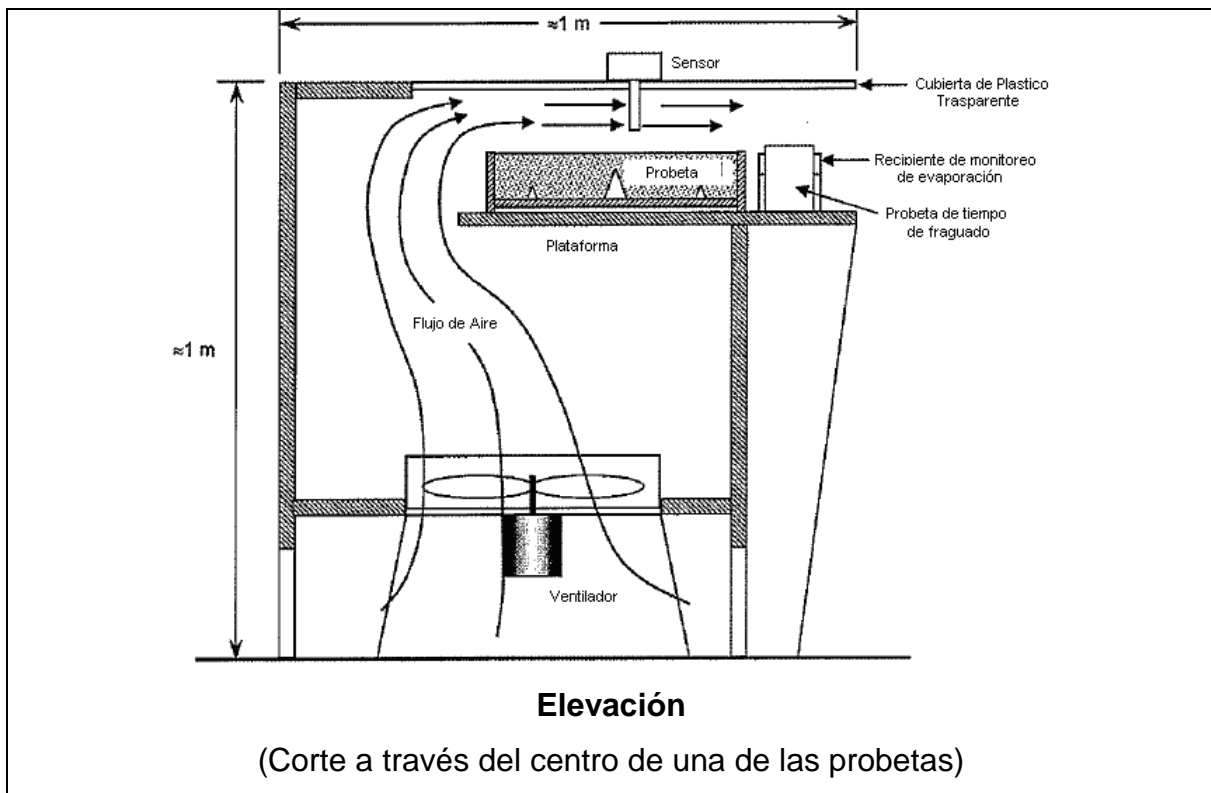
Figura Nº 3.1. Dimensiones y características del molde para el ensayo de fisuración

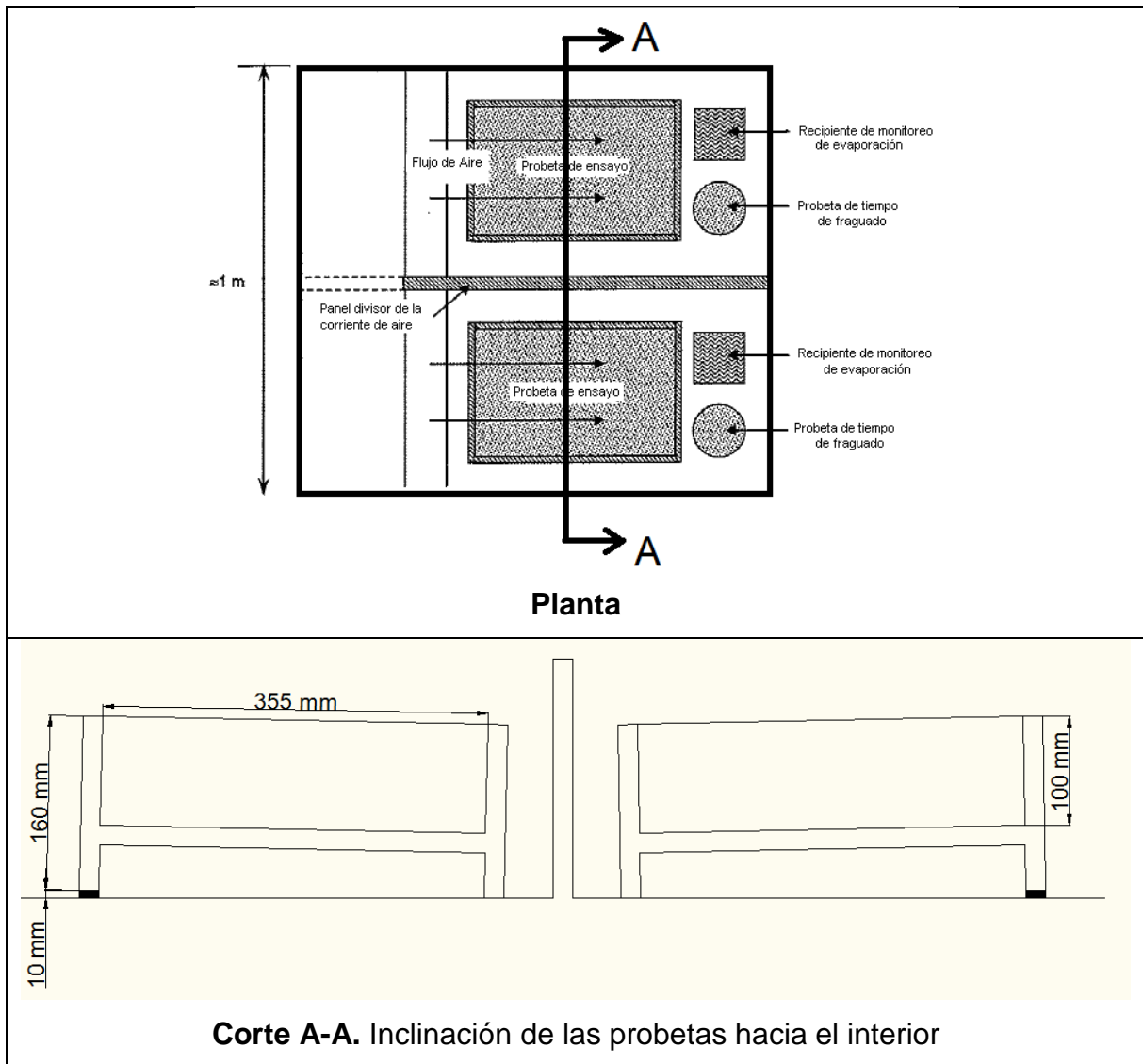


Figura Nº 3.2. Moldes para el ensayo de fisuración

### 3.7. Cámara de ensayos

Para la realización de los ensayos de fisuración se construyó una cámara que permite mantener las condiciones ambientales suficientes para generar el agrietamiento plástico del hormigón. Las dimensiones de la cámara son de aproximadamente 1m de altura con una planta de 1 m de ancho por 1 m de largo (ver figura N° 3.3). La figura N° 3.4 muestra la cámara ambientada en su lugar de montaje y lista para su utilización.





**Figura N° 3.3** Vistas en elevación y planta de la cámara de ensayos utilizada en la investigación.



**Figura Nº 3.4.** Cámara en ambiente controlado

### **3.7.1. Condiciones ambientales**

Se utilizó un ventilador en la cámara de ensayos para producir una corriente de aire uniforme sobre la superficie de la probeta. Una cubierta de vidrio transparente sobre las probetas ayudó a obtener una corriente de aire uniforme y permitió la observación del agrietamiento. Para los ensayos la temperatura fue mantenida en  $23 \pm 2$  °C, la humedad relativa fue de  $50 \pm 15\%$ . La velocidad de viento se mantuvo constante y corresponde a  $4,6 \pm 0,5$  m/s.

La cámara se instaló en recinto climatizado bajo condiciones ambientales controladas:  $T^{\circ} = 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{HR} = 50 \pm 10\%$

### **3.7.2. Sensores**

Para medir la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad de viento al interior de la cámara de ensayos, se utilizó un higo-termo-anemómetro portátil marca Extech modelo 45158.

### ***3.7.3. Recipientes para monitoreo de la tasa de evaporación***

Se utilizaron recipientes con agua, a nivel de la superficie libre de las probetas (0,031 m<sup>2</sup>) de modo de exponer su superficie al flujo de aire. La superficie de agua expuesta del agua se mantuvo entre 5 y 10 mm del borde del recipiente en todo el ensayo.

### ***3.7.4. Herramientas para medición de grietas***

Se utilizó un comparador de ancho de fisuras (fisurómetro) para medir las fisuras en cada uno de los ensayos, este fisurómetro tiene una precisión de 0.1 mm.

## CAPITULO IV

### 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

A continuación se presentan los materiales utilizados en la confección de los hormigones objeto del estudio y sus características tanto físicas como químicas. Con esta caracterización se procede a ajustar las dosificaciones para los distintos hormigones considerados.

#### 4.1. Cementos

En el capítulo 3 se definieron los 5 cementos (Pórtland + puzolana natural) que se utilizan en las distintas series de ensayos. Para cada uno de estos cementos de laboratorio se han obtenido características tanto físicas como químicas relevantes para los fines de esta investigación.

De acuerdo a la norma NCh148.Of68 los cementos se clasifican, en función del tipo de adiciones que se les incluyen, las cantidades de éstas y la resistencia mecánica a los 28 días del mortero normal.<sup>(2)</sup>

En las tablas N° 4.1, N° 4.2 y N° 4.3 se presentan las características físicas, químicas y de resistencia respectivamente de los cementos obtenidos en el laboratorio, por mezcla de cemento Pórtland y puzolana molida a finura Blaine de 4500 y 9000 cm<sup>2</sup>/g ensayados de acuerdo a la norma NCh148.Of68.<sup>(2)</sup>

**Tabla N° 4.1.** Características físicas de los cementos.

	Pórtland	PP15F	PP30F	PP15G	PP30G	PPAR
Peso específico	3,11	2,99	2,86	3,00	2,86	2,99
Superficie específica [cm <sup>2</sup> /g]	4900	5200	5900	4700	4800	5400
Fraguado inicial [min]	120	120	120	140	140	150
Fraguado final [min]	180	180	180	190	200	210
Consistencia normal [%]	29	30,5	31,5	29,75	30,25	35,5

**Tabla N° 4.2.** Características químicas de los cementos.

		Pórtland	PP15F	PP30F	PP15G	PP30G	PPAR
Pérdida por calcinación [%]		2,0	2,1	2,5	2,0	2,7	2,3
Residuo insoluble [%]		1,62	12,50	24,32	13,55	26,70	9,89
Contenido de	SO3 [%]	2,42	1,94	1,83	1,58	1,70	3,30
	MgO [%]	0,8					

**Tabla N° 4.3.** Resultados de los ensayos mecánicos de los cementos.

	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]					
	Pórtland	PP15F	PP30F	PP15G	PP30G	PPAR
7 días	562	476	351	449	367	453
28 días	676	618	503	602	510	575

	Resistencia a la flexión [kgf/cm <sup>2</sup> ]					
	Pórtland	PP15F	PP30F	PP15G	PP30G	PPAR
7 días	75	66	56	63	59	67
28 días	83	77	74	75	75	84

#### 4.2. Puzolana

La puzolana utilizada en el presente estudio corresponde a un material en estado natural proporcionado por Polpaico, el cual es utilizado en la producción de sus cementos comerciales. Este material proviene de un yacimiento en el sector de Pudahuel en la Región Metropolitana de Santiago que es explotado tanto por Polpaico como por Melón.

Considerando que la puzolana venía en estado natural, se procedió a secar y moler hasta las finuras Blaine de 4500 [cm<sup>2</sup>/g] y 9000 [cm<sup>2</sup>/g]. El proceso de secado y tamizado de la puzolana fue realizado en el laboratorio de Geotecnia de IDIEM, mientras que la molienda fue realizada en dependencias de SIKA S.A Chile, ubicada en Av. Presidente Salvador Allende N° 85, comuna de San Joaquín.



El proceso de secado de la puzolana se realizó a una temperatura de 105°C. En el caso del tamizado de este producto, se utilizó un tamiz N° 10 (2 mm) de acuerdo a la normativa ASTM.

Para la molienda del material se utilizó un molino de bolas con una capacidad de molienda de 20 kg por carga.

De acuerdo a los resultados de los ensayos de finura de la norma NCh159.Of77 “Cemento – Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro según Blaine”<sup>(3)</sup> y la norma NCh154.Of69 “Cemento – Determinación del peso específico relativo”<sup>(18)</sup>, se obtuvieron los siguientes resultados para los ensayos descritos, Tabla N° 4.4.

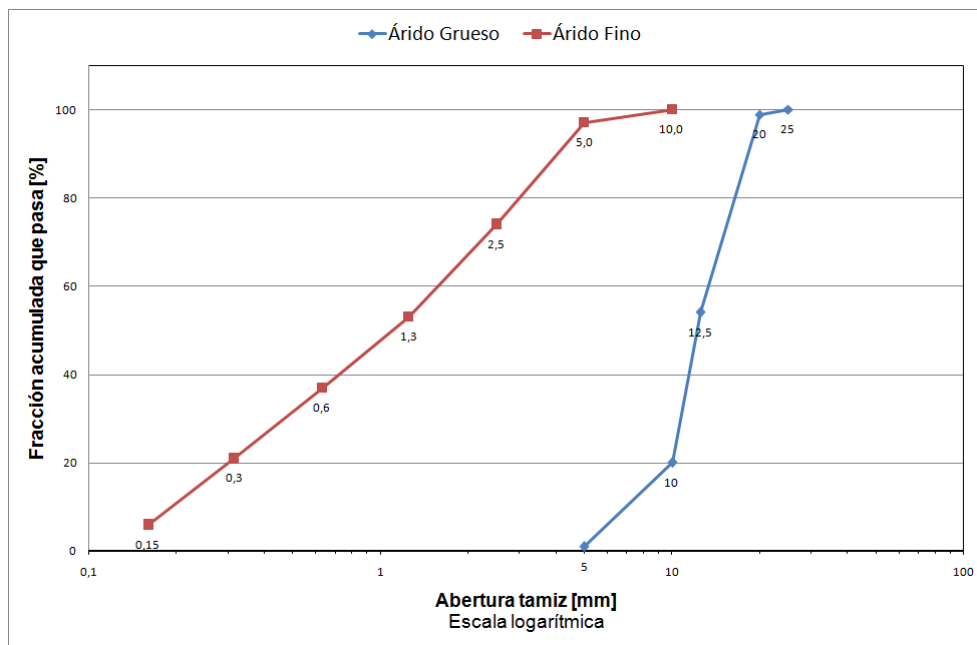
**Tabla N° 4.4.** Características físicas de las puzolanas.

	P4500	P9000
Peso específico	2,39	2,39
Superficie específica [cm <sup>2</sup> /g]	4450	8650

### **4.3. Áridos**

Los áridos utilizados fueron proporcionados por la empresa Pétreos Río Maipo y corresponden a una gravilla de tamaño máximo nominal de ¾” y una arena gruesa. En la figura N° 4.1 se presentan las curvas granulométricas medias para los áridos fino y grueso.

En el caso de los porcentajes de árido grueso y fino utilizados, estos corresponden a un 58% y 42% respectivamente, a fin de calzar mejor la curva del árido total en la banda granulométrica dada por RILEM.<sup>(14)</sup>

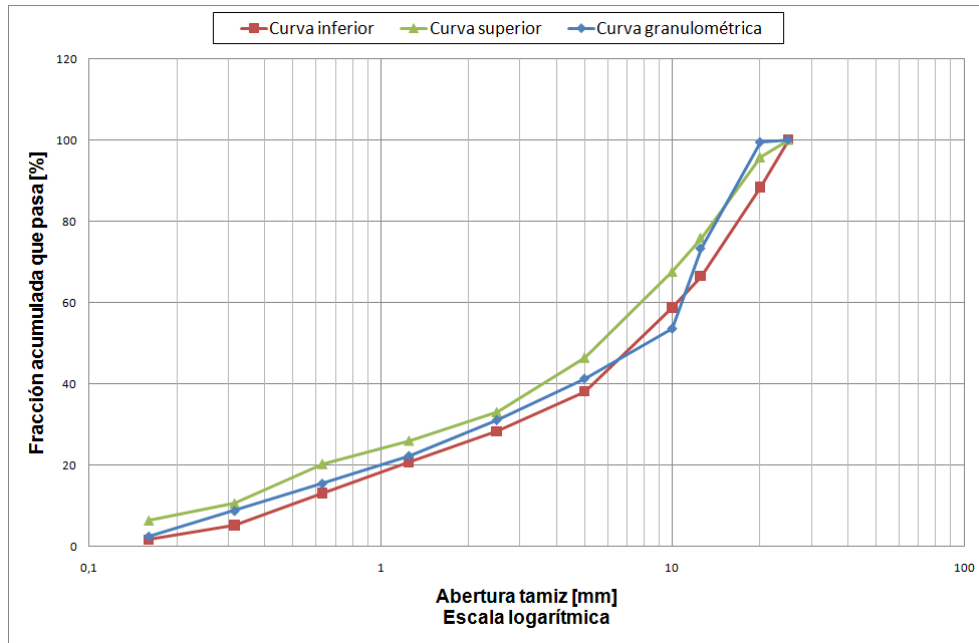


**Figura Nº 4.1.**Curvas granulométricas medias de los áridos fino y grueso

En la tabla Nº 4.5 se observa la curva granulométrica final utilizada en el estudio. DE la misma forma, la granulometría del árido total se muestra en la figura Nº 4.2, junto con las curvas límites de la banda recomendada (RILEM). La granulometría que se ajusta a la banda se obtiene de la mezcla de gravilla y arena en la proporción mencionada en el párrafo anterior.

**Tabla Nº 4.5.** Granulometría del árido total

Tamiz [mm]	% que pasa en peso		
	Gravilla (Tmax: 19 mm)	Arena	Utilizada [%]
25	100		100
20	99		99,4
12,5	54		73,3
10	22		53,6
5	1	97,0	41,3
2,5		74,0	31,1
1,25		53,0	22,3
0,63		37,0	15,5
0,315		21,0	8,8
0,16		6,0	2,5



**Figura Nº 4.2.** Banda granulométrica recomendada por RILEM

#### **4.4. Agua de amasado**

El agua utilizada para la confección de los hormigones en estudio corresponde a agua potable de Santiago a una temperatura de  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$ .

#### **4.5. Cementos Pórtland puzolánicos de laboratorio**

Considerando que el material cementicio utilizado en los ensayos no corresponde a cementos comerciales sino a mezclas entre cemento Pórtland y porcentajes de puzolana, procesadas en laboratorio, de 15% y 30%, se debe efectuar la mezcla y homogenización de estos materiales a fin de obtener materiales cementicios con las características de composición y finura definidas para este trabajo. Para ello se utilizó la máquina homogeneizadora de la Sección de Aglomerantes de IDIEM. El proceso se realiza en cargas de 40 kilos y con una duración de 30 minutos por carga.

#### **4.6. Determinación de las dosificaciones**

Para determinar las dosificaciones de los hormigones que se emplearon en el estudio se han considerado dos condiciones:

- Los áridos se deben ajustar a la banda recomendada por la RILEM lo que se logra mezclando áridos gruesos y finos en las proporciones indicadas anteriormente (58 y 42% respectivamente) y considerando un volumen total de áridos de 60%, para controlar la retracción volumétrica.
- Para obtener hormigones que cumplan con las especificaciones correspondientes a pavimentos, se adoptó la relación Agua/Material Cementicio = 0.45, común para todas las series contempladas.

Por otra parte, para efectos de calcular la dosificación teórica, se utilizaron los valores nominales que se indican en la tabla N° 4.6.

**Tabla N° 4.6.** Pesos específicos de materiales cementicios.

Cemento Pórtland	3,15
Cemento Extra	3
Puzolana	2,4

##### ***4.6.1. Dosificaciones utilizadas en hormigones convencionales y en etapas***

Para ajustar las dosificaciones, se realizó una serie de hormigones de prueba con los cuales se puso a punto, además, la metodología a emplear en el procedimiento de mezclado en etapas. Además, considerando los antecedentes anteriores y utilizando la metodología mencionada en el ANEXO 1, se obtuvo las siguientes dosificaciones, para áridos en estado saturado con superficie seca (SSS).

**Tabla N° 4.7.** Dosificaciones utilizadas para un metro cúbico (áridos SSS).

Denominación	Pasta de cemento				Áridos SSS	
	Cemento	Puzolana	Agua libre	Material Cementicio	Arena húmeda	Gravilla húmeda
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
PP15F - 1	421,1	74,3	222,9	495,4	683,2	943,4
PP15F - 2	421,1	74,3	222,9	495,4	683,2	943,4
PP30F - 1	340,4	145,9	218,8	486,3	683,2	943,4
PP30F - 2	340,4	145,9	218,8	486,3	683,2	943,4
PP15G - 1	421,1	74,3	222,9	495,4	683,2	943,4
PP15G - 2	421,1	74,3	222,9	495,4	683,2	943,4
PP30G - 1	340,4	145,9	218,8	486,3	683,2	943,4
PP30G - 2	340,4	145,9	218,8	486,3	683,2	943,4
PPAR-1	493,9	0	222,3	493,9	683,2	943,4
PPAR-2	493,9	0	222,3	493,9	683,2	943,4

Por otra parte, se evaluó la absorción y humedad de los áridos para la corrección de la dosificación por medio de estos parámetros. A continuación se presentan los resultados de las humedades y el agua libre obtenida al momento de confeccionar las distintas series (ver Tabla N° 4.8).

**Tabla N° 4.8.** Humedades y agua libre para las distintas series.

Serie	Humedad		Humedad Libre	
	Arena [%]	Gravilla [%]	Arena [%]	Gravilla [%]
PP15F - 1	3,47	0,94	2,10	-0,10
PP15F - 2	3,26	0,43	1,89	-0,61
PP30F - 1	3,30	0,82	1,93	-0,22
PP30F - 2	2,41	0,53	1,04	-0,51
PP15G - 1	3,47	0,94	2,10	-0,10
PP15G - 2	3,48	1,14	2,11	0,10
PP30G - 1	4,31	1,02	2,94	-0,02
PP30G - 2	3,92	0,8	2,55	-0,20
PPAR-1	2,71	1,05	1,34	0,01
PPAR-2	2,47	1,52	1,10	0,48

Corrigiendo las dosificaciones anteriores, se tiene las siguientes dosificaciones para un metro cúbico correspondiente a los distintos hormigones estudiados (ver Tabla N° 4.9).

