

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

PRÁCTICA SUPERVISADA

*Correlación entre ensayos de penetración y calorimetría en
pasta de cemento en la determinación de tiempo de fragüe.*

Caracterización de áridos y dosificación de hormigones.

Quinteros Martín Leandro

Tutor: Ing. Irico Patricia

Supervisor Externo: Ing. Hector Gattavara

08/06/2018



LABORATORIO DE
ESTRUCTURAS

RESUMEN

Esta práctica supervisada se realizó en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba y tiene como objetivo la caracterización de áridos, de cementos, la dosificación de hormigones, y la correlación entre ensayos de penetración y calorimetría para determinar el tiempo de fragüe en pastas de cementos.

Se comienza con la caracterización de cementos. La misma puede ser química, física o mecánica, pero aquí se detallarán ensayos de densidad, finura, consistencia normal y tiempo de fragüe, propios de la caracterización física. Se ensayará un cemento dado por la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP) para participar junto a otros Laboratorios Argentinos del Interlaboratorio. Una vez obtenida la caracterización propia, se compara con los resultados generales.

Se aprovecha el capítulo de cementos, para introducirse a la correlación de ensayos de penetración (de normas IRAM) y de calorimetría para la determinación de tiempo de fraguado. Se realiza un plan de investigación, detallando los procedimientos, los materiales, las muestras empleadas y se ensayan cuatro tipos de cementos en búsqueda de la calibración del Calorímetro Semiadiabático del Laboratorio.

Más adelante se explicará el proceso de diseño de mezclas de hormigón. Se dará una base teórica siguiendo el reglamento CIRSOC 201-2005 utilizando materiales brindados por la empresa que solicita la dosificación. Los mismos materializarán tres mezclas con diferentes características. Se detalla desde la caracterización de los áridos, el diseño del pastón de prueba, ensayos en estado fresco y endurecido para asegurar el correcto diseño de la mezcla.

Además, se informan los procedimientos a seguir para la calibración del aparato de Blaine, utilizado para medir la finura del cemento portland y la calibración del aparato de Washington utilizado para la determinación de aire incorporado en los ensayos en estado fresco del hormigón.

INDICE

- CAPÍTULO 1 - CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS	4
1.1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.2 DEFINICIONES	4
1.2.1 <i>Cemento</i>	4
1.2.2 <i>Clinker de cemento pórtland</i>	4
1.2.3 <i>Cemento de uso general</i>	4
1.3 NORMA IRAM 50.000.....	5
1.3.1 <i>Requisitos físicos</i>	5
1.3.2 <i>Requisitos químicos</i>	5
1.3.3 <i>Requisitos mecánicos</i>	6
1.5 DENSIDAD	6
1.5.1 <i>Método de Ensayo</i>	6
1.5.2 <i>Instrumental</i>	6
1.5.3 <i>Procedimiento</i>	6
1.5.4 <i>Informe técnico cemento Interlaboratorio</i>	8
1.4 FINURA	9
1.4.1 <i>Objetivo</i>	9
1.4.1 <i>Método de ensayo</i>	9
1.4.2. <i>Instrumental</i>	10
1.4.3. <i>Calibración del equipo</i>	11
1.4.4 <i>Finura cemento Interlaboratorio</i>	16
1.4.5 <i>Informe técnico cemento Interlaboratorio</i>	19
1.6 CONSISTENCIA NORMAL	20
1.6.1 <i>Método de Ensayo</i>	20
1.6.2 <i>Instrumental</i>	20
1.6.3 <i>Procedimiento</i>	21
1.6.4 <i>Resultados</i>	22
1.6.5 <i>Informe técnico cemento Interlaboratorio</i>	24
1.7 TIEMPO DE FRAGUADO.....	25
1.7.1 <i>Método de Ensayo</i>	25
1.7.2 <i>Instrumental</i>	25
1.7.3 <i>Procedimiento</i>	26
1.7.4 <i>Resultados</i>	27
1.7.5 <i>Informe técnico cemento Interlaboratorio</i>	29
- CAPÍTULO II- CALORIMETRÍA EN PASTA DE CEMENTO	30
2.1 INTRODUCCIÓN.....	30
2.2 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.....	30
2.2.1 <i>Calor de Hidratación</i>	30
2.2.2 <i>Hidratación de los compuestos del cemento</i>	31
2.2.3 <i>Desarrollo de la estructura del cemento</i>	33
2.3 CALIBRACIÓN CALORÍMETRO PARA PASTA DE CEMENTO.....	34
2.3.1 <i>Normativa</i>	34
2.3.2 <i>Plan de investigación propuesto</i>	34
2.3.3 <i>Propiedades de los cementos utilizados</i>	35
2.3.4 <i>Determinación de la consistencia normal</i>	36
2.3.5 <i>Determinación del tiempo de Fraguado</i>	38
2.4 ENSAYOS CON CALORÍMETRO SEMIADIABÁTICO	43
2.4.1 <i>Objetivo</i>	43

2.4.2 Método de ensayo.....	43
2.4.3 Instrumental.....	43
2.4.4 Procedimiento.....	44
2.4.5 Resultados.....	45
- CAPÍTULO 3 - DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN.....	59
3.1 INTRODUCCIÓN.....	59
3.2 DEFINICIONES.....	59
3.2.1 Dosificación de Hormigón.....	59
3.2.2 Trabajabilidad.....	59
3.2.3 Resistencia Mecánica.....	60
3.2.4 Durabilidad.....	60
3.3 OBJETIVO.....	61
3.3.1 H-25 Descarga directa.....	62
3.3.2 H-21 Bombeable.....	62
3.3.3 H-21 Descarga directa.....	62
3.4 METODOLOGÍA.....	63
3.4.1 Dosificación racional mediante pastones de prueba.....	63
3.5 ENSAYOS PREVIOS.....	63
3.5.1 Análisis granulométrico del agregado fino.....	63
3.5.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos.....	67
3.5.3 Densidad y Absorción agregado fino.....	71
3.5.4 Densidad y Absorción agregados grueso.....	74
3.6 DOSIFICACIÓN.....	76
3.6.1 H-25 Descarga directa.....	76
3.6.2 H-21 Bombeable.....	82
3.6.3 H-21 Descarga directa.....	86
3.7 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO.....	89
3.7.1 Determinación de la temperatura de la mezcla.....	89
3.7.2 Determinación del asentamiento.....	89
3.7.3 Determinación del contenido de aire.....	90
3.7.4 Determinación de densidad.....	91
3.7.5 Resultados de ensayos en estado fresco.....	91
3.7.5 Confeccionado de probetas.....	91
3.7 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO.....	93
3.7.1 Determinación de la resistencia a compresión simple.....	93
3.7.2 Resultados.....	94
- CAPÍTULO 4 - CALIBRACIÓN DEL APARATO DE WASHINGTON.....	96
4.1 DESCRIPCIÓN DEL APARATO A CALIBRAR.....	96
4.2 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.....	96
4.2.1 Determinación del volumen del recipiente:.....	96
4.2.2 Determinación del peso de enrase:.....	97
4.2.3 Determinación teórica de los porcentajes contenidos de aire:.....	98
4.2.4 Nueva escala de manómetro:.....	98
- CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES.....	99

- CAPÍTULO 1 - CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El cemento es un aglomerante hidráulico artificial, que en combinación con una fase acuosa reacciona químicamente y tiene la capacidad de unir fragmentos de materiales sólidos dando como resultado un material compuesto. Existen diversas variedades de cementos en el mercado y cada uno de ellos presenta distintas características. Conocerlas es importante para predecir cuál será su comportamiento tanto en estado fresco como en estado endurecido y así optimizar su uso en la construcción. Se parte de una serie de definiciones para comprender y justificar cada uno de los resultados, se mencionan fenómenos de importancia en el estudio de cementos y se finaliza con la interpretación de resultados.

Los ensayos realizados en esta práctica supervisada se utilizaron para el programa de Interlaboratorio de la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland AFCP y además se estudiaron los tiempos de fragüe de pasta normal para la correlación de resultados entre la metodología indicada en las normas IRAM y los obtenidos por calorimetría.

1.2 DEFINICIONES

1.2.1 Cemento

Según la norma IRAM 50.000 el cemento es el conglomerante hidráulico obtenido como producto en una fábrica de cemento, que contiene clinker pòrtland como su constituyente necesario. Es un material inorgánico finamente molido en su proceso de producción que, en combinación con agua, forma una pasta que tiene una serie de propiedades en estado fresco y luego endurece gracias a una serie de complejas reacciones químicas y proceso de hidratación. Una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

1.2.2 Clinker de cemento pòrtland

Se trata de un producto que se obtiene por cocción hasta fisión parcial (clinkerización), de mezclas constituidas principalmente por materiales calizos y arcillosos convenientemente dosificados. La producción de silicatos de calcio que otorgan al cemento propiedades hidráulicas, ocurren en el horno mediante la clinkerización. La composición final del clinker está dada por la composición química de la materia prima (harina cruda), el tiempo de residencia, el perfil de temperaturas en el horno y el enfriamiento final.



Fig. 1.1: Clinker de Cemento pòrtland

1.2.3 Cemento de uso general

Los cementos de uso general son aquellos aptos para todo tipo de hormigones en aplicaciones estructurales, donde no se requieran propiedades especiales referidas a durabilidad. Además, puede utilizarse para aplicaciones no estructurales. Las clases de cementos se dividen, además, por su categoría resistente en CP30, CP40 o CP50,

siendo ésta la resistencia mecánica mínima exigida a la compresión a 28 días, expresada en MPa.

1.3 NORMA IRAM 50.000

La Norma IRAM 50.000 Cemento para uso general, establece los requerimientos y tipos de cementos. Los primeros hacen referencia a requerimientos de composición, las características físicas, químicas y mecánicas, y las condiciones de control y recepción que deben cumplir los mismos. En cuanto a los tipos, se especifican las variedades de cemento que se comercializan en Argentina. Se mencionarán en forma de tabla los requisitos que exige la norma y más adelante se detallará cada uno de los ensayos que formaron parte de esta práctica.

1.3.1 Requisitos físicos

Requisito		Unidad	Mínimo	Máximo	Norma
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 75µm	g/100g	-	15	IRAM 1621
	Superficie específica	m ² /KG	250	-	IRAM 1623
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	-	-	IRAM 1620
Tiempo de fraguado inicial	CP30		75	-	IRAM 1619
	CP40	min	60	-	
	CP50		45	-	
Contracción por secado*	A 28 días de lectura inicial	%	-	0,15	IRAM 1761
Requerimiento de agua % por masa de cemento*		g/100g	-	64	

Tabla 1.1: Requisitos físicos de cementos *Sólo aplica a CPP y CPC

1.3.2 Requisitos químicos

Característica	Tipo de cemento	Requisito	Unidad	Norma
Pérdida por calcinación Máximo (%)	CPN, CPE, CAH	5,0	gr/100gr	IRAM 1504
	CPP	9,0		
	CPF	13,5		
	CPC	14,5		
Residuo insoluble Máximo (%)	CPN, CPE, CAH	5,0		
	CPP	10,0		
	CPF	35,0		
	CPC	50,0		
Torióxido de azufre Máximo (%)	CPN, CPE, CAH, CPP, CPF, CPC	3,5		
Óxido de magnesio Máximo (%)	CPN, CPP	6,0		
	CPF	7,0		
	CPE, CPC, CAH	-		
Cloruros Máximos (%)	CPN, CPE, CPP, CAH, CPF, CPC	0,1		
Sulfuros Máximos (%)	CPN, CPF, CPP	0,1		
	CPE, CPC	0,5		
	CAH	0,1		
Coeficiente puzolánico	CPP	≤ 1,0		IRAM 1651

Tabla 1.2: Requisitos químicos de cementos

1.3.3 Requisitos mecánicos

Categoría	Resistencia a la compresión (Mpa)				Método de ensayo
	2d	7d	28d		
CP 30	-	min. 16	min. 30	max. 50	IRAM 1622
CP 40	min. 10	-	min. 40	max. 60	
CP 50	min. 20	-	min. 50	-	

Tabla 1.3: Requisitos mecánicos de cementos

1.5 DENSIDAD

Si bien la norma IRAM 50000 no exige un rango de valores para la densidad de los cementos, es un valor del cual hacemos uso para la determinación de la finura de Blaine que se verá en los siguientes apartados. En esta práctica se determinó la densidad del cemento de referencia y además la del cemento del Interlaboratorio.

1.5.1 Método de Ensayo

Se utiliza el frasco de Le Chatelier para la determinación de la densidad.

1.5.2 Instrumental

1.5.2.1 Frasco de Le Chatelier

Se trata de un recipiente de vidrio borosilicatado, el cual presenta las graduaciones indicadas en la Fig. 1.2 y debe estar calibrado para su empleo.

1.5.2.2 Reactivo

Se utiliza querosene de calidad industrial, libre de agua.

1.5.2.3 Balanza

Balanza Mettler con precisión de 0,01 gr.

1.5.3 Procedimiento

Se verifica que el frasco de Le Chatelier se encuentre en condiciones para usarlo, debe encontrarse limpio y seco. Se llena el frasco de Le Chatelier con querosene hasta un nivel comprendido entre las marcas 0 y 1 Fig. 1.3 y posteriormente se seca el cuello del frasco hasta el nivel del líquido con un instrumento acorde envuelto con papel absorbente. Se toma lectura inicial en la parte inferior del menisco (V_1). Se pesan 64 gr de cemento CPP40 y con ayuda de un embudo y sin perder material se lo introduce en pequeñas cantidades dentro del frasco evitando que se produzcan salpicaduras. Es un procedimiento que requiere de mucho cuidado ya que alteraciones en la cantidad de cemento llevaran a obtener valores erróneos de la densidad. Una vez llenado el frasco con la masa m de cemento, se lo tapa y se lo hace girar en posición inclinada y en círculos horizontales para que suban las burbujas de aire Fig.

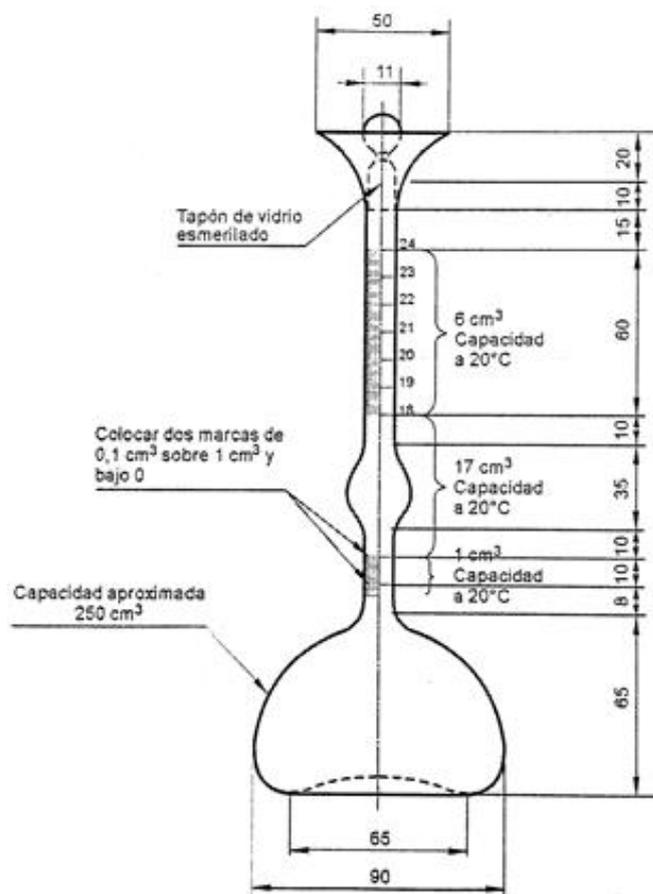


Fig. 1.2 Frasco de Le Chatelier

1.4. Se deja reposar 150 minutos y posteriormente se toma lectura en la parte inferior del menisco de (V_2) Fig. 1.5. La diferencia entre V_2 y V_1 será el volumen de la masa de cemento colocada en el frasco. Luego, calculamos:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (Ec. 1.1)$$

donde ρ es la densidad del cemento, en gramos por centímetro cúbico; m es la masa del cemento, en gramos; $V = V_2 - V_1$ es el volumen desplazado por la masa del cemento en centímetros cúbicos.

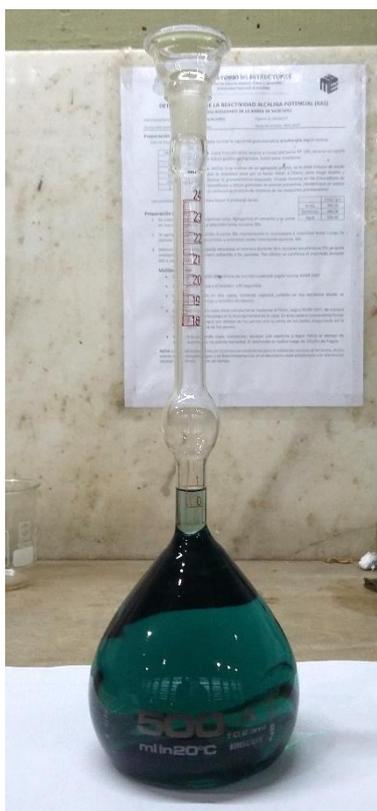


Fig. 1.3 Le Chatelier más nafta para tomar primera lectura



Fig. 1.4 Le Chatelier más cemento



Fig. 1.5 Le Chatelier más cemento después del reposo.

Los datos y resultados se expresan en la siguiente tabla:

Cemento	CPP40 Grael
Origen	Mendoza
Fecha	19/9/2017
Temperatura	19,3
Técnico	Martín Quinteros
Hora lectura V1	11:00
Hora inicio	11:16
Hora lectura V2	13:45

Masa Cemento	64,00	gr
Lectura V1	0,50	cm ³
Lectura V2	22,05	cm ³
Densidad	2,97	gr/cm³

Tabla 1.4 Ensayo de densidad de cemento CPP40 Grael

Se repite el ensayo para disminuir el error de los resultados, obteniendo:

Cemento:	CPP40 Granel
Origen	Mendoza
Fecha	25/9/2017
Temperatura	19,7
Técnico	Martín Quinteros
Hora lectura V1	11:04
Hora inicio	11:23
Hora lectura V2	13:58

Masa Cemento	64,00	gr
Lectura V1	0,65	cm ³
Lectura V2	22,30	cm ³
Densidad	2,96	gr/cm³

Tabla 1.5 Repetición de ensayo de densidad

Densidad CPP40 = 2,965 gr/cm³

Este valor de densidad es el utilizado para realizar la calibración del aparato de permeabilidad de Blaine.

Como se mencionó en la introducción, también se realizó la determinación de la densidad del cemento del Interlaboratorio, cuyos resultados se expresan en las tablas Tabla 1.6

Cemento:	Interlaboratorio
Fecha	26/9/2017
Temperatura	19
Técnico	Martín Quinteros
Hora lectura V1	10:45
Hora inicio	10:58
Hora lectura V2	13:30

Masa Cemento	64,00	gr
Lectura V1	0,80	cm ³
Lectura V2	22,35	cm ³
Densidad	2,97	gr/cm³

Tabla 1.6 Ensayo de densidad – Cemento Interlaboratorio

Densidad Cemento Interlaboratorio = 2,97 gr/cm³

1.5.4 Informe técnico cemento Interlaboratorio

La AFCP publica el siguiente informe sobre la densidad del cemento Interlaboratorio:

Descripción	Sin descarte de "aberrantes"		Con descarte de "aberrantes"	
Cantidad de resultados	34		33	
Media \bar{X}	3,03	g/cm³	3,02	g/cm³
Máximo	3,32		3,09	
Mínimo	2,86		2,86	
Desviación Estándar S	0,07		0,04	
Coefficiente de Variación V	-	%	1,4	%
Límite superior	-	g/cm³	3,22	g/cm³
Límite inferior	-		2,82	

Tabla 1.7 Informe técnico Interlaboratorio

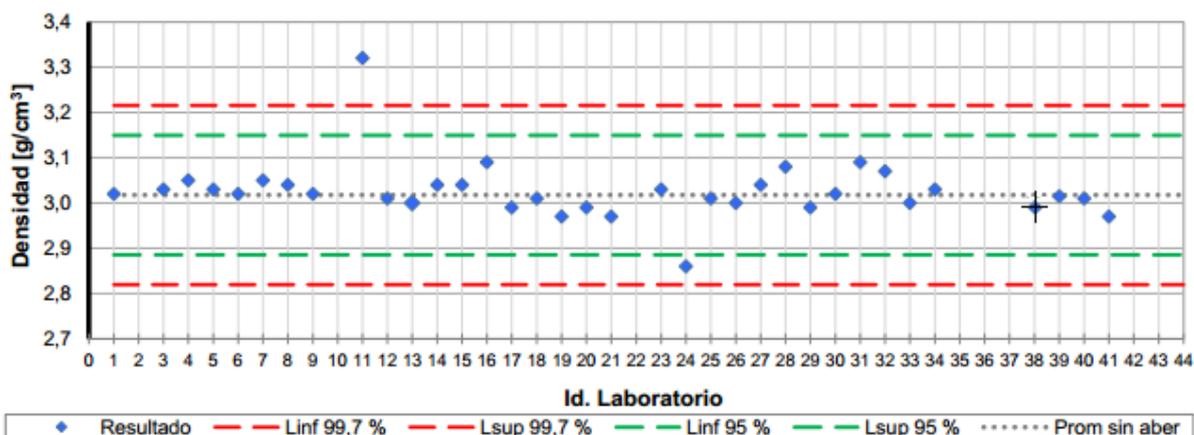


Gráfico 1.1 Comparación de resultados de Laboratorios participantes

El Laboratorio de Estructuras de la UNC corresponde a la Id. 38. Como se observa en el Gráfico 1.1 el valor de densidad determinado se encuentra dentro del rango de valores aceptados por la AFCP y muy próximo a la media.

1.4 FINURA

Este concepto está relacionado con el grado de subdivisión del cemento. Su determinación es de gran importancia ya que influye en la velocidad de hidratación, las propiedades reológicas y el desarrollo de la resistencia mecánica. Un aumento de la finura del cemento produce una hidratación temprana y desarrollo rápido de la resistencia a compresión.

Las partículas de cemento son muy pequeñas y resulta impracticable realizar un tamizado, es por ello que surgen otros métodos para la caracterización de su fineza. Según la norma IRAM 1623, es posible determinar la finura del cemento portland mediante dos métodos: a) Por tamizado seco o b) por determinación de la superficie específica por permeabilidad del aire (método de Blaine).

1.4.1 Objetivo

La última calibración del equipo de Blaine se realizó mediante procedimientos no vigentes en la normativa actual, por lo tanto, no se encontraba disponible para su uso. En una primera instancia se busca calibrar el equipo de Blaine mediante el uso de un cemento de referencia. Una vez calibrado se realizan el ensayo sobre el cemento del Interlaboratorio para verificar la calibración.

1.4.1 Método de ensayo

Se realizó mediante el método de Blaine, que se basa en la determinar la superficie específica observando el tiempo empleado por una cantidad de aire en fluir a través de un lecho de cemento compactado de dimensiones y porosidad conocidas.

1.4.2. Instrumental

1.4.2.1 Equipo de permeabilidad de Blaine

Consiste en un dispositivo que permite el paso de una cantidad definida de aire a través de una capa preparada de cemento de porosidad definida. El número y tamaño de los poros está en función del tamaño de las partículas, lo cual determina la velocidad con que el aire pasa a través de la capa de cemento.

1.4.2.2 Celda de Permeabilidad

Es un cilindro rígido de acero inoxidable austenítico de dimensiones y tolerancias definidas por la norma

1.4.2.3 Disco Perforado

Es de material resistente a la corrosión que consta con perforaciones de 1 mm de diámetro sobre toda su superficie y entra en forma normal al eje de la celda. El mismo permitirá el flujo de aire a través del lecho de cemento.

1.4.2.4 Émbolo

Es un pistón de acero inoxidable austenítico que puede deslizarse sobre la celda de permeabilidad y permite la compactación del lecho de cemento. Sus dimensiones son tales que permiten dejar un espacio libre de 15 mm \pm 1 mm entre la cara inferior del émbolo y la cara superior del disco perforado.



Fig. 1.6 Instrumental necesario para ensayo de permeabilidad de Blaine

1.4.2.5 Manómetro

Conformado por un tubo de vidrio en forma de U con dimensiones y tolerancias según norma. Tiene un brazo con cuatro líneas graduadas que posee una parte superior cónica que permite calzar la celda de permeabilidad y un ramal T con una llave de paso estanca al aire que se comunica con un dispositivo de aspiración para dar presión al sistema.

1.4.2.6 Discos circulares de papel de filtro

Sus dimensiones se adaptan a las de la celda de permeabilidad. El papel utilizado es de porosidad media (velocidad de filtración media) tal como indica la norma.

1.4.3. Calibración del equipo

Como se trata de un método comparativo y no absoluto, se requiere de una muestra de referencia de superficie específica conocida para su calibración. El cemento de referencia que se utilizó es un CPP40 del cual el Laboratorio de Estructuras tenía a disposición su ficha técnica.

La calibración del aparato consta en dos etapas:

1) Determinación del volumen del lecho: Se determinó en su momento. Al ser el mismo de un material rígido, se considera que no hay variación significativa de su volumen al día de la fecha.

2) Determinación de la constante K del aparato: Se preparó un lecho de cemento compactado, utilizando el siguiente cemento de referencia:

Producto: Cemento Portland Puzolánico CPP40 – IRAM 50.000

Despacho: Granel

Origen: Mendoza, Argentina.

Fecha de reporte: 13 de julio de 2017

Ensayos físicos	Unidad	Valor medio	Requisitos IRAM 50000
Retenido tamiz 75 μ (IRAM 1621)	%	1,37	$\leq 15,00$
Superficie específica Blaine (IRAM 1623)	m ² /kg	419	≥ 250
Tiempo de fraguado inicial (IRAM 1619)	minutos	244	≥ 60
Expansión en autoclave (IRAM 1620)	%	0,01	$\leq 0,80$
Contracción por secado 28 días (IRAM 1651-2)	%	0,02	$\leq 0,15$
Requerimiento de agua (IRAM 1651-2)	%	29,0	$\leq 64,0$

Tabla 1.8 Características del cemento de referencia

1.4.3.1 Preparación de la muestra:

Se coloca el cemento de referencia en un recipiente con tapa y se agita durante 2 min con la intención de dispersar las posibles aglomeraciones. El cemento se encuentra en condiciones de materializar el lecho cuando transcurren 2 minutos en reposo luego del proceso de agitación.