**Tabla N° 4.9.** Dosificación corregida por humedad y absorción.

Denominación	Cemento	Puzolana	Material Cementicio	Agua libre	Arena húmeda	Gravilla húmeda
	[kg/m3]	[kg/m3]	[kg/m3]	[kg/m3]	[kg/m3]	[kg/m3]
PP15F - 1	421,1	74,3	495,4	209,5	697,5	942,5
PP15F - 2	421,1	74,3	495,4	215,8	696,1	937,6
PP30F - 1	340,4	145,9	486,3	207,3	719,3	949,0
PP30F - 2	340,4	145,9	486,3	216,4	706,9	943,6
PP15G - 1	421,1	74,3	495,4	209,0	721,7	951,3
PP15G - 2	421,1	74,3	495,4	207,1	721,8	955,1
PP30G - 1	340,4	145,9	486,3	198,1	733,5	952,8
PP30G - 2	340,4	145,9	486,3	202,6	728,0	949,4
PPAR-1	493,9	0,0	493,9	213,0	692,3	943,5
PPAR-2	493,9	0,0	493,9	210,2	690,7	947,9

Finalmente, en el caso del mezclado en etapas, se utilizaron las mismas dosificaciones antes vistas con la única diferencia que en este último caso, la dosificación de pasta de cemento fue confeccionada con un margen de exceso por perdidas producto del mezclado y trasvasije de la pasta a la betonera. Se mantuvo fija la cantidad de cemento en 45 kg para las distintas pastas y se calculó la cantidad de pasta requerida en cada caso.

## CAPITULO V

### 5. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL

#### 5.1. Introducción

En el presente capítulo se abordarán las metodologías utilizadas para la preparación de los hormigones tanto para el mezclado convencional como para el mezclado en dos etapas. También se entregará una metodología para la realización de los ensayos contemplados para la caracterización de los distintos hormigones en estudio y para la evaluación del comportamiento de éstos en el ensayo de fisuración.

#### 5.2. Procedimiento de mezclado de los hormigones

Para la preparación de los hormigones mediante el procedimiento de mezclado convencional, en una etapa se utilizó una betonera eléctrica basculante de capacidad 150 litros.

En el caso del mezclado en etapas se utilizó un mezclador eléctrico para la pasta de cemento de capacidad máxima de 20 litros, que amasa la mezcla en forma planetaria a una velocidad de aproximadamente 38 [rev./min] en la primera velocidad y de 66 [rev./min] en la velocidad mayor. Y la paleta gira sobre su propio eje a una razón de aproximadamente 2.5 [rev./min]. El mezclado de la segunda etapa Pasta/Áridos se realiza en la misma betonera empleada para confeccionar el hormigón convencional.

#### 5.3. Fabricación de hormigones

A continuación se describen los procesos para la confección de los hormigones tanto en mezclado convencional como en etapas. Además, se presentan los procedimientos utilizados para efectuar los ensayos tanto de



hormigón fresco como en el ensayo de fisuración en la cámara de alta evaporación.

### **5.3.1. Fabricación de los hormigones**

#### *5.3.1.1. Método de mezclado convencional*

- Se pesaron los materiales utilizados en la mezcla, tarando el recipiente y poniendo en cero la pesa a fin de eliminar cualquier error inducido por el peso del recipiente.
- Poniendo la abertura del tambor de la betonera en 60° respecto a la vertical , se agregaron manteniendo el tambor en movimiento los materiales en el siguiente orden:
  - o Gravilla
  - o Arena
  - o Cemento
- El tiempo de carga fue de aproximadamente 30 segundos.
- Se mantuvo el mezclado en seco por aproximadamente 30 segundos.
- Se agregó aproximadamente  $\frac{3}{4}$  del agua y se mezcló por otros 30 segundos a la misma velocidad.
- Se agregó el resto del agua y se mezcló el material hasta alcanzar la consistencia y homogeneidad del hormigón.
- Se procedió al vaciado del hormigón a una carretilla.

#### 5.3.1.2. Método de mezclado en etapas

- Se pesaron los materiales utilizados en la mezcla, tarando el recipiente y poniendo en cero la pesa a fin de eliminar cualquier error inducido por el peso del recipiente.
- Se vació la gravilla dentro de la betonera, dejándola en espera para recibir el total de pasta de la mezcla.
- Elaboración de la pasta de cemento
  - Por limitación de capacidad del mezclador se procedió a la elaboración de la pasta en tres tramos.
  - Se pesó un tercio del agua necesaria para la fabricación del volumen de pasta (correspondiente a la cantidad requerida más un porcentaje de exceso) y se vertió en el recipiente de la máquina mezcladora, para producir el primer tercio del total de pasta requerido.
  - Manteniendo el mezclador en velocidad 1 se vació durante un minuto el contenido total de material cementiceo, 15 kg de cemento más puzolana, necesario para la fabricación de  $\frac{1}{3}$  de la pasta total.
  - Se tapó el recipiente de mezclado (bolo) y se accionó el mezclador en velocidad 3 durante 1 minuto.
  - Se vertió el contenido de pasta en una paila receptora previamente tarada y se pesó el contenido.
  - Se vertió en la betonera el contenido de pasta ( $\approx \frac{1}{3}$  del total) sobre los áridos.
  - Se procedió entonces a fabricar el segundo tercio de la pasta mediante el mismo procedimiento. En el tercio final, se ajustó la cantidad de pasta a lo establecido en la dosificación.

- Una vez que la betonera tuvo la cantidad de pasta correspondiente a la dosificación, se cambió el ángulo con la vertical del tambor a 80° y se procedió a mezclar durante un minuto, de modo que la pasta recubriese completamente la gravilla.
- Se vertió en la betonera la arena ya pesada y se completó el mezclado de los materiales hasta obtener un hormigón homogéneo de apariencia uniforme.
- El tiempo resultante de mezclado corresponde entonces a aproximadamente 30 minutos (tiempo que incluye los períodos de espera).

### **5.3.2. Ensayos al hormigón fresco**

#### *5.3.2.1. Asentamiento de cono de Abrams*

Este ensayo, que mide la docilidad del hormigón fresco, se realizó de acuerdo a la norma NCh1019.EOf74 “Construcción – Hormigón – Determinación de la docilidad – Método de asentamiento del cono de Abrams”.<sup>(19)</sup>

Para estandarizar este procedimiento se estableció un desfase entre el término del amasado y el inicio del ensayo de 3 minutos, para ambos procedimientos de mezclado.



**Figura 5.1.** Ensayo de asentamiento de cono de Abrams.

#### 5.3.2.2. *Densidad aparente*

Este ensayo, realizado de acuerdo a la norma NCh1564.Of79 “Hormigón – Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco”<sup>(20)</sup>, permite obtener la densidad del hormigón fresco que considera a los componentes sólidos, agua y aire atrapado durante el proceso de mezclado.

#### 5.3.2.3. *Contenido de aire*

Este ensayo, que evalúa el porcentaje de aire atrapado en el hormigón, se realizó de acuerdo a la norma Nch2184.Of92 “Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación del contenido de aire”<sup>(21)</sup>.



**Figura 5.2.** Ensayos de densidad aparente y contenido de aire en el hormigón.

#### *5.3.2.4. Densidad de la pasta de cemento*

La determinación de la densidad de la pasta de cemento se realizó de acuerdo a la norma NCh1564.Of79 "Hormigón – Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco"(20).

#### **5.3.3. Ensayo de Tiempo de Fraguado**

Este ensayo, que evalúa el tiempo de inicio y termino del fraguado del hormigón, se realizó de acuerdo a la Norma NCh2183.Of92 "Hormigón y mortero – Método de ensayo –Determinación del tiempo de fraguado"<sup>(4)</sup>. Este ensayo se efectuó en dos condiciones ambientales distintas, una en la cámara de ensayos con condiciones ambientales controladas y otra en la cámara seca, sin el contacto directo del viento sobre la probeta. El procedimiento utilizado para su realización es el siguiente:

- Se registra la hora en que el cemento entre en contacto con el agua como ho.
- Se extrae un volumen de aproximadamente 10 litros de hormigón por cada colada confeccionada.
- Se separa el mortero del hormigón, tamizándolo por la malla de 5 mm sobre una superficie no absorbente.
- Se vuelve a mezclar el mortero manualmente y con él se llenan los moldes en una sola capa hasta 10 mm por debajo del borde, compactándolos con el pisón a razón de 8 golpes por cada 100 cm<sup>2</sup>, en forma uniforme en la sección.
- El tiempo de llenado de los moldes es a lo más de 15 minutos desde el término del amasado del hormigón.
- Se instala una probeta para cada método de mezclado en la cámara ambientada y una probeta para cada método directamente en la cámara seca, sin la acción directa del viento.
- De debe retirar el agua de exudación antes de efectuar una medida de penetración, mediante un instrumento adecuado. Para ello se puede inclinar el recipiente en un ángulo cercano a 10° respecto de la horizontal, por aproximadamente 2 minutos antes de proceder a la remoción del agua de exudación.
- Iniciar la penetración con la aguja de 645 mm<sup>2</sup> de sección.
- Entre el borde del recipiente y las penetraciones, así como entre las penetraciones debe haber a lo menos una distancia de 20 mm.
- Se registra la hora de la lectura de penetración para obtener la curva carga-tiempo.



**Figura 5.3.** Probetas utilizadas para inicio y termino de fraguado.

### **5.3.4. Ensayos para caracterizar las propiedades del hormigón endurecido**

#### **5.3.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cúbicas**

Este ensayo, que evalúa la resistencia del hormigón a una edad determinada, se realizó de acuerdo a la Norma NCh1037.Of77 “Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”<sup>(7)</sup>. Se siguió el procedimiento indicado en la norma para la realización de los ensayos, además para el cálculo de la resistencia de las probetas se siguió el procedimiento utilizado en ésta misma norma.



**Figura 5.4.** Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de hormigón.

### **5.3.5. Ensayo de fisuración**

El ensayo de fisuración implementado en esta memoria se basó en la norma ASTM C 1579, que establece la siguiente metodología:

- En primer lugar se confeccionó el hormigón en dos etapas siguiendo el procedimiento de acuerdo al ítem 5.3.1.2 de este estudio y a continuación, con un desfase de aproximadamente una hora, se procedió a la confección del hormigón con mezclado convencional. (En general este procedimiento se realizó en todas las series, excepto, en la serie PPAR donde, en el primer ensayo se confeccionó la probeta de mezclado en dos etapas y en el segundo ensayo, la primera probeta confeccionada fue la de mezclado convencional. En estos dos ensayos, la probeta confeccionada en primer lugar se dejó en espera hasta terminar la probeta compañera, luego de lo cual se prendió el ventilador poniéndolas al flujo del aire en el mismo instante).



- Una vez confeccionado cada uno de estos hormigones, se procedió a realizar los ensayos de caracterización del hormigón (Cono de Abrams, Densidad aparente y Contenido de aire). Además, para la pasta de cemento se procedió a llenar dos probetas cúbicas de 10 cm. para ensayo de compresión.
- Se procedió a llenar 2 probetas por cada método de confección del hormigón (convencional y en etapas), para realizar el ensayo de Tiempo de fraguado. De estas probetas se dejó una probeta en la cámara de ensayos expuesta al viento y una probeta en la cámara seca.
- Se procedió a llenar el molde para el ensayo de retracción impedida (ensayo de fisuración) en una sola capa. Se enrasó cada probeta 3 veces en forma perpendicular al inductor de grietas para dejarla del mismo nivel que el molde. El tiempo de vibrado de las probetas fue de 50 segundos más 15 segundos para la terminación de la superficie. Con este procedimiento se evitó platachar las superficies a fin de eliminar la influencia del platachado en la aparición de las fisuras.
- Se transportan las probetas desde donde se confeccionan (Laboratorio de Hormigones) hasta la cámara seca (Laboratorio de Aglomerantes).
- Una vez que se encuentran las probetas en la cámara seca, se procedió a instalarlas en la cámara de ensayos
- Realizado lo anterior, se procede a someter a las probetas al ensayo de fisuración en la cámara ambientada.
- A partir de ese momento se mantuvo el control visual para detectar la aparición de la fisura. El ancho de fisura se midió inmediatamente

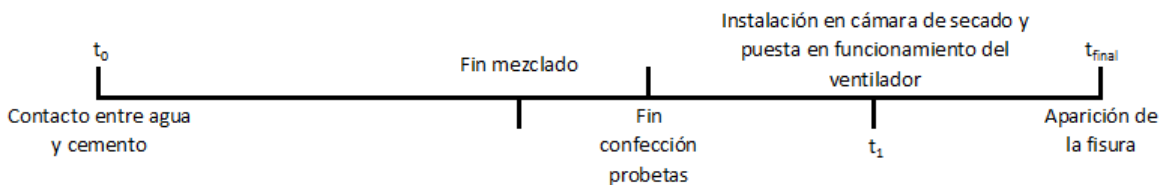
después de detectada ésta, y posteriormente al término de fraguado y a las 24 horas de confeccionado el hormigón. Además, se llevó el control de la humedad relativa, la temperatura ambiente y la velocidad de viento mientras las probetas se encontraban en la cámara de ensayo.

### 5.3.6. Medición de tiempo de aparición de la fisura

Para calcular el tiempo de aparición de la fisura en las probetas de hormigón se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se registra el tiempo de inicio del ensayo, considerando como el momento en que se mezclan el material cementicio y el agua. En el caso del mezclado en etapas, el tiempo de inicio considerado en el ensayo, corresponde al tiempo en que se mezcló el segundo tercio de pasta utilizado en el ensayo.
- Se registra el momento en que la probeta es instalada en la cámara de ensayos y expuesta al viento.
- Se registra el instante en que aparece la fisura con un tiempo de 15 minutos entre cada inspección.

El tiempo de aparición corresponde entonces al mostrado en la figura N° 5.5.



**Figura 5.5.** Cronograma del tiempo considerado para la aparición de la fisura.

### **5.3.7. Medición de ancho de fisura**

Se utilizó el siguiente procedimiento para medir la evolución del ancho de fisura durante el proceso de ensayo:

- Se midió los anchos de las fisuras en la superficie de las probetas al momento de su aparición considerando como criterio para establecer el inicio de fisuración cuando estas alcanzan aproximadamente un centímetro de longitud, además se midió la fisura al momento de apagado del ventilador (fin del fraguado) y a las 24 horas del inicio del mezclado. Para ello, y debido al carácter comparativo de estas mediciones se consideró el ancho mayor de la fisura como característica.
- Para evitar posibles efectos de borde, no se midió los espesores de las grietas dentro de los 25 mm de los bordes de las probetas.

# CAPITULO VI

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Introducción

En el presente capítulo se entregan los resultados tanto para los distintos ensayos de hormigón fresco y hormigón endurecido como para los ensayos de fisuración. Posteriormente, se efectuará un análisis de estos resultados, evaluando las relaciones que se observan entre las variables estudiadas el comportamiento en fisuración del hormigón.

### 6.2. Caracterización de los hormigones estudiados

#### 6.2.1. *Propiedades del hormigón fresco*

De acuerdo a los procedimientos descritos en el capítulo anterior, a continuación en las Tablas N° 6.1 y 6.2 se presentan los resultados correspondientes a la caracterización del hormigón en estado fresco:

**Tabla N° 6.1.** Propiedades del hormigón fresco: Mezclado convencional

Serie	Ensayo	Cono	$\bar{X}$ Cono	% de Aire	$\bar{X}$ % de Aire	Densidad	$\bar{X}$ Densidad
		[cm]	[cm]	[%]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
PP15F	1	13	13	1,4	1,45	2,38	2,38
	2	13		1,5		2,38	
PP30F	1	6,5	8	1,9	1,7	2,34	2,34
	2	9,5		1,5		2,35	
PP15G	1	16	17	1,0	1,15	2,39	2,39
	2	18		1,3		2,38	
PP30G	1	13	15	1,3	1,25	2,37	2,36
	2	17		1,2		2,36	
PPAR	1	14	13	1,1	1,2	2,39	2,39
	2	12		1,3		2,38	

**Tabla N° 6.2.** Propiedades del hormigón fresco: Mezclado en dos etapas

Serie	Ensayo	Cono	$\bar{X}$ Cono	% de Aire	$\bar{X}$ % de Aire	Densidad	$\bar{X}$ Densidad
		[cm]	[cm]	[%]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
PP15F	1	8,5	10	1,4	1,4	2,38	2,38
	2	11,0		1,4		2,37	
PP30F	1	5,5	8	1,6	1,7	2,35	2,35
	2	9,5		1,7		2,35	
PP15G	1	15,0	16	1,2	1,2	2,36	2,38
	2	16,5		1,2		2,39	
PP30G	1	11,0	12	0,7	1,0	2,37	2,37
	2	12,0		1,2		2,38	
PPAR	1	8,5	9	1,3	1,4	2,40	2,38
	2	8,5		1,5		2,37	

### 6.2.2. Tiempo de fraguado

En las siguientes tablas, se presentan los resultados de los ensayos de Tiempo de fraguado, estos ensayos fueron realizados de acuerdo a 5.3.3 del capítulo anterior.

**Tabla N° 6.3.** Ensayos de tiempo de fraguado: Mezclado convencional

Serie	Ensayos	Inicio de fraguado	$\bar{X}$ Inicio de fraguado	Termino de fraguado	$\bar{X}$ Termino de fraguado
		[min]	[min]	[min]	[min]
PP15F	1	240	247	317	319
	2	255		321	
PP30F	1	245	258	321	334
	2	271		347	
PP15G	1	234	217	290	280
	2	201		270	
PP30G	1	252	252	330	323
	2	253		315	
PPAR	1	232	249	322	328
	2	266		334	

**Tabla N° 6.4.** Ensayos de tiempo de fraguado: Mezclado en dos etapas

Serie	Ensayos	Inicio de fraguado	$\bar{X}$ Inicio de fraguado	Termino de fraguado	$\bar{X}$ Termino de fraguado
		[min]	[min]	[min]	[min]
PP15F	1	240	247	317	319
	2	255		321	
PP30F	1	245	258	321	334
	2	271		347	
PP15G	1	234	217	290	280
	2	201		270	
PP30G	1	252	252	330	323
	2	253		315	
PPAR	1	232	249	322	328
	2	266		334	

En el ANEXO 3 se incluyen los resultados obtenidos en los ensayos realizados al hormigón en estado fresco, y se incluye también los datos de las curvas de tiempo de fraguado para todos los hormigones confeccionados mediante procedimiento convencional y en dos etapas.

### **6.3. Propiedades del hormigón endurecido**

#### **6.3.1. Resistencia a la compresión**

A continuación se presentan los resultados de las resistencias a compresión de los hormigones a los 7 y 28 días de confeccionados

**Tabla Nº 6.5.** Resistencia a la compresión a 7 y 28 días: Mezclado convencional.

Serie	Ensayos	7 días	$\bar{X}$ 7 días	28 días	$\bar{X}$ 28 días	R7/R28
		[kgf/cm <sup>2</sup> ]	[min]	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	[min]	
PP15F	1	459	442,5	572	560,5	0,8
	2	426		549		0,78
PP30F	1	354	350	427	424	0,83
	2	346		421		0,82
PP15G	1	504	484	594	565	0,85
	2	464		536		0,87
PP30G	1	346	352	459	482	0,75
	2	358		505		0,71
PPAR	1	455	454,5	529	544	0,86
	2	454		559		0,81

**Tabla N° 6.6.** Resistencia a la compresión a 7 y 28 días: Mezclado en dos etapas

Serie	Ensayos	7 días	$\bar{X}$ 7 días	28 días	$\bar{X}$ 28 días	R7/R28
		[kgf/cm <sup>2</sup> ]	[min]	[kgf/cm <sup>2</sup> ]	[min]	
PP15F	1	466	461	589	568	0,79
	2	456		547		0,83
PP30F	1	361	355,5	395	398	0,91
	2	350		401		0,87
PP15G	1	496	479,5	565	544	0,88
	2	463		523		0,89
PP30G	1	342	353	476	491	0,72
	2	364		506		0,72
PPAR	1	495	481,5	548	535,5	0,9
	2	468		523		0,89

#### **6.4. Ensayo de fisuración:**

##### **6.4.1. Tiempo de visualización de fisura**

En la tabla N° 6.7 se entregan los resultados del tiempo en que se visualizó la fisura en las probetas sometidas a secamiento, medido a partir de la puesta en la cámara de secado.

##### **6.4.2. Ancho de la fisura**

En las tablas N° 6.8 y 6.9 se entregan los resultados de los anchos de las fisuras para el instante de la visualización de la fisura, al término de fraguado y a las 24 horas para ambos métodos de mezclado. En el caso de las fisuras observadas en el instante de su visualización, solo fueron medidas las correspondientes a los hormigones con puzolana de finura Blaine de 9000 cm<sup>2</sup>/g.



**Tabla N° 6.7.** Tiempo de aparición de la fisura.

Serie	Ensayos	Mezclado convencional	$\bar{X}$ Mezclado convencional	Mezclado en etapas	$\bar{X}$ Mezclado en etapas
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
PP15F	1	125	128	100	118
	2	130		135	
PP30F	1	135	93	120	113
	2	50		105	
PP15G	1	130	118	120	115
	2	105		110	
PP30G	1	45	73	105	113
	2	100		120	
PPAR	1	175	108	60	105
	2	40		150	

**Tabla N° 6.8.** Ancho de la fisura: Mezclado convencional.

Serie	Ensayos	Al momento de su aparición	$\bar{X}$ Al momento de su aparición	Al termino de fraguado	$\bar{X}$ Al termino de fraguado	A las 24 hrs.	$\bar{X}$ A las 24 hrs
		[mm]		[mm]		[mm]	
PP15F	1	0,2	0,20	0,8	0,90	0,9	0,95
	2	0,2		1		1	
PP30F	1	0,3	0,35	0,7	0,70	0,7	0,70
	2	0,4		0,7		0,7	
PP15G	1	-		0,55	0,53	0,8	0,65
	2	-		0,5		0,5	
PP30G	1	-		0,8	0,75	0,8	0,75
	2	-		0,7		0,7	
PPAR	1	-		0,1	0,40	0,2	0,45
	2	-		0,7		0,7	

**Tabla N° 6.9.** Espesor de la fisura: Mezclado en dos etapas.

Serie	Ensayos	Al momento de su aparición	$\bar{X}$ Al momento de su aparición	Al termino de fraguado	$\bar{X}$ Al termino de fraguado	A las 24 hrs.	$\bar{X}$ A las 24 hrs
		[mm]		[mm]		[mm]	
PP15F	1	0,3	0,30	0,7	0,65	0,8	0,70
	2	0,3		0,6		0,6	
PP30F	1	0,1	0,35	0,3	0,50	0,3	0,50
	2	0,6		0,7		0,7	
PP15G	1	-		0,7	0,75	0,7	0,75
	2	-		0,8		0,8	
PP30G	1	-		0,8	0,70	0,8	0,70
	2	-		0,6		0,6	
PPAR	1	-		0,5	0,35	0,5	0,35
	2	-		0,2		0,2	

En general se observan fisuras con secciones que atraviesan la probeta completamente en el sentido transversal, con pequeños cortes entre los tramos. Además, las fisuras en general comienzan en la zona central hacia el exterior de las probetas (avanzando hacia arriba), y hacia el centro de la cámara de ensayos (hacia abajo) ver figuras N° 6.1 y N° 6.2. Salvo una sola fisura que tuvo una forma diferente, que presentó fisuras de menor tamaño respecto de las demás fisuras. Esta fisura presentó secciones entrecortadas y separadas entre sí (ver figura N° 6.3).



**Figura Nº 6.1.** Fotografía correspondiente a una fisura típica, resultado de los ensayos



**Figura Nº 6.2.** Otra fotografía de ensayos que presenta el patrón característico de fisuración de las probetas.



**Figura N° 6.3.** Fotografía correspondiente a la fisura entrecortada, distinta al patrón característico que se observo en los ensayos.

### **6.5. Tasa de evaporación**

En la siguiente tabla, se presentan las tasas de evaporación obtenidas para las distintas series de ensayos realizadas para ambos métodos de mezclado.

**Tabla N° 6.10.** Tasa de evaporación para las distintas series en ambos métodos de mezclado.

Serie	Ensayos	Mezclado convencional	$\bar{X}$ Mezclado convencional	Mezclado en etapas	$\bar{X}$ Mezclado en etapas
		[kg/(m <sup>2</sup> *h)]	[kg/(m <sup>2</sup> *h)]	[kg/(m <sup>2</sup> *h)]	[kg/(m <sup>2</sup> *h)]
PP15F	1	0,48	0,50	0,46	0,45
	2	0,53		0,43	
PP30F	1	0,49	0,50	0,43	0,49
	2	0,51		0,55	
PP15G	1	0,57	0,48	0,58	0,51
	2	0,39		0,43	
PP30G	1	0,40	0,36	0,39	0,39
	2	0,32		0,39	
PPAR	1	0,39	0,35	0,36	0,33
	2	0,32		0,30	

## CAPITULO VII

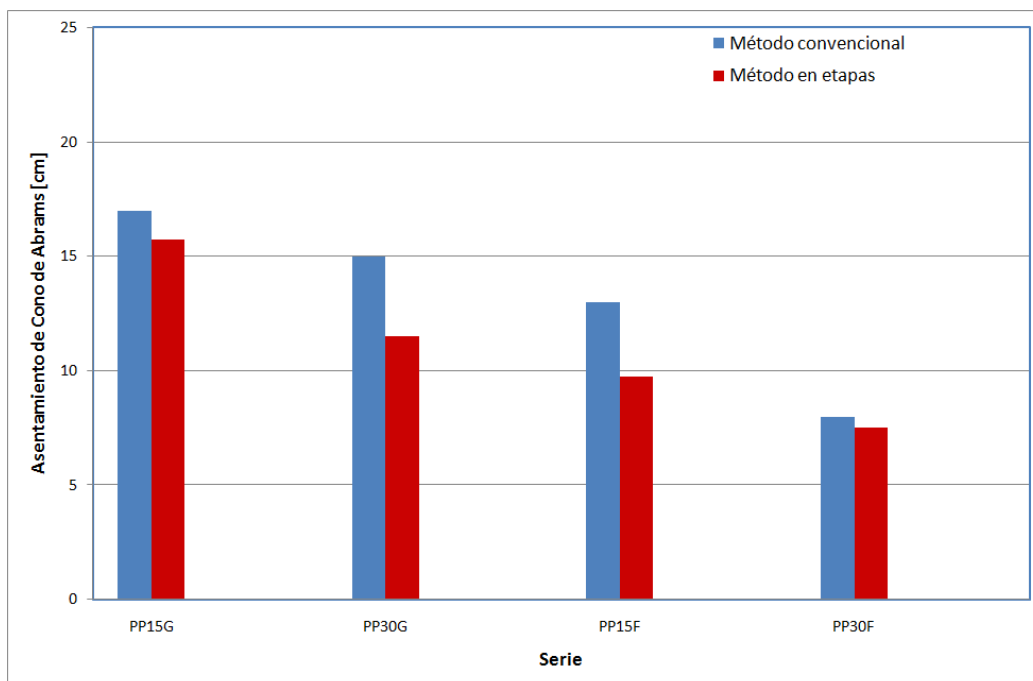
### 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 7.1. Propiedades del hormigón fresco

##### 7.1.1. Asentamiento de cono de Abrams

En la figura N° 7.1 se observa el asentamiento de cono para las distintas series de hormigones que difieren solamente en el tipo de cemento (dosificación puzolana y finura de la puzolana) y en el método de mezclado (convencional y en etapas).

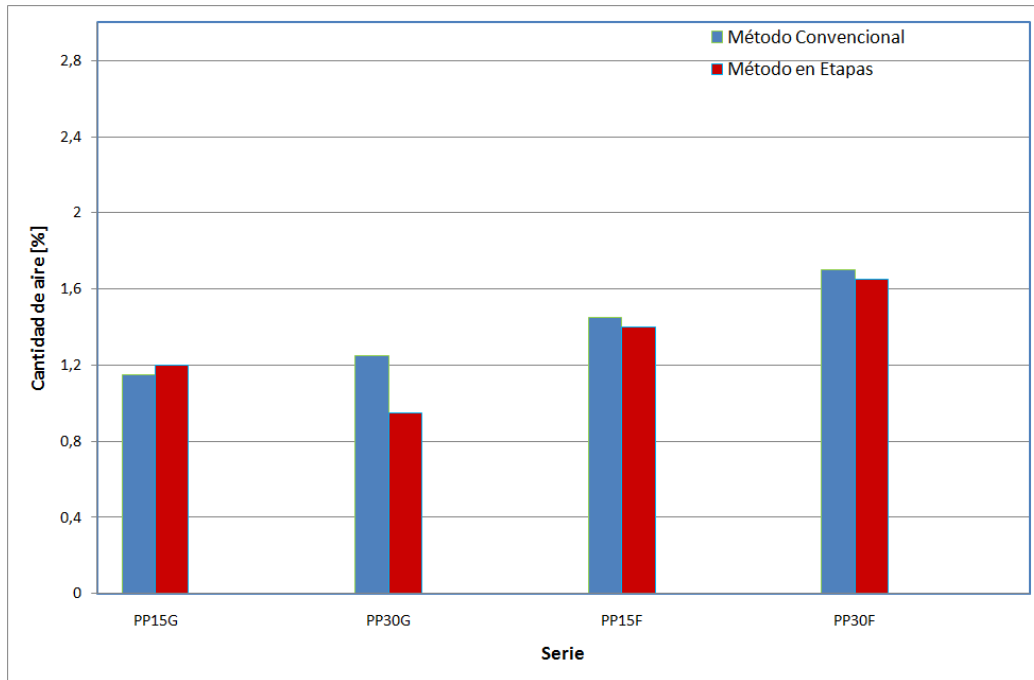
Se corrobora la información obtenida por Veronica Latorre en su memoria de título donde muestra que a mayor porcentaje de puzolana, mayor demanda de agua. Sin embargo, se puede apreciar además que un parámetro influyente es la finura del material cementicio que se utiliza.



**Figura N° 7.1.** Asentamiento de cono promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.

### 7.1.2. Contenido de aire

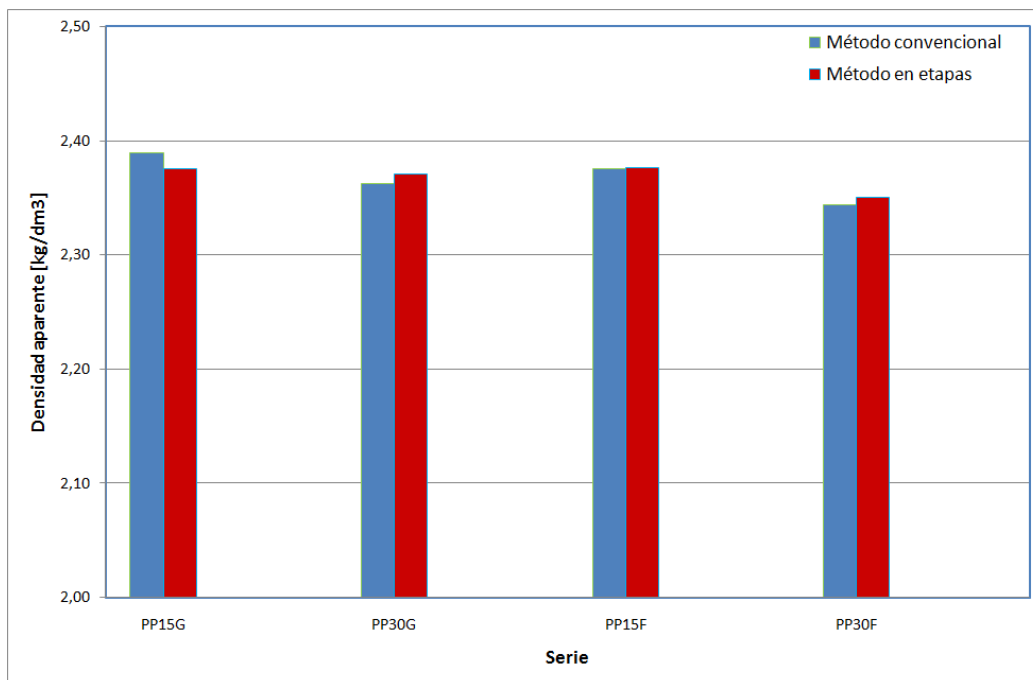
En la Figura N° 7.2 se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de la puzolana y su finura, aumenta el contenido de aire en el hormigón. Como en el punto anterior, se observa que la finura del material cementicio tiene mayor relevancia que el porcentaje de puzolana.



**Figura N° 7.2.** Contenido de aire promedio para las distintas series de hormigones y ambos métodos de mezclado

### 7.1.3. Densidad

En la figura N° 7.3 se presenta las densidades aparentes para las distintas series consideradas en ambos métodos de mezclado, de la figura se desprende que la densidad es prácticamente igual para ambos métodos de mezclado.

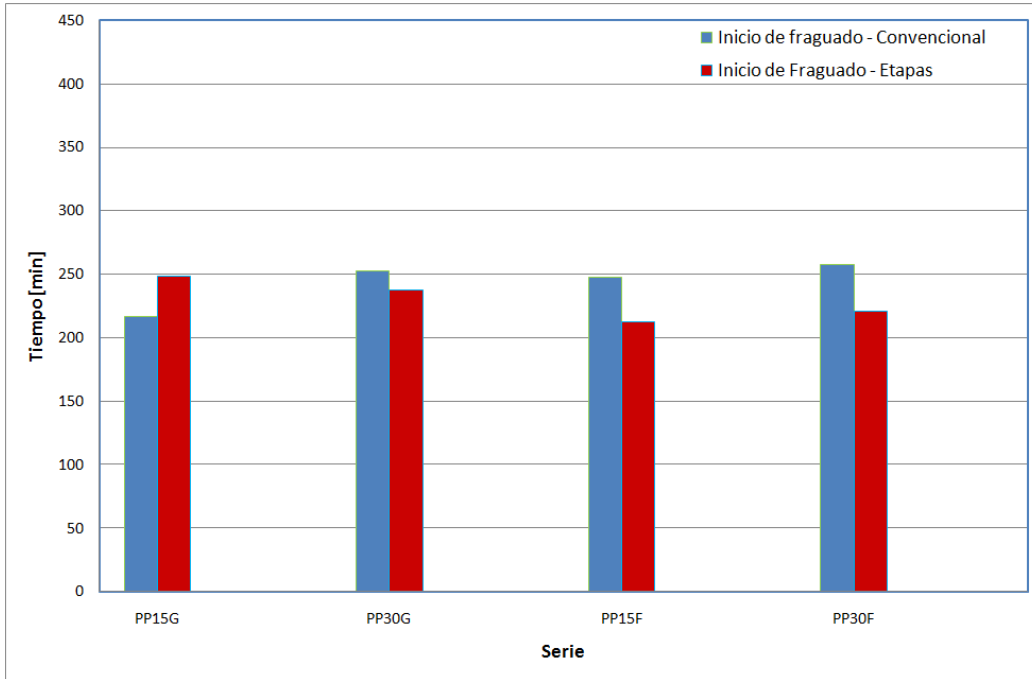


**Figura Nº 7.3.** Densidad promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado.

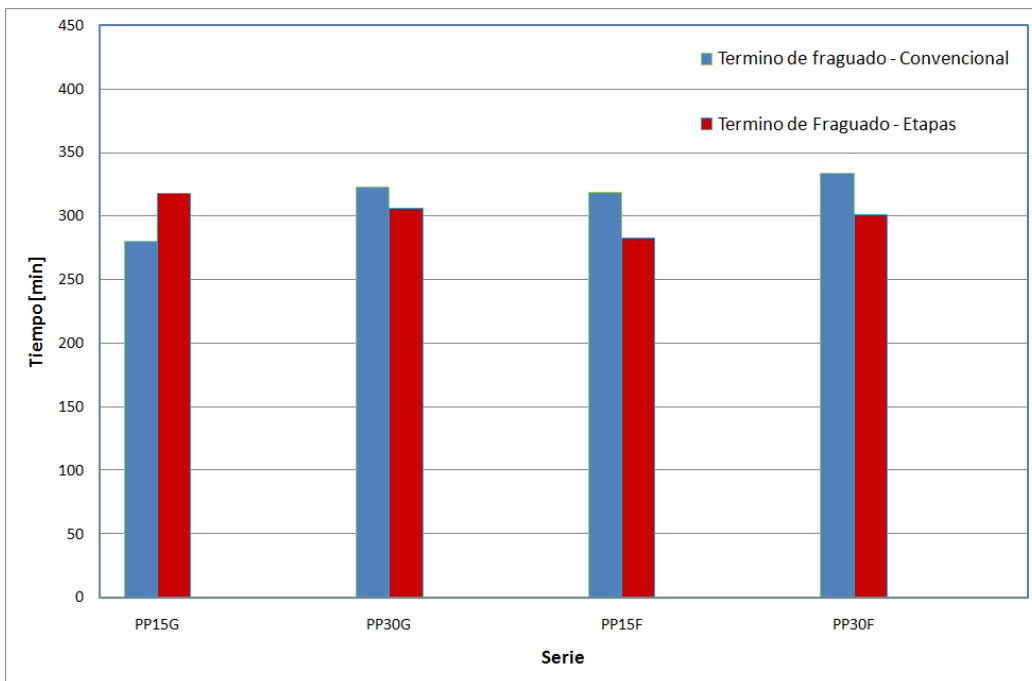
#### **7.1.4. Ensayos de inicio y término de fraguado**

En los siguientes gráficos se presentan los resultados de los ensayos de inicio y termino de fraguado para las distintas series realizadas en ambos métodos de mezclado.

De ellos se desprende que no existen grandes diferencias en los tiempos de inicio y termino de fraguado entre los diferentes hormigones ya que las diferencias pueden ser atribuidas a la dispersión que presenta este tipo de ensayos. En cuanto a diferencias entre ambos métodos de mezclado, se observa una tendencia a disminuir el tiempo de fraguado en el mezclado en dos etapas.



**Figura Nº 7.4.** Inicio de fraguado promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado



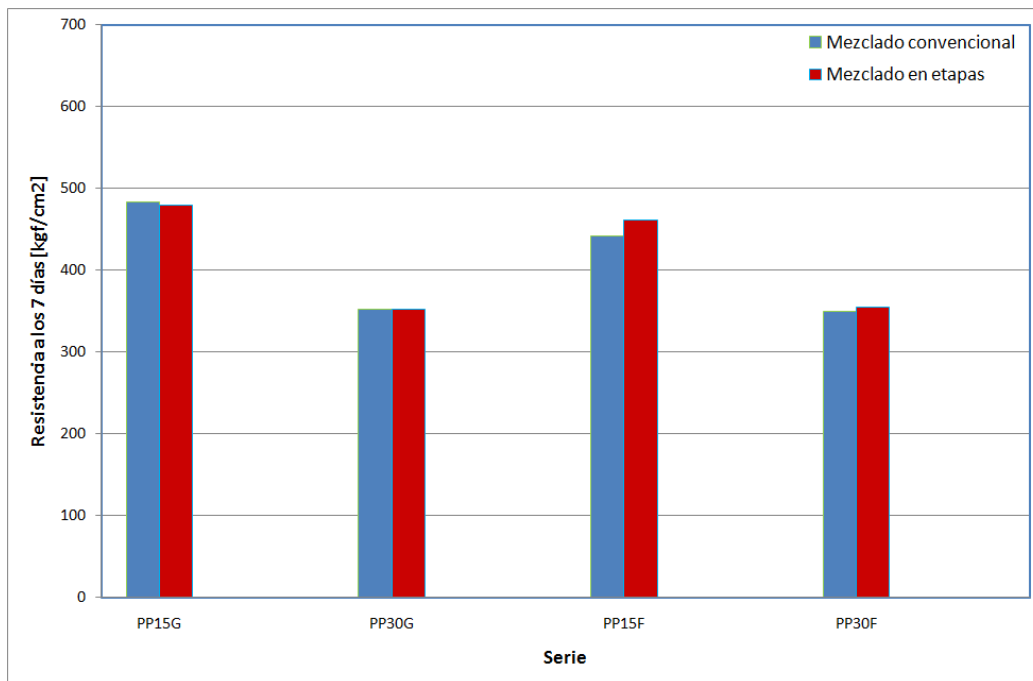
**Figura Nº 7.5.** Termino de fraguado promedio para las distintas series de hormigones en ambos métodos de mezclado



## 7.2. Propiedades del hormigón endurecido

### 7.2.1. Resistencia del hormigón a los 7 días

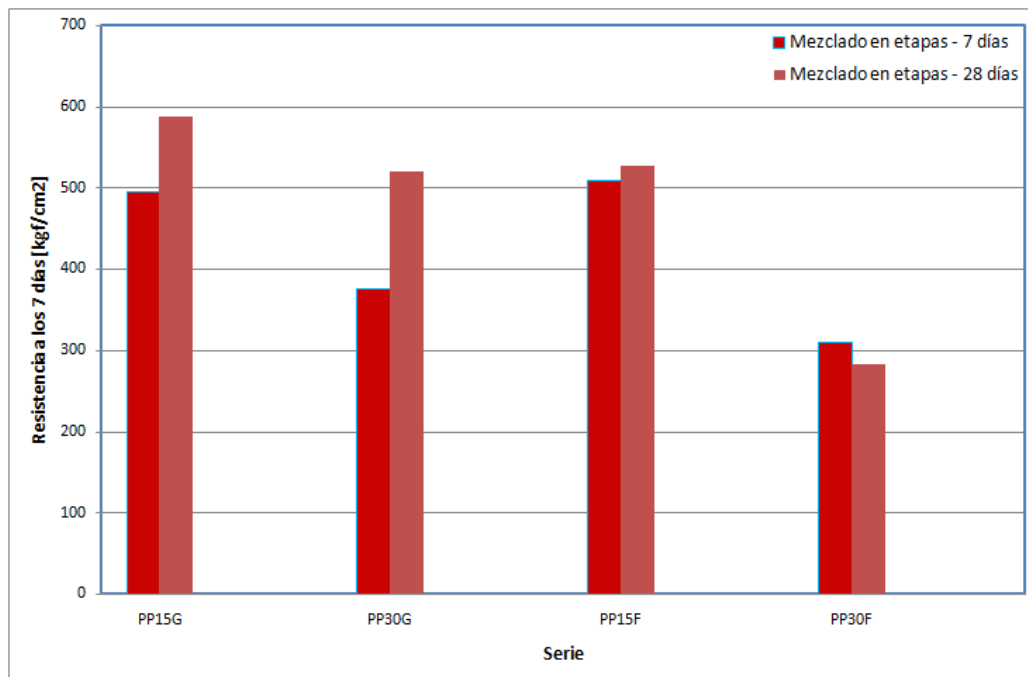
En el siguiente gráfico se presentan las resistencias obtenidas para los hormigones realizados con el método de mezclado convencional y en etapas a los 7 días desde su confección. En él se aprecia un desarrollo de resistencia a porcentajes de adiciones de puzolana mayores para ambas finuras del material cementicio. Sin embargo, no se observan diferencias en función de la finura de la puzolana utilizada y tampoco en el método de mezclado.



**Figura Nº 7.6.** Resistencia promedio de los hormigones estudiados, a los 7 días para ambos métodos de mezclado.

### 7.2.2. Resistencia de la pasta de cemento a los 7 y 28 días

A continuación se presentan los resultados de los ensayos a compresión para la pasta de cemento utilizada en el método de mezclado en etapas para las distintas series. De estos resultados se infiere que para el caso de cementos con menor finura en la adición puzolánica, se produce un incremento significativo en la resistencia a la 28 días. Sin embargo, en los hormigones con mayor finura en la adición puzolánica, la resistencia alcanzada a los 7 días prácticamente corresponde a la resistencia final del hormigón debido a que a mayor finura de la puzolana, la hidratación del cemento es más rápida por lo que se alcanza la resistencia final antes.



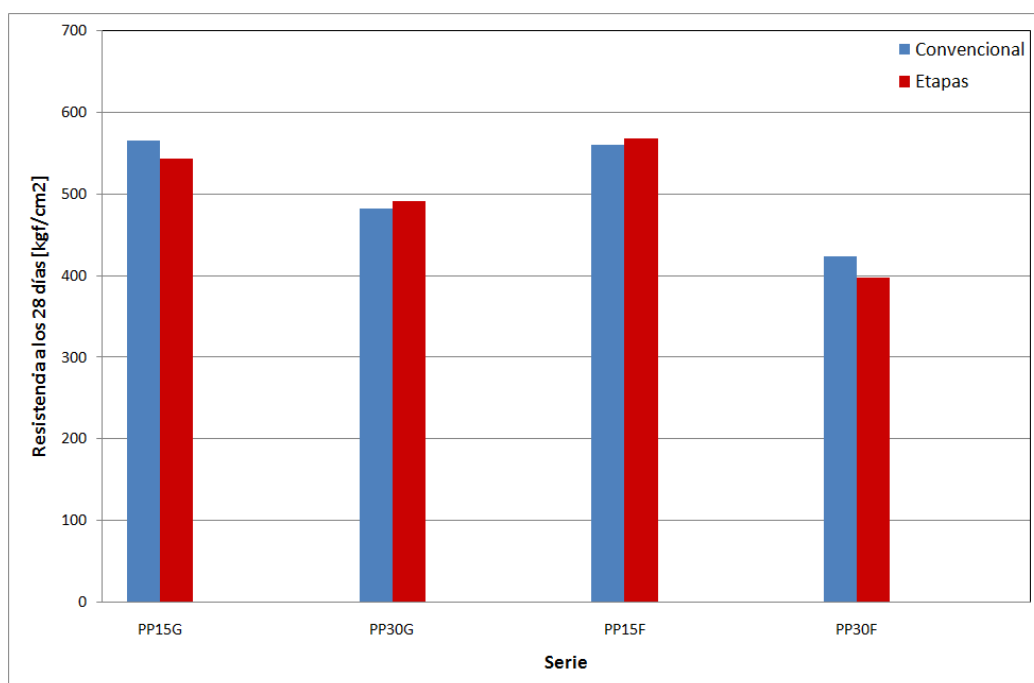
**Figura N° 7.7.** Resistencia promedio a los 7 y 28 días de las pastas de cemento utilizadas para la elaboración de los hormigones por el método de mezclado en 2 etapas.

### 7.2.3. Resistencia del hormigón a los 28 días

En los ensayos de resistencia a los 28 días se mantiene la tendencia normal observada ya que las series de hormigones con mayores porcentaje de

puzolana presentan menores resistencias que sus pares de menor porcentaje de puzolana. En cuanto a la resistencia de los hormigones en función de la finura de los materiales cementicios, no se observa una tendencia en los resultados de resistencia a la compresión.

Por otra parte, no se observan diferencias en la resistencia a los 28 días entre los hormigones confeccionados mediante mezclado en etapas y sus pares confeccionados mediante mezclado convencional.