1.4.3.2 Formación del Lecho:

Se busca obtener un lecho de cemento con porosidad $e = 0,5$. Para ello, con el volumen del lecho y la densidad del cemento determinada en 1.5, se calcula la masa m_1 de cemento a pesar de la siguiente manera:

$$m_1 = (1 - e)\rho V \quad (\text{Ec 1.2})$$

Donde m_1 es la masa del lecho a pesar, en gramos; e es la porosidad del lecho; ρ es la densidad de cemento, en gramos por centímetro cúbico y V es el volumen del lecho, en centímetros cúbicos.

Datos:

- $e = 0,500$
- $V = 1,6321 \text{ cm}^3$
- $\rho = 2,97 \text{ gr/cm}^3$

Resulta:

$$m_1 = (1 - 0,5) \cdot 1,6321 \text{ cm}^3 \cdot 2,97 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$m_1 = 2,42 \text{ gr}$$

Por lo tanto, una masa de 2,42 gr de cemento correctamente compactada materializará un lecho con porosidad 0,5.

Se arma la celda de permeabilidad colocando el disco perforado sobre el fondo, a continuación, un papel de filtro asegurando que quede completamente apoyado sobre el disco y se vuelca la masa m_1 utilizando un embudo de papel con la precaución de no perder material. Perder un porcentaje pequeño de cemento implica cambiar la porosidad del lecho y obtener resultados erróneos. Se golpea suavemente la celda para nivelar el cemento y se coloca un nuevo papel de filtro sobre el cemento nivelado. Se inserta el embolo lentamente hasta hacer contacto con el papel de filtro y se ejerce una presión con el dedo pulgar bajando lenta y firmemente hasta que el borde haga contacto con la parte superior de la celda. Se levanta el émbolo 5 mm, se gira 90° y se vuelve a presionar suave y firmemente hasta hacer tope. Se retira suavemente el émbolo y el lecho se encuentra compactado y listo para hacer las mediciones.



Fig. 1.7 Celda y émbolo de Blaine



Fig. 1.8 Lecho de cemento ya utilizado

1.4.3.3 Medición de la permeabilidad

Se coloca vaselina sobre la parte superior del manómetro y se asienta la superficie cónica de la celda de permeabilidad sobre ella haciéndola girar suavemente para que la vaselina se disperse en toda la superficie de contacto y garantice una unión estanca al aire. Este procedimiento se debe hacer cuidadosamente para no perturbar el lecho. Se tapa la parte superior de la celda con un elemento adecuado. Se abre la llave de paso y mediante un elemento de aspiración se eleva el nivel del líquido del manómetro hasta superar la línea graduada más alta nivel 1. Fig. 1.9. En este momento se cierra la llave de paso y se observa que el líquido permanece en el nivel 1. Se retira la tapa de la parte superior y se observa que el líquido comenzará a descender. Se cronometra el tiempo que tarda el líquido en transitar desde el nivel 2 hasta nivel 3 Fig. 1.9. Registramos el tiempo y la temperatura en cada medición con una precisión de 0,2 seg y 1°C respectivamente. Se repite el procedimiento sobre el mismo lecho dos veces. Se repite todo el procedimiento para 2 lechos mas de cemento. Basta hacer la medición sobre tres lechos, pero al tratarse de una primera vez manipulando un aparato de Blaine se decide realizar 3 mediciones de 9 lechos distintos como se expresa en la Tabla 1.10. Para cada uno de los lechos se determina el promedio de los tiempos y de la temperatura y se calcula K del lecho según la siguiente expresión:

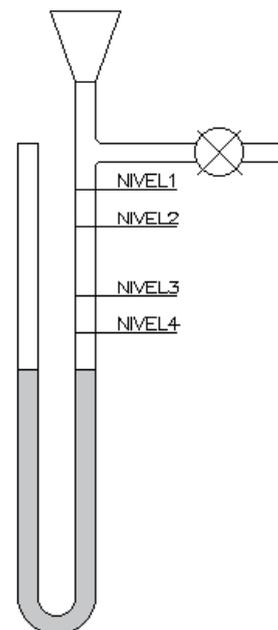


Fig. 1.9 Graduaciones tubo en U

$$K = \frac{S_0 \rho_0 (1 - e) \sqrt{0,10 \eta_0}}{\sqrt{e^3} \sqrt{t_0}} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

donde S_0 es la superficie específica del cemento de referencia, en centímetros cuadrados por gramo; ρ_0 es la densidad del cemento de referencia, en gramos por centímetros cúbicos; t_0 el tiempo promedio por lecho, en segundos; η_0 la viscosidad del aire a temperatura promedio de las tres temperaturas del lecho.

La viscosidad del aire varía en función de la temperatura y se obtiene de la Tabla 1.9

Temperatura °C	Viscosidad del aire Pa.s	$(0,10 \eta)^{1/2}$
16	0,00001800	0,001342
17	0,00001805	0,001344
18	0,00001810	0,001345
19	0,00001815	0,001347
20	0,00001819	0,001349
21	0,00001824	0,001351
22	0,00001829	0,001352
23	0,00001834	0,001354
24	0,00001839	0,001356

Tabla 1.9 Variación de la viscosidad del aire en función de la temperatura

IRAM 1623 Calibración equipo de Permeabilidad de Blaine

- Cemento: CPP40 de Referencia
- Fineza de Blaine: 4190 cm²/gr
- Masa del lecho: 2,42 gr
- Volumen del lecho: 1,632 l
- Fecha de ensayo: 29/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

Lecho	Medición	Tiempo	Tiempo promedio	Temperatura	Temperatura promedio	K	Fecha
		seg.	seg.	°C	°C		
1	1	83,81	83,84	19	19	2,58454	29-sep
	2	83,89		19			29-sep
	3	83,83		19			29-sep
2	4	83,47	83,63	19	19	2,58778	29-sep
	5	83,68		19			29-sep
	6	83,75		19			29-sep
3	7	79,94	79,72	19	19	2,65048	29-sep
	8	79,57		19			29-sep
	9	79,66		19			29-sep
4	10	78,01	77,96	19	19	2,68023	29-sep
	11	77,94		19			29-sep
	12	77,94		19			29-sep
5	13	78,13	78,27	19,5	19,5	2,67696	2-oct
	14	78,24		19,5			2-oct
	15	78,44		19,5			2-oct
6	16	78,15	77,87	20	20	2,68587	2-oct
	17	77,36		20			2-oct
	18	78,09		20			2-oct
7	19	83,75	83,90	23	23	2,59704	6-oct
	20	84,03		23			6-oct
	21	83,93		23			6-oct
8	22	82,36	82,72	23	23	2,61560	6-oct
	23	83,12		23			6-oct
	24	82,67		23			6-oct
9	25	82,21	82,20	23	23,0	2,62386	6-oct
	26	82,46		23			6-oct
	27	81,92		23			6-oct
K del aparato						2,63360	

Tabla 1.10 Resultados de calibración de Blaine

La constante K del aparato será el promedio de los valores de K de cada uno de los lechos. Resulta **K=2,6336**

Resulta práctico expresar estos resultados en gráficos que permitan dar una idea de la calidad de las mediciones. Se grafican las mediciones de tiempo en el Gráfico 1.2 y por otro lado los resultados de K en el Gráfico 1.3 donde se observa poca variación entre los resultados y podemos afirmar que la calibración se realizó de manera satisfactoria.

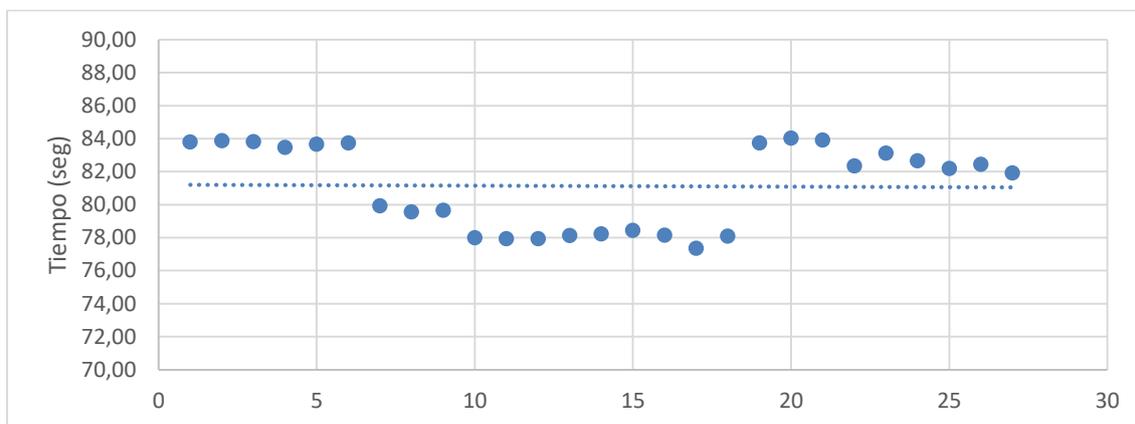


Gráfico 1.2 Resultados de ensayos Tiempo vs medición

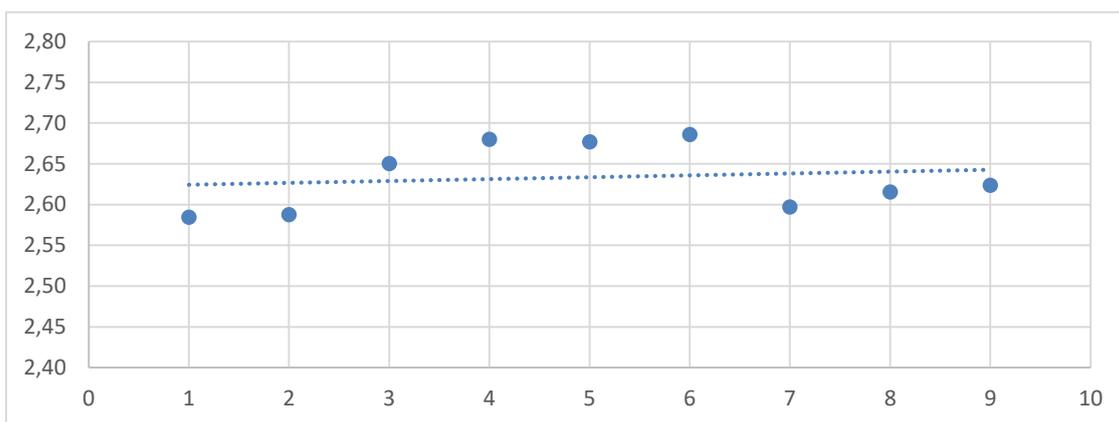


Gráfico 1.3 Resultados de ensayos K vs promedio de lechos

La variación de los valores obtenidos refleja lo cuidados que hay que tener para la confección del lecho de cemento. Una variación en la presión ejercida sobre el émbolo, o colocar de manera insatisfactoria el papel de filtro, no lograr una junta estanca al aire o perder pequeñas porciones de cemento harán variar los resultados significativamente. Es por ello que se decide realizar más ensayos de lo estipulado por la norma para disminuir el margen de error.

Finalmente, se confecciona una tarjeta que irá adosada al equipo de permeabilidad de Blaine indicando sus parámetros característicos:



Fig. 1.10 Rótulo de Calibración

1.4.4 Finura cemento Interlaboratorio

Una vez determinada la densidad del cemento del Interlaboratorio, se busca determinar su fineza por el método de permeabilidad de Blaine. Los resultados obtenidos se compararán con el informe de la AFCP 2017 para garantizar que el equipo se encuentre disponible para realizar este tipo de ensayos. Para ello se repiten los procedimientos detallados en 1.4.3:

1.4.4.1 Preparación de la muestra

Idem 1.4.3.1 utilizando el cemento Interlaboratorio.

1.4.4.2 Formación del lecho

Se repite el procedimiento detallado en 1.4.3.2 con los siguientes datos:

- $e = 0,500$
- $V = 1,6321 \text{ cm}^3$
- $\rho = 2,97 \text{ gr/cm}^3$

Resulta:

$$m_1 = (1 - 0,5) \cdot 1,6321 \text{ cm}^3 \cdot 2,97 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$m_1 = 2,42 \text{ gr}$$

Por lo tanto, una masa de 2,42 gr de cemento correctamente compactada materializará un lecho con porosidad 0,5.

1.4.4.3 Medición de la permeabilidad

Se repite el procedimiento detallado en 1.4.3.3 utilizando el cemento Interlaboratorio. La superficie específica, S, se calcula con la Ec.1.4

$$S = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{(1 - e)} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1 \eta}} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

donde S es la superficie específica, en centímetros cuadrados por gramo; K es la constante del aparato; ρ es la densidad del cemento, en gramos por centímetros cúbicos; t el tiempo o los tiempos medidos, en segundos; η la viscosidad del aire a temperatura de ensayo.

Con la porosidad específica de $e = 0,5$ y la temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, se obtiene:

$$S = 524,2 \cdot \frac{K}{\rho} \cdot \sqrt{t} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Si bien la norma establece que basta realizar dos mediciones sobre dos lechos de cemento, se siguió con la misma metodología utilizada para los ensayos que permitieron calibrar el aparato de Blaine para disminuir la posibilidad de realizar mediciones incorrectas. Se ensaya un total de siete lechos de cemento sobre los cuales se toman 3 medidas de permeabilidad por cada uno de ellos. Resultados:

IRAM 1623 Superficie específica por método de Blaine

- Cemento: Interlaboratorio AFCP 2017

- Constante K: 2,6336

- Masa del lecho: 2,42 gr

- Volumen del lecho: 1,6321

- Fecha de ensayo: 09/10/2017

- Técnico: Quinteros Martín

Lecho	Medición	Tiempo	Tiempo Promedio	Temp.	Temp. promedio	S	Fecha
		[seg]	[seg]	[°C]	[°C]	[cm ² /gr]	
1	1	63,07	63,08	21	21	3691,69	9-oct
	2	63,01		21			9-oct
	3	63,15		21			9-oct
2	4	60,55	60,95	21	21	3628,92	9-oct
	5	61,25		21			9-oct
	6	61,05		21			9-oct
3	7	61,91	62,73	21	21	3681,43	9-oct
	8	62,78		21			9-oct
	9	63,49		21			9-oct
4	10	62,23	62,78	21	21	3682,99	9-oct
	11	63,28		21			9-oct
	12	62,83		21			9-oct
5	13	64,91	65,14	22	22	3751,58	9-oct
	14	65,35		22			9-oct
	15	65,16		22			9-oct
6	16	63,83	64,84	22	22	3742,84	9-oct
	17	65,57		22			9-oct
	18	65,11		22			9-oct
7	19	64,93	65,10	22	22	3750,43	9-oct
	20	64,87		22			9-oct
	21	65,50		22			9-oct
S						3704,27	

Tabla 1.11 Ensayo de permeabilidad de Blaine en cemento Interlaboratorio

Es aceptable una diferencia del 1% entre los promedios de las mediciones de la finura realizadas en los diferentes lechos de cemento de una única muestra. Lo que implica que los valores fuera del rango (3667,22 – 3741,31) deben ser descartados: Lechos 2, 5, 6 y 7, resultando:

Lecho	Medición	Tiempo	Tiempo Promedio	Temp.	Temp. promedio	S	Fecha
		[seg]	[seg]	[°C]	[°C]		
1	1	63,07	63,08	21	21	3691,69	9-oct
	2	63,01		21			9-oct
	3	63,15		21			9-oct
3	4	61,91	62,73	21	21	3681,43	9-oct
	5	62,78		21			9-oct
	6	63,49		21			9-oct
4	7	62,23	62,78	21	21	3682,99	9-oct
	8	63,28		21			9-oct
	9	62,83		21			9-oct
S						3685,37	

Tabla 1.12 Ensayo de permeabilidad de Blaine en cemento Interlaboratorio con valores descartados

Superficie Específica Cemento Interlaboratorio
 $S = 3690 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Cabe destacar que este resultado no difiere significativamente del obtenido con los 7 lechos iniciales. La norma establece que la superficie específica se expresa con una aproximación de $10 \text{ cm}^2/\text{gr}$ por lo tanto los resultados variarían de 3700 a $3690 \text{ cm}^2/\text{gr}$. El sentido de estas correcciones se puede visualizar en la comparación de los siguientes gráficos, en donde se visualiza el tiempo en ordenadas y el número de medición en abscisas. Considerando los 7 lechos se observa importante variación de los resultados, la cual es corregida en el gráfico que considera solo 3 lechos.

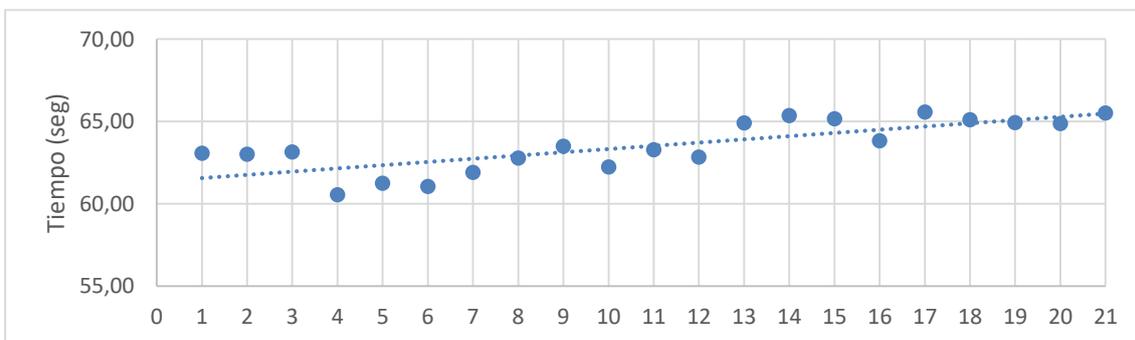


Gráfico 1.4 Resultados de ensayos Tiempo vs medición

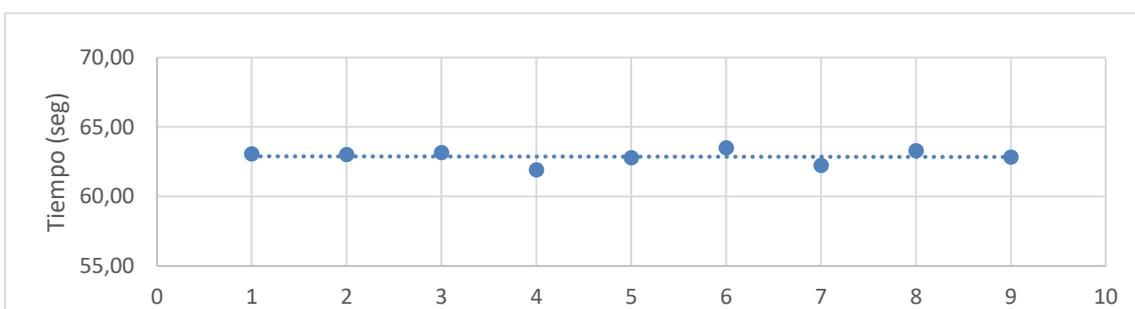


Gráfico 1.5 Resultados de ensayo tras descartar valores fuera de tolerancia

1.4.5 Informe técnico cemento Interlaboratorio

La AFCP publica el siguiente informe sobre la superficie específica por método de Blaine del cemento Interlaboratorio:

Descripción	Resultados	
Cantidad de resultados	35	
Media \bar{X}	3491	cm ² /g
Máximo	3957	
Mínimo	3060	
Desviación Estándar S	195	
Coefficiente de Variación V	5,6	%
Límite superior	4134	cm ² /g
Límite inferior	2847	

Desvío estándar asignado Sa	215	cm ² /g
-----------------------------	-----	--------------------

Tabla 1.13 Informe técnico de Finura en cemento Interlaboratorio

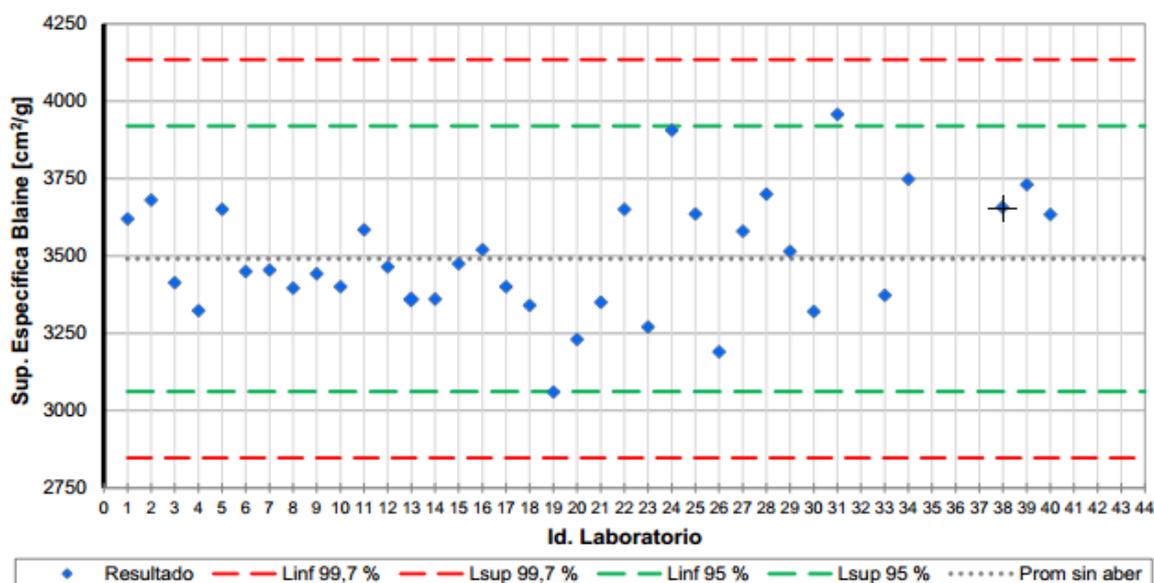


Gráfico 1.6 Comparación de resultados de Laboratorios participantes

El laboratorio de Estructuras de la UNC corresponde a la Id. 38. Como se observa en el Gráfico 1.6 el valor de la superficie específica determinado se encuentra dentro del rango de valores aceptados por la AFCP.

1.6 CONSISTENCIA NORMAL

La consistencia normal se define como la resistencia especificada de una pasta de cemento compuesta con un porcentaje de agua tal que produzca penetración de una sonda normalizada y esta quede a una distancia de la base de 6 ± 1 mm. En este apartado se explica el ensayo y los resultados obtenidos para el Interlaboratorio.

1.6.1 Método de Ensayo

La Norma IRAM 1612 especifica el método de ensayo para la determinación de la consistencia normal. Consiste en realizar sucesivos ensayos de penetración con una sonda normalizada sobre pastas de cemento con distintos contenidos de agua.

1.6.2 Instrumental

1.6.2.1 Aparato Vicat

Debe tener las características indicadas en la Fig 1.11. La sonda es de forma cilíndrica de $(10 \pm 0,5)$ mm de diámetro y de (50 ± 1) mm de largo y debe ser de material no corroible. Las partes móviles deben pesar (300 ± 1) gr y su movimiento debe ser perfectamente vertical y sin rozamientos apreciables.

El molde de Vicat es de forma troncocónica y de material rígido no absorbente destinado a contener la pasta de cemento. Además, se utiliza una placa de vidrio de espesor de 4 mm.

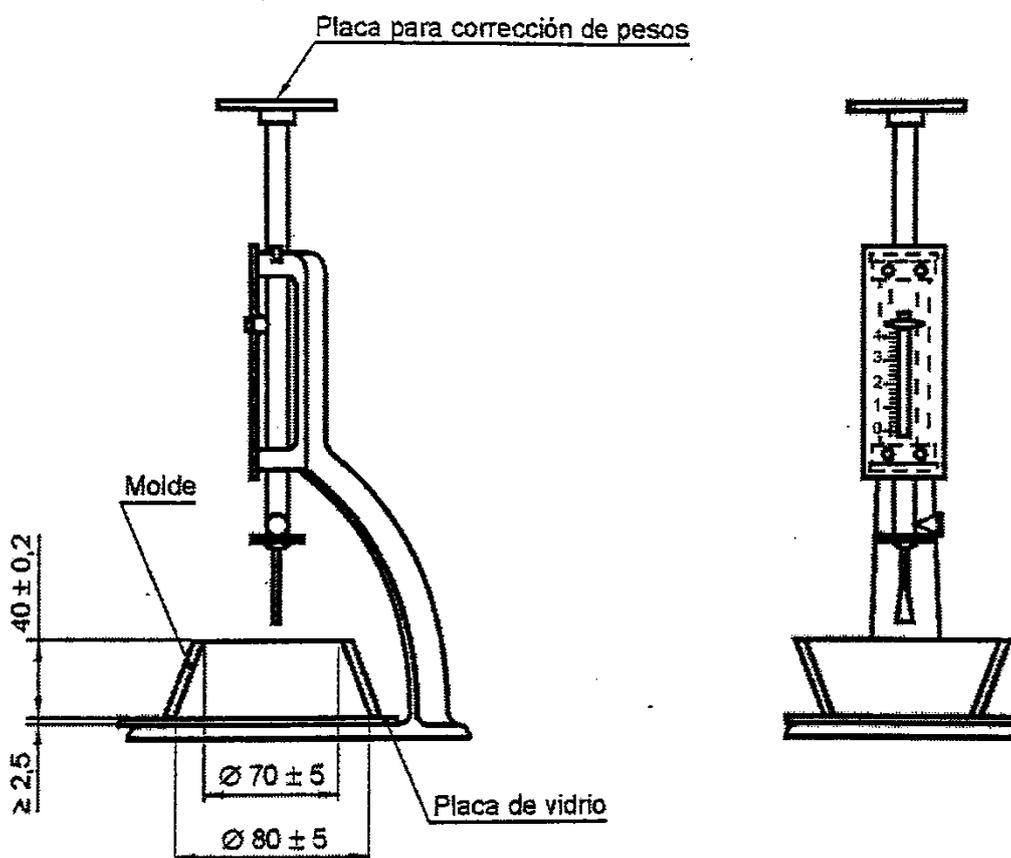


Fig. 1.11 Aparato de Vicat para ensayos de penetración

1.6.2.2 Balanza

Aunque la norma establece una precisión mínima de 1 gr. se utiliza la balanza Mettler con precisión de 0,01 gr. del Laboratorio, sobre todo para lograr mayor precisión en el pesaje del agua.