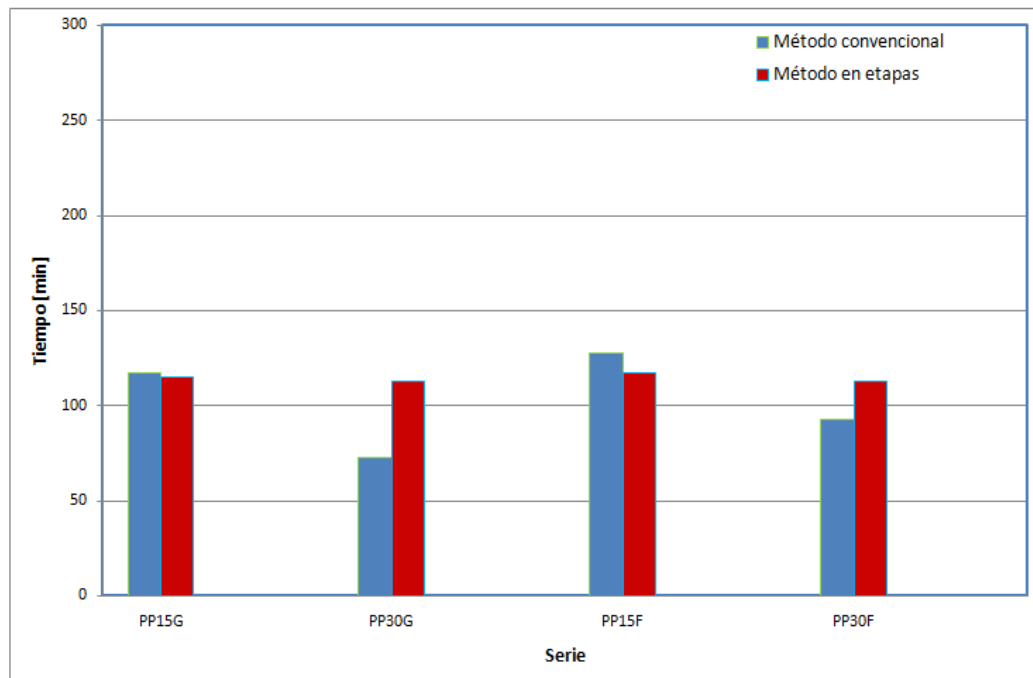
**Figura N° 7.8.** Resistencia promedio del hormigón a los 28 días para ambos métodos de mezclado

### **7.3. Ensayo de fisuración**

#### ***7.3.1. Tiempo de aparición de la fisura***

En la figura N° 7.9 se presentan los tiempos de aparición de la fisura para los distintos hormigones y métodos de mezclado. La medición del tiempo de aparición de la fisura se realiza de acuerdo al punto 5.3.6 de esta investigación y toma como referencia el instante en que se mezcla el agua con el material

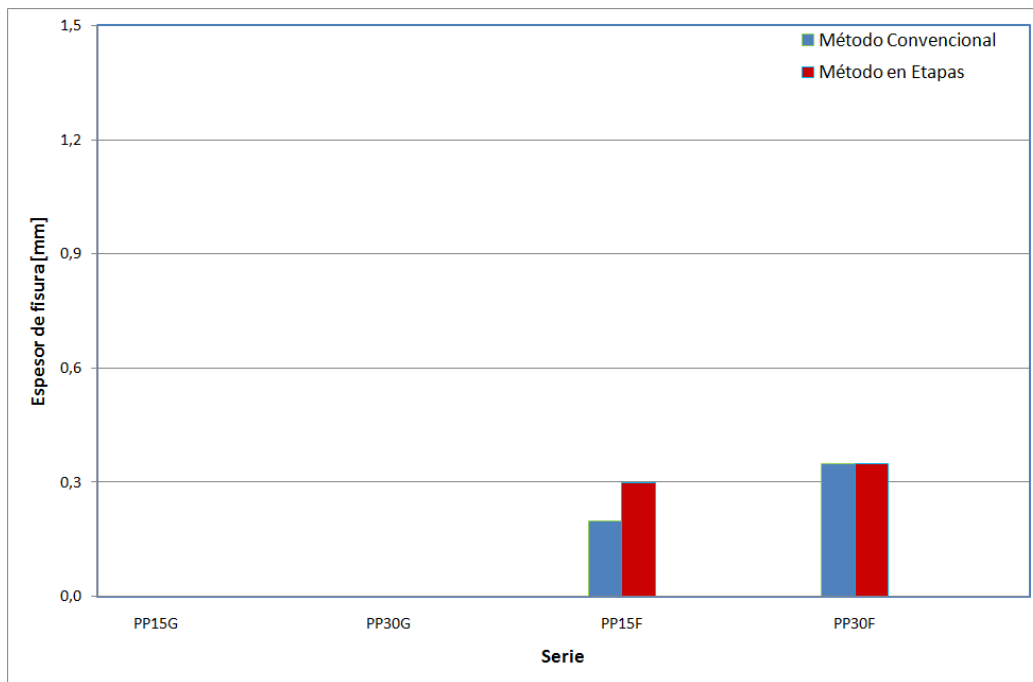
cementicio, en el caso del mezclado convencional; y el instante en que se mezcló el segundo tercio de la pasta de material cementicio, en el caso del mezclado en etapas. En ésta figura, se observa una tendencia de los hormigones convencionales a disminuir el tiempo en que aparece la fisura en la medida en que se aumenta el porcentaje de adición puzolánica, mientras que en el caso de los hormigones en etapas, el tiempo en que aparece la fisura en promedio tiende a ser constante. En cuanto al efecto de la finura en el tiempo de aparición de la fisura, se observa un leve aumento del tiempo de aparición de la fisura en el método convencional, pero al igual que en el caso del porcentaje de adición puzolánica, el efecto de la finura no se observa en el método en etapas. Ambos comportamientos se deben al efecto que ejerce el mezclado rápido en la desfloculación del cemento y su influencia en la resistencia inicial del hormigón.



**Figura N° 7.9.** Tiempo promedio en que se visualizan las fisuras para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado.

### 7.3.2. Ancho inicial de la fisura

En el siguiente gráfico, se observan las fisuras en el instante de su visualización, como fisura discontinua de ancho inicial del orden de 0.3 mm. En el caso que no presenta ese comportamiento (serie PP30F-1), se observa que el patrón de fisuración fue distinto al resto de ellos (ver figura N° 6.3). Además, se observa que a mayor cantidad de puzolana, las fisuras iniciales, tienden a presentar anchos mayores que las producidas en hormigones con menor cantidad de puzolana en el material cementicio.



**Figura N° 7.10.** Ancho de fisuras promedio al instante de su visualización para las series de hormigones con finura Blaine de 9000 cm<sup>2</sup>/g, para PP15F y PP30F.

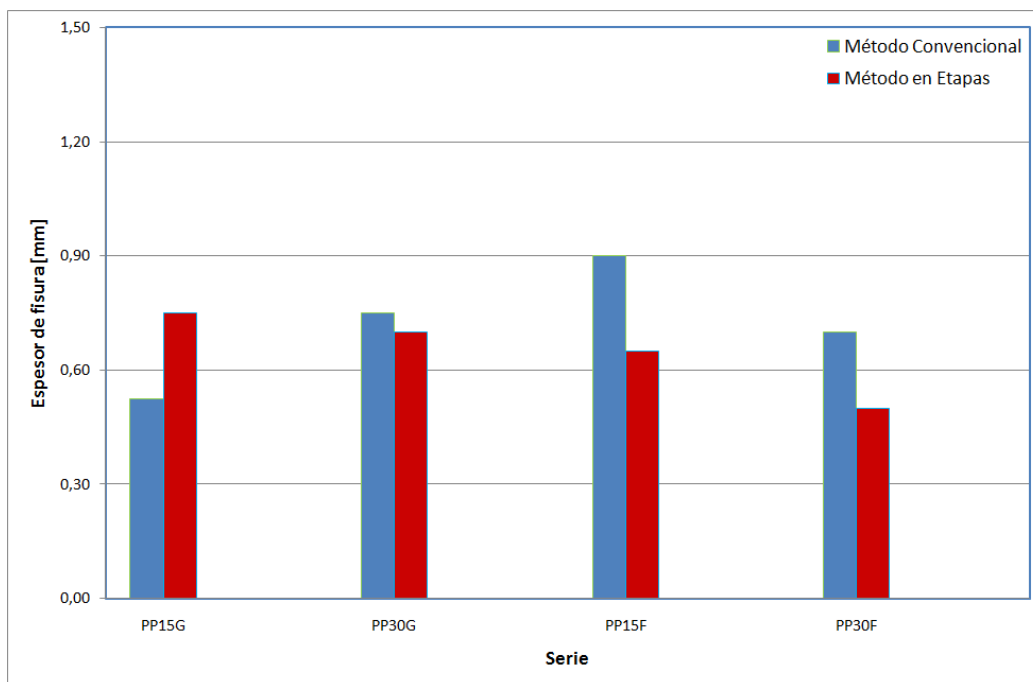
### 7.3.3. Ancho de la fisura al termino de fraguado

De acuerdo a lo observado en el siguiente gráfico, no existe una diferencia clara entre las series confeccionadas con distintos porcentajes de puzolana, ni las series confeccionadas con distintas finuras de la adición puzolánica. Sin embargo, se observa una tendencia en la mayoría de las series a presentar mayor fisura en

las probetas confeccionadas con el método convencional que en las probetas confeccionadas con el método en dos etapas.

En el caso de la serie PP15G se observa un comportamiento distinto al resto en cuanto al efecto del método de mezclado. Esto también se observó para los ensayos de tiempo de fraguado.

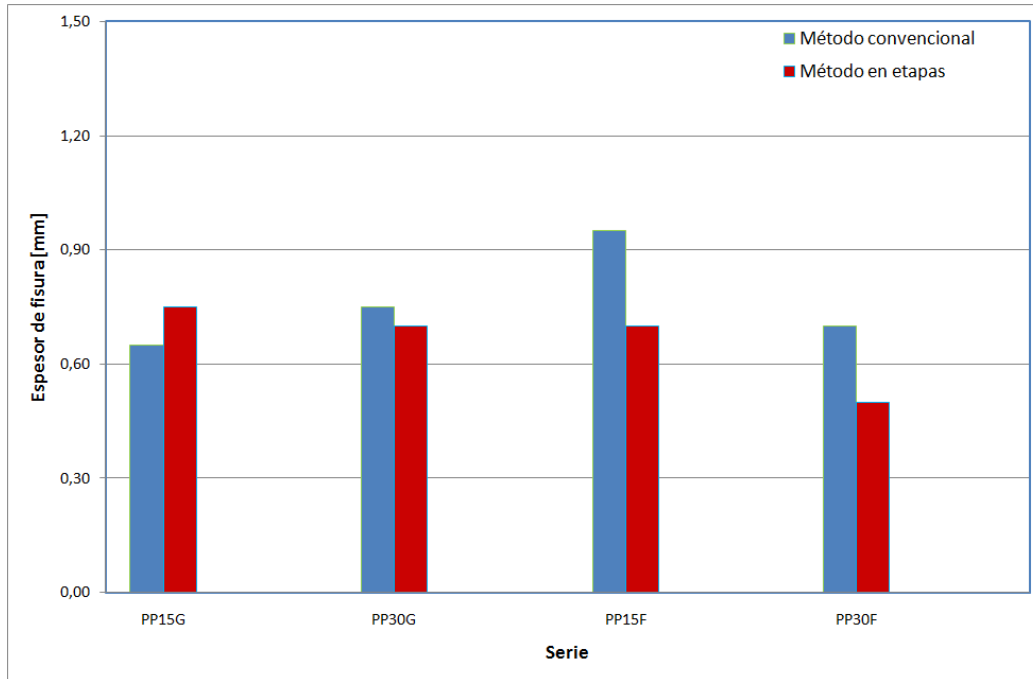
Los anchos máximos son en general mayores para hormigones confeccionados por el método convencional y alcanza a 0.9 mm contra 0.7 mm en promedio, para hormigones confeccionados en dos etapas.



**Figura N° 7.11.** Ancho de las fisuras promedio, al término de fraguado para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado.

### 7.3.4. Ancho de la fisura a las 24 horas

Del gráfico siguiente se puede inferir que en general los espesores de las fisuras permanecen invariables después del término de fraguado.



**Figura Nº 7.12.** Ancho de fisura promedio a las 24 horas para los distintos hormigones estudiados y para ambos métodos de mezclado.

### **7.4. Relación entre comportamiento del hormigón durante el proceso de fraguado y fisuración**

En las figuras Nº 7.14 a 7.23 se presentan los gráficos de resistencia a la penetración vs tiempo para las distintas series de ensayos. Mediante estos ensayos se determinan los tiempos de inicio y termino de fraguado y se registra el tiempo al momento de aparición de la fisura.

En los siguientes gráficos, la diferencia entre los puntos representados por secciones llenas, respecto a los otros puntos, se debe a que estos últimos fueron hechos en la cámara seca, y no en contacto directo con el aire.