1.6.2.3 Mezcladora

Se utiliza la mezcladora del Laboratorio de estructuras, la cual cuenta con un recipiente de acero inoxidable de 5 L de capacidad y puede ser fijada firmemente al bastidor de la mezcladora de modo que la separación entre el molde y la paleta sea mínima y se pueda mantener su precisión. La paleta también es de acero inoxidable y su forma está normalizada (IRAM 1622). Se logran movimientos de rotación sobre su propio eje y movimientos planetarios alrededor del recipiente donde los sentidos de rotación son contrarios. Además, posee dos velocidades de mezclado: lenta (140 vueltas por minuto) y rápida (285 vueltas por minuto).



Fig. 1.12 Mezcladora para pasta de cemento

1.6.3 Procedimiento

1.6.3.1 Calibración del aparato Vicat

Se coloca la placa de vidrio sobre el aparato y se hace bajar la sonda hasta hacer contacto con la placa. Esta medida será el punto cero del aparato. Se levanta la sonda y se lo deja en posición de espera.

1.6.3.2 Preparación de la pasta

Se pesan 500 g de cemento en la balanza Merkel y se propone una cantidad de agua expresada en porcentaje de la masa de cemento. Se comienza con un 25 % (125 gr) y en función del resultado obtenido se realizan sucesivos ensayos con mayor o menor porcentaje de agua. Se introduce el agua en la mezcladora, luego se agrega el cemento en forma de lluvia y a velocidad uniforme de modo de tardar no más de 10 segundos. Se anota el instante final de la adición como el tiempo cero. Se pone en marcha la mezcladora a velocidad lenta durante 90 segundos. Luego se detiene la máquina y dentro de los próximos 15 segundos, con ayuda de una espátula se remueve el fondo y las paredes del recipiente para garantizar que toda la pasta se encuentre en la zona de mezclado. Se pone en marcha nuevamente y se mezcla durante 90 segundos más.

1.6.3.3 Llenado del molde

Se coloca la placa de vidrio debajo del molde previamente engrasados y se transfiere la pasta al molde hasta rebosar sin compactación ni vibración excesiva. Se quita el exceso de pasta con un elemento adecuado de borde recto para lograr una superficie lisa en toda la extensión del molde.

1.6.3.4 Ensayo de penetración

Se coloca inmediatamente el molde en el aparato Vicat ubicándolo centrado debajo de la sonda. Se baja lentamente la sonda hasta que haga contacto con la pasta. Se espera entre uno y dos segundos en esta posición para evitar una velocidad inicial o una aceleración forzada y se suelta rápidamente dejando penetrar la sonda sobre la pasta. Se lee la escala cuando haya terminado la penetración o haya pasado 30 segundos desde la liberación de la sonda, lo que ocurra primero. Se anota la lectura y el contenido de agua utilizado. Se repite el ensayo con pastas de diferentes contenidos de agua hasta encontrar una que produzca una distancia de (6 ± 1) mm entre la sonda y la placa de vidrio. Fig. 1.13. Se anota el contenido de agua con una precisión de 0,5%. A medida que se realizan los ensayos se puede ir confeccionando un gráfico que nos permita estimar el próximo valor a ensayar mediante una función lineal. Grafico 1.7.



Fig. 1.13 Pasta de consistencia normal

1.6.4 Resultados

1.6.4.1 Cemento Interlaboratorio

Se pesan 500 gramos de cemento de Interlaboratorio y se comienza con un 25% de agua. Como se ve en la Tabla 1.14 la distancia entre la placa de vidrio y la sonda es de 12 mm, por lo tanto, se necesita una pasta de cemento más fluida. Se prosigue con un segundo ensayo con 26% de agua, obteniendo una lectura de 4 mm. Tomamos como hipótesis que el comportamiento de la penetración con respecto a la variación del contenido de agua será lineal, por lo tanto, con estos dos valores podemos graficar una línea de tendencia que permita estimar el siguiente porcentaje de agua a usar, como se indica en el Gráfico 1.7. En la Tabla 1.14, la primera fila indica el número de ensayo, la segunda y tercera indican el contenido de agua expresado en % y en gr respectivamente y la última la distancia entre la placa de vidrio y la sonda.

IRAM 1612 Determinación de la consistencia Normal

- Cemento: Interlaboratorio AFCP 2017
- Instrumental: Vicat celeste
- Placa de vidrio: 4 mm
- Fecha de ensayo: 05/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

PASTA N°		1	3	4	5	2
AGUA	(%)	25	25,4	25,7	25,8	26
	(gr.)	125	127	128,5	129	130
LECTURA ZONDA (mm)		12	8	7	5	4

Tabla 1.14 Lecturas de ensayo de consistencia normal

Como se ve en los ensayos, una pequeña variación del contenido de agua (5 g) altera la medición de la penetración de la sonda en 8 mm, lo cual manifiesta la considerable sensibilidad de la resistencia a la penetración con la variación de agua. Si bien la norma específica que el contenido de agua debe expresarse con precisión al 0,5% se han realizado lecturas más finas por interés propio.

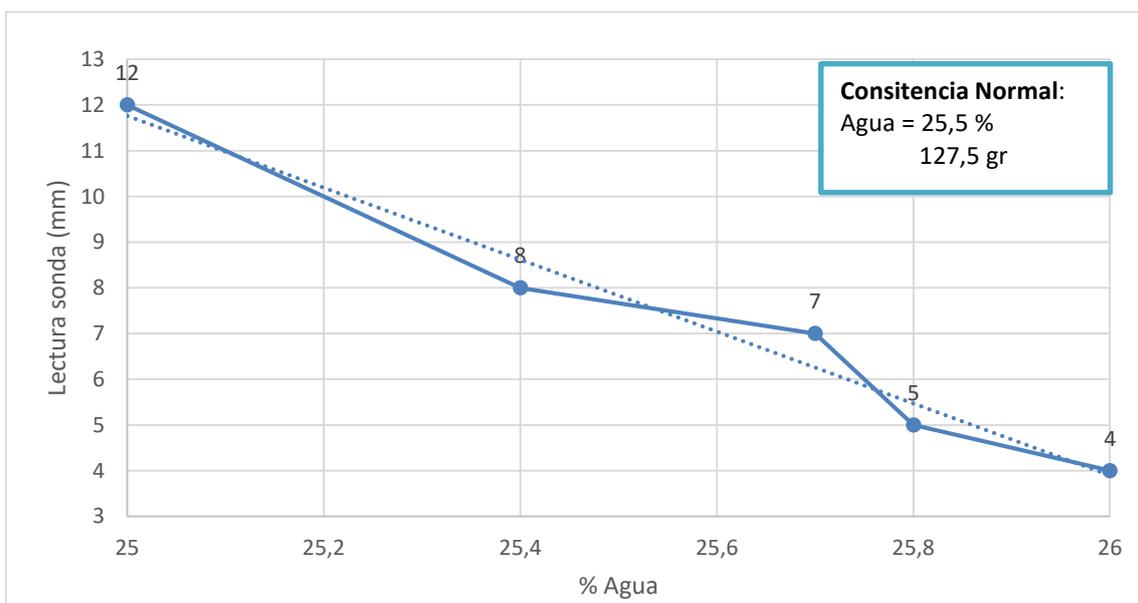


Gráfico 1.7 Variación de la consistencia en función del agua incorporada en pasta de cemento

En el gráfico se aprecia la diferencia entre los valores estimados (línea de puntos) y los valores medidos (línea llena). Si bien hay discrepancia entre los mismos, se puede prever un comportamiento lineal de la resistencia a la penetración de la pasta de cemento con la variación del contenido de agua. Más adelante, en la sección 2.3.4 se expondrán más ensayos de determinación de Consistencia Normal para otros tipos de cemento y se reafirmará esta hipótesis.

1.6.5 Informe técnico cemento Interlaboratorio

La AFCP publica el siguiente informe sobre el agua para amasado de pasta de consistencia normal del cemento Interlaboratorio:

Descripción	Sin descarte de "aberrantes"		Con descarte de "aberrantes"	
	41		40	
Cantidad de resultados				
Media \bar{X}	25,2		25,3	
Máximo	27,0		27,0	
Mínimo	22,6		24,0	
Desviación estándar S	0,8	%	0,6	%
Coefficiente de Variación V	-		2,5	
Límite superior	-		27,6	
Límite inferior	-		23,0	

Tabla 1.15 Informe técnico de consistencia normal del cemento Interlaboratorio

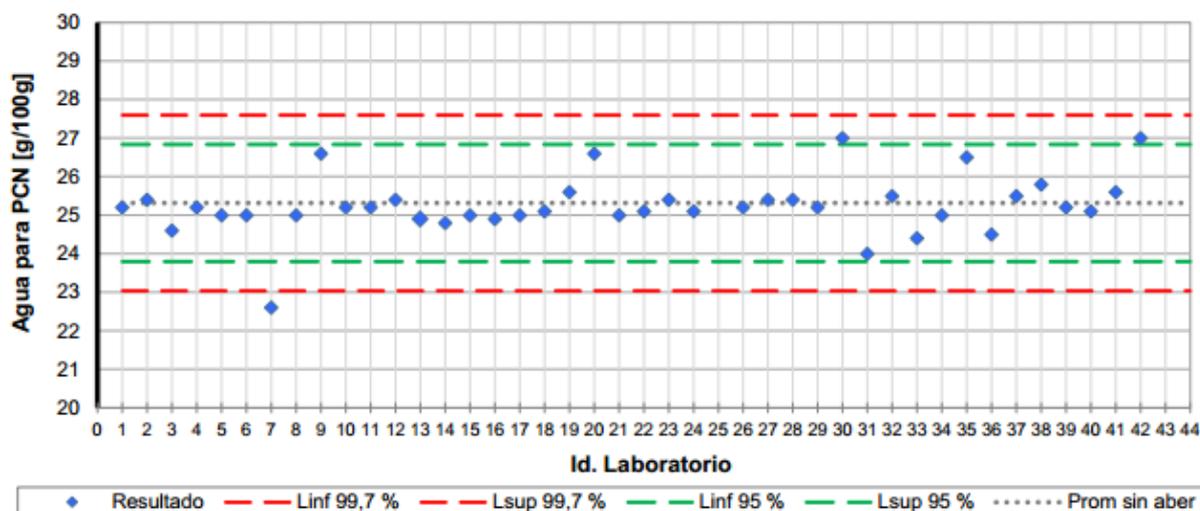


Gráfico 1.8 Comparación de resultados de Laboratorios participantes en determinación de consistencia normal

El laboratorio de Estructuras de la UNC corresponde a la Id. 38. Como se observa en el Gráfico 1.8 el valor del agua para pasta de consistencia normal se encuentra dentro del rango de valores aceptados por la AFCP.

1.7 TIEMPO DE FRAGUADO

El objetivo del ensayo del tiempo de fraguado es la determinación (1) del tiempo transcurrido desde el momento de la adición del agua hasta cuando la pasta deja de tener fluidez y de ser plástica bajo condiciones normalizadas de ensayo (llamado fraguado inicial) y (2) del tiempo transcurrido para que la pasta adquiera un cierto grado de endurecimiento (llamado fraguado final). Para determinar si un cemento se fragua de acuerdo con los límites especificados en las especificaciones de cemento, los ensayos se realizan el ensayo para la determinación del tiempo de fraguado correspondiente a la norma IRAM 1619.

El inicio del fraguado de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado temprano y el final del fraguado no debe ocurrir muy tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está o no sufriendo reacciones normales de hidratación. El tiempo de fraguado se ve afectado por varios factores: El sulfato (del yeso u otras fuentes) en el cemento, la finura, relación agua-cemento y cualquier aditivo empleado. El tiempo de fraguado del hormigón no tiene correlación directa con el de las pastas debido a la pérdida de agua para el aire o sustrato (lecho), presencia de agregado y diferencias de temperatura en la obra (en contraste con las temperaturas controladas en el laboratorio). El endurecimiento correcto resulta de un equilibrio cuidadoso de los compuestos de sulfato y aluminato, bien como de temperatura y finura adecuadas de los materiales (las cuales controlan la hidratación y la tasa de disolución)

1.7.1 Método de Ensayo

Se determinará este parámetro mediante el aparato de Vicat, provisto de una aguja normalizada y observando su penetración sobre la pasta de cemento de consistencia normal hasta alcanzar un valor específico. Para realizar este ensayo, es necesario tener acondicionado el laboratorio en una temperatura de (20 ± 2) °C y una humedad relativa de 50% como mínimo, ya que como se mencionó en la introducción de este apartado, son parámetros que influyen en el tiempo de fraguado del cemento.

1.7.2 Instrumental

1.7.2.1 Cámara húmeda

Se materializa mediante un trapo de algodón bien humedecido sobre el cual se apoyarán los moldes del Vicat y se los tapa utilizando un recipiente plástico con sus paredes humedecidas. Se necesita mantener la temperatura del recinto entre (20 ± 1) °C y la humedad relativa mayor al 90%.

1.7.2.2 Aparato de Vicat

Se utiliza el aparato de Vicat utilizado para la determinación de la consistencia normal (apartado 1.6.2.1) con la salvedad que esta vez se reemplaza la sonda cilíndrica por una aguja normalizada. Fig 1.14

1.7.2.3 Cronómetro

Fig. 1.14 A la izquierda, la aguja utilizada para determinación de tiempo de fraguado inicial. A la derecha el elemento usado para la determinación de tiempo de fraguado final.



1.7.3 Procedimiento

1.7.3.1 Preparación de la pasta de consistencia normal

Antes de realizar la determinación del tiempo de fraguado es necesario conocer con qué porcentaje de agua conformamos una pasta de consistencia normal. Es por ello que previamente hay que realizar el procedimiento del apartado 1.6.3

1.7.3.2 Calibración del aparato Vicat

Una vez preparado el aparato Vicat con la aguja, se coloca la placa de vidrio sobre el aparato y se hace bajar la aguja hasta hacer contacto con la placa. Esta medida será el punto cero del aparato. Se levanta la aguja y se lo deja en posición de espera.

1.7.3.3 Determinación del tiempo de fraguado inicial

Se llena el molde Vicat de la misma manera que se realizó en el ensayo de determinación de consistencia normal (apartado 1.6.3.3). Se guarda el molde lleno en la cámara húmeda y al cabo de una hora aproximadamente se lo saca y se lo coloca sobre el aparato Vicat ubicándolo centradamente para realizar la primera medición. Se baja la aguja suavemente hasta que entre en contacto con la pasta de consistencia normal. Se espera en esta posición durante $(1,5 \pm 0,5)$ segundos para evitar una velocidad inicial o una aceleración forzada y se lo suelta rápidamente. Hay que tener la precaución de acompañar la aguja en las primeras medidas hasta que notemos un cambio de consistencia, ya que inicialmente la pasta tiene una consistencia fluida y la aguja seguramente la penetrará en su totalidad hasta hacer contacto con la placa de vidrio, pudiendo dañar la aguja. Se toma lectura de la escala cuando haya terminado la penetración o cuando transcurran 30 segundos de su liberación, lo que ocurra primero. Esta lectura corresponde a la distancia en milímetros que hay entre el extremo de la aguja y la placa de vidrio. Además, hay que registrar el tiempo transcurrido desde el instante cero (cuando terminamos de incorporar el cemento al agua en la preparación de la pasta de consistencia normal). Una vez tomada la lectura, se retira la aguja, se la limpia con un trozo de papel absorbente con movimientos verticales tratando de no ejercer esfuerzos que la deformen. Se guarda la muestra en la cámara de curado hasta realizar una nueva penetración. El ensayo se repite sobre la misma probeta en posiciones convenientemente separadas, a 10 mm de los bordes o 10 mm entre ellas. La norma sugiere realizar penetraciones cada 10 minutos hasta obtener una penetración que acuse



Fig. 1.15 Ensayo de determinación de tiempo de fraguado

una distancia de (4 ± 1) mm entre el extremo de la aguja y la placa de vidrio, registrando el tiempo en minutos con una precisión de 5 min.

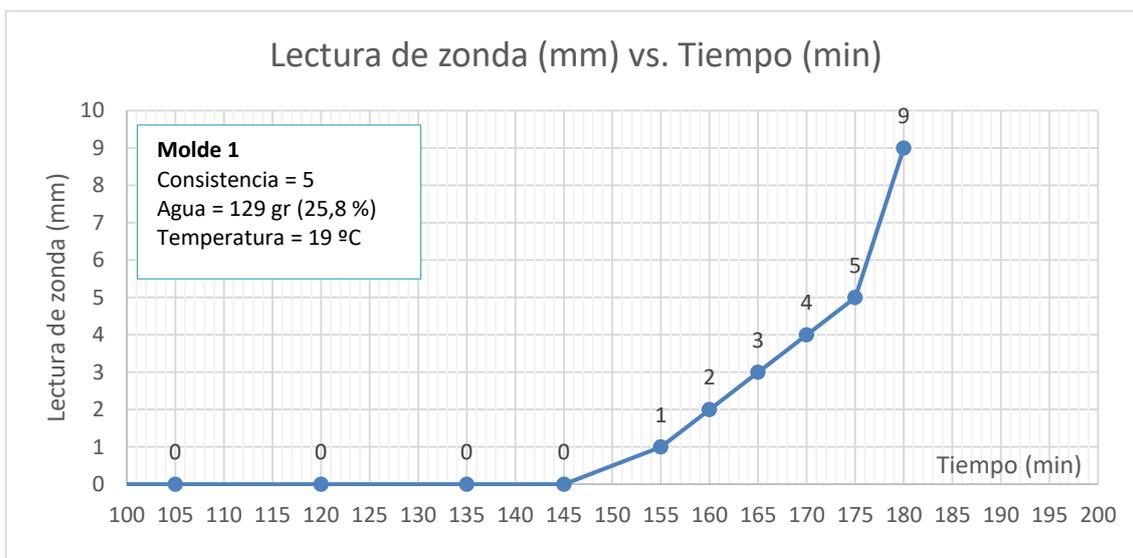
1.7.3.4 Determinación del tiempo de fraguado final

Una vez determinado el tiempo de fraguado inicial, se invierte el molde ayudándose de una segunda placa de vidrio, de modo que los ensayos de final de fraguado se efectúen sobre la cara de la probeta que estuvo en contacto con la placa base originalmente. Se cambia la aguja por una aguja que tiene un complemento de sección anular. La misma permite visualizar las penetraciones y determinar el final de fraguado. Esta vez, las penetraciones se realizan en intervalos de 30 minutos hasta que se vea un cambio de comportamiento en la pasta, donde se realizarán mediciones cada 10 minutos para lograr mayor precisión. Luego de cada penetración, se lleva el molde a la cámara de curado. Las mediciones se registran con una precisión de 15 minutos. Se hacen mediciones hasta lograr una penetración de 0,5 mm, la cual corresponde a la consistencia en la cual deja de observarse la marca del anillo anular por primera vez.

1.7.4 Resultados

A medida que se realizan las penetraciones, se va registrando y graficando en una hoja de cálculo las medidas del Vicat y el tiempo transcurrido como se muestran en el Gráfico 1.9 y Tabla 1.16. Se observa que una vez que la pasta comienza a perder fluidez, su consistencia cambia considerablemente en cuestión de minutos. Cuando el gráfico acuse un cambio de pendiente, es conveniente realizar mediciones cada 5 minutos para obtener un resultado de mayor precisión.

En esta sección se explicaron conceptos, procedimientos y resultados de ensayos del Interlaboratorio. En la sección 2.3.5 correspondiente a la calibración del calorímetro también se expondrán resultados de determinación de inicio y final de fraguado para distintos tipos de cementos.



IRAM 1619 Determinación del tiempo inicial y final de fraguado

- Cemento: Interlaboratorio AFCP 2017
- Identificación de muestra: Molde 1
- Fecha de ensayo: 13/09/2017
- Hora de ensayo: 10:23 am
- Técnico: Martín Leandro Quinteros
- Consistencia normal: 5 mm (25,8% agua)

N°	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO [min]	LECTURA ZONDA [mm]	OBSERVACIONES
1	10:53:00	30	0	
2	11:10:00	47	0	
3	11:23:00	60	0	
4	11:47:00	84	0	
5	12:00:00	97	0	
6	12:08:00	105	0	
7	12:23:00	120	0	
8	12:38:00	135	0	
9	12:48:00	145	0	
10	12:58:00	155	1	
11	13:03:00	160	2	
12	01:08:00	165	3	
13	01:13:00	170	4	Inicio de Fraguado
14	01:18:00	175	5	
15	01:23:00	180	9	
16	01:29:00	186	marca	
17	01:33:00	190	marca	
18	01:38:00	195	marca	
19	01:43:00	200	marca	
20	01:48:00	205	sin marca	Final de Fraguado

Tabla 1.16 Ensayo de tiempo de fraguado

Inicio de Fraguado = 170 ± 5 min
Final de fraguado = 205 ± 10 min

1.7.5 Informe técnico cemento Interlaboratorio

La AFCP publica el siguiente informe sobre tiempo de fraguado inicial del cemento Interlaboratorio:

Descripción	Resultados	
Cantidad de resultados	41	
Media \bar{X}	165	min
Máximo	240	
Mínimo	115	
Desviación Estándar S	25	
Coefficiente de Variación V	14,9	%
Límite superior	256	min
Límite inferior	73	

Tabla 1.17 Informe técnico de tiempo de fraguado en cemento Interlaboratorio

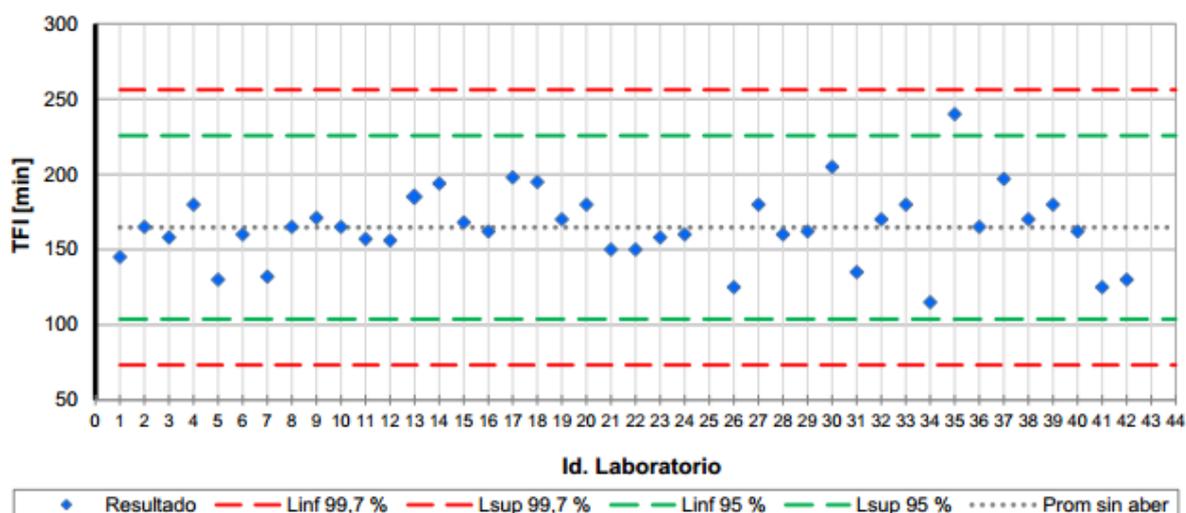


Gráfico 1.10 Comparación de resultados de Laboratorios participantes en determinación de tiempo de fraguado

El laboratorio de Estructuras de la UNC corresponde a la Id. 38. Como se observa en el Gráfico 1.10 el valor tiempo de fraguado inicial se encuentra dentro del rango de valores aceptados por la AFCP y muy próximo a la media.

- CAPÍTULO II - CALORIMETRÍA EN PASTA DE CEMENTO

2.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se adiciona agua al cemento portland se producen una serie de complejas reacciones químicas de carácter exotérmico, que permiten que en la pasta de cemento se produzca el fraguado inicial y cambie su estado fluido a un estado que posee resistencia mecánica. El calor liberado en este proceso, se denomina calor de hidratación y depende principalmente de la composición química del cemento. En este capítulo se desarrolla el fenómeno de hidratación, y se propone un plan de investigación cuyo objetivo será calibrar el equipo de Calorimetría que dispone el Laboratorio de Estructuras de la UNC para pasta de cemento mediante ensayos de tiempo de fraguado inicial y final según norma IRAM y ensayos de calorimetría.

2.2 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

La hidratación del cemento portland es un conjunto de reacciones químicas exotérmicas, por lo que es de utilidad estudiar el calor que liberan en este proceso. Se utiliza la curva calorimétrica la cual se obtiene de un ensayo de calorimetría diferencial para investigar el avance de las reacciones de hidratación.

La hidratación del cemento involucra dos mecanismos diferentes: disolución y reacción topoquímica. El primer mecanismo es predominante en las primeras edades del cemento. Aquí los compuestos reactivos se disuelven y producen iones en solución, estos iones se combinan y dan lugar a la precipitación de compuestos hidratados. El mecanismo topoquímico ocurre en las edades más avanzadas de la hidratación, donde las reacciones tienen lugar directamente sobre la superficie de los componentes sin que los mismos se encuentren en disolución.

Para poder entender los procesos químicos que determinan el fraguado del cemento, es necesario estudiar la hidratación de cada uno de los minerales de clinker por separado. Previo al estudio de cada una de las reacciones, se profundiza sobre el concepto de calor de hidratación y su importancia en la ingeniería.

2.2.1 Calor de Hidratación

Es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende primariamente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A (aluminato tricálcico) y el C_3S (silicato tricálcico) los compuestos más importantes para la evolución de calor. Otras variables son la relación agua/cemento, finura del cemento y temperatura de curado. Un aumento de la finura, del contenido de cemento y de la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación. A pesar de que el cemento portland puede liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas. Se genera gran cantidad de calor en los tres primeros días, donde la mayor tasa se da en las primeras 24 horas.

En algunas tipologías estructurales como vigas de secciones chicas o losas, en donde alguna de sus dimensiones es más chica que las otras dos no es relevante considerar

los efectos térmicos que pueden provocar la hidratación del cemento, ya que el calor puede ser liberado al medio ambiente fácilmente. En estructuras con grandes volúmenes, de espesor mayor a un metro, la tasa y la cantidad de calor generado son importantes. Si este calor no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable de la temperatura del hormigón. Después del endurecimiento a altas temperaturas, el enfriamiento no uniforme de la masa de concreto hasta la temperatura ambiente puede crear tensiones de tracción indeseables.

En la Fig. 2.1 se observa la evolución del calor de hidratación en función del tiempo para pasta de cemento. La etapa 1 corresponde a la hidratación de los silicatos tricálcicos y aluminatos tricálcicos, la cual tiene una duración de 15 minutos aproximadamente. La etapa 2 se trata de un período durmiente el cual está relacionado con el tiempo de fraguado inicial. La etapa 3 es una reacción acelerada de los productos de hidratación que determina la tasa de endurecimiento y el tiempo de fraguado inicial. En la etapa 4 hay una desaceleración de la formación de los productos de hidratación y determina la tasa de aumento de la resistencia inicial. La etapa 5 es lenta y está caracterizada por la formación estable de productos de hidratación, estabilizando la tasa de aumento de resistencia a edades avanzadas.

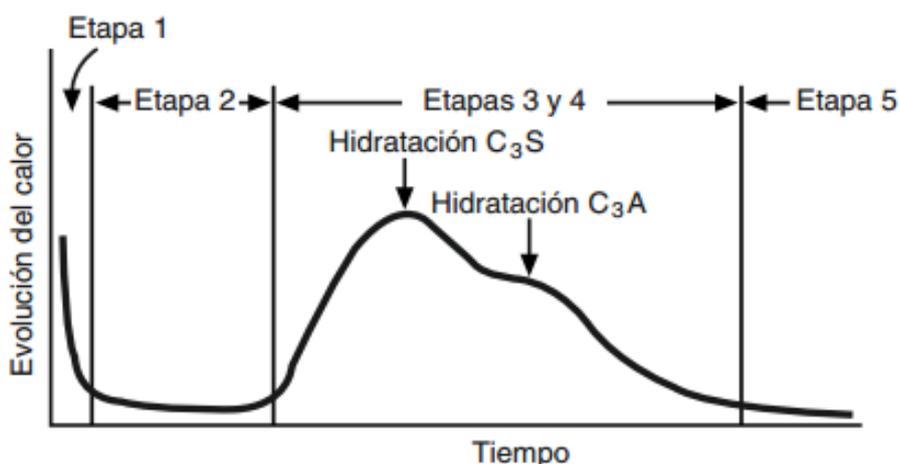
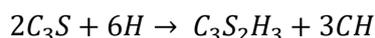


Fig. 2.1 Evolución del calor de hidratación en función del tiempo para pasta de cemento.

2.2.2 Hidratación de los compuestos del cemento

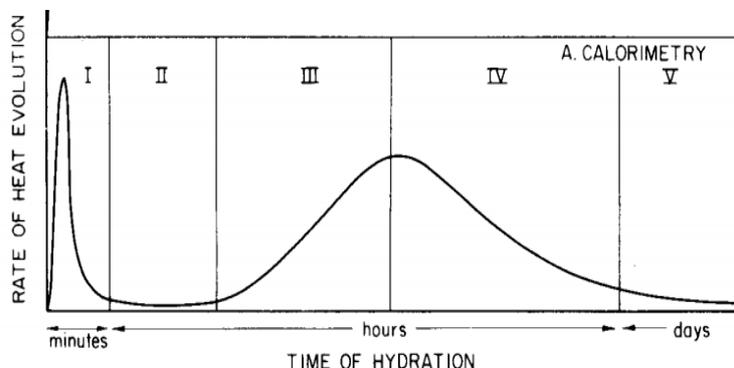
2.2.2.1 Silicato tricálcico C₃S

El silicato tricálcico al ser mezclado con el agua (H), se hidrolizan y producen un silicato de calcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de calcio (CH). Puede representarse aproximadamente con:



Cuando se mezcla el C₃S con el agua se produce un período de rápida evolución de calor debido al mecanismo de disolución, el cual tiene una duración de 15 minutos aproximadamente. A continuación, se produce un período inactivo denominado período durmiente en donde el C₃S está continuamente en disolución. Este período puede durar de 2 a 4 horas. Cuando la disolución está sobresaturada, los compuestos precipitan y se produce un cambio del C-S-H a una forma más permeable produciendo

que la reacción se acelere y comience a cristalizar dando lugar al inicio de fraguado. Luego vendrá un estado de desaceleración, donde la tasa de liberación de calor decrece y a continuación un período estacionario, donde la curva de liberación de calor se hace asintótica en el tiempo.

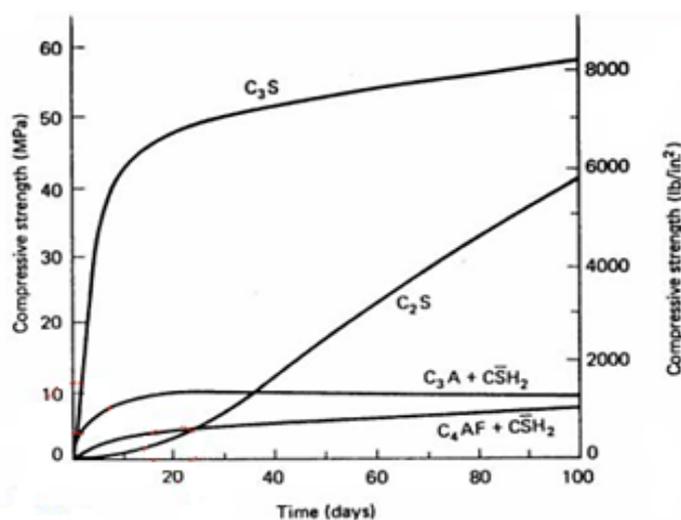
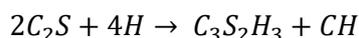


la cantidad de calor total liberado durante el proceso de hidratación del C₃S es de 502 J/gr y aporta alta resistencia a corto plazo.

Fig. 2.2 Velocidad de desarrollo de calor durante la hidratación del silicato tricálcico en función del tiempo

2.2.2.2 Silicato dicálcico

La hidratación del C₂S presenta un mecanismo similar al del C₃S pero su desarrollo es más lento. Al igual que el C₃S, al mezclarlo con el agua (H) se hidrolizan y producen silicato de calcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de calcio (CH). Puede representarse aproximadamente con:



También libera menor calor total que el C₃S en su reacción (260 J/gr) y confiere al cemento alta resistencia a largo plazo. Fig 2.3

Fig. 2.3 Variación de la resistencia de cada uno de los componentes del clinker en función del tiempo

2.2.2.3 Aluminato tricálcico

Entre los minerales presentes en el cemento de Portland, el aluminato tricálcico C₃A es el más reactivo con el agua y tiene una influencia significativa sobre la temprana hidratación y la reología del cemento Portland y hormigón. La fase C₃A, reacciona inmediatamente con el agua y produce el fraguado instantáneo de la pasta, con una elevada liberación de calor: 850 J/gr. El fraguado instantáneo de este componente

puede evitarse con la incorporación de yeso, el cual modifica las reacciones de hidratación y eleva la liberación de calor de este constituyente a 1452 J/gr. Produce una pequeña contribución a la resistencia. Fig. 2.4

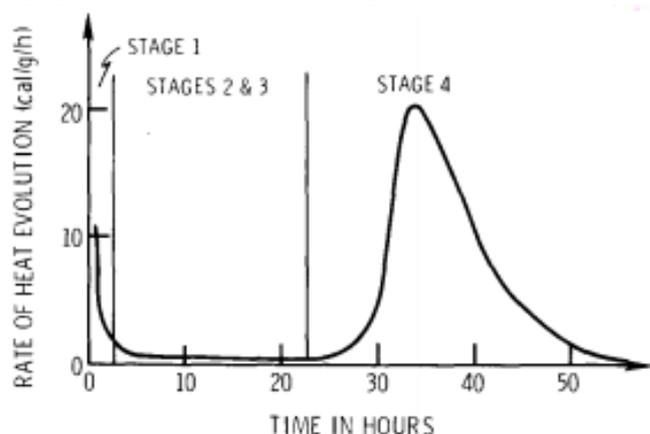


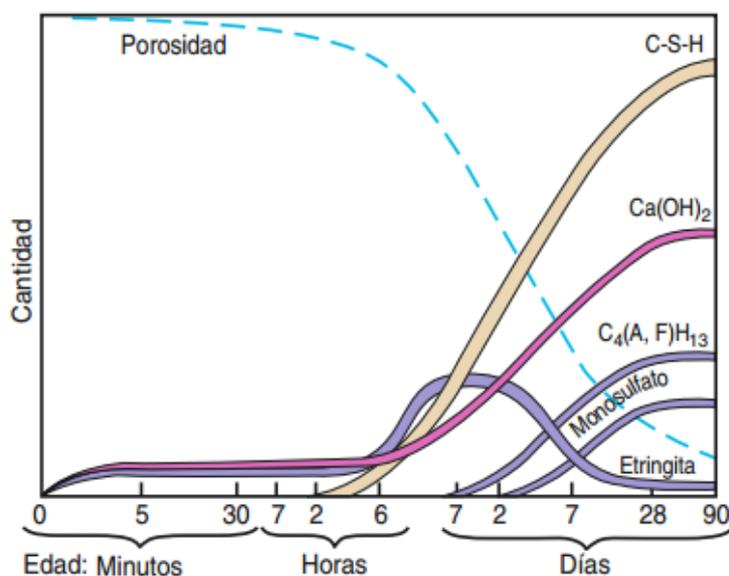
Fig. 2.4 Velocidad de desarrollo de calor durante la hidratación del aluminato tricálcico en función del tiempo

2.2.2.4 *Ferro aluminato de calcio*

La fase C_4AF reacciona rápidamente con el agua y produce un fraguado en pocos minutos. El calor liberado durante la hidratación es aproximadamente 420 J/gr y el aporte de resistencia que proporciona es muy pequeña. Aparentemente tiene la misma secuencia de hidratación que la correspondiente al C_3A aunque las reacciones son más lentas y liberan menor cantidad de calor. No causa fraguado instantáneo de la pasta debido a que no se hidrata lo suficientemente rápido y la presencia de yeso retarda su hidratación más drásticamente que la del C_3A .

2.2.3 Desarrollo de la estructura del cemento

La pasta de cemento, en cualquier etapa de hidratación está constituida por los productos de la hidratación, los granos de cemento anhidro y el espacio vacío que los separa (capilares), los cuales pueden contener agua. Los productos de hidratación son el C-S-H, el CH y pequeñas cantidades de ettringita y monosulfoaluminato y eventualmente aluminatos hidratados. Estos compuestos formados por el avance de la hidratación llenan progresivamente los espacios entre los granos de cemento y se crean puntos de contacto que causan la rigidización de la pasta (inicio de fraguado). Aumenta el tiempo de hidratación, y el aumento de puntos de contacto restringen totalmente la movilidad de la pasta y alcanza el fraguado final del cemento. El período de fraguado se caracteriza por una aceleración en la velocidad de hidratación, en tanto que el período de endurecimiento es un estado durante el cual las reacciones se desaceleran.



Al mismo tiempo que transcurre la hidratación, y la producción de productos de hidratación, se observa una disminución de los espacios vacíos entre los granos, la que es representada por la línea de trazos en la Fig. 2.5.

Fig. 2.5 Volumen relativo de los compuestos principales en la microestructura de las pastas de cemento durante el proceso de hidratación en función del tiempo

2.3 CALIBRACIÓN CALORÍMETRO PARA PASTA DE CEMENTO

El Laboratorio de Estructuras de la UNC dispone un equipo para realizar ensayos de calorimetría diferencial por conducción para pasta de cemento y morteros de hormigón. Una vez comprendido el fenómeno de hidratación y su correlación con el desarrollo de estructura de la pasta de cemento, se procede a realizar ensayos de calorimetría con el objetivo de calibrar el equipo. Cabe destacar que el calorímetro presenta un comportamiento diferente para pasta de cemento que, para morteros, por lo cual se debe realizar una calibración para cada aplicación. En esta práctica se desarrolla la calibración para pasta de cemento.

2.3.1 Normativa

En la actualidad no se dispone de una norma IRAM que establezca los procedimientos para ensayos de determinación de tiempo de fraguado mediante la utilización de un calorímetro semiadiabático, por lo que se procede proponiendo el siguiente plan de investigación.

2.3.2 Plan de investigación propuesto

La calibración del dispositivo calorímetro se basa en determinar la correlación entre los resultados de un ensayo IRAM 1619 de determinación de tiempo inicial y final de fraguado para pasta de cemento y el ensayo de calorimetría diferencial por conducción. Como se vio en los apartados anteriores, la hidratación del cemento portland es un conjunto de complejas reacciones químicas exotérmicas que depende de diversos factores, tales como su composición química, superficie específica de sus granos, relación agua/cemento, y temperatura. Además, en el proceso de hidratación transcurre la cristalización de sus componentes, los cuales le otorgan resistencia mecánica a la pasta de cemento. Es lógico pensar que existe una correlación entre la liberación de calor que se produce en el proceso de hidratación del cemento y el tiempo de fraguado inicial y final, que caracteriza la resistencia adquirida por la pasta mediante la penetración de una sonda normalizada.

Cada tipo de cemento tiene su curva calorimétrica y tendrá un tiempo de fraguado inicial y final que lo caracteriza. Como resulta imposible realizar ensayos de todos los tipos de cemento que hay en el mercado y a su vez de cada uno de los productores, se propone un plan de investigación. El mismo consiste en realizar ensayos de inicio y final de fraguado y ensayos de calorimetría diferencial sobre cuatro cementos de los cuales había disponibilidad suficiente en el Laboratorio de Estructuras. La muestra se compone de dos cementos puzolánicos, uno en bolsa y otro a granel (CPP40) y (CPP40 Granel) respectivamente, un cemento filerizado (CPF40) y otro compuesto (CPC40). Como uno de los factores que influye en la hidratación del cemento es la relación agua/cemento, se propone realizar ensayos con pastas de consistencia normal, lo que implica que previo a la realización de cualquier ensayo, es necesario conocer la cantidad de agua de amasado para lograr una pasta de consistencia normal IRAM 1612 en cada uno de los cementos que conforman la muestra. Se supone que tanto los ensayos IRAM 1612 e IRAM 1619 se realizan correctamente ya que los resultados obtenidos en el Interlaboratorio son muy próximos a la media, y por lo tanto pueden ser utilizados para la correlación entre los resultados.

2.3.3 Propiedades de los cementos utilizados

2.3.3.1 Cemento portland puzolánico

Respecto al cemento normal, los hormigones elaborados con estos cementos presentan menor calor de hidratación, un desarrollo de resistencia más lento, mayor resistencia a largo plazo (superior a 28 días), mayor resistencia a los medios agresivos. Se recomienda su utilización para obras de hormigón en masa como presas y cimentaciones masivas (grandes volúmenes) y en muros de contención y obras en estructuras en contacto de medios agresivos (aguas puras, carbónicas agresivas, suelos con sulfatos, obras marítimas, etc.).

2.3.3.2 Cemento portland filerizado

Respecto al cemento normal, otorgan mayor cohesión a las mezclas, mejor trabajabilidad, menor exudación, y mejor bombeabilidad. En estado endurecido, mejora el desarrollo de las resistencias iniciales. Se utiliza para estructuras de hormigón armado y proyectado, pavimentos, hormigones a la vista y mezclas secas.

2.3.3.3 Cemento portland compuesto

En su composición presenta dos o más adiciones (escoria, puzolanas o filler calcáreo), por lo que su comportamiento dependerá en forma relativa de los porcentajes de las adiciones utilizadas. Se utiliza en estructuras de hormigón armado, pavimentos, obras hidráulicas, y hormigones en masa. También en hormigones donde se aproveche el desarrollo de su resistencia a largo plazo.



Fig. 2.6 Muestra utilizada, de izquierda a derecha: CPP40, CPP40 Granel, CPF40, y CPC40

2.3.4 Determinación de la consistencia normal

Se utilizan los procedimientos detallados en la norma IRAM 1612, detallados en el apartado 1.6.3 para determinar la cantidad de agua necesaria a agregar para conformar una pasta de consistencia normal.

2.3.3.1 Cemento Portland Puzolánico CPP40

IRAM 1612 Determinación de la consistencia Normal

- Cemento: Cemento portland Puzolánico CPP40
- Instrumental: Vicat celeste
- Placa de vidrio: 4 mm
- Fecha de ensayo: 14/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

PASTA N°		1	2	3	4	5
AGUA	(%)	25	30	30,4	31,6	32,6
	(gr.)	125	150	152	158	163
LECTURA ZONDA (mm)		descarto	12,5	11	9,5	5

Tabla 2.1 Ensayo de consistencia normal CPP40

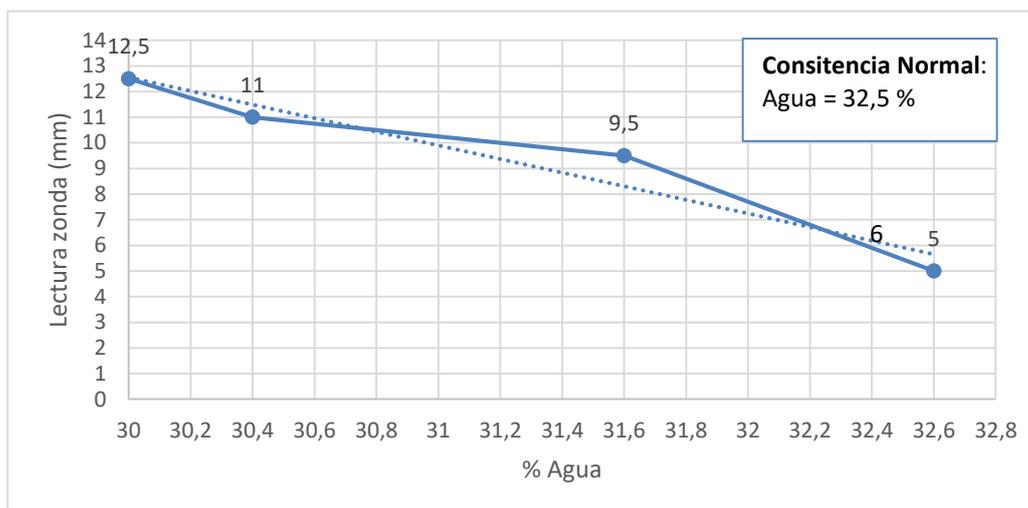


Gráfico 2.1 Variación de lectura de zonda en función del contenido de agua en CPP40

2.3.3.2 Cemento Portland Puzolánico CPP40 Granel

IRAM 1612 Determinación de la consistencia Normal

- Cemento: Cemento portland Puzolánico CPP40 Granel
- Instrumental: Vicat celeste
- Placa de vidrio: 4 mm
- Fecha de ensayo: 14/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

PASTA N°		1	2	3	4
AGUA	(%)	29	30	30,8	31,5
	(gr.)	145	150	154	157,5
LECTURA ZONDA (mm)		11	9	5	4

Tabla 2.2 Ensayo de consistencia normal CPP40 Granel

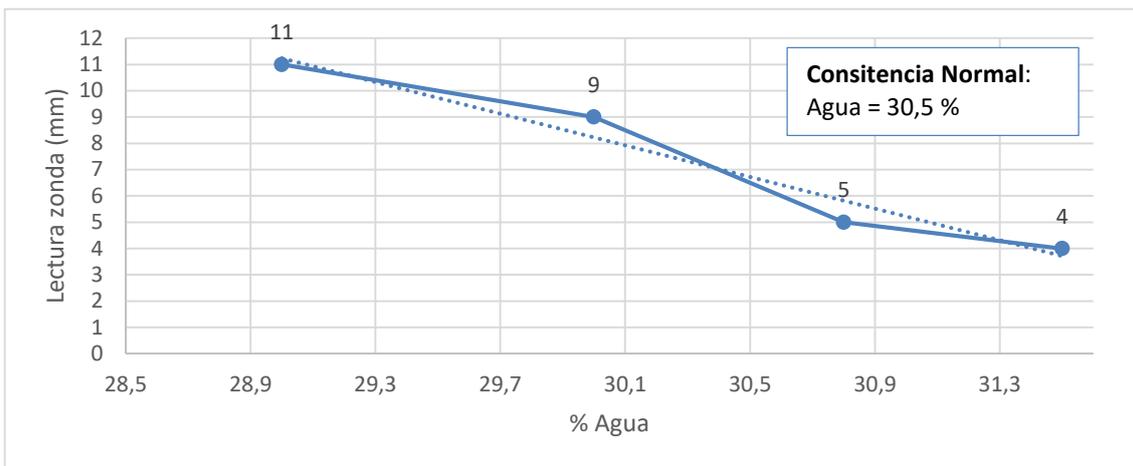


Gráfico 2.2 Variación de lectura de zonda en función del contenido de agua en CPP40 Grael

2.3.3.3 Cemento Portland Filerizado CPF40

IRAM 1612 Determinación de la consistencia Normal

- Cemento: Cemento portland Filerizado CPF40
- Instrumental: Vicat celeste
- Placa de vidrio: 4 mm
- Fecha de ensayo: 18/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

PASTA N°		1	2	3	4
AGUA	(%)	28	28,6	28,8	29
	(gr.)	140	143	144	145
LECTURA ZONDA (mm)		10	8	7	5

Tabla 2.3 Ensayo de consistencia normal CPF40

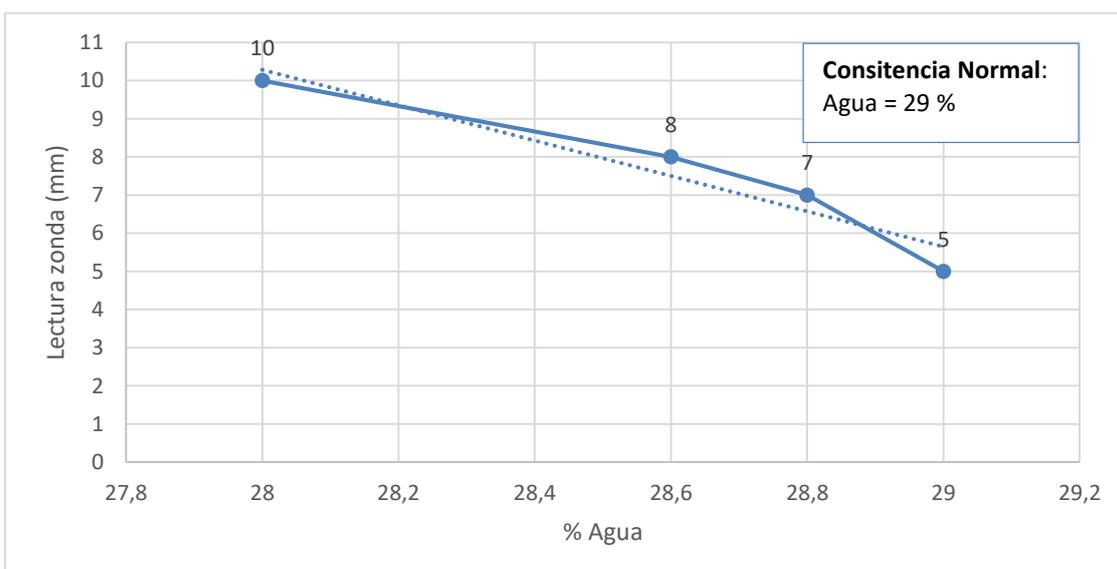


Gráfico 2.3 Variación de lectura de zonda en función del contenido de agua en CPF40

2.3.3.4 Cemento Portland Compuesto CPC40

IRAM 1612 Determinación de la consistencia Normal

- Cemento: Cemento portland Filerizado CPC40
- Instrumental: Vicat celeste
- Placa de vidrio: 4 mm
- Fecha de ensayo: 18/09/2017
- Técnico: Quinteros Martín

PASTA N°		1	2	4	3
AGUA	(%)	27	29	30,2	30,6
	(gr.)	135	145	151	153
LECTURA ZONDA (mm)		14	9,5	6	4

Tabla 2.4 Ensayo de consistencia normal CPC40

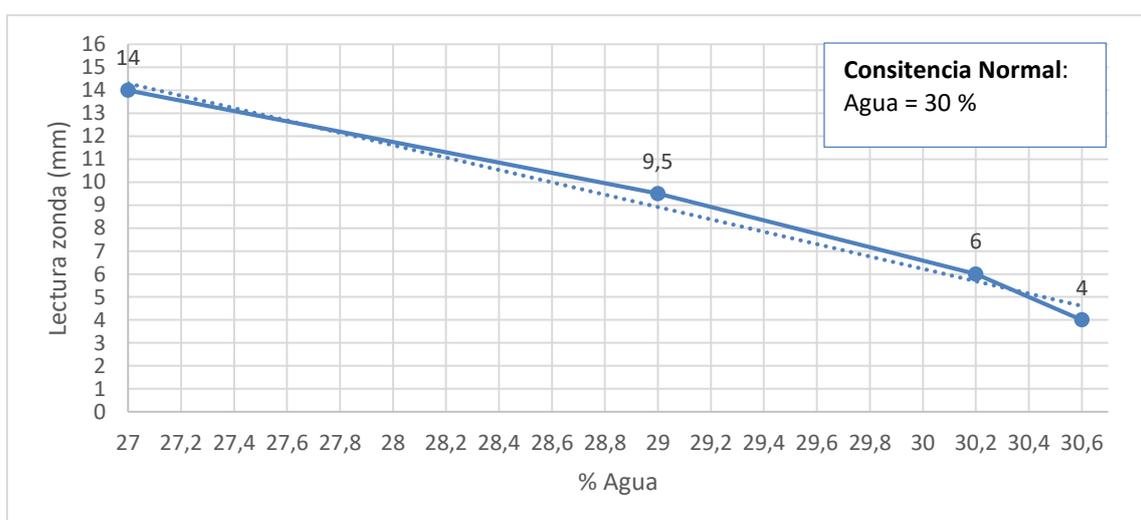


Gráfico 2.4 Variación de lectura de zonda en función del contenido de agua en CPC40

2.3.3.5 Resumen de resultados IRAM 1612

En la Tabla 2.5 se expresan un resumen de los resultados obtenidos en la determinación del agua de amasado para pasta de consistencia normal

Cemento	Agua	
	[%]	[gr]
CPP40	32,5	162,5
CPP40 Granel	30,5	152,5
CPF40	29	145
CPC40	30	150

Tabla 2.5 Resultados de ensayos de consistencia normal



Fig. 2.7 Proporciones de cemento y agua a utilizar

Si bien se han ensayado pastas con porcentajes de agua del orden del 0,1%, la norma establece que los resultados deben tener una aproximación del 0,5%

2.3.5 Determinación del tiempo de Fraguado

Se utilizan los procedimientos detallados en la norma IRAM 1619, detallados en el apartado 1.7.3 para la determinación del tiempo de fraguado inicial y final sobre pasta de cemento.