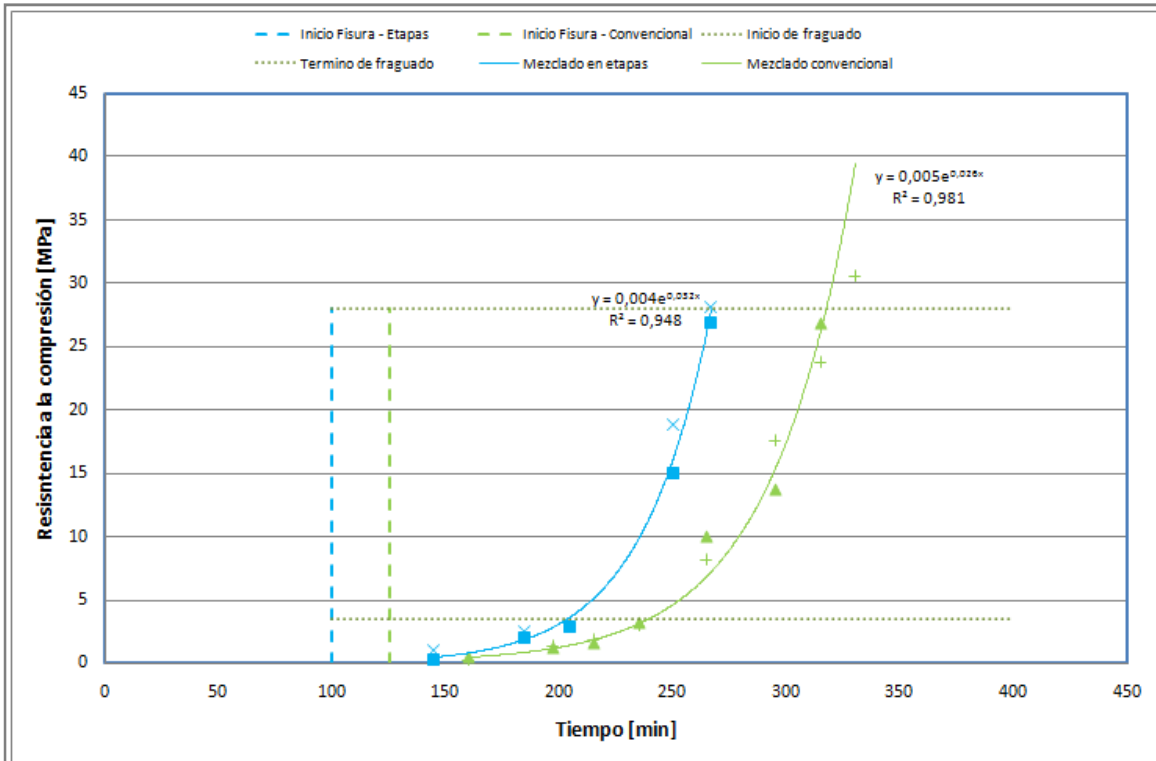


Figura Nº 7.13. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15F-1

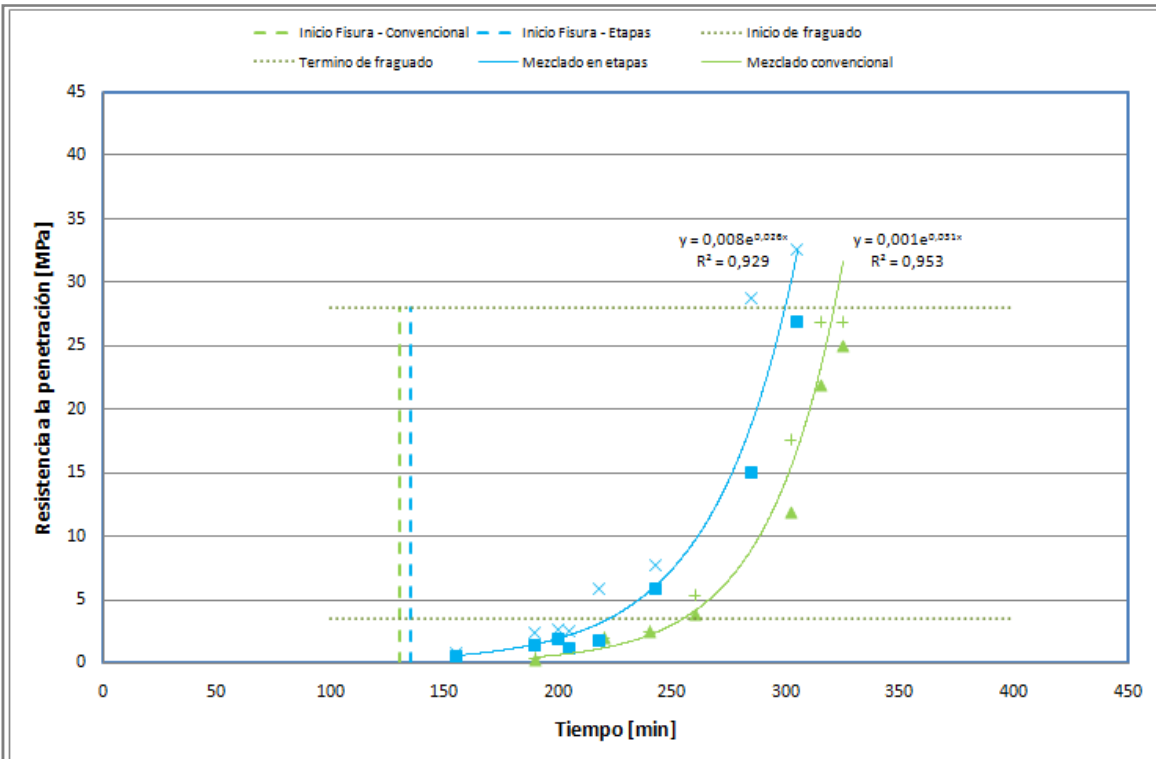


Figura Nº 7.14. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15F-2



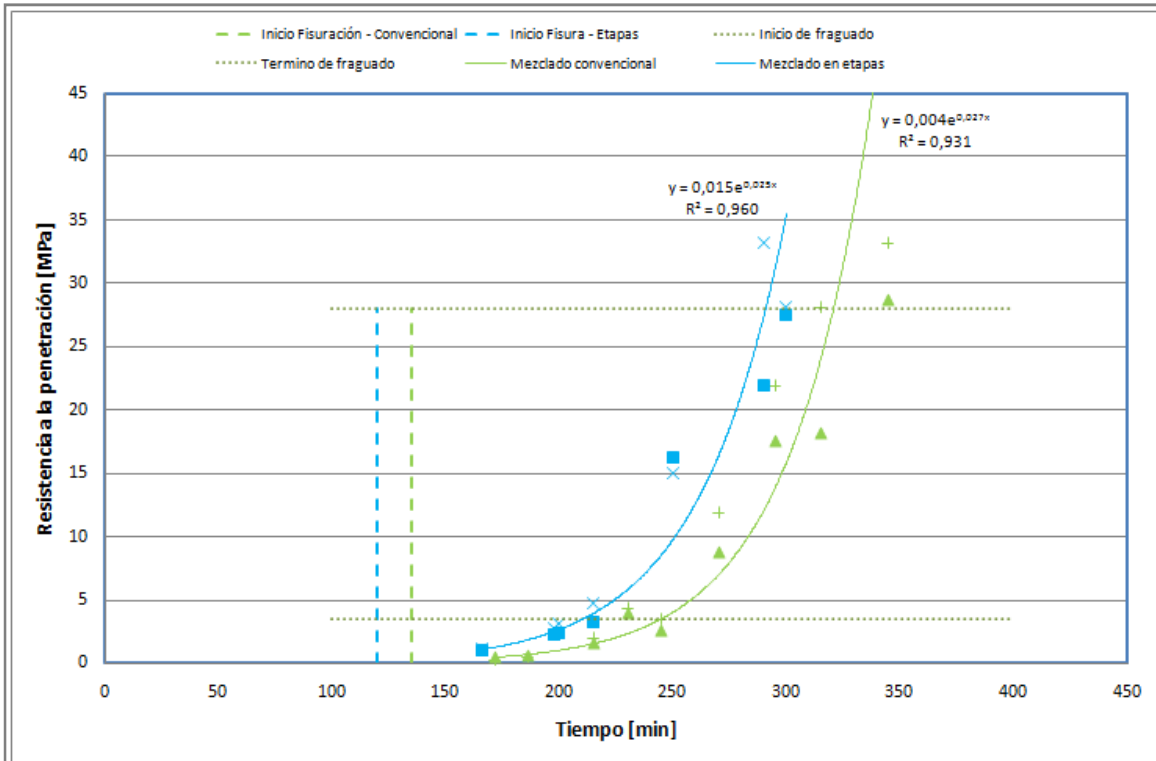


Figura Nº 7.15. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30F-1

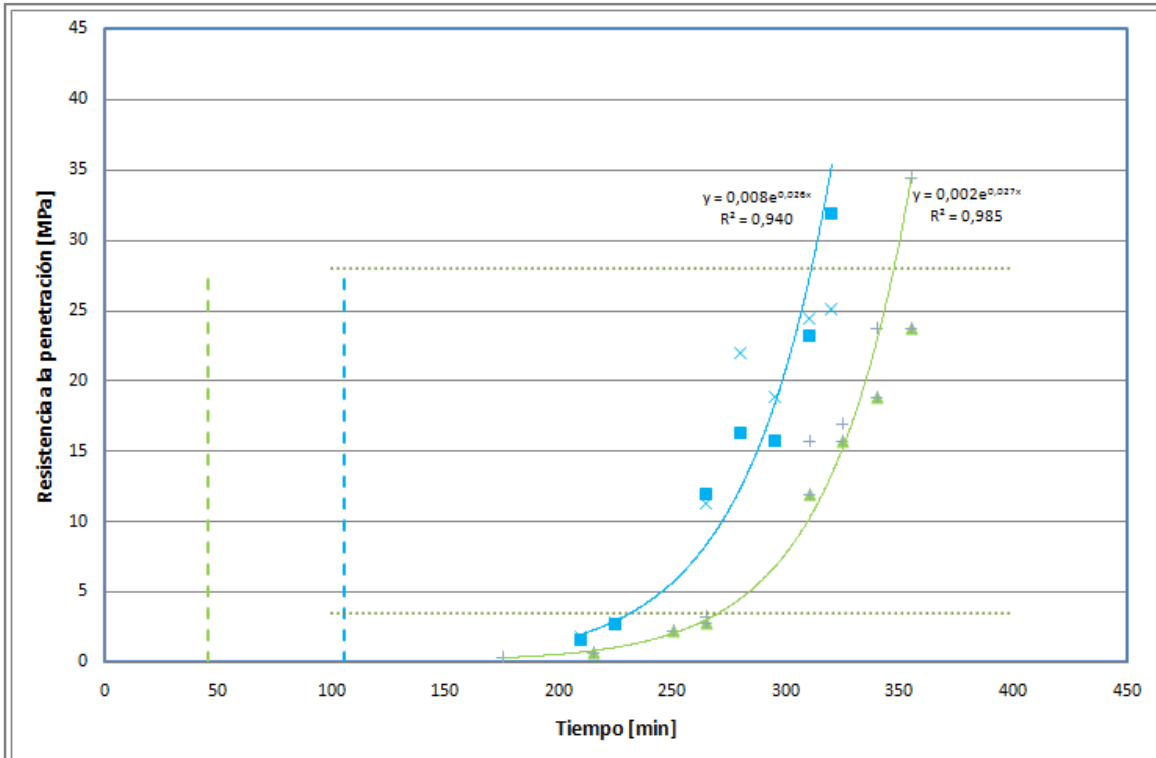


Figura Nº 7.16. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30F-2

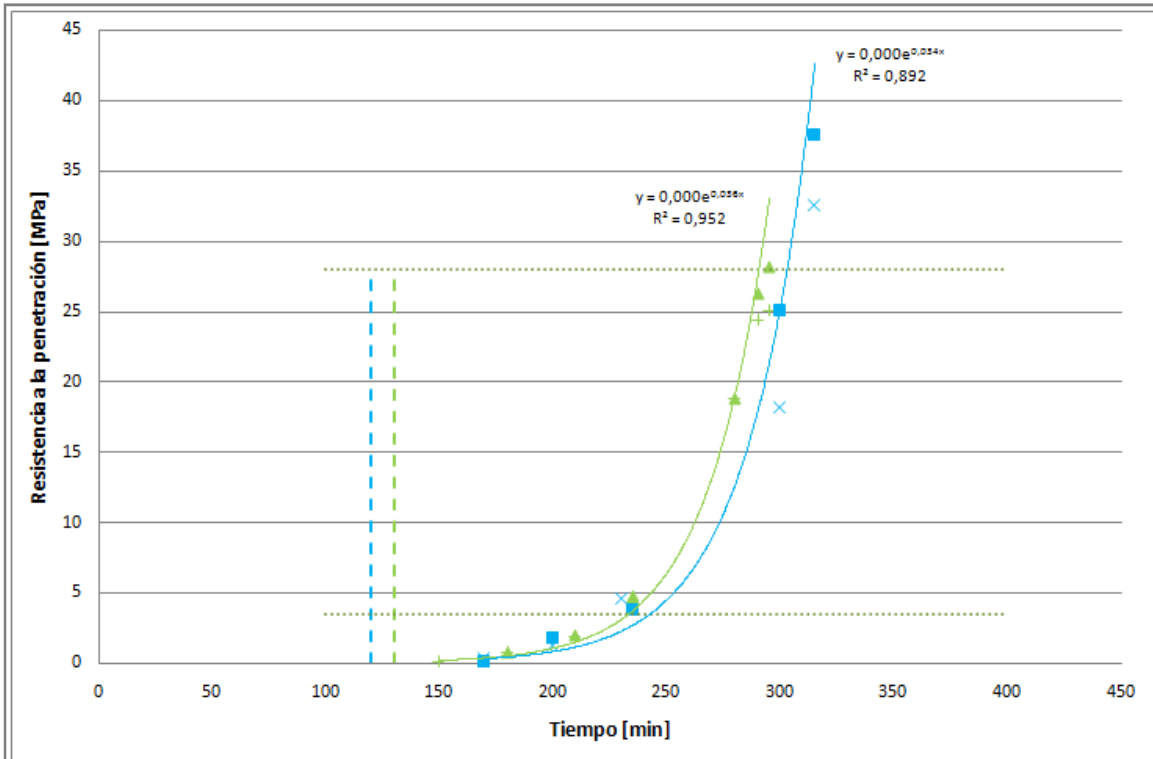


Figura Nº 7.17. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15G-1

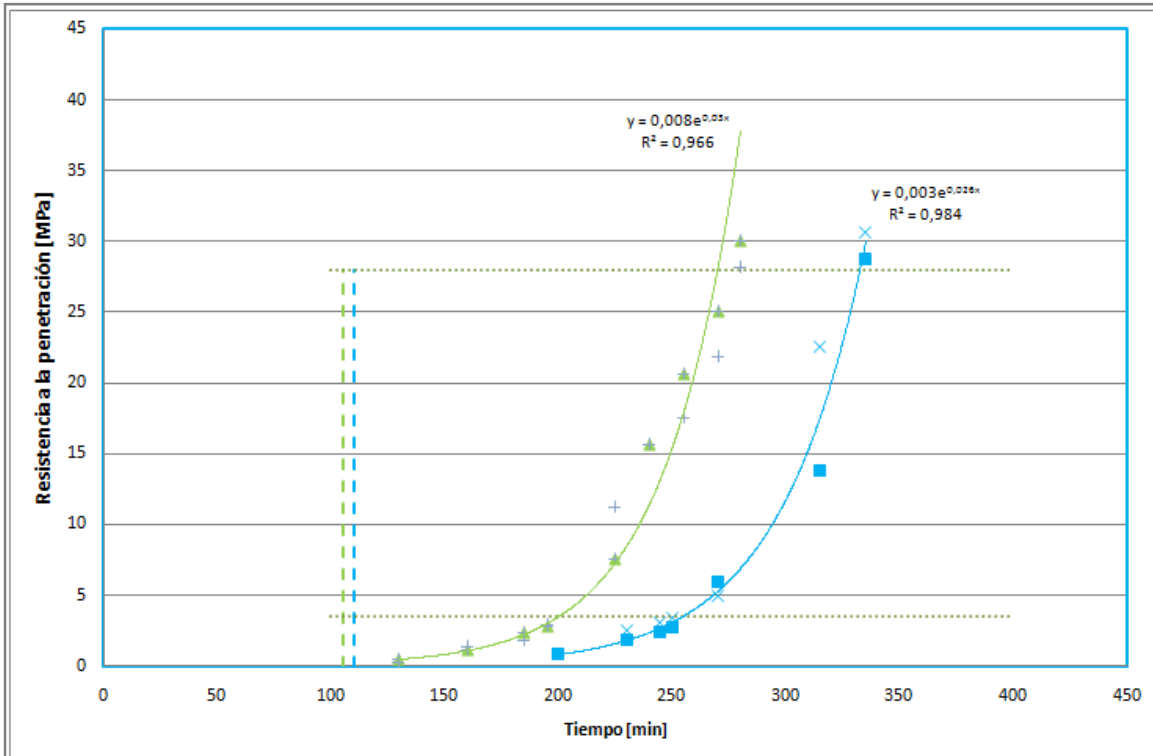
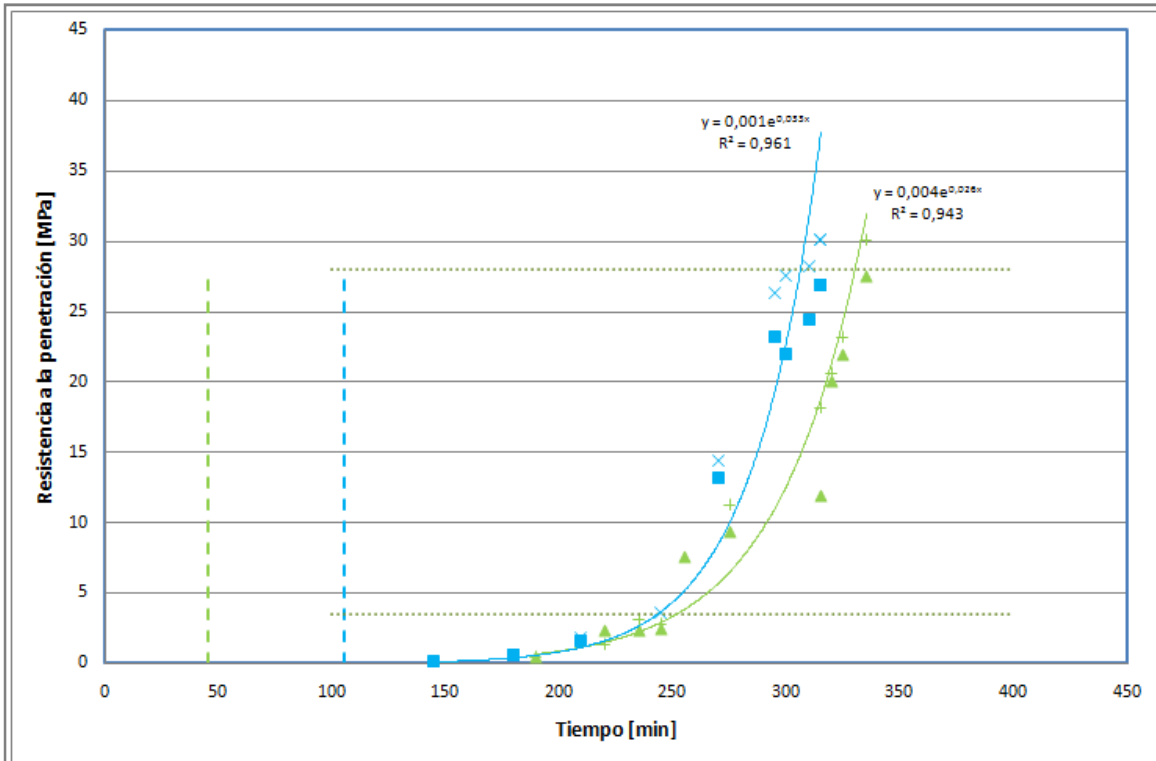
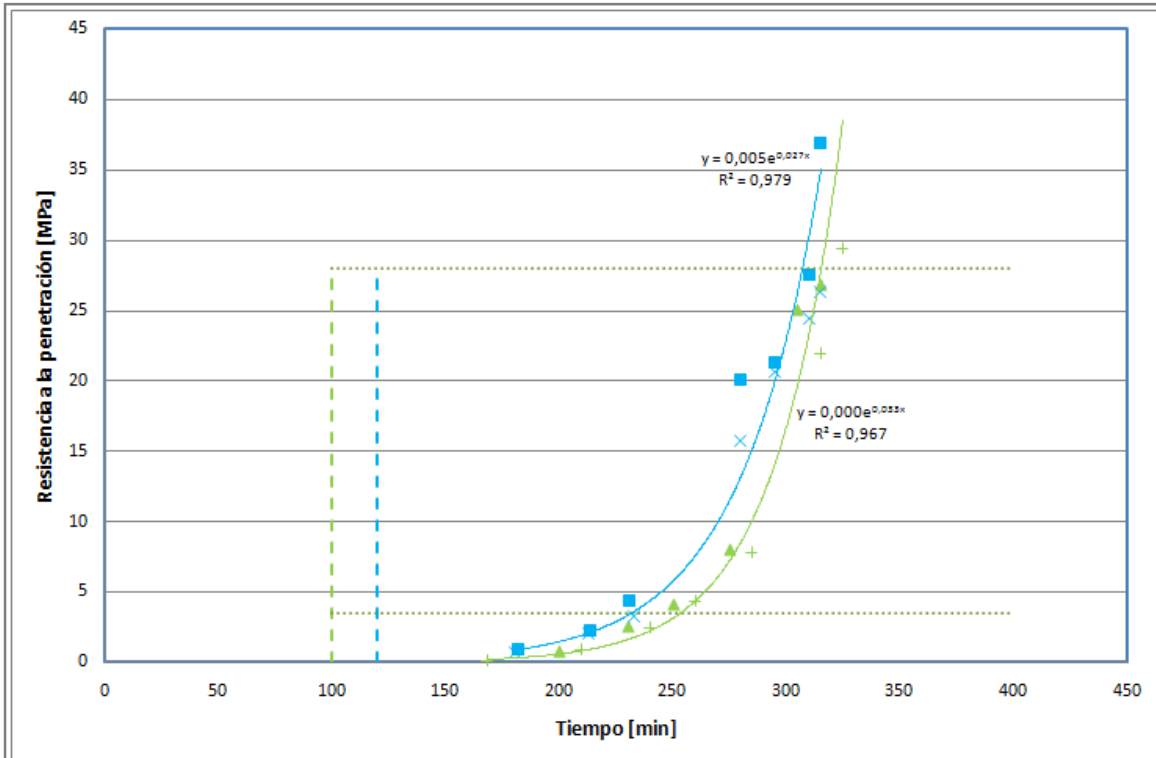


Figura Nº 7.18. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP15G-2



**Figura Nº 7.19.** Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30G-1



**Figura Nº 7.20.** Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PP30G-2

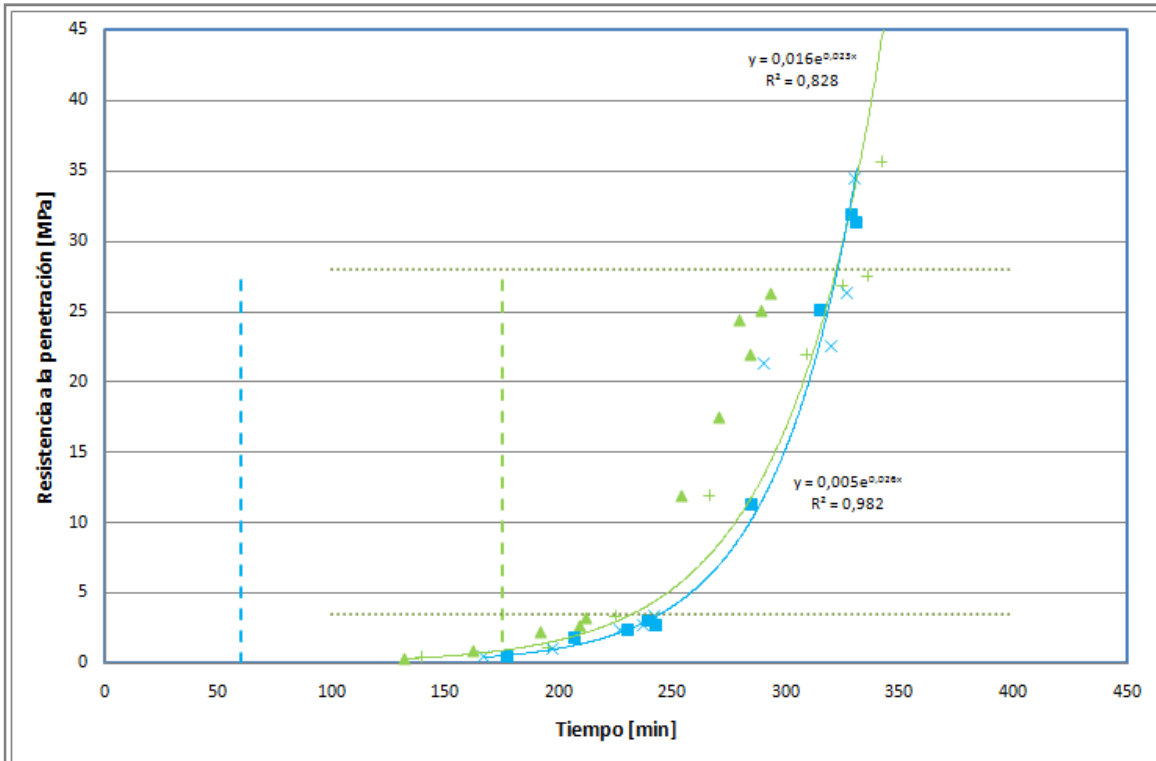


Figura Nº 7.21. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PPAR-1

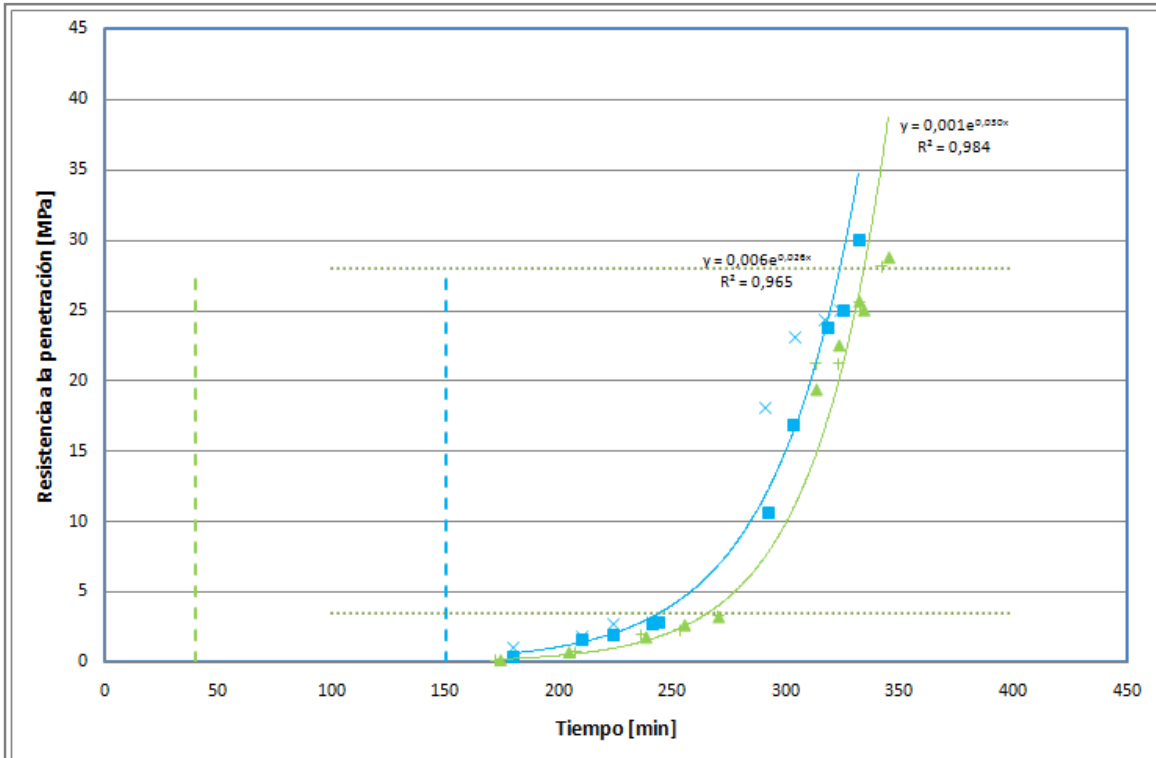
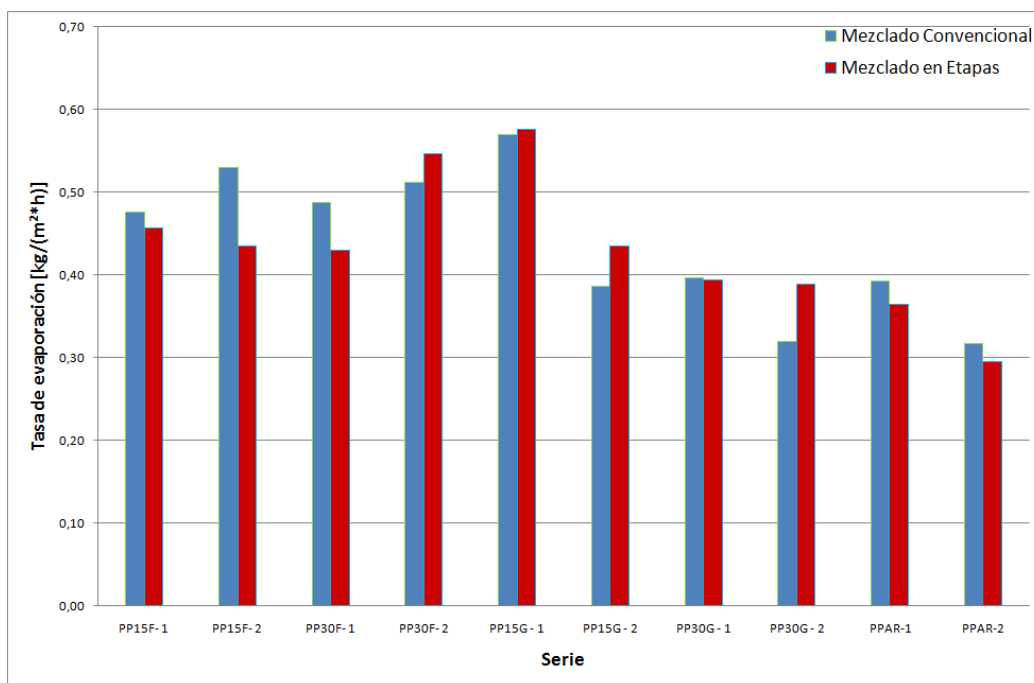


Figura Nº 7.22. Gráfico carga-tiempo (Tiempo de fraguado) e Instante de visualización de la fisura para el ensayo PPAR-2

De los gráficos anteriores se corrobora la información entregada en el análisis de los anchos de las fisuras debido a que en general, el ancho mayor de estas, se presentó en la probeta que presentaba una curva de inicio y termino de fraguado más tardía. Esto por otra parte, no se contradice con lo mencionado con anterioridad ya que las fisuras evolucionan hasta el término de fraguado.

### **7.5. Tasa de evaporación**

En el ANEXO 2 se presentan los gráficos para las distintas tasas de evaporación de agua de los ensayos. De ellos se desprende que la tasa de evaporación fue similar para ambas probetas, aunque existía una pequeña diferencia en la velocidad del viento.



## CAPITULO VIII

### 8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

#### 8.1. Discusión

Si bien, la norma ASTM C 1579 fue desarrollada para estandarizar un procedimiento de ensayo que permite evaluar la efectividad de la adición de fibras en el control de la fisurabilidad de un hormigón, durante la etapa de endurecimiento inicial, en la presente investigación se ha hecho extensivo de esta metodología para la evaluación de la influencia de otras variables, como la proporción y finura de las adiciones puzolánicas incorporadas al cemento y la variación del método de elaboración de la mezcla, en el comportamiento del hormigón, específicamente en su fisurabilidad frente a condiciones severas de secamiento.

La experimentación realizada con este método de ensayo puede ser considerada como factible y válida, en cuanto a sus características de reproducibilidad, en la medida que se logre que los hormigones que se comparan en cada ensayo tengan un proceso de elaboración que no implique un desfase significativo en cuanto a su madurez al momento de ser expuestos a las condiciones de secamiento, en la cámara. En este estudio, debido a que no se pudo confeccionar ambas probetas al mismo tiempo, por no contarse con dos procesos de elaboración de hormigón que fueran relativamente simultáneos, se debió confeccionar los hormigones por separado dejando una variable temporal difícil de controlar por los tiempos de preparación requeridos, especialmente en este caso, que contemplaba métodos distintos de mezclado, en una y dos etapas. Es por ello que se sugiere para un próximo estudio, comparar variables en que el tiempo de mezclado no interfiera las condiciones de exposición, tanto en el instante de partida como en el proceso de mezclado.

Por los resultados obtenidos en los ensayos, se considera que sería necesario aumentar el número de repeticiones que establece la norma, por lo menos a tres repeticiones, en cada unidad de muestreo, si el estudio incorpora variables distintas a las que se consideran en el método original de la norma.

Otras características como profundidad de la fisura podrían ser de interés analizar para evaluar la implicancia del daño presente, por la fisuración, en la durabilidad del de la obra. Variables como ancho de fisura, o otras como ponderaciones del ancho de ésta, pueden no ser suficientes debido a que las fisuras no siempre se comportan de la misma forma, pudiéndose encontrar fisuras del largo completo en las losetas de estudio, como otras entrecortadas que no eran comparables entre sí.