2.3.5.1 Cemento portland puzolánico CPP40

IRAM 1619 Determinación del tiempo inicial y final de fraguado

- Fecha de ensayo: 21/09/2017
- Hora de ensayo: 09:43 am
- Temperatura: 19°C
- Consistencia: 5 mm (32,5%)
- Identificación de muestra: Molde 1
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 226 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

N°	HORA	TIEMPO TRANSC. [min]	LECTURA ZONDA [mm]	OBSERVACIONES
1	10:48:00	65	0	
2	11:31:00	108	0	
3	11:46:00	113	0	
4	11:59:00	126	0	
5	12:10:00	137	0	
6	12:15:00	142	0	
7	12:23:00	150	0	
8	12:35:00	162	0,5	
9	12:40:00	167	0,5	
10	12:45:00	172	1	
11	12:50:00	177	1	
12	12:55:00	182	1	
13	13:02:00	189	1,5	
14	13:07:00	194	2	
15	13:13:00	200	2	
16	13:18:00	205	2	
17	13:25:00	212	2	
18	13:30:00	217	3	muchas variación entre mediciones
19	13:36:00	223	3	
20	13:39:00	226	4	Inicio de fraguado
21	13:44:00	231	5	muchas variación entre mediciones
22	13:50:00	237	7	
23	14:05:00	252	marca	
24	14:15:00	262	marca	
25	14:25:00	272	marca	
26	14:30:00	282	sin marca	Final de fraguado

Tabla 2.6 Tiempo de fraguado inicial y final CPP40

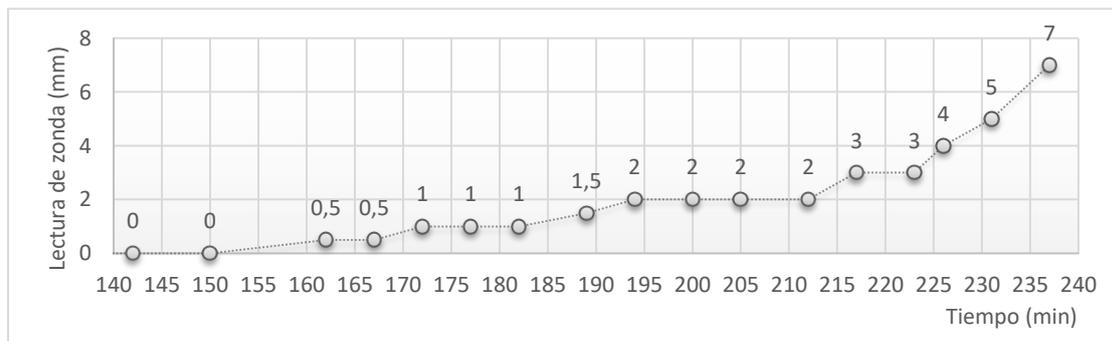


Gráfico 2.5 Variación de la lectura de zonda al transcurrir el tiempo en CPP40

2.3.5.2 Cemento portland puzolánico CPP40 granel

IRAM 1619 Determinación del tiempo inicial y final de fraguado

- Fecha de ensayo: 21/09/2017
- Hora de ensayo: 09:15 am
- Temperatura: 19°C
- Consistencia: 5 mm (30,5%)
- Identificación de muestra: Molde 2
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 175 ± 5 min
Final de fraguado = 225 ± 10 min

N°	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO [min]	LECTURA ZONDA [mm]	OBSERVACIONES
1	10:48:00	93	0	
2	11:09:00	114	0	
3	11:20:00	125	0	
4	11:30:00	135	0	
5	11:35:00	140	0	
6	11:40:00	145	0,5	
7	11:45:00	150	0,5	
8	11:50:00	155	1	
9	11:55:00	160	1	
10	00:00:00	165	1,5	
11	12:05:00	170	2	
12	12:10:00	175	4	Inicio de fraguado
13	12:15:00	180	6	
14	12:20:00	185	8	
15	12:29:00	194	marca	
16	12:35:00	200	marca	
17	12:40:00	205	marca	
18	12:46:00	211	marca	
19	12:51:00	216	marca	
20	12:56:00	220	marca	
21	13:01:00	225	sin marca	Final de fraguado

Tabla 2.7 Tiempo de fraguado inicial y final CPP40 granel

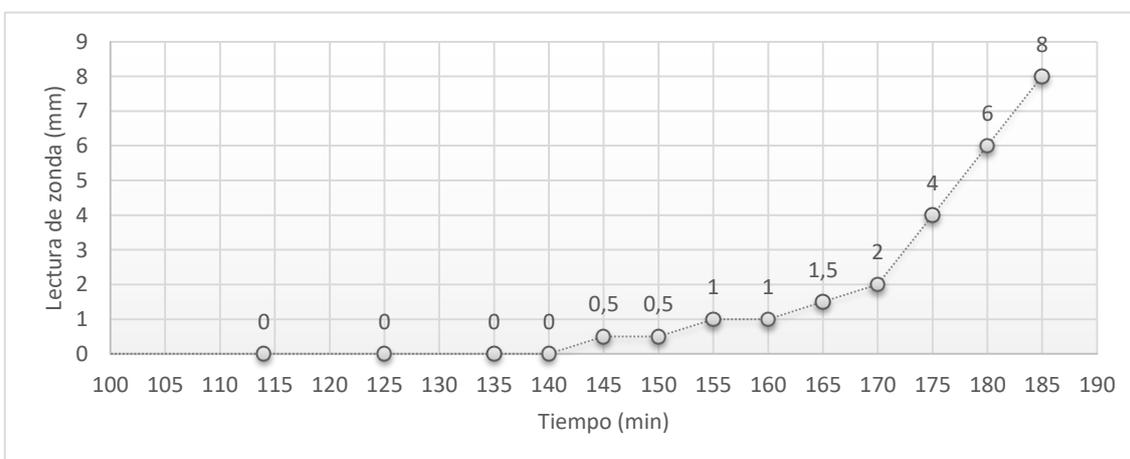


Gráfico 2.6 Variación de la lectura de zonda al transcurrir el tiempo en CPP40 granel

2.3.5.3 Cemento portland filerizado CPF40

IRAM 1619 Determinación del tiempo inicial y final de fraguado

- Fecha de ensayo: 28/09/2017
- Hora de ensayo: 09:45 am
- Temperatura: 18,5°C
- Consistencia: 5 mm (29%)
- Identificación de muestra: Molde 1
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 210 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

N°	HORA	TIEMPO TRANSC. [min]	LECTURA ZONDA [mm]	OBSERVACIONES
1	10:50:00	65	0	
2	11:22:00	97	0	
3	11:42:00	117	0	
4	12:02:00	137	0	
5	12:12:00	147	0	
6	12:22:00	157	0,5	
7	12:30:00	165	0,5	
8	12:40:00	175	1	
9	12:45:00	180	1	
10	12:55:00	190	1	
11	13:05:00	200	2	
12	01:15:00	210	4	Inicio de fraguado
13	13:20:00	215	5	
14	13:25:00	220	9	
15	13:30:00	225	marca	
16	13:45:00	240	marca	
17	14:00:00	255	marca	
18	14:10:00	265	marca	
19	14:25:00	280	sin marca	Final de fraguado

Tabla 2.8 Tiempo de fraguado inicial y final CPF40

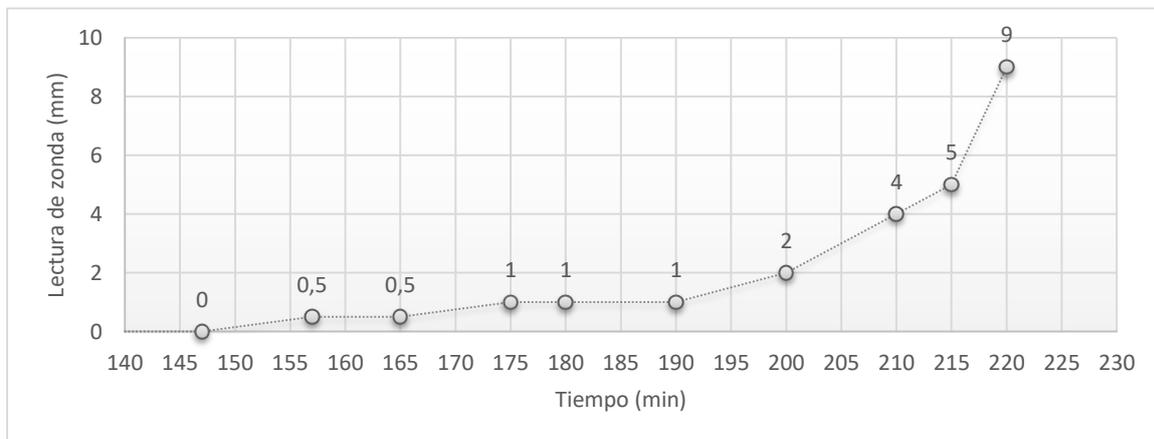


Gráfico 2.7 Variación de la lectura de zonda al transcurrir el tiempo en CPF40

2.3.5.4 Cemento portland compuesto CPC40

IRAM 1619 Determinación del tiempo inicial y final de fraguado

- Fecha de ensayo: 05/10/2017
- Hora de ensayo: 09:45 am
- Temperatura: 18,5°C
- Consistencia: 7 mm (30%)
- Identificación de muestra: Molde 1
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 185 ± 5 min
Final de fraguado = 250 ± 10 min

N°	HORA	TIEMPO TRANSC. [min]	LECTURA ZONDA [mm]	OBSERVACIONES
1	11:05:00	80	0	
2	11:15:00	90	0	
3	11:40:00	115	0	
4	11:50:00	125	0,5	
5	11:55:00	130	0,8	
6	12:00:00	135	0,8	
7	12:05:00	140	0,9	
8	12:10:00	145	1	
9	12:20:00	155	1,5	
10	12:30:00	165	2	
11	12:35:00	170	2,5	
12	12:40:00	175	3	
13	12:50:00	185	4	Inicio de fraguado
14	13:00:00	195	6	
15	13:10:00	205	9	
16	13:20:00	215	12,5	
17	13:30:00	225	marca	
18	13:40:00	235	marca	
19	13:50:00	245	marca	
20	13:55:00	250	sin marca	Final de fraguado

Tabla 2.9 Tiempo de fraguado inicial y final CPC40

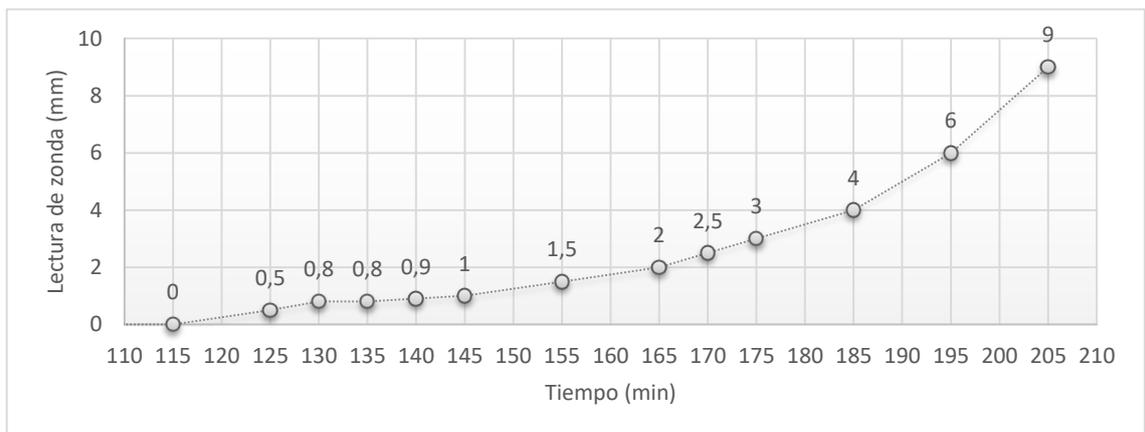


Gráfico 2.8 Variación de la lectura de zonda al transcurrir el tiempo en CPC40

2.4 ENSAYOS CON CALORÍMETRO SEMIADIABÁTICO

Estos ensayos consisten en la determinación de la variación de temperatura que experimenta una pasta de cemento en función del tiempo. La misma se refleja en un gráfico cuyas ordenadas representan temperaturas alcanzadas y en abscisas el tiempo. El análisis de estos resultados puede ser utilizado para:

- * Optimización de dosis de aditivo;
- * Verificación de falso fraguado;
- * Verificación de fraguado acelerado;
- * Estabilización del concreto con aditivos retardadores;
- * Determinación de materiales incompatibles;
- * Desequilibrio de sulfatos;
- * Estimación de la composición química;
- * Estimación de inicio y final de fraguado.

En este caso determinaremos una correlación de resultados para que, en un futuro, el equipo pueda ser utilizado para estimación de inicio y final de fraguado.

2.4.1 Objetivo

Calibrar el Calorímetro Semiadiabático del Laboratorio de Estructuras de la UNC para pasta de cemento, de modo que permita determinar tiempos de inicio y final de fraguado con el análisis de curvas resultantes de ensayos de calorimetría.

2.4.2 Método de ensayo

Se determinarán curvas de variación de temperatura en función del tiempo sobre pastas de consistencia normal de distintos cementos variando la masa de ensayo, mediante el empleo de un Calorímetro Semiadiabático. Para realizar este ensayo, es necesario que el lugar donde se encuentre el Calorímetro esté acondicionado y no sufra grandes variaciones de temperatura. Se adoptan las medidas de los ensayos de tiempo de fraguado. Esto es una temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de 50% como mínimo.

2.4.3 Instrumental

2.4.3.1 Calorímetro Semiadiabático

El mismo fue donado al Laboratorio de Estructuras de la UNC por la empresa GCP Applied Technologies. Consiste en un recipiente con capacidad para cuatro muestras. Se encuentra revestido por poliestireno expandido y realiza las mediciones por la parte inferior de las cavidades para las muestras. Posee un puerto USB para conectar a un ordenador y configurar los puertos que se van a utilizar, la frecuencia con que se van a tomar lecturas, y permite iniciar y finalizar los ensayos.



Fig. 2.8 Calorímetro semiadiabático

2.4.3.2 Vasos de muestra

Son vasos plásticos en donde se coloca la pasta de cemento de consistencia normal. Sus medidas aproximadas son de siete cm. de diámetro por 10 cm. De alto. Una vez moldeada, se lo tapa y se introduce en el puerto del calorímetro.



Fig. 2.9 Vasos de muestra

2.4.3.2 Software HOBOWare

Es un software para la gestión de registradores como el Calorímetro, permite realizar gráficos, análisis y exportación de datos.

2.4.4 Procedimiento

2.4.4.1 Preparación del Calorímetro

Antes de confeccionar la pasta de consistencia normal, se debe dejar el calorímetro abierto con sus cavidades destapadas para que se estabilicen las temperaturas.

2.4.4.2 Preparación de la pasta de consistencia normal

Con los resultados obtenidos en 2.3.4 se confeccionan pastas de cemento de consistencia normal. Se utilizan los procedimientos detallados en la norma IRAM 1612, detallados en el apartado 1.6.3.

2.4.4.3 Moldeo de muestra

En el instante que entra en contacto el agua de amasado con el cemento portland, comienza la liberación de calor. El moldeo de la pasta de cemento en el vaso debe realizarse lo más rápido posible, ya que cada minuto que se tarde de más, es información que se pierde por no tener lectura de temperatura, y si recordamos los gráficos de evolución de calor en función del tiempo, las reacciones más significativas se daban en los tiempos más tempranos, por lo tanto, perderíamos información importante.

Se pesa el molde antes del llenado. Una vez obtenida la pasta de cemento de consistencia normal, se procede lo más rápido posible para moldear el vaso de muestra. Se colocan pequeñas cantidades distribuidas en la superficie del vaso y se lo vibra ligeramente con movimientos circulares y pequeños golpes con la palma de la mano sobre la pared del vaso para liberar las posibles burbujas de aire.

Se moldean muestras de distintas masas para interpretación de resultados. Se tapan los vasos de muestra y se registra su masa.

2.4.4.4 Ensayo de calorimetría

Se introduce un vaso por puerto de calorímetro, se colocan las tapas de cada puerto, se conecta el calorímetro a un ordenador por cable USB y se ejecuta el software HOBOWare. Se seleccionan los puertos sobre los cuales queremos que se tomen lectura. Se le asigna un nombre a cada puerto; por ejemplo: Puerto 1: CPP40 m1, Puerto 2: CPP40 m2, Puerto 3: CPP40 m3. Se asigna una frecuencia de lectura de temperatura de un minuto. Se selecciona el comando Inicio, para que comience a tomar lectura. Ya se puede desconectar el calorímetro, se cierra la tapa del equipo y se lo deja en un lugar donde la temperatura ambiente no sufra cambios considerables.

2.4.5 Resultados

Los resultados se expresan mediante datos de ensayo, un gráfico de variación de temperatura en función del tiempo y de una tabla de interpretación de resultados. Se realizaron tres ensayos de calorimetría por cada tipo de cemento.

En el gráfico se indicarán los valores teóricos de inicio y final de fraguado mediante una cruz, lo cual permitirá visualizar a que porcentaje de desarrollo de temperatura corresponde el inicio y el final de fraguado.

Se acompaña con una tabla como la siguiente. A modo de ejemplo:

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:46	21,94	11,32%	11,83%
	13:56	22,08	12,34%	
FINAL	14:32	22,66	16,57%	18,83%
	15:02	23,28	21,10%	

Tabla 2.10 Tabla ejemplo en donde se comparan resultados en VICAT y en calorímetro de cada muestra.

En donde, en la columna “VICAT” se coloca la hora teórica a la cual se debería dar el inicio y final de fraguado con el margen de variación que establece la norma IRAM 1619. Ejemplo: El ensayo se comienza a las 10:05 am y el tiempo de inicio de fraguado es de 226 ± 5 minutos (3 hs 41min), correspondientes a las 13:46 hs y 13:56 hs. contemplando los márgenes de la norma. Lo mismo se da para el final de fraguado que se indican en las filas 3 y 4 en donde el margen es de ± 10 minutos.

En la columna “Temperatura” se expresan las temperaturas registradas por el Calorímetro Semi-Adiabático correspondiente a la hora indicada en la columna anterior.

En la columna “Corresponde a” se indica el porcentaje correspondiente a la variación de temperatura total. Ejemplo: 21,94 °C corresponden a 11,32 % de ΔT . Donde ΔT es la lectura máxima menos la lectura mínima registradas durante el ensayo:

- Temperatura mínima: 20,39 °C
- Temperatura máxima: 34,10 °C
- ΔT : 13,71 °C



Fig. 2.10 Lecturas en software HOBOWare del Calorímetro Semiadiabático

2.4.5.1 Cemento portland puzolánico CPP40
Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 21/09/2017
- Hora de mezcla: 10:05 am
- Hora de inicio registro: 10:10 am
- Identificación de muestra: CPP40-1
- Masa: 294 gr
- Temperatura: 19°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 226 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 20,39 °C
- Temperatura máxima: 34,10 °C
- ΔT: 13,71 °C

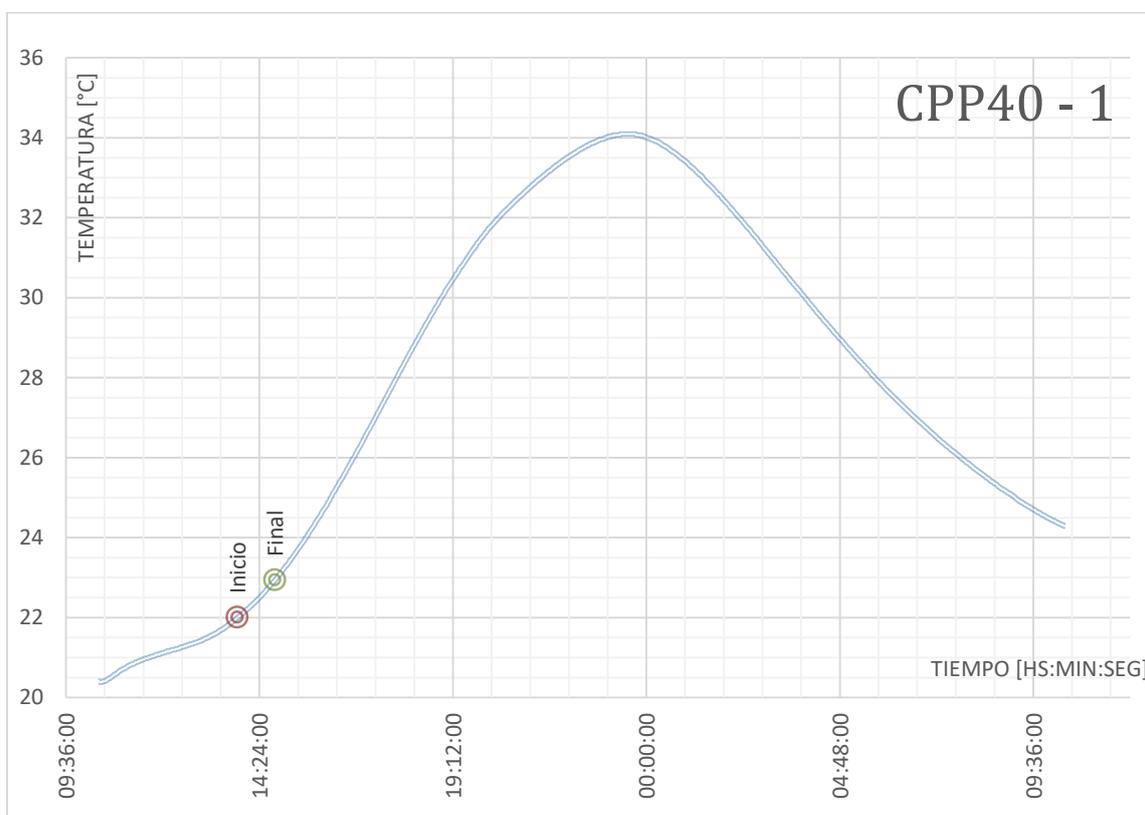


Gráfico 2.9 Evolución de calor de la pasta CPP40-1 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:46	21,94	11,32%	11,83%
	13:56	22,08	12,34%	
FINAL	14:32	22,66	16,57%	18,83%
	15:02	23,28	21,10%	

Tabla 2.11 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40 - 1

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 21/09/2017
- Hora de mezcla: 10:05 am
- Hora de inicio registro: 10:10 am
- Identificación de muestra: CPP40-2
- Masa: 300 gr
- Temperatura: 19°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 226 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 20,77 °C
- Temperatura máxima: 34,02 °C
- ΔT: 13,25 °C

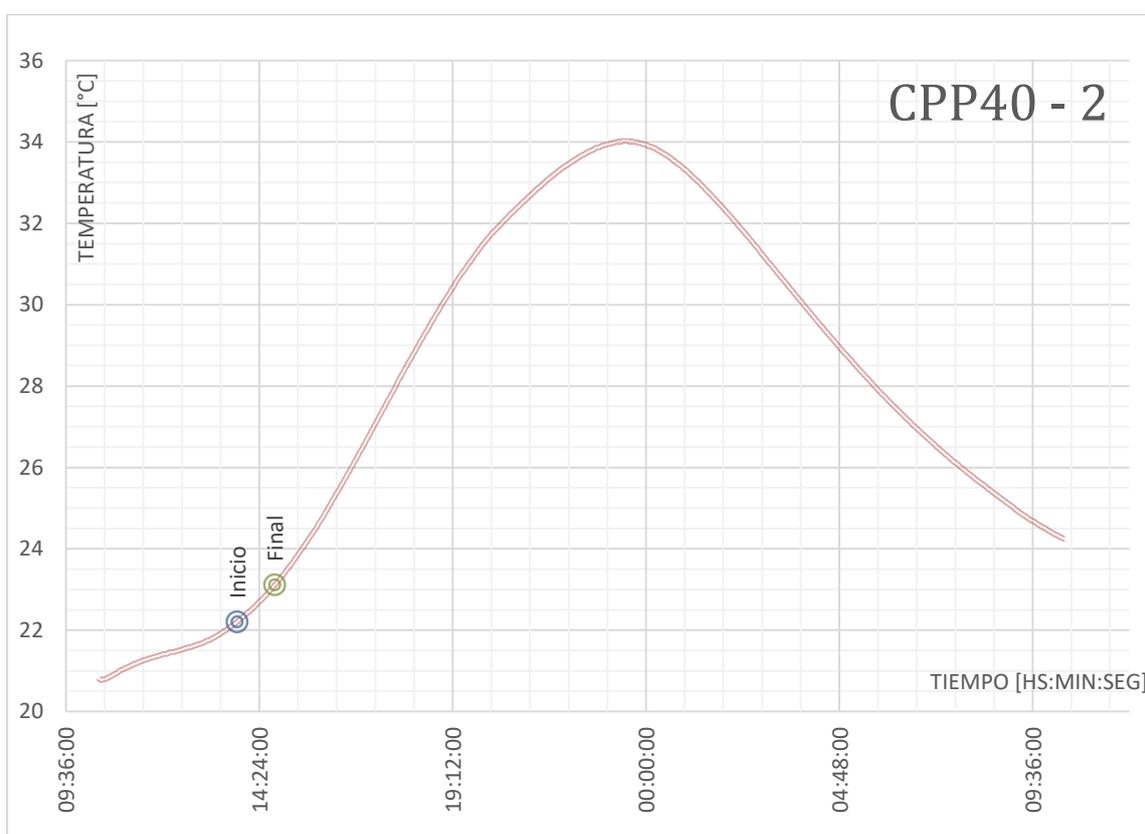


Gráfico 2.10 Evolución de calor de la pasta CPP40-2 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:46	22,15	12,85%	13,36%
	13:56	22,29	13,87%	
FINAL	14:32	22,85	17,96%	20,04%
	15:02	23,42	22,12%	

Tabla 2.12 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40-2

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 27/10/2017
- Hora de mezcla: 13:15 pm
- Hora de inicio registro: 13:20 pm
- Identificación de muestra: CPP40-3
- Masa: 618 gr
- Temperatura: 23°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 226 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 24,63 °C
- Temperatura máxima: 41,33 °C
- ΔT: 16,70 °C

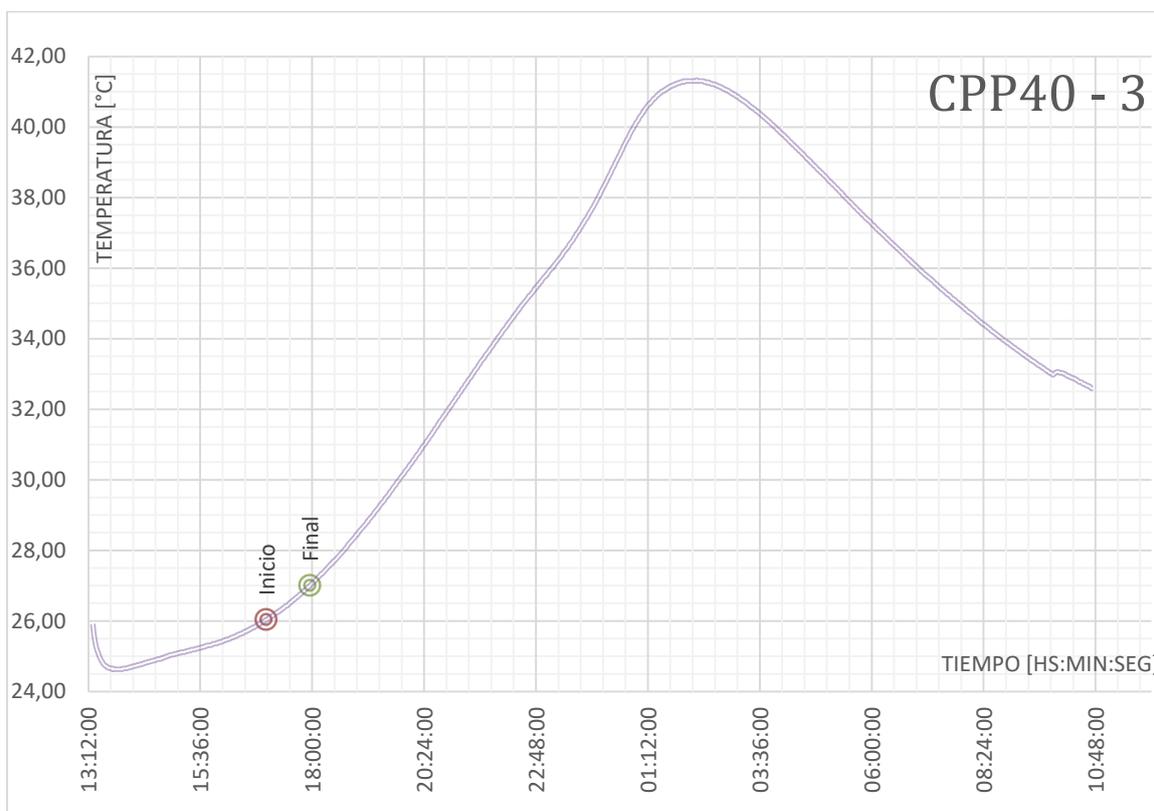


Gráfico 2.11 Evolución de calor de la pasta CPP40-3 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	16:56	25,96	7,97%	8,42%
	17:06	26,11	8,87%	
FINAL	17:42	26,72	12,52%	14,35%
	18:12	27,33	16,18%	

Tabla 2.13 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40-3

2.4.5.2 Cemento portland puzolánico CPP40 Granel

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 22/09/2017
- Hora de mezcla: 10:40 am
- Hora de inicio registro: 10:56 am
- Identificación de muestra: CPP40-g1
- Masa: 303 gr
- Temperatura: 19°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 175 ± 5 min
Final de fraguado = 225 ± 10 min

- Temperatura mínima: 20,72 °C
- Temperatura máxima: 39,97 °C
- ΔT: 19,25 °C

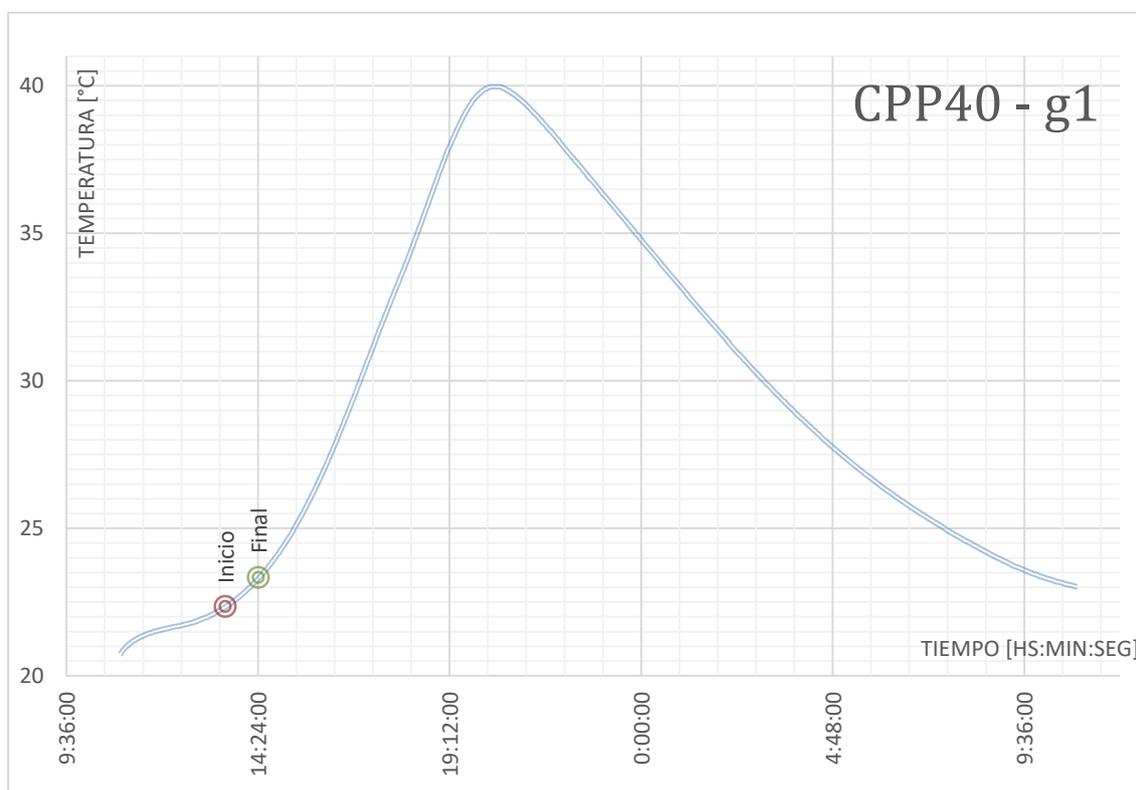


Gráfico 2.12 Evolución de calor de la pasta CPP40-G1 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:30	22,27	8,04%	8,43%
	13:40	22,42	8,82%	
FINAL	14:10	22,99	11,78%	13,73%
	14:40	23,74	15,68%	

Tabla 2.14 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40-G1

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 22/09/2017
- Hora de mezcla: 10:40 am
- Hora de inicio registro: 10:56 am
- Identificación de muestra: CPP40-g2
- Masa: 312 gr
- Temperatura: 19°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 175 ± 5 min
Final de fraguado = 225 ± 10 min

- Temperatura mínima: 20,79 °C
- Temperatura máxima: 39,91 °C
- ΔT: 19,12 °C

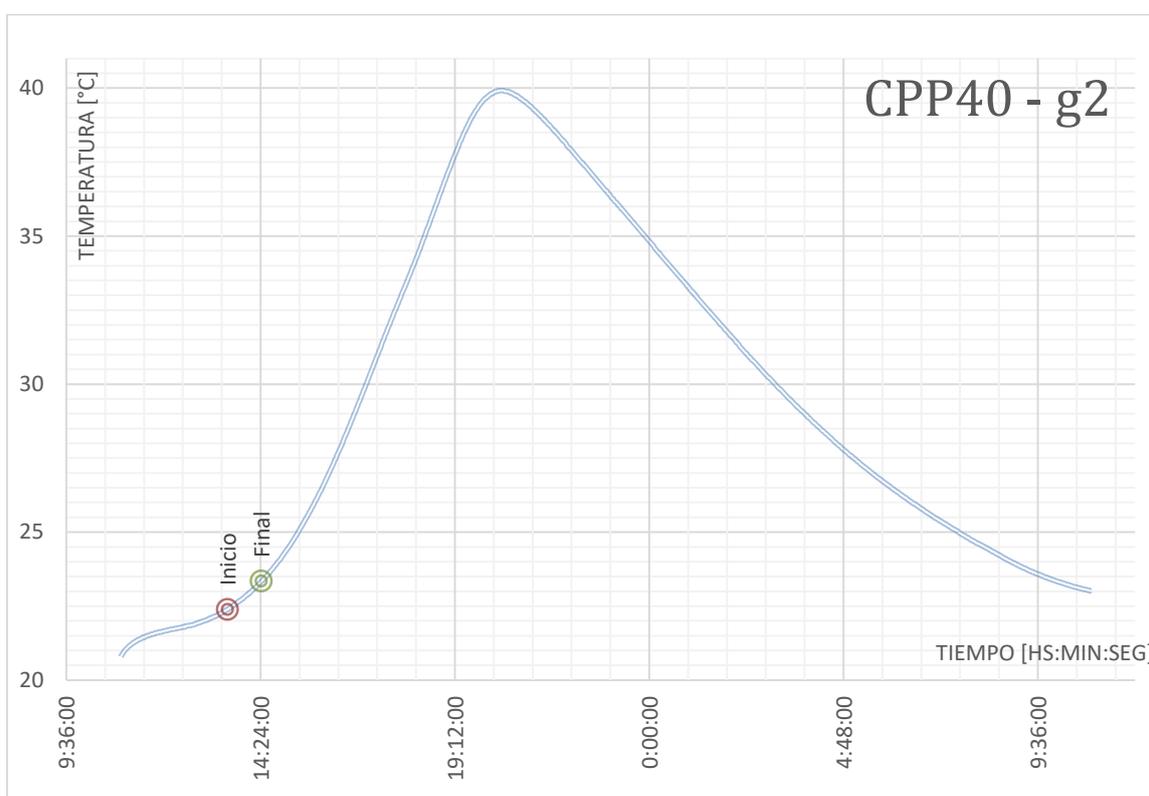


Gráfico 2.13 Evolución de calor de la pasta CPP40-G2 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:30	22,35	8,14%	8,51%
	13:40	22,49	8,88%	
FINAL	14:10	23,02	11,65%	13,53%
	14:40	23,74	15,41%	

Tabla 2.15 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40-G2

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 30/10/2017
- Hora de mezcla: 13:34 pm
- Hora de inicio registro: 10:39 am
- Identificación de muestra: CPP40-g3
- Masa: 312 gr
- Temperatura: 23°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 175 ± 5 min
Final de fraguado = 225 ± 10 min

- Temperatura mínima: 24,53 °C
- Temperatura máxima: 57,70 °C
- ΔT: 33,17 °C

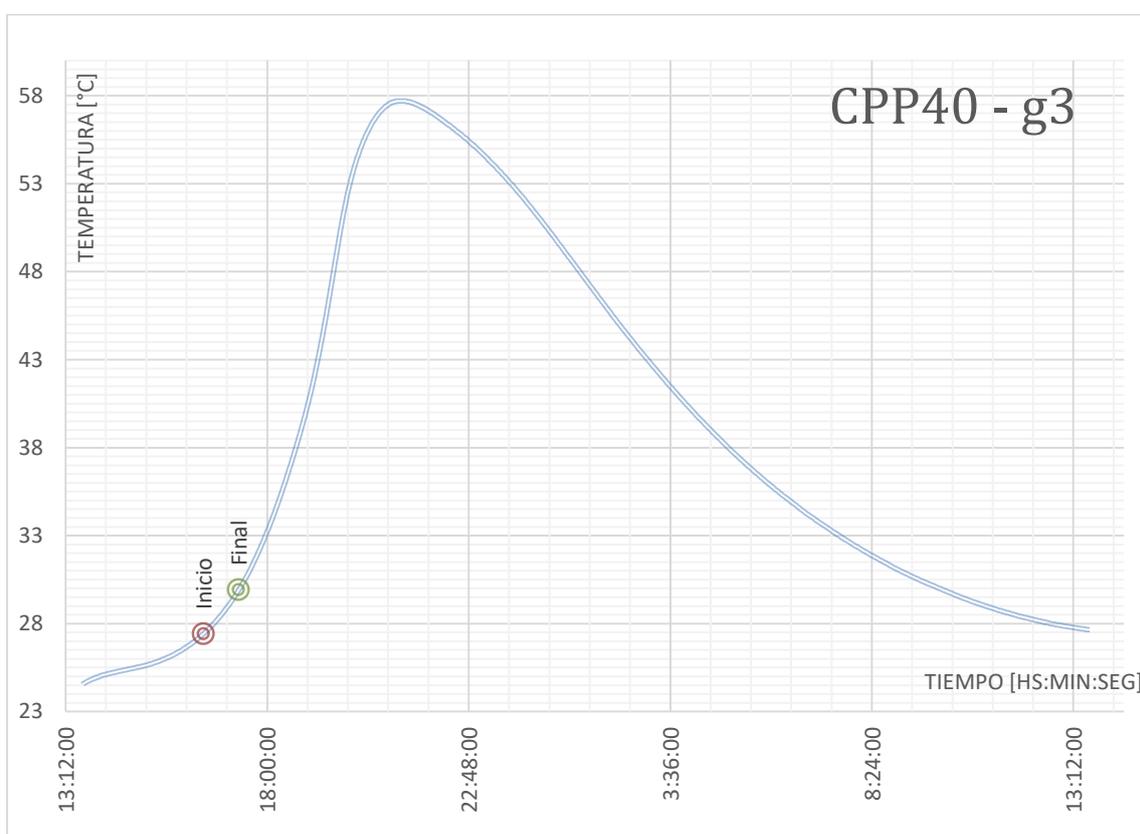


Gráfico 2.14 Evolución de calor de la pasta CPP40-G3 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	16:24	27,26	8,22%	8,74%
	16:34	27,60	9,25%	
FINAL	17:04	29,02	13,53%	16,48%
	17:34	30,98	19,44%	

Tabla 2.16 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPP40-G3

2.4.5.3 Cemento portland filerizado CPF40

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 28/09/2017
- Hora de mezcla: 09:45 am
- Hora de inicio registro: 10:00 am
- Identificación de muestra: CPF40-1
- Masa: 236 gr
- Temperatura: 18,5°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 210 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 18,79 °C
- Temperatura máxima: 36,12 °C
- ΔT: 17,33 °C

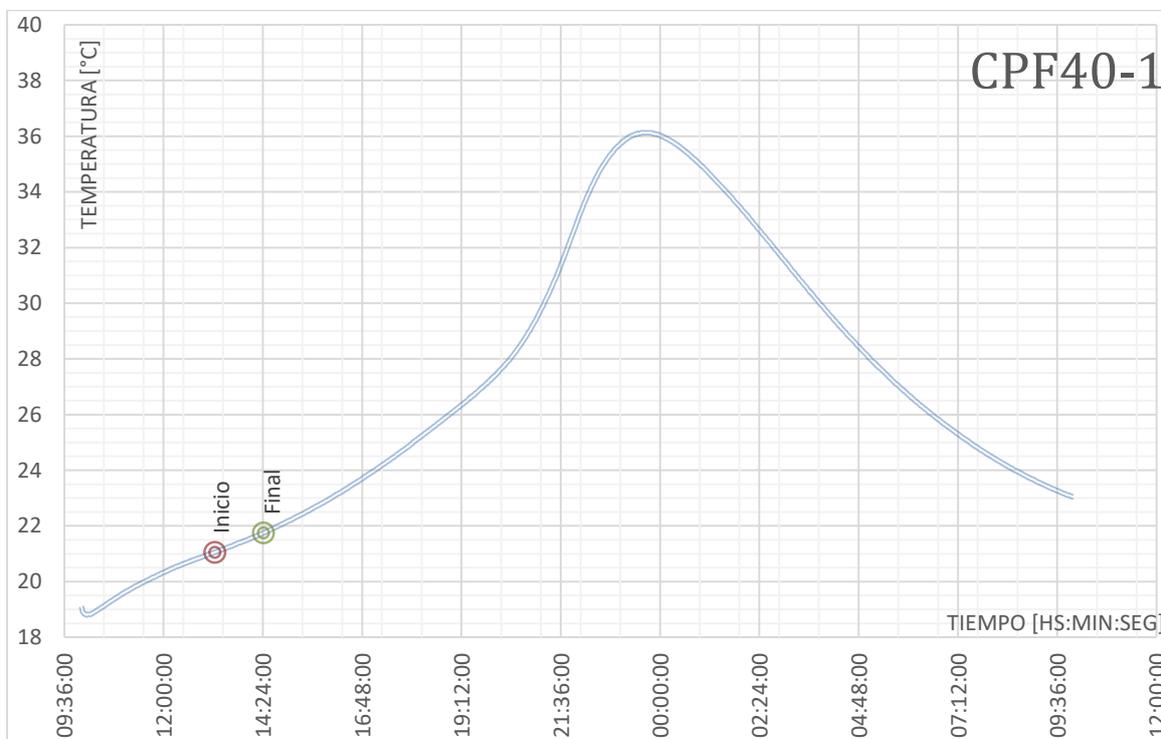


Gráfico 2.15 Evolución de calor de la pasta CPF40-1 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:10	21,00	12,73%	13,02%
	13:20	21,10	13,31%	
FINAL	14:10	21,58	16,08%	17,06%
	14:40	21,92	18,04%	

Tabla 2.17 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPF40-1

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 28/09/2017
- Hora de mezcla: 10:20 am
- Hora de inicio registro: 10:29 am
- Identificación de muestra: CPF40-2
- Masa: 600 gr
- Temperatura: 18,5°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 210 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 19,22 °C
- Temperatura máxima: 53,63 °C
- ΔT: 34,41 °C

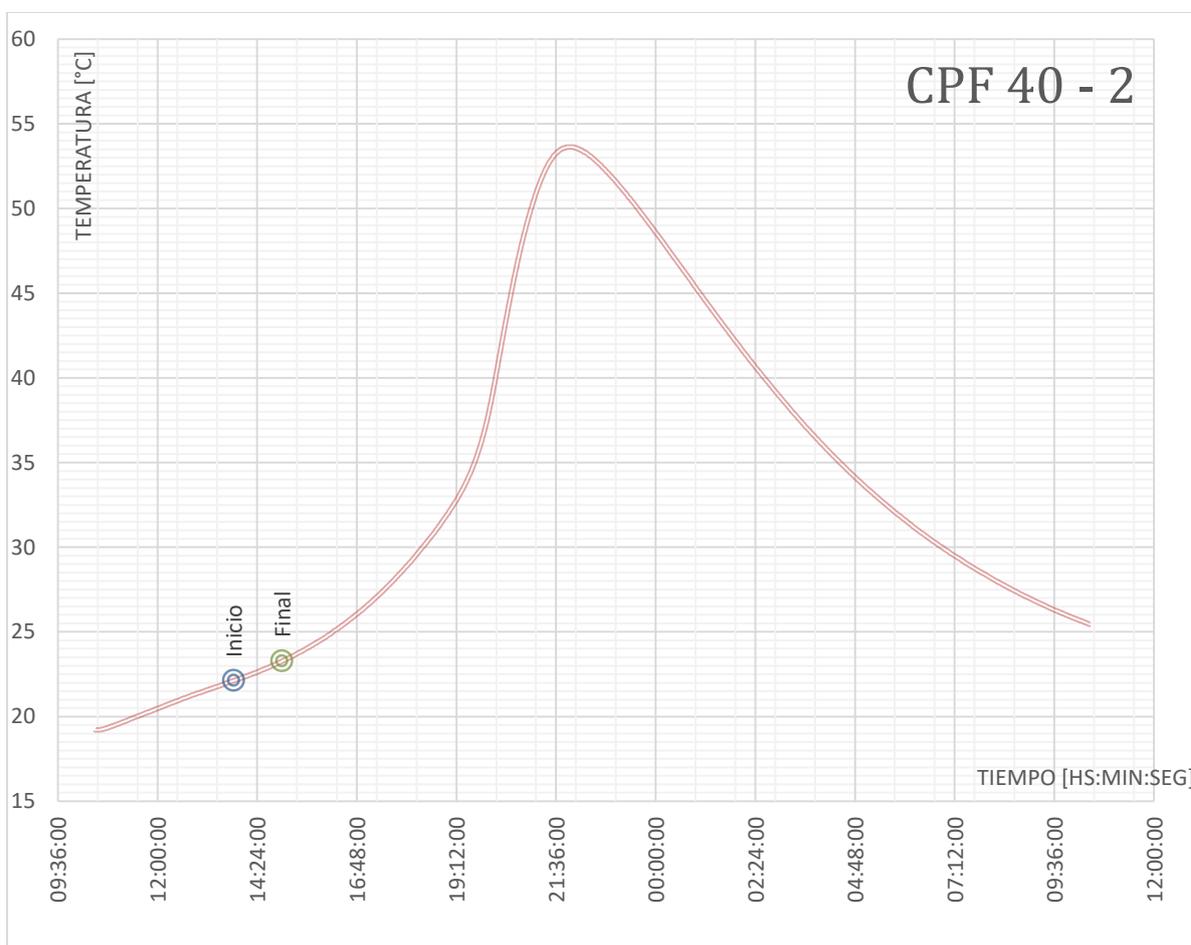


Gráfico 2.16 Evolución de calor de la pasta CPF40-2 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs: min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:45	22,06	8,25%	8,45%
	13:55	22,20	8,66%	
FINAL	14:45	22,99	10,95%	11,79%
	15:15	23,57	12,64%	

Tabla 2.18 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPF40-2

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 24/10/2017
- Hora de mezcla: 10:20 am
- Hora de inicio registro: 10:29 am
- Identificación de muestra: CPF40
- Masa: 600 gr
- Temperatura: 18,5°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 210 ± 5 min
Final de fraguado = 280 ± 10 min

- Temperatura mínima: 19,22 °C
- Temperatura máxima: 53,63 °C
- ΔT: 34,41 °C

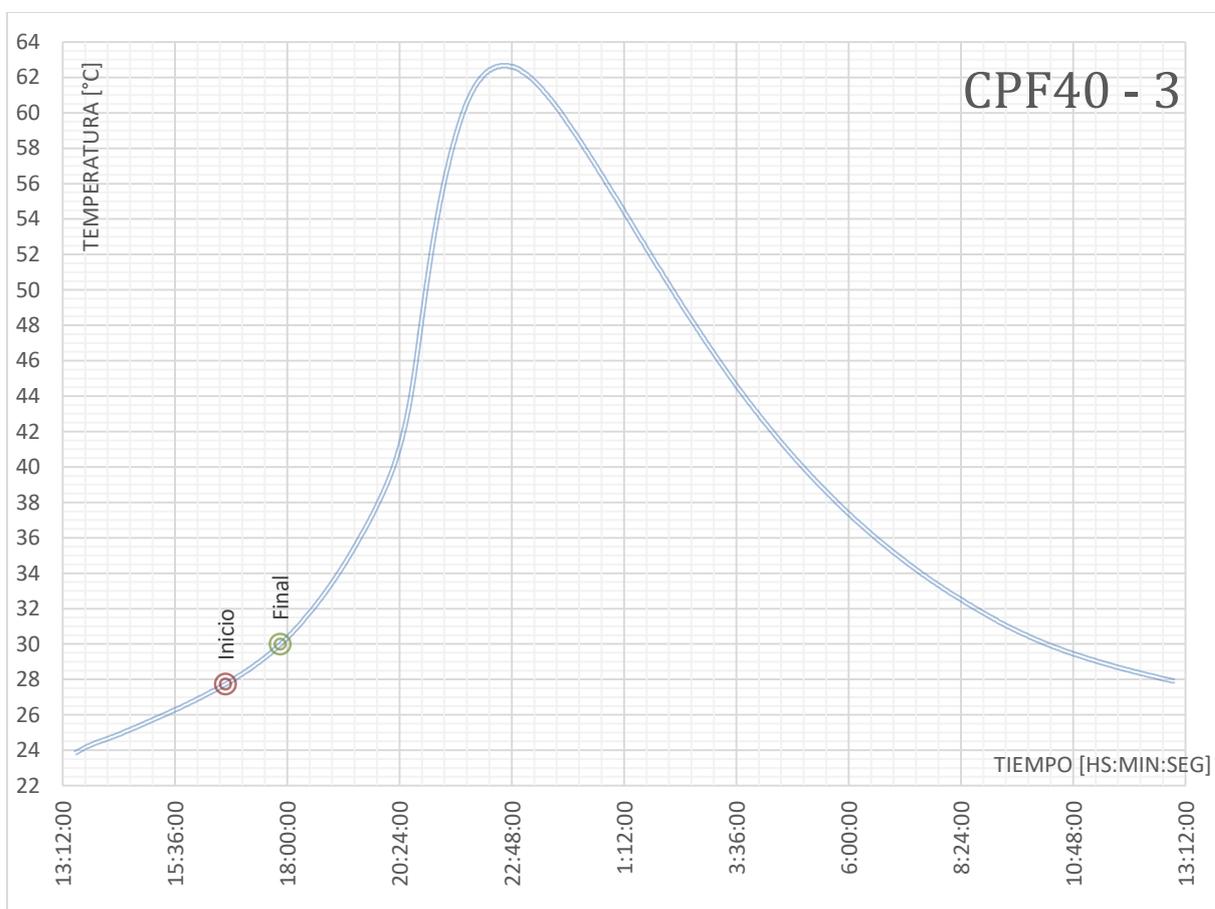


Gráfico 2.17 Evolución de calor de la pasta CPF40-3 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs:min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	16:36	27,63	9,78%	10,10%
	16:46	27,88	10,42%	
FINAL	17:36	29,41	14,36%	15,96%
	18:06	30,65	17,55%	