## **8.2. Conclusiones**

Del estudio realizado, cuyo objetivo principal fue estudiar la fisurabilidad del hormigón en estado plástico variando la composición del material cementicio y su finura, e introduciendo dos métodos de mezclado distintos para la elaboración del hormigón. El material cementicio utilizado fue un cemento portland al cual se le adicionó una puzolana natural en proporciones de 15 y 30% del peso de cemento y dos distintos grados de finura 4500 y 9000  $\text{cm}^2/\text{g}$  (Blaine). Del estudio realizado se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El hormigón confeccionado en dos etapas, elaboración de la pasta de cemento y la mezcla árido/pasta, en general presenta un mejor comportamiento frente al fenómeno de fisuración por secamiento en comparación a los hormigones confeccionados con método de mezclado convencional. Esto podría atribuirse a la mayor reactividad que alcanza mediante el mezclado intensivo de la pasta que se manifiesta en una disminución en el tiempo de fraguado del hormigón. Existe, sin embargo una cierta indeterminación en cuanto a la influencia de esta variable en la fisurabilidad en el periodo plástico del hormigón, al no haber podido

dejar constante la madurez del hormigón al momento de ingreso a la cámara ambientada.

2. En cuanto al efecto del contenido y finura de la puzolana en el cemento, no se encontró una relación entre fisurabilidad y contenido de puzolana.
3. El método estándar para evaluar la fisurabilidad en estado plástico que propone la ASTM C 1579 demostró ser adecuado para evaluar el comportamiento de las distintas variables de composición, elaboración y otras del hormigón en la fisurabilidad, teniendo como referencia un hormigón patrón.



## CAPITULO IX

### 9. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Herrera Arriagada, Cristián. “Influencia de la puzolana en la fisuración por retracción en los hormigones chilenos”, Tesis Ingeniería Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.
- (2) NCh148.Of68. “Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1968.
- (3) NCh159.Of77 “Cemento – Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro según Blaine”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1977.
- (4) NCh2183.Of92 “Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación del tiempo de fraguado”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1992
- (5) Latorre Oyarzun, Veronica. “Influencia del contenido de adiciones puzolánicas y del tipo de proceso de elaboración de la mezcla en la resistencia mecánica del hormigón” Tesis Ingeniería Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.
- (6) Segura Pérez, Ignacio; Moraguez Terrados, Amparo. “Caracterización Microestructural de Materiales Base Cemento Mediante Ensayos Destructivos – Parte 1”, Ediciones Cemento, Noviembre 2008.
- (7) NCh1037.Of77 “Hormigón – Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1977.
- (8) Raphael, J. M. 1984. “Tensile Strength of Concrete”. ACI Journal 81.2: 158-165.

- (9) Transportation Research Board, Circular E-C107, "Control of cracking in concrete, State of art", 2006.
- (10) Tamimi, A. K. 1994. "Effects of a new mixing technique on the properties of the cement paste-aggregate interface. Cement and concrete research 24(7): 1299-1304.
- (11) Pope, A. W., and H. M. Jennings. 1992. "The influence of the mixing energy on the microstructure of the cement paste aggregate interfacial zone and on the strength of mortar". Journal of materials science 26:6452-6462.
- (12) Rejeb, K. S. 1996. "Improving compressive strength of concrete by a two-step mixing method". Cement and concrete research 26(4): 585-592.
- (13) Tyson D. Rupnow, Vernon R. Schaefer, Kejin Wang, Benjamin L. Hermanson. 2007. "Improving Portland cement concrete mix consistency and production rate through two-stage mixing", Centre for Transportation Research and Education.
- (14) RILEM TC 14-CPC. "Technical committees preparation of a RILEM recommendation. Reference concrete for research and testing. Progress report on the work of the permanent committee on concrete and enquiry among RILEM members", RILEM publications SARL, 1979,12,129-142.
- (15) Neville, A. M. "Tecnología del concreto", Tomo 2, Noriega Editores, 1989.
- (16) ASTM C-1579 06 "Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (Using a steel form insert)", ASTM, 2006
- (17) NCh161.EOf69 "Cemento – Puzolana para uso de cementos – Especificaciones". Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1969.

- (18) NCh154.Of69 “Cemento – Determinación del peso específico relativo”. Instituto Nacional de Normalización. Chile, 1969.
- (19) NCh1019.EOf74 “Construcción – Hormigón – Determinación de la docilidad – Método de asentamiento del cono de Abrams”. Instituto Nacional de Normalización. Chile, 1974.
- (20) NCh1564.Of79 “Hormigón – Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1979.
- (21) NCh2184.Of92 “Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación del contenido de aire”. Instituto Nacional de Normalización, Chile, 1992.

# ANEXOS

## ANEXO 1. CÁLCULO DE DOSIFICACIONES

Se utilizó el siguiente procedimiento para el cálculo de las dosificaciones utilizadas en este trabajo:

1. Considerando el porcentaje de áridos utilizado para la dosificación, se procede a calcular el volumen de áridos en 1m<sup>3</sup> de hormigón:

$$\text{Volumen de áridos} = \% \text{ de áridos} * 1000$$

2. Una vez obtenido el volumen ocupado por los áridos, se puede obtener el volumen de pasta de cemento descontado el volumen de los áridos y el volumen de aire estimado de 1000 l, obteniendo:

$$\text{Vol. de pasta} = 1000 \text{ l} - \text{Vol. de áridos} - \text{Vol. de aire}$$

3. Una vez obtenido el volumen de pasta de cemento, se puede utilizar la siguiente fórmula para obtener el peso del material cementicio:

$$\text{Peso mat. cementicio} = \frac{\text{Vol. de pasta}}{\frac{A}{C} + \frac{P_c}{Pe_c} + \frac{P_p}{Pe_p}}$$

Donde:  $\frac{A}{C}$  corresponde a la relación Agua / Material cementicio,

$P_c$  y  $P_p$  corresponden a los porcentajes de cemento y puzolana respectivamente, y

$Pe_c$  y  $Pe_p$  corresponden a los pesos específicos del cemento y la puzolana respectivamente.

4. Luego podemos calcular el peso del cemento Pórtland y la puzolana como:

$$\text{Peso cemento Portland} = P_c \times \text{Peso mat. cementicio}$$

y

$$Peso\ puzolana = P_p \times Peso\ mat.\ cementicio$$

5. El peso del agua por m<sup>3</sup> queda dado por:

$$Peso\ agua = \frac{A}{C} \times Peso\ mat.\ cementicio$$

6. Por otra parte, el peso específico de los áridos queda dado por:

$$Pe_a = P_{af} \times d_{Raf} + P_{ag} \times d_{Rag}$$

Donde:  $Pe_a$  corresponde al peso específico de los áridos.

$P_{af}$  y  $P_{ag}$  corresponden a los porcentajes de árido fino y grueso respectivamente, y

$d_{Raf}$  y  $d_{Rag}$  corresponden a las densidades reales saturadas de los áridos con superficie seca respectivamente.

7. Luego, el peso de áridos por m<sup>3</sup> queda dado por:

$$Peso\ áridos = Vol.\ áridos \times Pe_a$$

8. El peso de la arena y gravilla quedan dados por:

$$Peso\ árido\ fino\ (arena) = Peso\ áridos \times P_{af}$$

y

$$Peso\ árido\ grueso\ (gravilla) = Peso\ áridos \times P_{ag}$$

9. Se debe calcular el agua libre de los áridos para corregirlos al igual que el agua por humedad:

$$H_{lf} = Peso\ arena \times (H_{af} - Abs_{af})$$

$$H_{lg} = Peso\ gravilla \times (H_{ag} - Abs_{ag})$$

10. Finalmente, tanto los áridos como el agua deben ser corregidos por la humedad libre (o agua libre):

$$Peso\ agua\ (corregida) = Peso\ agua\ total - H_{lf} - H_{lg}$$

$$\text{Peso árido fino (corregido)} = \text{Peso árido fino} \times (1 + H_{lf})$$

$$\text{Peso árido grueso (corregido)} = \text{Peso árido grueso} \times (1 + H_{lg})$$

## ANEXO 2. GRAFICOS TASA DE EVAPORACIÓN

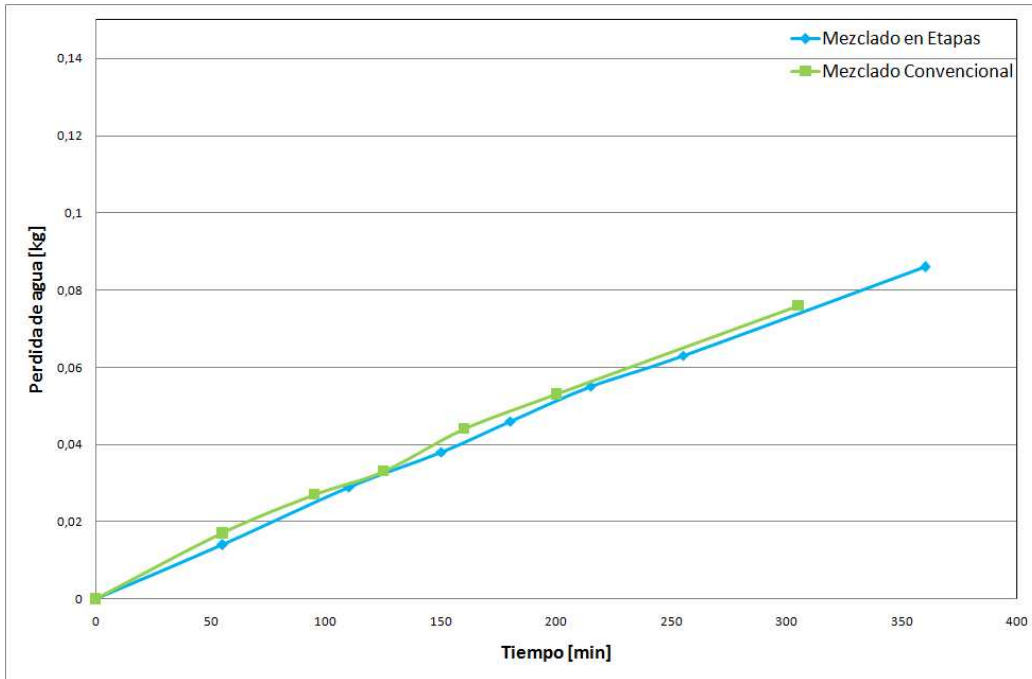


Figura Nº A3.1 Tasa de evaporación de la serie PP15F-1 para ambos métodos de mezclado

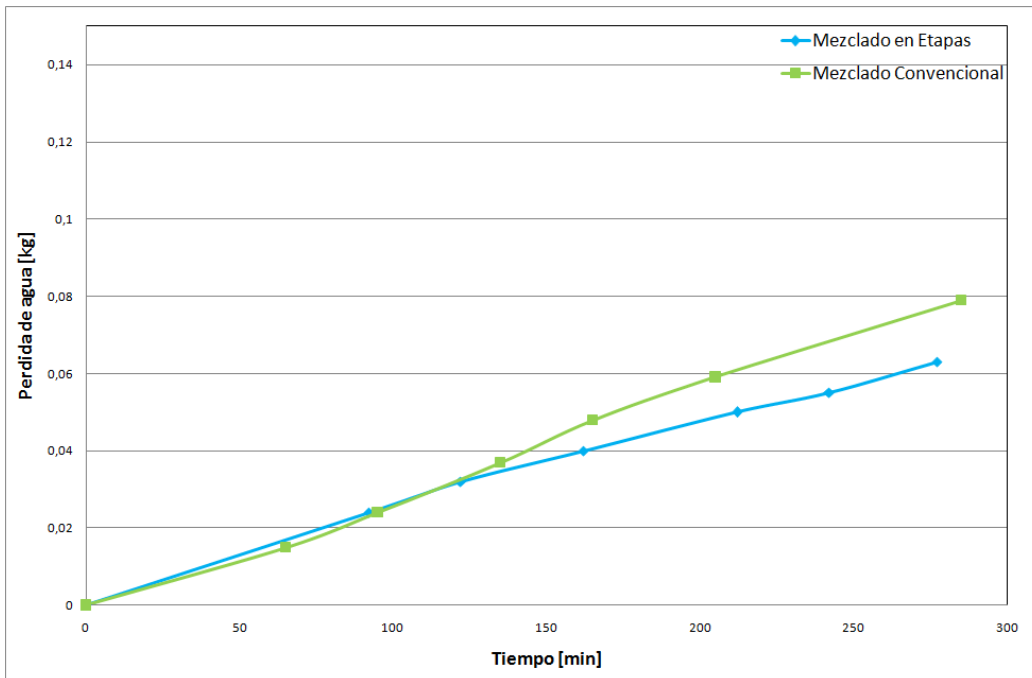


Figura Nº A3.2 Tasa de evaporación de la serie PP15F-2 para ambos métodos de mezclado

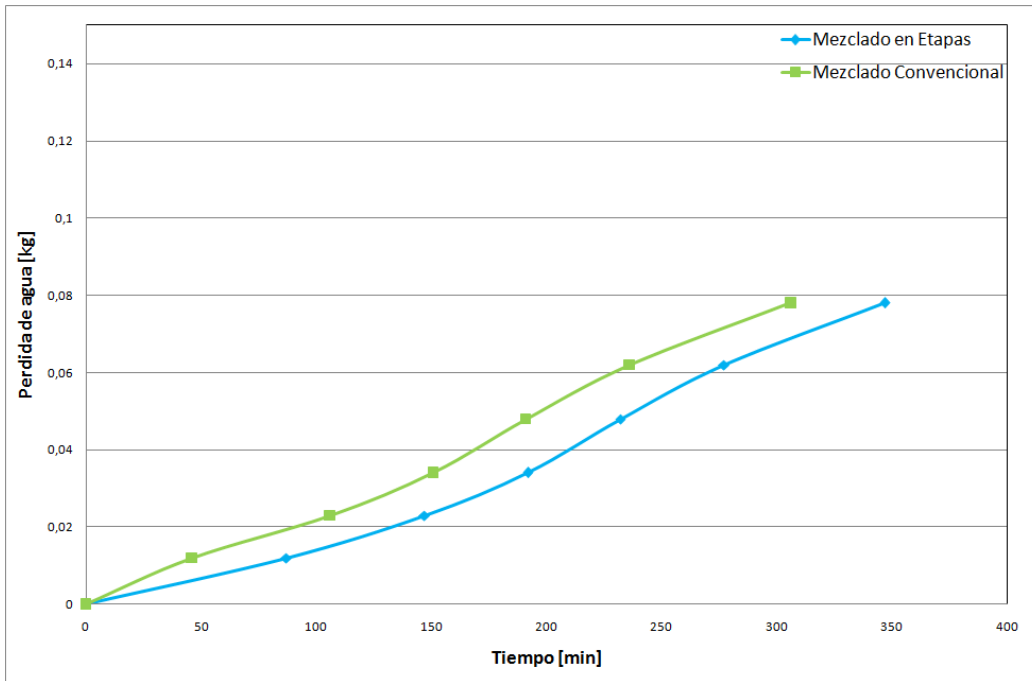


Figura Nº A3.3 Tasa de evaporación de la serie PP30F-1 para ambos métodos de mezclado

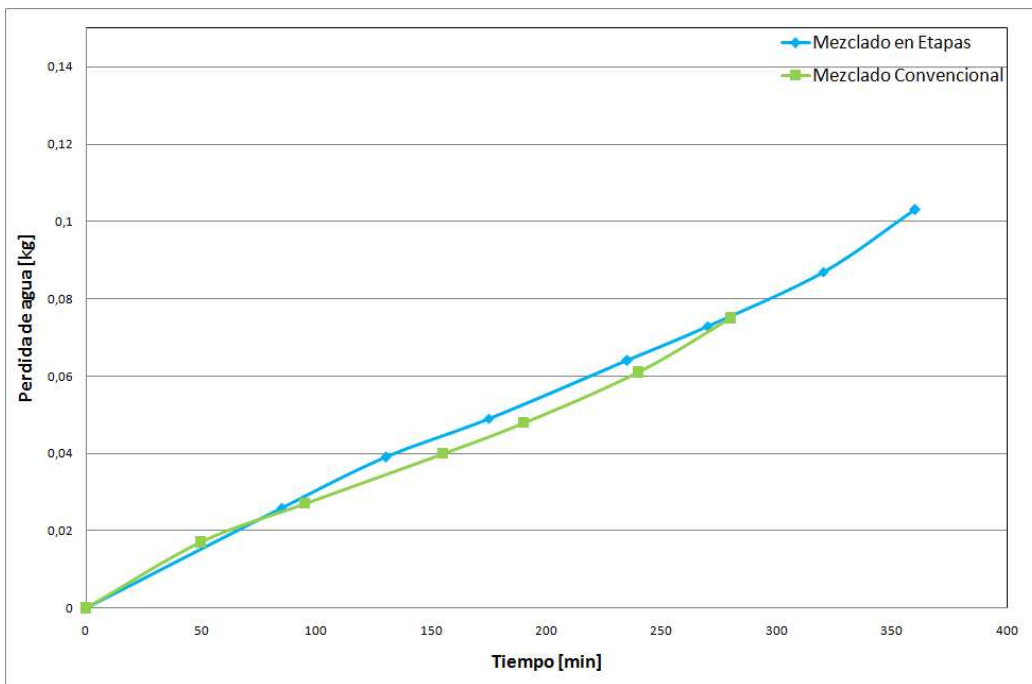


Figura Nº A3.4 Tasa de evaporación de la serie PP30F-2 para ambos métodos de mezclado



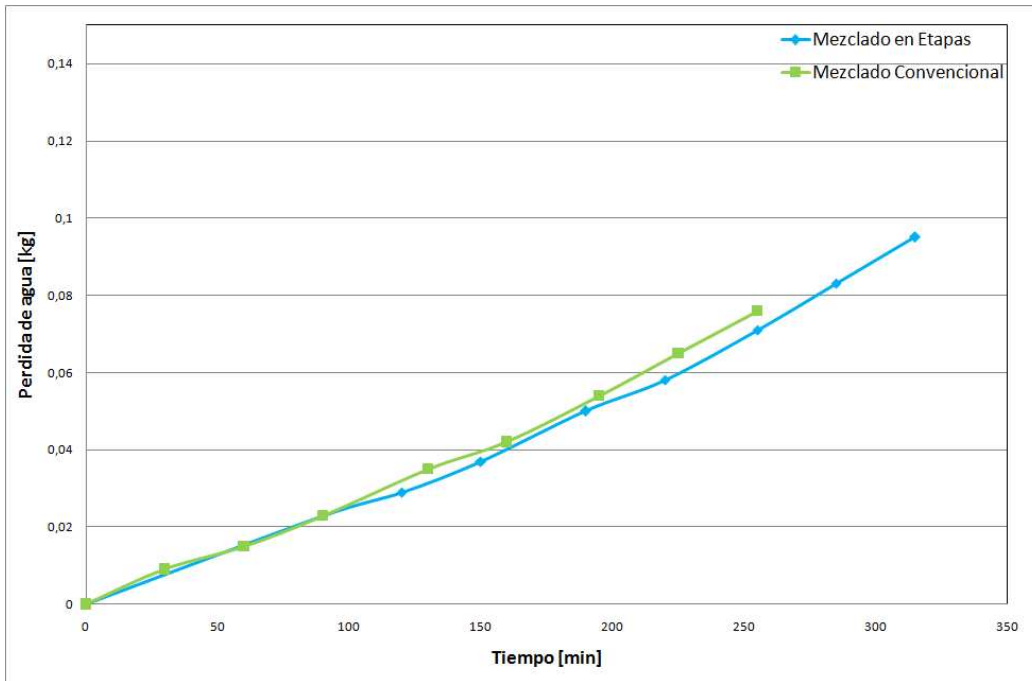


Figura Nº A3.5 Tasa de evaporación de la serie PP15G-1 para ambos métodos de mezclado

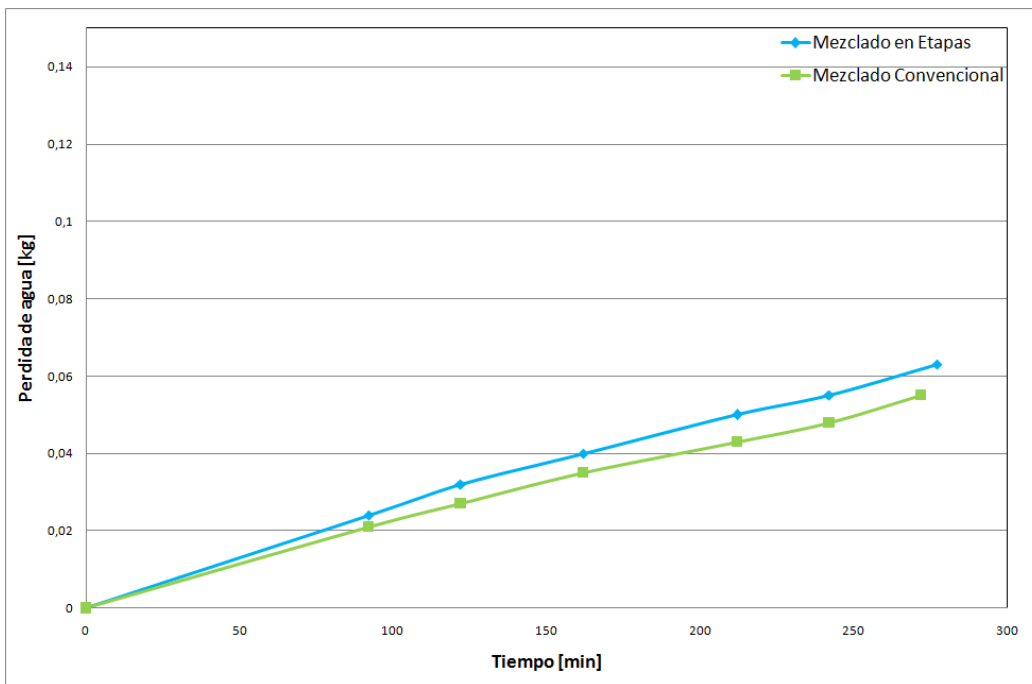


Figura Nº A3.6 Tasa de evaporación de la serie PP15G-2 para ambos métodos de mezclado

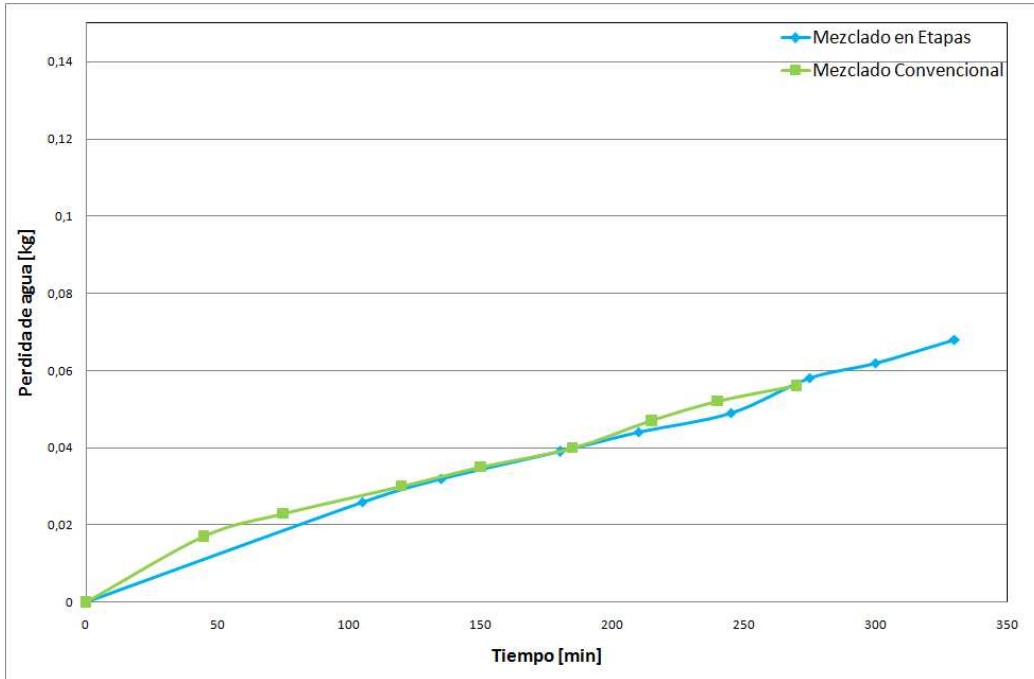


Figura Nº A3.7 Tasa de evaporación de la serie PP30G-1 para ambos métodos de mezclado