Tabla 2.19 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPF40-3

2.4.5.4 Cemento portland compuesto CPC40
Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 05/10/2017
- Hora de mezcla: 09:45 am
- Hora de inicio registro: 10:03 am
- Identificación de muestra: CPC40-1
- Masa: 247 gr
- Temperatura: 23°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 185 ± 5 min
Final de fraguado = 250 ± 10 min

- Temperatura mínima: 23,5 °C
- Temperatura máxima: 49,89 °C
- ΔT: 26,39 °C

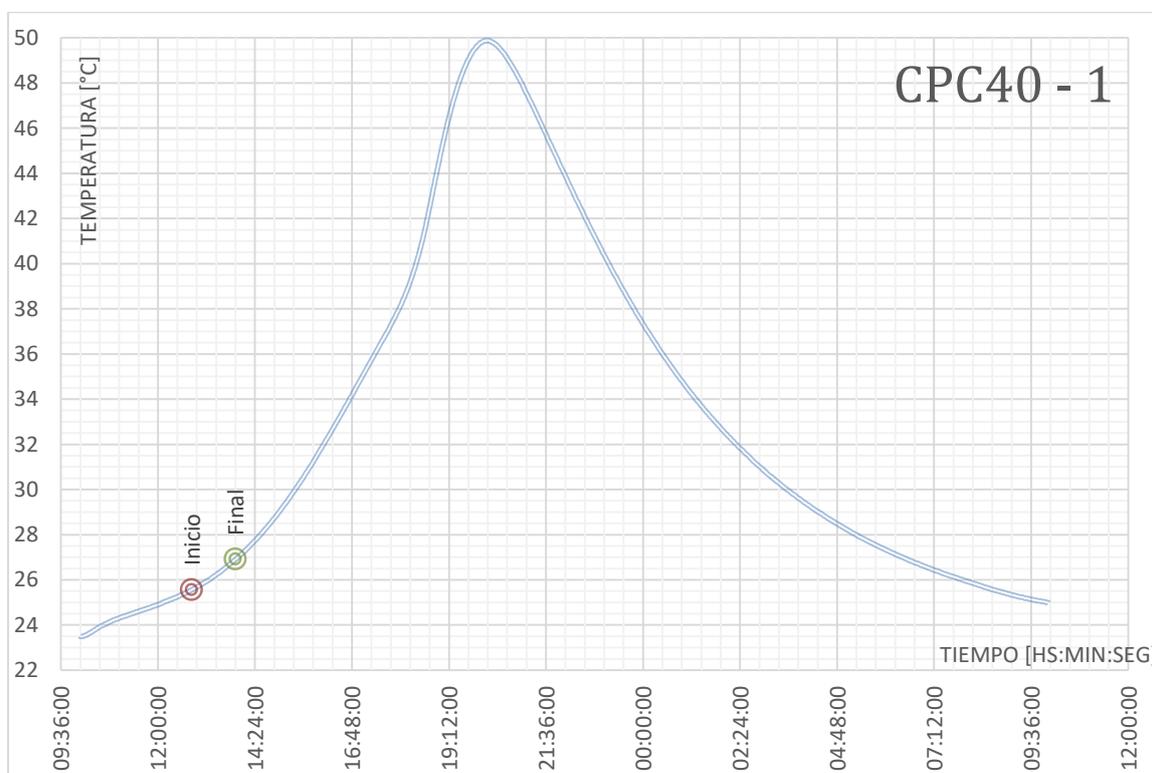


Gráfico 2.18 Evolución de calor de la pasta CPC40-1 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs:min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	12:45	25,48	7,51%	7,84%
	12:55	25,65	8,16%	
FINAL	13:40	26,55	11,57%	13,05%
	14:10	27,33	14,52%	

Tabla 2.20 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPC40-1

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 06/10/2017
- Hora de mezcla: 10:22 am
- Hora de inicio registro: 10:36 am
- Identificación de muestra: CPC40-2
- Masa: 373 gr
- Temperatura: 23°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 185 ± 5 min
 Final de fraguado = 250 ± 10 min

- Temperatura mínima: 23,9 °C
- Temperatura máxima: 56,86 °C
- ΔT: 32,96 °C

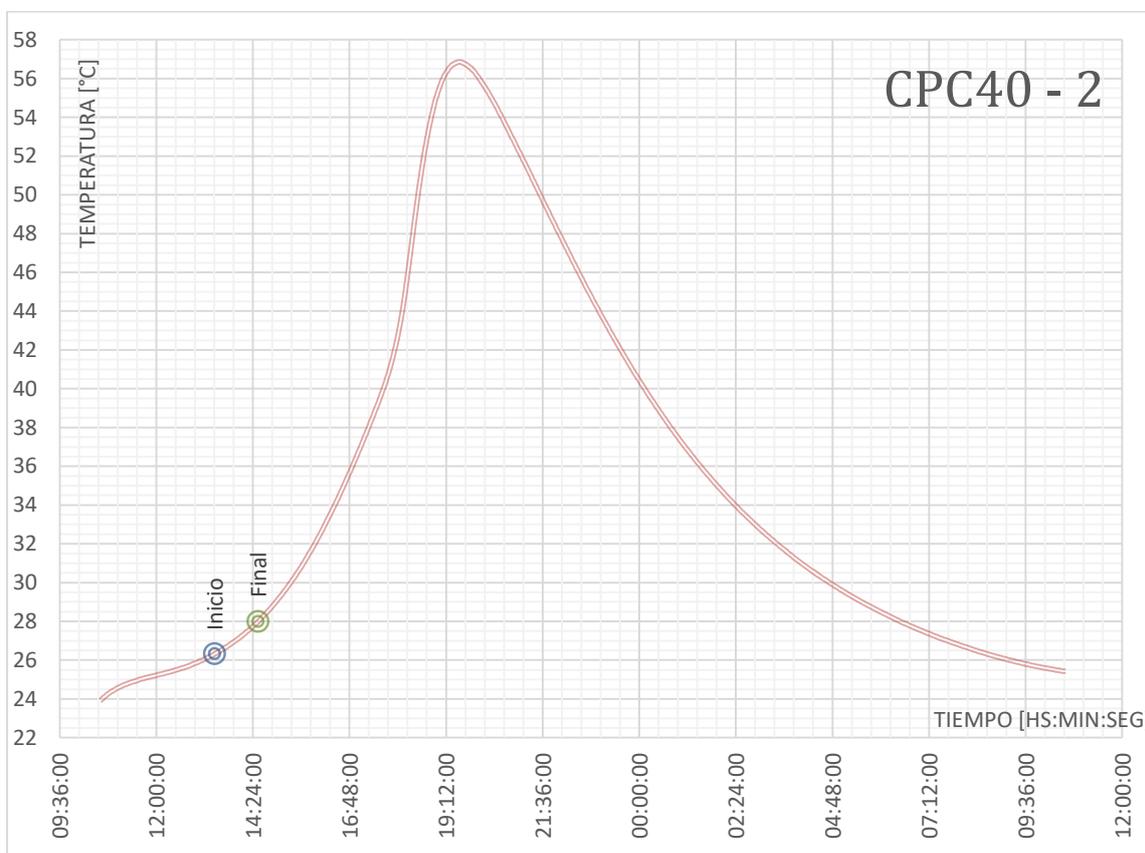


Gráfico 2.19 Evolución de calor de la pasta CPC40-2 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT	Temperatura	Corresponde a	Promedio
INICIO	13:22	26,23	7,07%	7.37
	13:32	26,43	7,68%	
FINAL	14:17	27,53	11,01%	12.59
	14:47	28,57	14,17%	

Tabla 2.21 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPC40-2

Ensayo con Calorímetro Semi-Adiabático

- Fecha de ensayo: 30/10/2017
- Hora de mezcla: 13:19 pm
- Hora de inicio registro: 10:36 am
- Identificación de muestra: CPC40-3
- Masa: 612 gr
- Temperatura: 23°C
- Técnico: Martín Leandro Quinteros

Inicio de Fraguado = 185 ± 5 min
Final de fraguado = 250 ± 10 min

- Temperatura mínima: 24,24 °C
- Temperatura máxima: 70,80 °C
- ΔT: 46,55 °C

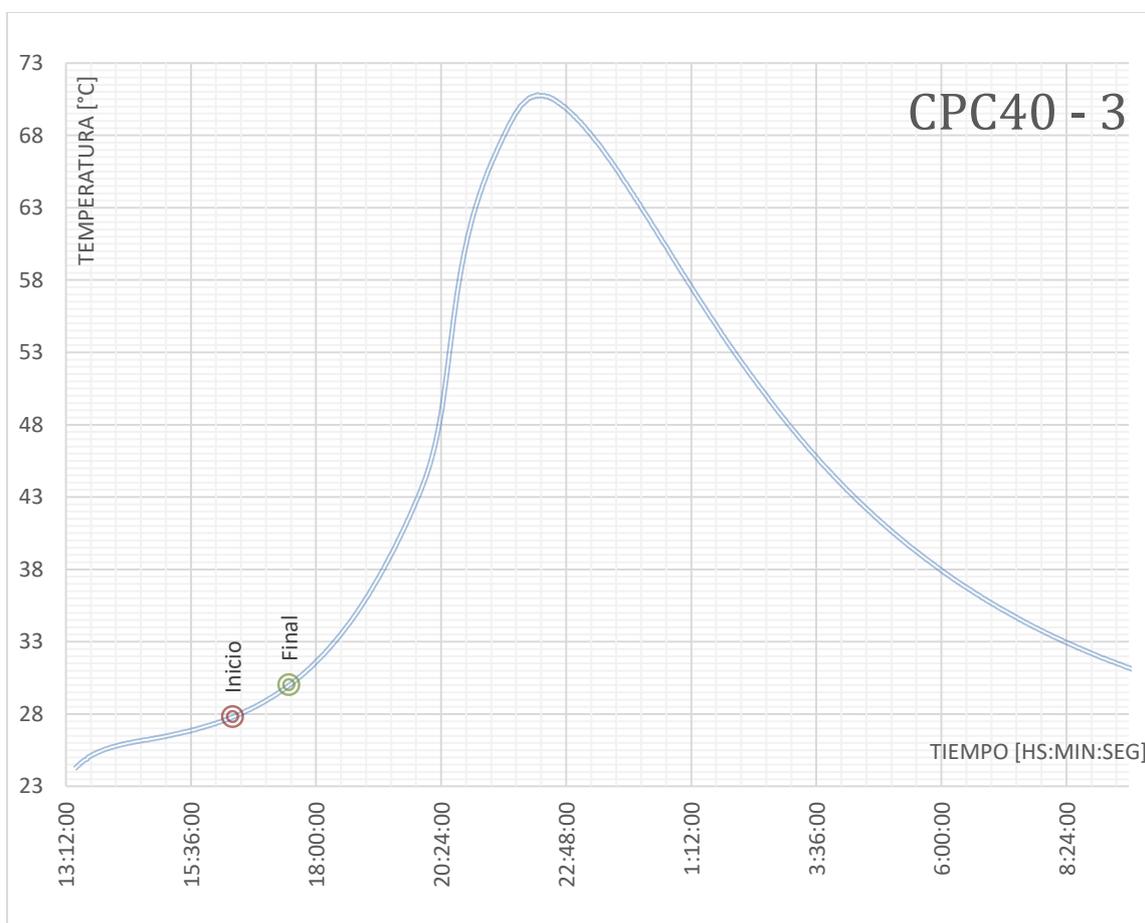


Gráfico 2.20 Evolución de calor de la pasta CPC40-3 dentro del calorímetro en función del tiempo

	VICAT (hs:min)	Temperatura °C	Corresponde a	Promedio
INICIO	16:19	27,68	7,38%	7,62%
	16:29	27,90	7,86%	
FINAL	17:14	29,37	11,01%	12,46%
	17:44	30,72	13,91%	

Tabla 2.22 Comparación de resultados en VICAT y Calorímetro semiadiabático para CPC40-3

2.4.5.5 Resumen de resultados

Una vez terminados los ensayos de calorimetría, se confecciona una tabla resumen para poder interpretar los resultados más fácilmente.

Tipo Cemento	Muestra	Masa	Inicio	Final
CPP40	1	294	11,83 %	18,83 %
	2	300	13,36 %	20,04 %
	3	618	8,42 %	14,35 %
CPP40 Granel	1	303	8,43 %	13,73 %
	2	312	8,51 %	13,53 %
	3	611	8,74 %	16,48 %
CPF40	1	236	13,02 %	17,06 %
	2	600	8,45 %	11,79 %
	3	597	10,1 %	15,96 %
CPC40	1	247	7,84 %	13,05 %
	2	373	7,37 %	12,59 %
	3	612	7,62 %	12,46 %
Promedio			9,47 %	14,99 %
Promedio 600 g			8,67 %	14,21 %

Tabla 2.23 Resumen de resultados de ensayos de determinación de tiempo de fraguado en Calorímetro

En las dos primeras columnas de la Tabla 2.23 se observa la designación del ensayo. En la columna “Masa” se indica la masa en gramos a su correspondiente muestra. Mientras que en las últimas dos columnas se detalla el porcentaje de la variación de temperatura al que se da el inicio y final de fraguado respectivamente.

Se han realizado un total de 12 ensayos de calorimetría, tres por cada tipo de cemento, variando la masa en cada una de las muestras. Como se observa, hay gran variación en los resultados de las muestras de masas cercanas a 300 gramos, mientras que en las muestras de masas próximas a 600 gramos se observa gran similitud en los resultados a pesar de tratarse de distintos tipos de cementos, cada uno con un tiempo de inicio y final de fraguado distinto.

Los resultados obtenidos pueden explicarse teniendo en cuenta que la liberación de calor es proporcional a la masa de pasta de cemento. Mientras mayor sea la masa de la pasta de cemento analizada, mayor será la liberación de calor y mayor será la variación de temperatura encontrada. Si logramos un mayor ΔT en los ensayos, los resultados serán más precisos.

Se concluye que, a pesar de haber analizado una muestra pequeña de cementos, los resultados presentan gran similitud y pueden utilizarse para la estimación de tiempo de inicio y final de fraguado de pasta de cementos. Utilizando masas cercanas a 600 gramos, el inicio de fraguado se dará en el instante que se alcance el 8,67% de la variación de temperatura, mientras que el final de fraguado se dará en el instante que se la muestra alcance una temperatura correspondiente al 14,21% de la variación de temperatura.

- CAPÍTULO 3 - DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se exponen los ensayos realizados para determinar las proporciones de cemento, agregados grueso, fino, agua y aditivo para materializar un hormigón que se utilizará en obras viales y complementarias en el tramo de la Ruta 40 que va desde San Juan a Mendoza.

Se comienza con un breve soporte teórico donde figuran los conceptos utilizados en esta sección, luego se exponen los procedimientos y resultados de los ensayos previos a la dosificación. Se realiza el diseño teórico de la mezcla, se ejecutan los pastones de prueba y se culmina con los ensayos en estado fresco y endurecido para la verificación de las propiedades requeridas.

3.2 DEFINICIONES

3.2.1 Dosificación de Hormigón

Es el proceso mediante el cual se determinan las proporciones relativas de materiales que van a constituir el hormigón y que logren satisfacer los requerimientos de trabajabilidad para el estado fresco y de resistencia y durabilidad para el estado endurecido, optimizando sus proporciones para lograr la mezcla más económica posible.

El CIRSOC 201-2005 establece tres posibles métodos para la determinación de la composición y proporción de los materiales del hormigón:

- 1) Racional mediante pastones de prueba.
- 2) Racional utilizando información de obras anteriores.
- 3) Empírico

3.2.2 Trabajabilidad

Es la propiedad tecnológica del hormigón en estado fresco. Se define como la factibilidad de colocar y terminar perfectamente al hormigón en un determinado elemento estructural, en una posición definida y con los medios disponibles en obra, logrando la máxima compacidad sin la pérdida de homogeneidad alcanzada en el mezclado.

Los factores que influyen en la elección de la trabajabilidad de diseño son:

- 1) Las características del elemento estructural a moldear (armaduras).
- 2) La consistencia del hormigón en estado fresco
- 3) Medios de transporte, colocación compactación y terminación

El reglamento CIRSOC 201-2005 establece los siguientes intervalos y tolerancias:

Consistencia	Remoldeo (V) (s)		Asentamiento (A) [cm]		Extendido (E) [cm]	
	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia
Muy seca	5,0 < V ≤ 30,0	± 2,0	--	--	--	--
Seca	--	--	2,0 < A ≤ 5,0	± 1,0	--	--
Plástica	--	--	5,0 < A ≤ 10,0	± 2,0	--	--
Muy plástica	--	--	10,0 < A ≤ 15,0	± 2,0	50 < E ≤ 55	± 1,0
Fluida	--	--	15,0 < A ≤ 18,0	± 3,0 (*)	55 < E ≤ 60	± 2,0
Muy fluida	--	--	--	--	60 < E ≤ 65	± 2,0

(*) La tolerancia en (+) es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20,0 cm.

Tabla 3.1 Intervalos y tolerancias de consistencia según CIRSOC 201-2005

3.2.3 Resistencia Mecánica

El valor de la resistencia especificada o resistencia característica de rotura, f'_c se considera un parámetro de diseño y un parámetro de control de calidad. La misma es definida por el proyectista.

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión f'_c (MPa)	A utilizar en hormigones
H – 15	15	simples (sin armar)
H – 20	20	simples y armados
H – 25	25	Simples, armados y pretensados
H – 30	30	
H – 35	35	
H – 40	40	
H – 45	45	
H – 50	50	
H – 60	60	

Tabla 3.2 Clases de hormigones según Reglamento CIRSOC 201-2005

La resistencia media de las probetas moldeadas debe ser mayor o igual que la resistencia de diseño. La misma es determinada a la edad de 7 y 28 días.

3.2.4 Durabilidad

Este concepto está relacionado a la resistencia del hormigón a las acciones del medio ambiente. Aquellas de naturaleza química, física y/o físico-química que pueden provocar la degradación de la estructura por efectos diferentes a los de las cargas consideradas en el Proyecto o Diseño Estructural. Según sea la magnitud de dicha degradación y la velocidad con que se produce, la estructura puede perder, parcial o totalmente, la aptitud para cumplir la función para la cual fue construida.

El reglamento CIRSOC 2001-205 establece requerimientos máximos de relación a/c y mínimos de resistencia según las clases de exposición que producen corrosión de armaduras:

- A1) No agresivo
- A2) Ambiente normal.
- A3) Clima cálido y húmedo
- CL) Húmedo y sumergido con cloruros de origen diferente al marino.
- M1) M2) M3) Ambientes marinos
- C1) y C2) Congelación y deshielo.
- Q1) Q2) Q3) Ambientes con agresividad química

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo con la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3 y M 1	CL y M 2	M 3	C 1 ⁽²⁾	C 2 ⁽²⁾	Q 1	Q 2	Q 3 ⁽³⁾
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	---	---	---	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) $f'_{c\ min}$ (MPa)										
Hormigón simple	---	---	---	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11.	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si
(1) Cuando se use cemento pórtland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/ material cementicio $[a/(c+x)]$, que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad de la adición mineral (x), cuando se trate de puzolanas según norma IRAM 1668:1968 o de escorias según norma IRAM 1667:1990. (2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3.. (3) Cuando corresponda se debe proteger a la estructura según 2.2.5.2.c3 ó 2.2.10.3.										

Tabla 3.3 Requisitos para satisfacer condición de durabilidad según CIRSOC 201-2005

3.3 OBJETIVO

Se le solicita al Laboratorio de Estructuras de la UNC el diseño de tres hormigones cuyo destino serán uso vial y de obras complementarias en el tramo de San Juan a Mendoza de la Ruta Nacional 40.

En ese momento la empresa contratista ya se encontraba trabajando con hormigones de dosificación propia. El problema que tenían era que usaban áridos tal como salían de la cantera y poseían gran porcentaje de polvo adherido, lo que implica una disminución de resistencia en el hormigón. Para contrarrestar este efecto, aumentaban el porcentaje de cemento para llegar a la resistencia especificada por el proyectista. La empresa se contacta con el Laboratorio de Estructuras para realizar una optimización en la dosificación utilizando áridos parcialmente lavados.

Los materiales son provistos por la empresa contratista. Los agregados pétreos son provenientes de una cantera natural tipo canto rodado localizada en la cercanía de la obra. El cemento es un CPP40, procedencia Mendoza, y el aditivo es un Sikament 90E.

Los hormigones a diseñar son los siguientes:

3.3.1 H-25 Descarga directa

El mismo materializará la carpeta de rodamiento. Los requerimientos son:

- 1) Asentamiento: 5 ± 1 cm
- 2) Agregado fino: Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm y 19 – 38 mm (Canto rodado)
- 4) Sin incorporación de aditivo

3.3.2 H-21 Bombeable

El mismo se utilizará para los accesos a los estadios y losas de puentes. Los requerimientos son:

- 1) Asentamiento: 12 ± 2 cm
- 2) Agregado fino. Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm (Canto rodado)
- 4) Aditivo



Fig. 3.1 Losa con gran densidad de armadura en la cual se usará H21 Bombeable

3.3.3 H-21 Descarga directa

El mismo se utilizará para materializar New Jersey con un sistema de encofrados deslizantes con descarga directa. Los requerimientos son:

- 1) Asentamiento: 5 ± 1 cm
- 2) Agregado fino: Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm (Canto rodado)
- 4) Sin incorporación de aditivo

3.4 METODOLOGÍA

La determinación de la composición y proporciones de los materiales del hormigón se realizó adoptando uno de los procedimientos estipulados en el reglamento CIRSOC 201-2005, empleando la siguiente metodología:

3.4.1 Dosificación racional mediante pastones de prueba

A través de esta metodología, las proporciones de las mezclas para los diferentes tipos de hormigones se establecen experimentalmente, en base a la preparación y ensayo de pastones de prueba, elaborado bajo las siguientes condiciones:

- El empleo de tres razones agua/cemento distintas, que comprendan la elegida de acuerdo a las siguientes condiciones:
 - La necesaria para alcanzar la resistencia de diseño de la mezcla
 - La menor de las máximas especificadas por durabilidad
 - Con contenidos de materiales cementicios que produzcan un intervalo de resistencias que comprenda a la resistencia característica de diseño f'_{cr} .

Nota: En este caso, la adopción de la relación agua/cemento fue una variable de diseño que partió desde un valor menor al exigido por el reglamento y luego se vio modificado al realizar el ensayo de asentamiento, hasta obtener la definitiva.

- El asentamiento del hormigón debe ser el especificado para la estructura donde se empleará el hormigón. (En este caso los valores límites indicaban un mínimo de 5cm y un máximo de 7cm.)
- El contenido de aire incorporado debe ser el especificado para la estructura a construir, (Inicialmente se decidió prescindir de la adición de este parámetro, midiendo el contenido de la pasta de hormigón y verificando que esté en los límites regulados por la especificación correspondiente)
- La temperatura de la mezcla fresca en el laboratorio debe estar comprendida dentro de un intervalo de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ respecto de la máxima temperatura que se prevé que tendrá el hormigón en el momento de ser mezclado y colocado en obra.

3.5 ENSAYOS PREVIOS

Como se mencionó anteriormente, el método del ICPA, requiere conocer de antemano la composición granulométrica, el módulo de fineza y la absorción de los áridos. Corresponde realizar ensayos sobre los tres tipos de áridos:

- 1) Arena fina
- 2) Canto rodado 6 mm – 19 mm
- 3) Canto rodado 19 mm – 37,5 mm

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, determinar las proporciones que permitan lograr una mezcla de áridos con una curva granulométrica ideal.

3.5.1 Análisis granulométrico del agregado fino

3.5.1.1 Preparación de la muestra

Es necesario realizar un muestreo para que los resultados obtenidos sean representativos. Para ello, se mezcla muestra y se reduce a 500 gr tal como lo indica la norma IRAM 1505. Esta cantidad es utilizada cuando tenemos un 85% como

mínimo del pasante por el tamiz IRAM 4,75 y más del 5% retenido por el tamiz IRAM 2,36 mm. La reducción de la muestra original se obtiene empleando el partidor de Jones según los procedimientos detallados en la IRAM 1509 Fig. 3.2. Se pesa una masa de aproximadamente 2 Kg. y se vierte esta cantidad sobre el partidor de Jones distribuyéndola de borde a borde de manera que el material fluya en cantidades equitativas. Se repite esta operación con la porción de uno de los moldes receptores las veces que sea necesario para obtener los 500 gr. requeridos para el análisis granulométrico.