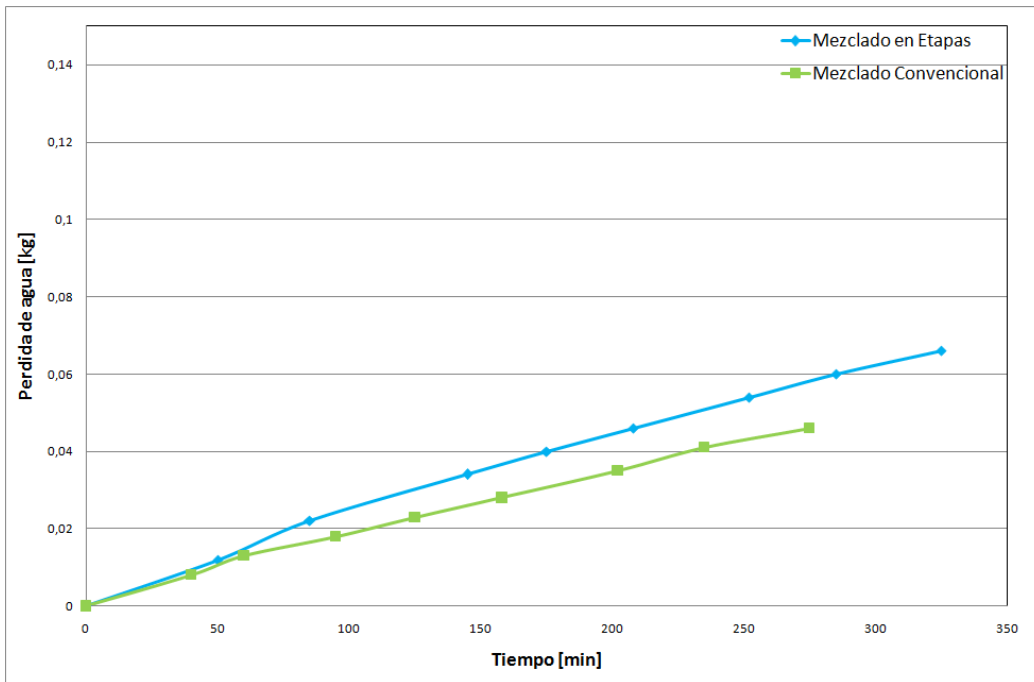
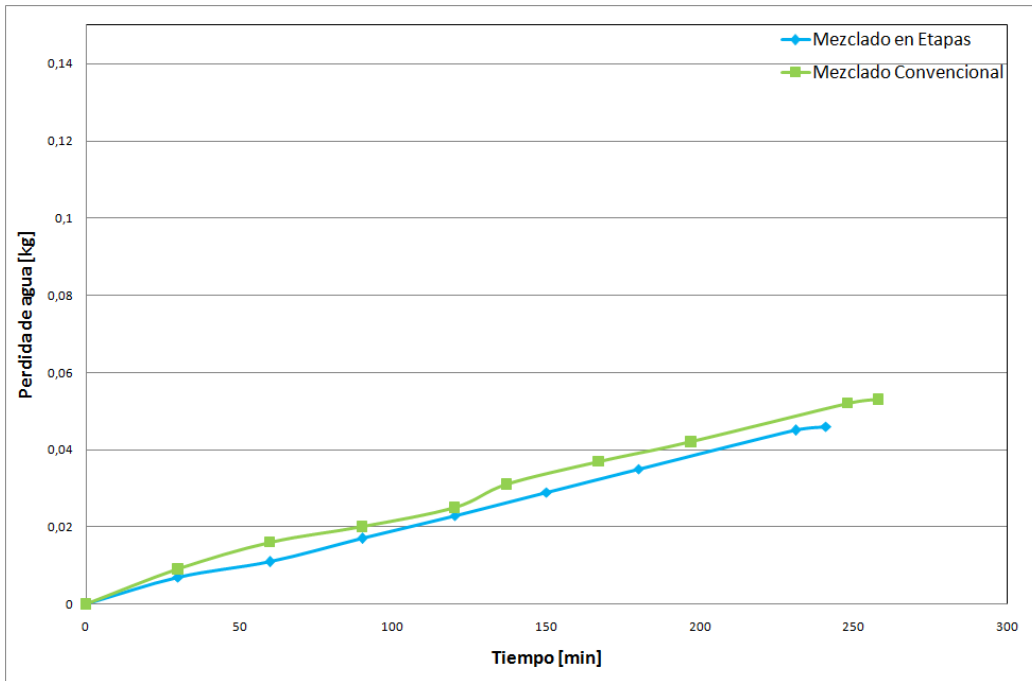
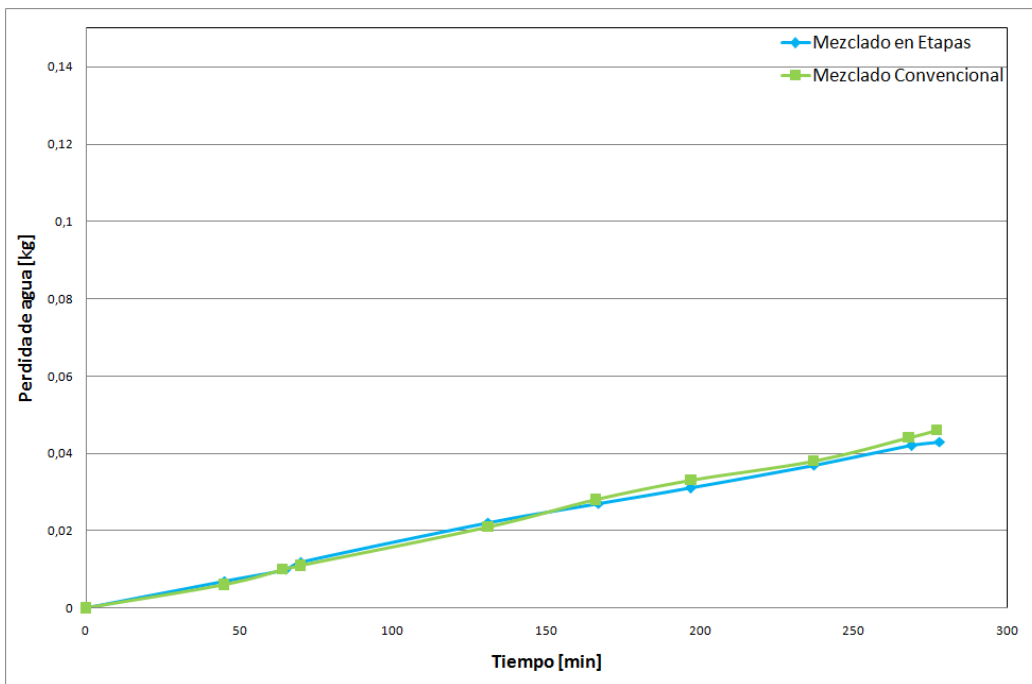


Figura Nº A3.8 Tasa de evaporación de la serie PP30G-2 para ambos métodos de mezclado



**Figura N° A3.9** Tasa de evaporación de la serie PPAR-1 para ambos métodos de mezclado



**Figura N° A3.10** Tasa de evaporación de la serie PPAR-2 para ambos métodos de mezclado

## **ANEXO 3. PLANILLAS DE ENSAYO**

# Ensayo PP15F-1

Hora de Inicio: 19:15 hrs

Hora de Termino: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 22,1 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]
22.9
23.1
21.8
21.1

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine =	[cm2/g]
----------	---------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	13	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.4	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.38	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[Its]

Peso del hormigón =	19.05	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[Its]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	483	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	592	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	612	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.19	150x150	1087		483.1	
28 (Probeta 1)	8.23	150x151	1341		592.1	
28 (probeta 2)	8.21	151x150	1386		611.9	

Hora de Inicio de Fraguado =	4:00	[hh:mm]
------------------------------	------	---------

Inicio de Fraguado =		[hh:mm]
----------------------	--	---------

Hora de Termino de Fraguado =	5:17	[hh:mm]
-------------------------------	------	---------

Termino de Fraguado =		[hh:mm]
-----------------------	--	---------

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN CONVENCIONAL

T°pues de tamizado = - [°C]

EXTERNO

Medición	Hora [hh:mm]	Δ Min [hh:mm]	Δ Hora [hh:mm]	T° Ambiente [°C]	Aguja N°	Lectura 1 (N)	Resistencia (MPa)	Promedio
1	19:15	0	0	-	14	0	0	
2	21:55	160	160	-	14	5	0.3	
3	22:32	37	197	-	14	25	1.3	
4	22:50	18	215	-	14	35	1.8	
5	23:10	20	235	-	9	24	3.0	
6	23:40	30	265	-	4	13	8.1	
7	0:10	30	295	-	4	28	17.5	
8	0:30	20	315	-	4	38	23.8	
9	0:45	15	330	-	4	49	30.6	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora [hh:mm]	Δ Min [hh:mm]	Δ Hora [hh:mm]	T° Ambiente [°C]	Aguja N°	Lectura 1 (N)	Resistencia (MPa)	Promedio
1	19:15	0	0	-	14	0	0	
2	21:55	160	160	-	14	10	0.5	
3	22:32	37	197	-	14	23	1.2	
4	22:50	18	215	-	14	30	1.5	
5	23:10	20	235	-	9	26	3.2	
6	23:40	30	265	-	4	16	10.0	
7	0:10	30	295	-	4	22	13.8	
8	0:30	20	315	-	4	43	26.9	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	1.94	102x101	507		492.1	
28	1.97	101x102	622		603.8	



# Ensayo PP15F-1

Hora de Inicio: 17:45 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 22,1 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
22.9  
23.1  
21.8  
20.1

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	8.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.4	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.38	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.89	[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	19.12	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Peso del hormigón =	5.51	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	491	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	635	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	605	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.24	151x150	1111		490.5	
28 (Probeta 1)	8.24	151x151	1447		634.6	
28 (probeta 2)	8.24	151x151	1380		605.2	

Hora de Inicio de Fraguado = 2:24 [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = 4:28 [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [hh:mm]



ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T° pues de tamizado = - [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:00	0	0	-	14	0	0	
2	20:25	145	145	-	14	20	1.0	
3	21:05	40	185	-	14	48	2.4	
4	22:10	65	250	-	4	30	18.8	
5	22:27	17	267	-	4	45	28.1	
6				-				
7				-				
8		4:27						
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:00	0	0	-	14	0	0	
2	20:25	145	145	-	14	5	0.3	
3	21:05	40	185	-	14	38	1.9	
4	21:25	20	205	-	14	56	2.9	
5	22:10	45	250	-	4	24	15.0	
6	22:27	17	267	-	4	43	26.9	
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]



# Ensayo PP15F-2

Hora de Inicio: 18:45 hrs

Hora de Terminó: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 22,6 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 47 %

HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
21.5  
20.4  
21.4  
21.3

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	13	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[Its]

% de Aire		
% de Aire =	1.5	%

Peso del hormigón =	19.06	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.38	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[Its]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	448	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	590	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	566	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.12	150x150	1008		448.0	
28 (Probeta 1)	8.15	152x149	1345		589.9	
28 (probeta 2)	8.17	150x149	1290		565.8	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN CONVENCIONAL

T° pues de tamizado = - [°C]

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:45	0	0	-	14	0	0	
2	21:55	190	190	-	14	7	0.4	
3	22:25	30	220	-	14	39	2.0	
4	22:45	20	240	-	9	20	2.5	
5	23:05	20	260	-	9	43	5.3	
6	23:47	42	302	-	4	28	17.5	
7	0:00	13	315	-	4	43	26.9	
8	0:10	10	325	-	4	43	26.9	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:45	0	0	-	14	0	0	
2	21:55	190	190	-	14	4	0.2	
3	22:25	30	220	-	14	38	1.9	
4	22:45	20	240	-	9	20	2.5	
5	23:05	20	260	-	9	31	3.8	
6	23:47	42	302	-	4	19	11.9	
7	0:00	13	315	-	4	35	21.9	
8	0:10	10	325	-	4	40	25.0	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.9	99x100	632		638.4	
28	1.84	96x96	564		569.7	



# Ensayo PP15F-2

Hora de Inicio: 17:30 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
21.5  
20.4  
21.4  
21.8

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	11	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

% de Aire		
% de Aire =	1.4	%

Peso del hormigón =	19	[kgf]
---------------------	----	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.37	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.87	[kgf/m3]

Peso del hormigón =	5.46	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	480	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	586	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	566	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.09	150x150	1081		480.4	
28 (Probeta 1)	8.11	150x149	1337		586.4	
28 (probeta 2)	8.11	150x149	1290		565.8	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T° pues de tamizado =                      -                      [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:45	0	0	-	14	0	0	
2	20:20	155	155	-	14	13	0.7	
3	20:55	35	190	-	14	45	2.3	
4	21:05	10	200	-	14	51	2.6	
5	21:10	5	205	-	9	20	2.5	
6	21:23	13	218	-	9	47	5.8	
7	21:48	25	243	-	9	62	7.7	
8	22:30	42	285	-	4	46	28.8	
9	22:50	20	305	-	4	52	32.5	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:45	0	0	-	14	0	0	
2	20:20	155	155	-	14	9	0.5	
3	20:55	35	190	-	14	25	1.3	
4	21:05	10	200	-	14	35	1.8	
5	21:10	5	205	-	9	9	1.1	
6	21:23	13	218	-	9	14	1.7	
7	21:48	25	243	-	9	47	5.8	
8	22:30	42	285	-	4	24	15.0	
9	22:50	20	305	-	4	43	26.9	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión =                      [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión =                      [kgf/cm2]





# Ensayo PP30F-1

Hora de Inicio: 18:25 hrs

Hora de Termino: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 22,9 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 45 %

HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
20.8  
23.1  
21  
20.2

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	6.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.9	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.34	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	18.78	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[lts]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	373	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	473	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	427	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.02	151x150	845		373.1	
28 (Probeta 1)	8.05	149x149	1049		472.5	
28 (probeta 2)	8	149x149	947		426.6	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Termino de Fraguado = [hh:mm]

Termino de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 21.8 [°C]

HORMIGÓN CONVENCIONAL

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:25	0	0	-	14	0	0	
2	21:17	172	172	-	14	4	0.2	
3	21:31	14	186	-	14	10	0.5	
4	22:00	29	215	-	14	38	1.9	
5	22:15	15	230	-	9	35	4.3	
6	22:30	15	245	-	9	28	3.5	
7	22:55	25	270	-	4	19	11.9	
8	23:20	25	295	-	4	35	21.9	
9	23:40	20	315	-	4	45	28.1	
10	0:10	30	345	-	4	53	33.1	
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:25	0	0	-	14	0	0	
2	21:17	172	172	-	14	9	0.5	
3	21:31	14	186	-	14	11	0.6	
4	22:00	29	215	-	14	32	1.6	
5	22:15	15	230	-	9	32	4.0	
6	22:30	15	245	-	9	21	2.6	
7	22:55	25	270	-	4	14	8.8	
8	23:20	25	295	-	4	28	17.5	
9	23:40	20	315	-	4	29	18.1	
10	0:10	30	345	-	4	46	28.8	
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.87	100x101	354		350.5	
28	1.89	99x100	308		311.1	



# Ensayo PP30F-1

Hora de Inicio: 17:10

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 22,8 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 46 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
20.8  
23.1  
21  
20.4

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	5.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.6	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.35	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.86	[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	18.88	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Peso del hormigón =	5.43	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	380	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	434	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	396	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.07	151x150	860		379.7	
28 (Probeta 1)	8.16	150x149	984		434.4	
28 (probeta 2)	8.19	150x150	898		396.5	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 23.8 [°C]

HORMIGÓN EN ETAPAS

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:25	0	0	-	14	0	0	
2	20:11	166	166	-	14	21	1.1	
3	20:43	32	198	-	14	54	2.8	
4	20:45	2	200	-	9	25	3.1	
5	21:00	15	215	-	9	38	4.7	
6	21:35	35	250	-	4	24	15.0	
7	22:15	40	290	-	4	53	33.1	
8	22:25	10	300	-	4	45	28.1	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:25	0	0	-	14	0	0	
2	20:11	166	166	-	14	19	1.0	
3	20:43	32	198	-	14	42	2.1	
4	20:45	2	200	-	9	19	2.3	
5	21:00	15	215	-	9	26	3.2	
6	21:35	35	250	-	4	26	16.3	
7	22:15	40	290	-	4	35	21.9	
8	22:25	10	300	-	4	44	27.5	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]



# Ensayo PP30F-2

Hora de Inicio: 17:20 hrs

Hora de Terminó: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,2 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 50 %

HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]
20.8
21.4
20.4
20.3

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine =	[cm2/g]
----------	---------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	9.5	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

% de Aire		
% de Aire =	1.5	%

Peso del hormigón =	18.81	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.35	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	364	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	441	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	445	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.06	151x150	824		363.8	
28 (Probeta 1)	8.11	149x149	978		440.5	
28 (probeta 2)	8.13	149x150	994		444.7	

Hora de Inicio de Fraguado =	[hh:mm]
------------------------------	---------

Inicio de Fraguado =	[hh:mm]
----------------------	---------

Hora de Terminó de Fraguado =	[hh:mm]
-------------------------------	---------

Terminó de Fraguado =	[hh:mm]
-----------------------	---------

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN CONVENCIONAL

T° pues de tamizado = - [°C]

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:35	0	0	-	14	0	0	
2	20:30	175	175	-	14	5	0.3	
3	21:10	40	215	-	14	13	0.7	
4	21:45	35	250	-	14	44	2.2	
5	22:00	15	265	-	14	62	3.2	
6	22:45	45	310	-	4	25	15.6	
7	23:00	15	325	-	4	27	16.9	
8	23:15	15	340	-	4	38	23.8	
9	23:30	15	355	-	4	55	34.4	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:35	0	0	-	14	0	0	
2	20:30	175	175	-	14	0	0.0	
3	21:10	40	215	-	14	13	0.7	
4	21:45	35	250	-	14	44	2.2	
5	22:00	15	265	-	14	55	2.8	
6	22:45	45	310	-	4	19	11.9	
7	23:00	15	325	-	4	25	15.6	
8	23:15	15	340	-	4	30	18.8	
9	23:30	15	355	-	4	38	23.8	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.86	101x99	338		338.0	
28	1.86	99x100	316		319.2	





# Ensayo PP30F-2

Hora de Inicio: 16:05 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,3 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 49 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
20.8  
21.4  
20.4  
20.8

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	9.5	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

% de Aire		
% de Aire =	1.7	%

Peso del hormigón =	18.82	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.35	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.84	[kgf/m3]

Peso del hormigón =	5.36	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	368	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	419	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	424	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.12	150x150	829		368.4	
28 (Probeta 1)	8.1	149x149	931		419.4	
28 (probeta 2)	8.11	149x149	942		424.3	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T° pues de tamizado = - [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:05	0	0	-	14	0	0	
2	19:35	210	210	-	14	35	1.8	
3	19:50	15	225	-	14	54	2.8	
4	20:30	40	265	-	4	18	11.3	
5	20:45	15	280	-	4	35	21.9	
6	21:00	15	295	-	4	30	18.8	
7	21:15	15	310	-	4	39	24.4	
8	21:25	10	320	-	4	40	25.0	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:05	0	0	-	14	0	0	
2	19:35	210	210	-	14	29	1.5	
3	19:50	15	225	-	14	52	2.7	
4	20:30	40	265	-	4	19	11.9	
5	20:45	15	280	-	4	26	16.3	
6	21:00	15	295	-	4	25	15.6	
7	21:15	15	310	-	4	37	23.1	
8	21:25	10	320	-	4	51	31.9	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]



# Ensayo PP15G-1

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,4 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Inicio): 56 %

Hora de Inicio: 17:55 hrs

Hora de Termino: -

Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
 21.3  
 22.3  
 20.7  
 20.1

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams  
 Cono = 16 [cm]

% de Aire  
 % de Aire = 1.0 %

Densidad Aparente  
 D.A. = 2.39 [tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento  
 D.A. = [kgf/m3]

Dimensiones del Equipo  
 Volumen = 8.02 [lts]

Peso del hormigón = 19.2 [kgf]

Dimensiones del Equipo  
 Volumen = [lts]

Peso del hormigón = [kgf]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	530	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	625	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	626	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.21	150x149	1185		530.2	
28 (Probeta 1)	8.19	150x150	1407		625.3	
28 (probeta 2)	8.22	150x149	1399		626.0	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Termino de Fraguado = [hh:mm]

Termino de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN CONVENCIONAL

T°pues de tamizado =      -      [°C]

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:10	0	0	-	14	0	0	
2	20:40	150	150	24.1	14	1	0.1	
3	21:10	30	180	24.8	14	15	0.8	
4	21:40	30	210	24.6	14	36	1.8	
5	22:05	25	235	24.9	9	35	4.3	
6	22:50	45	280	24.6	4	30	18.8	
7	23:00	10	290	24.5	4	39	24.4	
8	23:05	5	295	24.7	4	40	25.0	
9								
10								
11				-				
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:10	0	0	-	-	0		
2	21:10	180	180	24.8	14	15	0.8	
3	21:40	30	210	24.6	14	38	1.9	
4	22:05	25	235	24.9	9	39	4.8	
5	22:50	45	280	24.6	4	30	18.8	
6	23:00	10	290	24.5	4	42	26.3	
7	23:05	5	295	24.7	4	45	28.1	
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.9	100x100	559		559.0	
28	1.96	100x99	688		694.9	



# Ensayo PP15G-1

Hora de Inicio: 16:45 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,4 ºC  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 56 %

Hora de Termino:  
Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC  
HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

DOSIFICACIÓN				HORMIGÓN ETAPAS		
	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis	Temperatura [ºC]
Cemento						21.3
Gravilla						22.3
Arena 1						20.7
Agua libre						20.8
Agua total						
INFORMACIÓN DEL CEMENTO						
Blaine =		[cm2/g]				
ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO						
Ensayo de cono de Abrams			Dimensiones del Equipo			
Cono =	15	[cm]	Volumen =	8.02	[Its]	
% de Aire			Peso del hormigón =			
% de Aire =	1.2	%	18.94	[kgf]		
Densidad Aparente			Dimensiones del Equipo			
D.A. =	2.36	[tonf/m3]	Volumen =	2.92	[Its]	
Densidad Aparente de la Pasta de Cemento			Peso del hormigón =			
D.A. =	1.91	[kgf/m3]	5.58	[kgf]		
ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO						
						Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =				522	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=				587	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=				602	[kgf/cm2]	3
Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.14	150x149	1166		521.7	
28 (Probeta 1)	8.19	150x149	1312		587.0	
28 (probeta 2)	8.21	150x151	1346		602.2	
Hora de Inicio de Fraguado =			[hh:mm]	Inicio de Fraguado =		
Hora de Termino de Fraguado =			[hh:mm]	Termino de Fraguado =		
			[hh:mm]			



ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T°pues de tamizado =      -      [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:45	0	0	-	14	0	0	
2	19:35	170	170	24	14	6	0.3	
3	20:05	30	200	24.5	14	24	1.2	
4	20:35	30	230	24	9	37	4.6	
5	21:45	70	300	24.6	4	29	18.1	
6	22:00	15	315	24.7	4	52	32.5	
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:45	0	0	-	14	0	0	
2	19:35	170	170	-	14	1	0.1	
3	20:05	30	200	-	14	35	1.8	
4	20:40	35	235	-	9	30	3.7	
5	21:45	65	300	-	4	40	25.0	
6	22:00	15	315	-	4	60	37.5	
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión =      [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión =      [kgf/cm2]



# Ensayo PP15G-2

Hora de Inicio: 16:40 hrs

Hora de Terminó: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 55 %

HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºc]
21.1
22.1
19.4
21.4

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine =	[cm2/g]
----------	---------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	18	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[Its]

% de Aire		
% de Aire =	1.3	%

Peso del hormigón =	19.12	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.38	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[Its]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	489	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	570	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	559	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.2	151x150	1107		488.7	
28 (Probeta 1)	8.18	149x149	1299		569.7	564.2296391
28 (probeta 2)	8.21	152x151	1274		558.7	

Hora de Inicio de Fraguado =	[hh:mm]
------------------------------	---------

Inicio de Fraguado =	[hh:mm]
----------------------	---------

Hora de Terminó de Fraguado =	[hh:mm]
-------------------------------	---------

Terminó de Fraguado =	[hh:mm]
-----------------------	---------

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = - [°C]

HORMIGÓN CONVENCIONAL

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:55	0	0	-	14	0	0	
2	20:05	130	130	22	14	4	0.2	
3	20:35	30	160	21.9	14	27	1.4	
4	21:00	25	185	22.1	14	35	1.8	
5	21:10	10	195	22.5	14	56	2.9	
6	21:40	30	225	21.8	4	18	11.3	
7	21:55	15	240	22.1	4	25	15.6	
8	22:10	15	255	22	4	28	17.5	
9	22:25	15	270	21.5	4	35	21.9	
10	22:35	10	280	21	4	45	28.1	
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:55	0	0	-	14	0	0	
2	20:05	130	130	22	14	10	0.5	
3	20:35	30	160	21.9	14	22	1.1	
4	21:00	25	185	22.1	14	47	2.4	
5	21:10	10	195	22.5	14	55	2.8	
6	21:40	30	225	21.8	4	12	7.5	
7	21:55	15	240	22.1	4	25	15.6	
8	22:10	15	255	22	4	33	20.6	
9	22:25	15	270	21.5	4	40	25.0	
10	22:35	10	280	21	4	48	30.0	
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.93	101x100	546		540.6	
28	1.95	99x99	600		612.2	



# Ensayo PP15G-2

Hora de Inicio: 15:05 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
21.1  
22.1  
19.4  
18.4

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	16.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.2	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.39	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.91	[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	19.16	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Peso del hormigón =	5.57	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	488	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	553	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	548	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.16	151x151	1112		487.7	
28 (Probeta 1)	8.2	149x152	1260		552.6	
28 (probeta 2)	8.19	150x150	1249		547.8	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T° pues de tamizado =                      -                      [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	15:20	0	0	-	14	0	0	
2	18:00	160	160	21.2	14	0	0.0	
3	18:40	40	200	21.3	14	15	0.8	
4	19:10	30	230	21.1	14	48	2.4	
5	19:25	15	245	21.5	14	58	3.0	
6	19:30	5	250	21.7	9	27	3.3	
7	19:50	20	270	21.9	9	40	4.9	
8	20:35	45	315	22	4	36	22.5	
9	20:55	20	335	22	4	49	30.6	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	15:20	0	0	-	14	0	0	
2	18:40	200	200	21.3	14	15	0.8	
3	19:10	30	230	21.1	14	35	1.8	
4	19:25	15	245	21.5	14	45	2.3	
5	19:30	5	250	21.7	9	22	2.7	
6	19:50	20	270	21.9	9	48	5.9	
7	20:35	45	315	22	4	22	13.8	
8	20:55	20	335	22	4	46	28.8	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión =                      [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión =                      [kgf/cm2]





# Ensayo PP30G-1

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

Hora de Inicio: 17:55 hrs

Hora de Termino: 18:15 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
 21.7  
 22.6  
 21.6  
 20.3

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	13	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.3	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.37	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	19.01	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[lts]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	364	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	482	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	484	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.18	150x151	824		364	
28 (Probeta 1)	8.18	152x150	1098		482	
28 (probeta 2)	8.18	152x151	1111		484	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Termino de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Termino de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 24.3 [°C]

HORMIGÓN CONVENCIONAL

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:55	0	0	-	14	0	0	
2	21:05	190	190	-	14	9	0.5	
3	21:35	30	220	-	14	25	1.3	
4	21:50	15	235	-	14	60	3.1	
5	22:00	10	245	-	14	54	2.8	
6	22:30	30	275	-	4	18	11.3	
7	23:10	40	315	-	4	29	18.1	
8	23:15	5	320	-	4	33	20.6	
9	23:20	5	325	-	4	37	23.1	
10	23:30	10	335	-	4	48	30.0	
11				-				
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:55	0	0	-	14	0	0	
2	21:05	190	190	-	14	8	0.4	
3	21:35	30	220	-	14	45	2.3	
4	21:50	15	235	-	14	45	2.3	
5	22:00	10	245	-	14	48	2.4	
6	22:10	10	255	-	4	12	7.5	
7	22:30	20	275	-	4	15	9.4	
8	23:10	40	315	-	4	19	11.9	
9	23:15	5	320	-	4	32	20.0	
10	23:20	5	325	-	4	35	21.9	
11	23:30	10	335	-	4	44	27.5	
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.92	100x101	436		432	
28	1.93	99x100	572		578	



# Ensayo PP30G-1

Hora de Inicio: 16:45 hrs

30%P - 4600 Blaine

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 52 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
21.7  
22.6  
21.6  
21.1

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	11	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

% de Aire		
% de Aire =	0.7	%

Peso del hormigón =	18.97	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.37	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.91	[kgf/m3]

Peso del hormigón =	5.57	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	360	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	502	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	501	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.09	150x150	809		360	
28 (Probeta 1)	8.15	149x149	1114		502	
28 (probeta 2)	8.1	150x150	1127		501	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 24.3 [°C]

HORMIGÓN EN ETAPAS

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]					
1	17:00	0	0	-	14	0	0	
2	19:25	145	145	-	14	0	0.0	
3	20:00	35	180	-	14	11	0.6	
4	20:30	30	210	-	14	35	1.8	
5	21:05	35	245	-	14	70	3.6	
6	21:30	25	270	-	4	23	14.4	
7	21:55	25	295	-	4	42	26.3	
8	22:00	5	300	-	4	44	27.5	
9	22:10	10	310	-	4	45	28.1	
10	22:15	5	315	-	4	48	30.0	
11	22:15	0	315	-	4	48	30.0	
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]					
1	17:00	0	0	-	14	0	0	
2	19:25	145	145	-	14	1	0.1	
3	20:00	35	180	-	14	10	0.5	
4	20:30	30	210	-	14	29	1.5	
5	21:30	60	270	-	4	21	13.1	
6	21:55	25	295	-	4	37	23.1	
7	22:00	5	300	-	4	35	21.9	
8	22:10	10	310	-	4	39	24.4	
9	22:15	5	315	-	4	43	26.9	
10	22:15	0	315	-	4	43	26.9	
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]



# Ensayo PP30G-2

Hora de Inicio: 17:45 hrs

Hora de Terminó: -

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,3 ºC

Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 49 %

HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
24  
19.9  
20.2  
20.3

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	17	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

% de Aire		
% de Aire =	1.2	%

Peso del hormigón =	18.89	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.36	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	377	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	525	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	537	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo [días]	Peso [kgf]	Dimensiones [mm]	Carga Máxima [kgf]	Densidad [kg/m3]	Resistencia [kgf/cm2]	Promedio [kgf/cm2]
7	8.12	150x149	843		377.2	
28 (Probeta 1)	8.14	151x149	1182		525.4	
28 (probeta 2)	8.12	149x150	1201		537.4	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN CONVENCIONAL

T° pues de tamizado = - [°C]

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:45	0	0	-	14	0	0	
2	20:33	168	168	23.2	14	2	0.1	
3	21:15	42	210	23.4	14	17	0.9	
4	21:45	30	240	23.1	14	48	2.4	
5	22:05	20	260	23.2	9	35	4.3	
6	22:30	25	285	23.3	9	63	7.8	
7	23:00	30	315	23.1	4	35	21.9	
8	23:10	10	325	23	4	47	29.4	
9								
10								
11				-				
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	17:55	0	0	-	-	0		
2	21:15	200	200	23.4	14	15	0.8	
3	21:45	30	230	23.1	14	50	2.6	
4	22:05	20	250	23.2	9	33	4.1	
5	22:30	25	275	23.3	9	65	8.0	
6	23:00	30	305	23.1	4	40	25.0	
7	23:10	10	315	23	4	43	26.9	
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.8	100x100	403		403	
28	1.94	101x100	583		577	





# Ensayo PP30G-2

Hora de Inicio: 16:20 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 21,4 °C  
HR Laboratorio (Hora de Inicio): 57 %

Hora de Terminó:  
Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - °C  
HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN ETAPAS

Temperatura [°C]  
24  
19.9  
20.2  
20.9

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams  
Cono = 12 [cm]

Dimensiones del Equipo  
Volumen = 8.02 [lts]

% de Aire  
% de Aire = 1.2 %

Peso del hormigón = 19.06 [kgf]

Densidad Aparente  
D.A. = 2.38 [tonf/m3]

Dimensiones del Equipo  
Volumen = 2.92 [lts]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento  
D.A. = 1.89 [kgf/m3]

Peso del hormigón = 5.51 [kgf]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	383	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	543	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	521	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.16	150x150	861		382.7	
28 (Probeta 1)	8.18	149x149	1206		543.2	
28 (probeta 2)	8.17	151x149	1173		521.4	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Terminó de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 21.6 [°C]

HORMIGÓN EN ETAPAS

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:35	0	0	-	14	0	0	
2	19:36	181	181	23.7	14	12	0.6	
3	20:08	32	213	23.5	14	38	1.9	
4	20:28	20	233	23.2	9	26	3.2	
5	21:15	47	280	23.2	4	25	15.6	
6	21:30	15	295	23.2	4	33	20.6	
7	21:45	15	310	23.1	4	39	24.4	
8	21:50	5	315	23.1	4	42	26.3	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:35	0	0	-	14	0	0	
2	19:37	182	182	-	14	18	0.9	
3	20:09	32	214	-	14	44	2.2	
4	20:26	17	231	-	9	35	4.3	
5	21:15	49	280	-	4	32	20.0	
6	21:30	15	295	-	4	34	21.3	
7	21:45	15	310	-	4	44	27.5	
8	21:50	5	315	-	4	59	36.9	
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]



# Ensayo PPAR-1

Hora de Inicio: 19:55 hrs

Melón Extra

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 ºC

Hora de Termino: 20:25 hrs

Tº Laboratorio (Hora de Termino): 20,2 ºC

HR Laboratorio (Hora de Inicio): 69 %

HR Laboratorio (Hora de Termino): 69 %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
19  
19.5  
18.9  
21.3

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [ ] [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	14	[cm]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[Its]

% de Aire		
% de Aire =	1.1	%

Peso del hormigón =	19.18	[kgf]
---------------------	-------	-------

Densidad Aparente		
D.A. =	2.39	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =		[Its]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =		[kgf/m3]

Peso del hormigón =		[kgf]
---------------------	--	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	478.6	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	571.4661638	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	541.3333333	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.07	150x151	1084		478.6	
28 (Probeta 1)	8.13	151x151	1303		571.5	
28 (probeta 2)	8.07	150x150	1218		541.3	

Hora de Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Hora de Termino de Fraguado = [ ] [hh:mm]

Termino de Fraguado = [ ] [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 21.4 [°C]

HORMIGÓN CONVENCIONAL

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	19:55	0	0	23	14	0	0	
2	22:14	139	139	22.8	14	0	0	
3	23:10	56	195	23.3	14	8	0.4	
4	23:40	30	225	23.5	14	22	1.1	
5	0:21	41	266	22.9	14	64	3.3	
6	1:04	43	309	23.1	4	19	11.9	
7	1:20	16	325	22.9	4	35	21.9	
8	1:31	11	336	23.3	4	43	26.9	
9	1:37	6	342	23.5	4	44	27.5	
10	1:42	5	347	23.3	4	57	35.6	
11								
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	19:55	0	0	2	14	0	0	
2	21:33	98	98	22.8	14	0	0.0	
3	22:03	30	128	22.8	14	0	0.0	
4	23:07	4	132	23.4	14	5	0.3	
5	23:37	30	162	23.8	14	17	0.9	
6	0:07	30	192	23.3	14	44	2.2	
7	0:20	17	209	23	14	52	2.7	
8	0:23	3	212	23.2	14	62	3.2	
9	1:05	42	254	23	4	19	11.9	
10	1:21	16	270	22.9	4	28	17.5	
11	1:30	9	279	23.3	4	39	24.4	
12	1:35	5	284	23.5	4	35	21.875	
13	1:40	5	289	23.4	4	40	25	
14	1:44	4	293	23.2	4	42	26.25	
15								

PROMEDIO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	19:55	0	0	2	14	0	0	
2	21:33	98	98	22.8	14	0	0.0	
3	22:03	30	128	22.8	14	0	0.0	
4	23:07	4	132	23.4	14	5	0.3	
5	23:37	30	162	23.8	14	17	0.9	
6	0:07	30	192	23.3	14	44	2.2	
7	0:20	17	209	23	14	52	2.7	
8	0:23	3	212	23.2	14	62	3.2	
9	1:05	42	254	23	4	19	11.9	
10	1:21	16	270	22.9	4	28	17.5	
11	1:30	9	279	23.3	4	39	24.4	
12	1:35	5	284	23.5	4	35	21.875	
13	1:40	5	289	23.4	4	40	25	
14	1:44	4	293	23.2	4	42	26.25	
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.89	100x99	524		529.3	
28	1.9	99x98	498		513.3	



# Ensayo PPAR-1

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,1 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Inicio): 67 %

Hora de Inicio: 18:30 hrs  
 Hora de Termino: 19:30 hrs  
 Tº Laboratorio (Hora de Termino): 20,1 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Termino): 68 %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN EN ETAPAS

Temperatura [ºC]  
 19  
 19.5  
 18.9  
 22.4

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	8.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.3	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.40	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.90	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[lts]

Peso del hormigón =	19.25	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[lts]

Peso del hormigón =	5.538	[kgf]
---------------------	-------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	520.9	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	575.2759382	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	578.6666667	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.2	150x150	1172		520.9	
28 (Probeta 1)	8.26	151x151	1303		575.3	
28 (probeta 2)	8.25	150x150	1302		578.7	

Hora de Inicio de Fraguado =		[hh:mm]
------------------------------	--	---------

Inicio de Fraguado =		[hh:mm]
----------------------	--	---------

Hora de Termino de Fraguado =		[hh:mm]
-------------------------------	--	---------

Termino de Fraguado =		[hh:mm]
-----------------------	--	---------



ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T° pues de tamizado = [ ] [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:45	0	0	23	14	0	0	
2	21:32	167	167	22.8	14	9	0.5	
3	22:02	30	197	23.2	14	19	1.0	
4	22:32	30	227	23.2	14	46	2.3	
5	22:42	10	237	23	14	52	2.7	
6	22:47	5	242	23.1	14	64	3.3	
7	23:35	48	290	23	4	34	21.3	
8	0:05	30	320	23	4	36	22.5	
9	0:12	7	327	23.4	4	42	26.3	
10	0:15	3	330	23	4	55	34.4	
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:45	0	0	23.1	14	0	0	
2	21:42	177	177	22.8	14	9	0.5	
3	22:12	30	207	23.1	14	35	1.8	
4	22:35	23	230	23.2	14	45	2.3	
5	22:44	9	239	23	14	59	3.0	
6	22:48	4	243	23.1	14	51	2.6	
7	23:30	42	285	23	4	18	11.3	
8	0:00	30	315	23.2	4	40	25.0	
9	0:14	14	329	23.2	4	51	31.9	
10	0:16	2	331	23.3	4	50	31.3	
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:45	0	0	23.1	14	0	0	
2	21:42	177	177	22.8	14	9	0.5	
3	22:12	30	207	23.1	14	35	1.8	
4	22:35	23	230	23.2	14	45	2.3	
5	22:44	9	239	23	14	59	3.0	
6	22:48	4	243	23.1	14	51	2.6	
7	23:30	42	285	23	4	18	11.3	
8	0:00	30	315	23.2	4	40	25.0	
9	0:14	14	329	23.2	4	51	31.9	
10	0:16	2	331	23.3	4	50	31.3	
11								
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [ ] [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [ ] [kgf/cm2]



# Ensayo PPAR-2

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,7 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Inicio): 54 %

Hora de Inicio: 16:25 hrs

Hora de Termino:  
 Tº Laboratorio (Hora de Termino): - ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Termino): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN CONVENCIONAL

Temperatura [ºC]  
 21.1  
 19.3  
 19.9  
 21.5

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

Blaine = [cm2/g]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams  
 Cono = 12 [cm]

% de Aire  
 % de Aire = 1.3 %

Densidad Aparente  
 D.A. = 2.38 [tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento  
 D.A. = [kgf/m3]

Dimensiones del Equipo  
 Volumen = 8.02 [lts]

Peso del hormigón = 19.12 [kgf]

Dimensiones del Equipo  
 Volumen = [lts]

Peso del hormigón = [kgf]

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	478.2	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	608.8	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	568.0	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.17	150x150	1076		478.2	
28 (Probeta 1)	8.14	150x151	1379		608.8	
28 (probeta 2)	8.16	151x151	1295		568.0	

Hora de Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Hora de Termino de Fraguado = [hh:mm]

Inicio de Fraguado = [hh:mm]

Termino de Fraguado = [hh:mm]

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

T° pues de tamizado = 21.7 °C

HORMIGÓN CONVENCIONAL

EXTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:45	0	0	-	14	0	0	
2	19:37	172	172	24.2	14	3	0.2	
3	20:12	35	207	22	14	15	0.8	
4	20:41	29	236	23.3	14	38	1.9	
5	20:58	17	253	23	14	45	2.3	
6	21:15	17	270	22.9	14	65	3.3	
7	21:58	43	313	22.6	4	34	21.3	
8	22:08	10	323	22.7	4	34	21.3	
9	22:17	9	332	23.2	4	41	25.6	
10	22:18	1	333	22.9	4	40	25.0	
11	22:27	9	342	22.7	4	45	28.1	
12								
13								
14								
15								

INTERNO

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	16:45	0	0	-	14	0	0	
2	19:39	174	174	24.2	14	3	0.2	
3	20:09	30	204	22	14	14	0.7	
4	20:43	34	238	23	14	35	1.8	
5	21:00	17	255	22.9	14	52	2.7	
6	21:15	15	270	22.9	14	63	3.2	
7	21:58	43	313	22.6	4	31	19.4	
8	22:08	10	323	22.7	4	36	22.5	
9	22:17	9	332	23.2	4	41	25.6	
10	22:19	2	334	23	4	40	25.0	
11	22:30	11	345	23	4	46	28.8	
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	1.93	100x101	509		504.0	
28	1.94	100x101	580		574.3	



# Ensayo PPAR-2

Tº Laboratorio (Hora de Inicio): 20,9 ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Inicio): 54 %

Hora de Inicio: 18:07 hrs

Hora de Terminó: -  
 Tº Laboratorio (Hora de Terminó): - ºC  
 HR Laboratorio (Hora de Terminó): - %

## DOSIFICACIÓN

	1m3 (árido seco)	absorción	humedad	1m3 (húmedo)	dosis
Cemento					
Gravilla					
Arena 1					
Agua libre					
Agua total					

## HORMIGÓN EN ETAPAS

Temperatura [ºC]  
 19  
 19.5  
 18.9  
 20.9

## INFORMACIÓN DEL CEMENTO

## ENSAYOS DE HORMIGÓN FRESCO

Ensayo de cono de Abrams		
Cono =	8.5	[cm]

% de Aire		
% de Aire =	1.5	%

Densidad Aparente		
D.A. =	2.37	[tonf/m3]

Densidad Aparente de la Pasta de Cemento		
D.A. =	1.91	[tonf/m3]

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	8.02	[Its]

Peso del hormigón =	18.99	[kgf]
---------------------	-------	-------

Dimensiones del Equipo		
Volumen =	2.92	[Its]

Peso del hormigón =	5.57	[kgf]
---------------------	------	-------

## ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

			Nº de Probeta
Resistencia a la compresión a los 7 días =	492.3	[kgf/cm2]	1
Resistencia a la compresión a los 28 días (1)=	556.4	[kgf/cm2]	2
Resistencia a la compresión a los 28 días (2)=	545.4	[kgf/cm2]	3

Edad Ensayo	Peso	Dimensiones	Carga Máxima	Densidad	Resistencia	Promedio
[días]	[kgf]	[mm]	[kgf]	[kg/m3]	[kgf/cm2]	[kgf/cm2]
7	8.2	150x151	1115		492.3	
28 (Probeta 1)	8.19	151x152	1277		556.4	
28 (probeta 2)	8.32	151x153	1260		545.4	

Hora de Inicio de Fraguado =		[hh:mm]
------------------------------	--	---------

Inicio de Fraguado =		[hh:mm]
----------------------	--	---------

Hora de Terminó de Fraguado =		[hh:mm]
-------------------------------	--	---------

Termino de Fraguado =		[hh:mm]
-----------------------	--	---------

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

HORMIGÓN EN ETAPAS

T°pues de tamizado = 21.2 [°C]

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:21	0	0	-	14	0	0	
2	21:21	180	180	22.7	14	20	1.0	
3	21:51	30	210	22.2	14	35	1.8	
4	22:05	14	224	22.7	14	52	2.7	
5	22:22	17	241	22.8	14	56	2.9	
6	23:12	50	291	22.8	4	29	18.1	
7	23:25	13	304	22.4	4	37	23.1	
8	23:38	13	317	22.5	4	39	24.4	
9	23:45	7	324	23.3	4	40	25.0	
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Medición	Hora	Δ Min	Δ Hora	T° Ambiente	Aguja N°	Lectura 1	Resistencia	Promedio
	[hh:mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[°C]		(N)	(MPa)	
1	18:21	0	0	-	14	0	0	
2	21:21	180	180	22.7	14	7	0.4	
3	21:51	30	210	22.2	14	31	1.6	
4	22:05	14	224	22.7	14	38	1.9	
5	22:22	17	241	22.8	14	52	2.7	
6	22:25	3	244	22.5	14	56	2.9	
7	23:13	48	292	22.9	4	17	10.6	
8	23:24	11	303	22.4	4	27	16.9	
9	23:39	15	318	22.5	4	38	23.8	
10	23:46	7	325	23.2	4	40	25.0	
11	23:53	7	332	22.5	4	48	30.0	
12								
13								
14								
15								

ENSAYO DE PASTA DE CEMENTO

Resistencia a la compresión = [kgf/cm2]

Resistencia a la flexión = [kgf/cm2]