Fig. 3.2 Partidor de Jones

3.5.1.2 Procedimiento

Una vez obtenida la muestra, se seca a estufa durante 24 hs a temperatura $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ obteniendo la muestra lista para ensayar. Se prepara los tamices limpiando la malla metálica y procurando que no quede ninguna porción de árido entre la malla y se determinan las masas de los tamices vacíos. Se colocan los tamices uno encima del otro en orden de abertura decreciente de arriba hacia abajo más el fondo. Para este material, se utilizan los tamices:

- IRAM 4,75 mm
- IRAM 2,36 mm
- IRAM 1,18 mm
- IRAM 600 μm
- IRAM 300 μm
- IRAM 150 μm



Fig. 3.3 Tamices dispuestos para ensayo de granulometría

Tal como se indica en la Fig. 3.3. Luego se coloca la muestra de árido seca sobre la parte superior más la tapa y se la lleva al vibrador mecánico el tiempo suficiente para garantizar un tamizado efectivo. Se pesa cada tamiz con el retenido parcial y se calcula la masa retenida parcial mediante la Ec. 3.1

$$R_i = T_{ti} - T_{vi} \quad (\text{Ec } 3.1)$$

Donde R_i es la masa retenida parcial en gramos; T_{ti} es la masa del tamiz con su retenido parcial, en gramos; y T_{vi} es la masa del tamiz en gramos.

Para verificar si el análisis granulométrico se realizó correctamente, se determina la suma de las masas retenidas en todos los tamices y el fondo. Si la diferencia entre esta suma y la masa original de la muestra difiere más del 0,30 % debe repetirse el ensayo empleando una nueva muestra.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis granulométrico. Los resultados se expresan en porcentajes retenidos acumulados y en porcentajes retenidos parciales.

3.5.1.4 Resultados

IRAM 1505 – Análisis granulométrico de agregados

- Identificación: Arena fina (LIM 5183)
- Cuarteo y secado: 24/08/2017
- Tamizado y pesado: 25/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 500 gr.
- Masa inicial: 510,70 gr

Tamiz IRAM		Peso tamiz [gr]		Retenido			Pasante	
[mm]	N° / in	Vacío	c/material	[gr]	[%]	[%] Acu.	[gr]	[%]
63	2-1/2"						511,2	100
53	2"						511,2	100
37,5	1-1/2"						511,2	100
26,5	1"						511,2	100
19	3/4"						511,2	100
13,2	1/2"						511,2	100
9,5	3/8"						511,2	100
4,75	N°4	557,9	592,1	34,2	6,7	6,7	477	93,3
2,36	N°8	525,9	592,1	66,2	12,9	19,6	410,8	80,4
1,18	N°16	517,2	575,5	58,3	11,4	31,0	352,5	69,0
0,6	N°30	503,7	570,9	67,2	13,1	44,2	285,3	55,8
0,3	N°50	453,7	608,3	154,6	30,2	74,4	130,7	25,6
0,15	N°100	417,1	525,9	108,8	21,3	95,7	21,9	4,3
Fondo		338,7	360,6	21,9	4,3	100,0		
Total				511,2				
Error de cierre				0,10%				

Tabla 3.4 Ensayo de granulometría arena fina

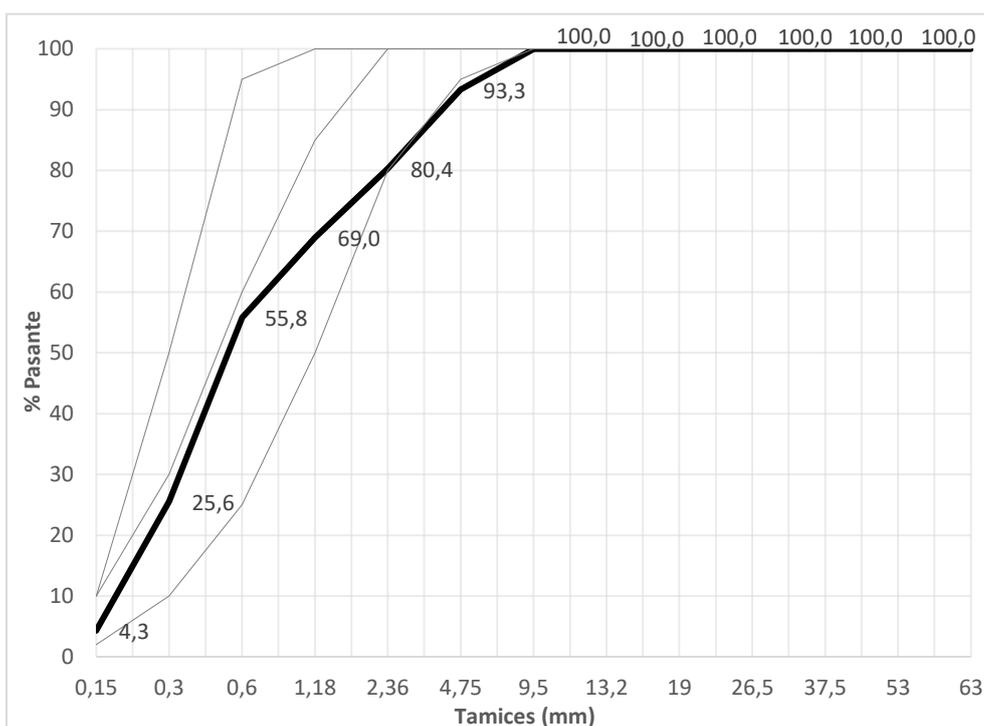


Gráfico 3.1 Curvas granulométrica arena fina

La norma IRAM 1627 establece para el agregado fino (arenas), rangos granulométricos que permitan obtener mezclas relativamente económicas y técnicamente satisfactorias en cuanto a requisitos de resistencia y durabilidad. El reglamento CIRSOC 201-2005 especifica que el agregado fino debe tener una granulometría continua, comprendida dentro de los límites definidos por las granulometrías A y B, correspondientes a arenas muy bien graduadas. Permite también ubicarse dentro de las curvas A y C, siempre y cuando el hormigón a diseñar posea una resistencia menor o igual que un H-20. Estas zonas corresponden a arenas "todavía utilizables"

Tamices de mallas cuadradas IRAM 1501-2/ NM-ISO 565	Porcentaje máximo que pasa, en masa		
	Granulometría A	Granulometría B	Granulometría C
9,5 mm	100	100	100
4,75 mm	95	100	100
2,36 mm	80	100	100
1,18 mm	50	85	100
600 µm	25	60	95
300 µm	10	30	50
150 µm	2	10	10

Tabla 3.5 Curvas granulométricas límites según CIRSOC 201-2005

Como se aprecia en el Gráfico 3.1, la granulometría en estudio es continua y muy bien graduada ya que se encuadra casi totalmente dentro de las curvas características A y B. Existe un sector en donde la curva en estudio se sitúa hacia la derecha de la curva teórica A, lo que indica que posee exceso de las partículas de mayor tamaño. Esta situación fue informada a la empresa, para que intenten modificar el agregado fino y se encuadre dentro de las zonas permitidas por el reglamento. A pesar de ello, se continúa con el proceso de dosificación con las muestras de agregado fino ya analizadas.



Fig. 3.4 Resultado del tamizado por vibrado mecánico del agregado fino

3.5.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos

3.5.2.1 Preparación de la muestra.

Tanto para los agregados 6-19 y el 19-37,5 hay que obtener muestras representativas para lograr un correcto análisis granulométrico. Para agregados gruesos se emplea el cuarteo. Esta operación consiste en colocar el material sobre una tolva metálica de superficie dura, limpia y lisa, la cual permite que no se pierda material. Se vuelva el material sobre la tolva y se forma una pila de forma cónica, que posteriormente con el reverso de la pala se aplana su punta y se traza dos diámetros perpendiculares. De las cuatro porciones resultantes se desechan dos opuestas cuidando que el material no se mezcle con el cuadro vecino. El material de los cuadros resultantes se mezcla nuevamente y se subdivide de igual manera hasta que dos cuartos opuestos lleguen a la masa adecuada para realizar el ensayo. Fig. 3.5

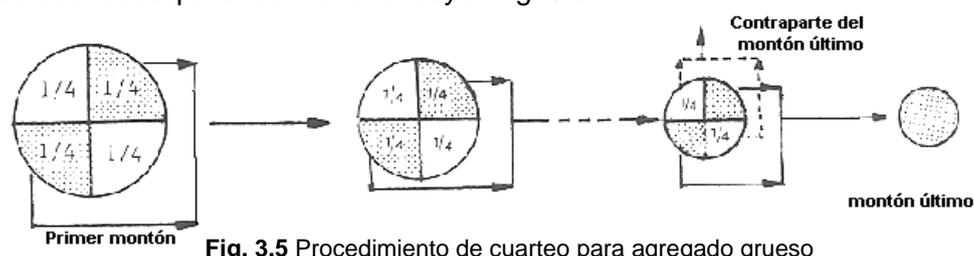


Fig. 3.5 Procedimiento de cuarteo para agregado grueso

La masa de la muestra es función del tamaño máximo nominal, la cual se obtiene de la Tabla 3.6 según la IRAM 1505.

Masa mínima de la muestra:

- Canto rodado 6-19 = 5 Kg
- Canto rodado 19-37,5 = 15 Kg

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de la muestra de ensayo (Kg)
9,5	1
13,2	2
19	5
26,5	10
37,5	15
53	20
63	35
75	60
90	100
106	150
125	300

Tabla 3.6 Masa mínima de la muestra de agregado grueso para análisis granulométrico

3.5.2.2 Procedimientos

Una vez obtenida la muestra, se seca a estufa durante 24 horas a temperatura $105 \pm 5^\circ\text{C}$ obteniendo la muestra lista para ensayar. Se prepara los tamices limpiando la malla metálica y se determinan las masas de los tamices vacíos. Tamices a emplear según Tabla 3.7.

Material	6-19	19-37,5
Tamices	-	IRAM 37,5
	-	IRAM 26,5
	IRAM 19	IRAM 19
	IRAM 13,2	IRAM 13,2
	IRAM 9,5	-
	IRAM 4,75	-

Tabla 3.7 Tamices a utilizar para cada agregado para análisis granulométrico

Luego se tamiza manualmente desde el tamiz de mayor a menor abertura. Se pesa cada tamiz con el retenido parcial y se calcula la masa retenida parcial mediante la Ec 3.1

Para verificar si el análisis granulométrico se realizó correctamente, se determina la suma de las masas retenidas en todos los tamices y el fondo. Si la diferencia entre esta suma y la masa original de la muestra difiere más del 0,30 % debe repetirse el ensayo empleando una nueva muestra.

Para el agregado grueso, la norma IRAM 1627 establece franjas granulométricas en función del tamaño máximo nominal. Las mismas se establecen en la Tabla 3.8.

Tamaño Nominal	Porcentajes en masa que pasan por los tamices IRAM de mallas cuadradas								
	63,0 mm	53,0 mm	37,5 mm	26,5 mm	19,0 mm	13,2 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm
53,0 a 4,75	100	95 a 100	---	35 a 70	---	15 a 30	---	0 a 5	---
37,5 a 4,75	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---
26,5 a 4,75	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5
19,0 a 4,75	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5
13,2 a 4,75	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5
53,0 a 26,5	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
37,5 a 19,0	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---

Tabla 3.8 Franjas granulométricas en función del tamaño máximo nominal según CIRSOC 201-2005

Si los agregados no verifican los límites especificados no implica que los mismos no puedan emplearse en la elaboración de hormigón, se puede buscar una combinación entre ellos para lograr una curva granulométrica de los distintos áridos.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis granulométrico. Los resultados se expresan en porcentajes retenidos acumulados y en porcentajes retenidos parciales.

3.5.2.4 Resultados

IRAM 1505 – Análisis granulométrico de agregados

- Identificación: Canto rodado 6-19 (LIM 5185)
- Cuarteo y secado: 24/08/2017
- Tamizado y pesado: 25/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 5000 gr.
- Masa inicial: 5106 gr

Tamiz IRAM		Retenido			Pasante	
[mm]	N° / in	[gr]	[%]	[%] Acu.	[gr]	[%]
63	2-1/2"				5107	100
53	2"				5107	100
37,5	1-1/2"				5107	100
26,5	1"				5107	100
19	3/4"				5107	100
13,2	1/2"	1534	30,0	30,0	3573	70,0
9,5	3/8"	1802	35,3	65,3	1771	34,7
4,75	N°4	1768	34,6	99,9	3	0,1
2,36	N°8	0	0,0	99,9	3	0,1
1,18	N°16	0	0,0	99,9	3	0,1
0,6	N°30	0	0,0	99,9	3	0,1
0,3	N°50	0	0,0	99,9	3	0,1
0,15	N°100	0	0,0	99,9	3	0,1
Fondo		3	0,1	100,0		
Total		5107				
Error de cierre		0,02%				

Tabla 3.9 Análisis granulométrico de canto rodado 6 mm – 19 mm

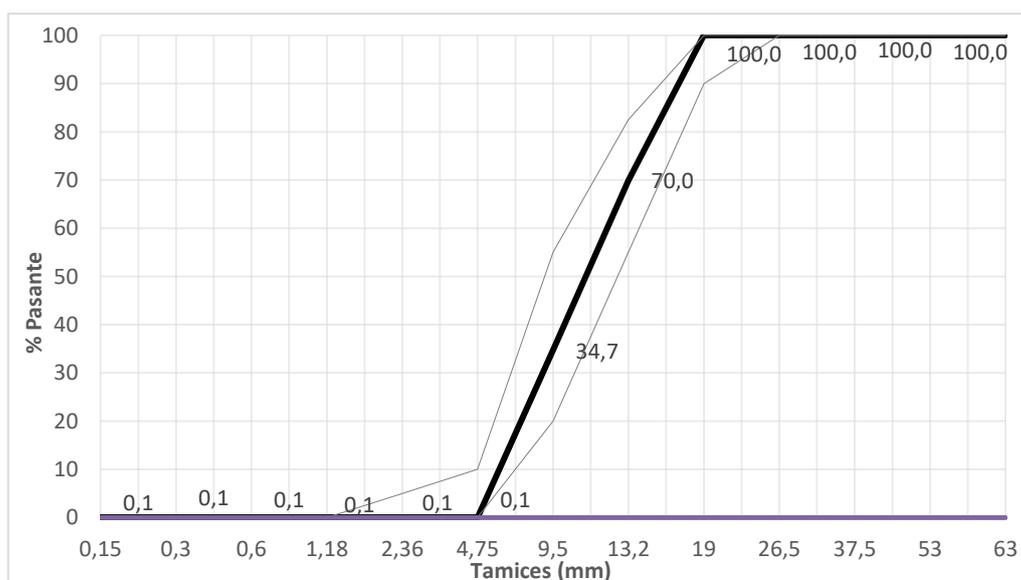


Gráfico 3.2 Curva granulométrica canto rodado 6 mm – 19 mm

Se observa que la curva describe una granulometría continua bien graduada ya que se encuentra dentro de las recomendadas por el reglamento.

IRAM 1505 – Análisis granulométrico de agregados

- Identificación: Canto rodado (LIM 5186)
- Cuarteo y secado: 24/08/2017
- Tamizado y pesado: 25/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 15000 gr.
- Masa inicial: 15052 gr

Tamiz IRAM		Retenido			Pasante	
[mm]	N° / in	[gr]	[%]	[%] Acu.	[gr]	[%]
63	2-1/2"				15043	100
53	2"				15043	100
37,5	1-1/2"				15043	100
26,5	1"	6191	41,2	41,2	8852	58,8
19	3/4"	7306	48,6	89,7	1546	10,3
13,2	1/2"	1522	10,1	99,8	24	0,2
9,5	3/8"	0	0,0	99,8	24	0,2
4,75	N°4	0	0,0	99,8	24	0,2
2,36	N°8	0	0,0	99,8	24	0,2
1,18	N°16	0	0,0	99,8	24	0,2
0,6	N°30	0	0,0	99,8	24	0,2
0,3	N°50	0	0,0	99,8	24	0,2
0,15	N°100	0	0,0	99,8	24	0,2
Fondo		24	0,2	100,0		
Total		15043				
Error de cierre		0,06%				

Tabla 3.10 Análisis granulométrico de canto rodado 6 mm – 19 mm

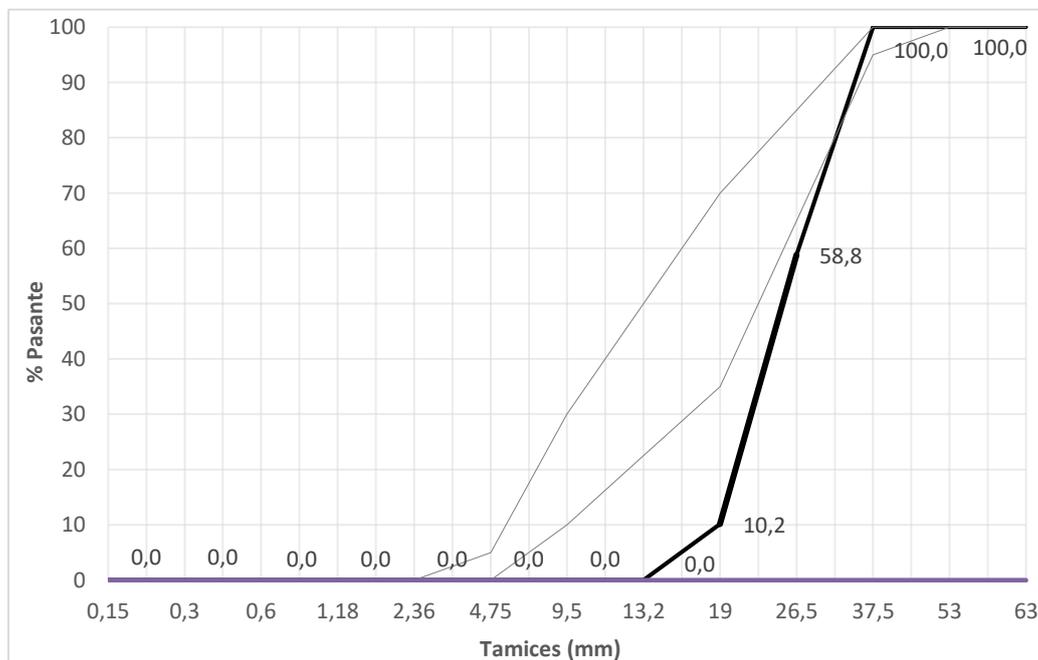


Gráfico 3.3 Curva granulométrica canto rodado 19 mm 37,5 mm

Se observa que la curva granulométrica en estudio está situada debajo de las recomendaciones del CIRSOC, sin embargo, en la sección correspondiente a dosificación se procurará realizar una mezcla de agregado grueso que se adapte a las recomendaciones.

3.5.3 Densidad y Absorción agregado fino

3.5.3.1 Definiciones

Agregado saturado y de superficie seca: Se dice que un agregado se encuentra en condiciones de humedad de saturado y de superficie seca (sss), cuando las partículas del agregado han colmado sus posibilidades de absorber agua y mantiene su superficie seca.

Densidad relativa: Es la relación de la masa, en aire, de un volumen unidad de un material permeable, incluyendo los vacíos permeables e impermeables a una temperatura determinada en relación con la masa en aire de un volumen igual de agua pura, libre de gases, a una temperatura establecida.

Absorción: Es el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. En el caso de los agregados y cuando no se indique lo contrario, la absorción se determina después de un período de inmersión de 24 hs. en agua.

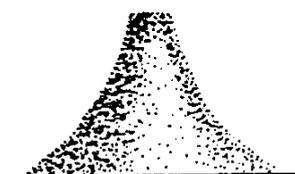
3.5.3.2 Preparación de la muestra

Debemos seleccionar aproximadamente 1 Kg de material obtenido por cuarteo utilizando el partidor de Jones tal como se explicó en el apartado 3.5.1.1 Preparación de muestra para análisis granulométrico. Se coloca en un recipiente y se lo cubre con agua durante 24 hs para que la misma penetre por todas las cavidades del árido. Transcurrido este tiempo, se retira la muestra del agua y se extiende sobre la mesa de trabajo sometiénola a una corriente de aire caliente mediante una pistola de calor y removiendo con frecuencia la muestra para asegurar un secado uniforme. Una vez que los granos del agregado no se adhieren más entre sí, se lo coloca en un molde troncocónico llenándolo hasta enrasar, y sin apretarlo se apisona mediante 25 golpes de varilla distribuidos a lo largo de la superficie visible y dejándolo caer desde una distancia aproximada de 5 mm desde la superficie y ajustando la posición de caída a medida que la superficie de agregado se va asentando. Fig. 3.6. Se desmolda y se busca lograr una forma característica que representa un agregado saturado a superficie seca. Si al retirar el molde, el agregado mantiene la forma troncocónica del molde, el agregado todavía presenta alto contenido de humedad. En este caso se continúa secando y repitiendo el moldeado hasta lograr la comprobación visual de la forma característica del estado buscado.

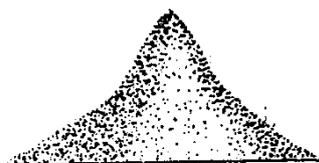


Fig. 3.6 Tronco cono y pisón de compactación para determinación de estado saturado superficie seca

La IRAM 1520 nos brinda las siguientes formas características de cada estado de humedad:



Corresponde a un agregado fino con exceso de humedad, donde conserva la forma del molde casi en su totalidad. (No llega al estado de saturado y superficie seca).



Agregado ligeramente húmedo, donde se observa un desmoronamiento apreciable. (No llega a estado de saturado y superficie seca).



Agregado saturado y de superficie seca: conserva casi por completo la forma del molde.



Agregado casi seco, donde no se observa un pico claro y el perfil superficial es curvilíneo

Fig. 3.7 Formas características de cada estado

3.5.3.3 Procedimiento

El procedimiento es muy similar al utilizado para determinar la densidad de cemento portland en el apartado 1.5.3, a diferencia que se utiliza agua en vez de nafta. Se utiliza el método volumétrico empleando un frasco de Le Chatelier. Se llena el frasco con agua hasta alcanzar en el cuello un nivel comprendido entre 0 y 1 cm³. Se seca el cuello del frasco y se registra el volumen inicial (Vi). Se introducen 500 gr en condición saturada superficie seca (m'_s). Luego se tapa el frasco y se hace girar en posición inclinada para desalojar las burbujas de aire atrapadas entre el agregado. Se deja reposar y se toma lectura del volumen final alcanzado en el frasco (Vf). Con esta información, es posible determinar la densidad del agregado en estado saturado superficie seca mediante la siguiente expresión:

$$d = \frac{m'_s}{(Vf - Vi) \cdot da} \quad Ec (3.2)$$

donde d es la densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca en gr/cm³; m'_s es la masa en aire de la muestra saturada y de superficie seca en gr; Vf es el volumen final alcanzado en el frasco expresado en cm³; y Vi es el volumen inicial del nivel de agua en cm³.

3.5.3.4 Absorción

Para la determinación de la absorción se utiliza la muestra de agregado fino de 500 ± 10 gr. en estado saturado superficie seca m'_s, se la lleva a estufa a masa constante y se determina la masa seca m. Se utiliza en este caso la misma muestra de agregado saturado y de superficie seca empleado para determinar la densidad en dicho estado.

$$A = \frac{m'_s - m}{m} \cdot 100 \quad (Ec. 3.3)$$

donde A es la absorción de agua expresada en por ciento.

3.5.3.4 Resultados

IRAM 1520 – Densidad y Absorción

- Identificación: Arena fina (LIM 5183)
- Inmersión de la muestra: 24/08/2017
- Ensayo y secado: 28/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 500 gr.
- Masa inicial: 500,00 gr



Datos		Magnitud	Unidad
m's	Masa saturada y de superficie seca	500	gr
Vol. (Vf-Vi)	Volumen	192	cm ³
m	Masa seca	493,99	gr
Cálculos de densidades			
d2 (m/Vol)	Densidad relativa seca	2,57	gr/cm3
d sss (m's/Vol)	Densidad relativa saturada superficie seca	2,6	gr/cm3
d1 (m/(Vol-ms+m))	Densidad relativa real	2,65	gr/cm3
Determinación de la Absorción			
(m's - m)		6,01	gr
% [(m's-ms/m)x100]		1,22	%

Tabla 3.11 Determinación de densidad y absorción de la arena fina

3.5.4 Densidad y Absorción agregados grueso

3.5.4.1 Preparación de la muestra

Tanto para el agregado 6-19 como para el 19-37,5 se obtiene la muestra según los procedimientos indicados en la IRAM 1509 los cuales fueron detallados en el apartado 3.5.2.1 utilizando el método de cuarteo.

3.5.4.2 Procedimiento

Se lava íntegramente el agregado grueso para eliminar el polvo u otro material superficial de distinta naturaleza. Se pesa una muestra según la Tabla 3.12 y a continuación se sumerge dicha masa en agua durante 24 hs

Masa mínima de la muestra:

- Canto rodado 6-19 = 3 Kg
- Canto rodado 19-37,5 = 5 Kg

Se sumerge dicha muestra a temperatura ambiente durante 24 hs. Transcurrido este tiempo se coloca la muestra saturada sobre un cesto de alambre y se lo sumerge en agua para determinar su peso en agua (ma).

Tamaño máximo nominal	Masa mínima de la muestra de ensayo
(mm)	(Kg)
≤ 12,5	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Tabla 3.12 Masa mínima de ensayo en función del tamaño máximo nominal

Luego se retira la muestra del agua y se la envuelve con un paño de tela absorbente, frotándolas hasta que toda el agua visible sea eliminada y dejando la superficie de las partículas húmedas. Los fragmentos grandes se los seca individualmente. Se pesa la muestra de inmediato para determinar la masa saturada y de superficie seca (m's). Luego se seca la muestra en estufa a 105 ± 5 °C hasta masa constante. Una vez seco se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa determinando el peso seco (m).

La densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (Ec. 3.4)$$

La absorción se determina mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (Ec. 3.5)$$

A continuación, se expresan los resultados obtenidos en los ensayos de Densidad y Absorción para ambos agregados gruesos:

3.5.4.3 Resultados

IRAM 1533 – Densidad y Absorción

- Identificación: Canto rodado 6-19 (LIM 5185)
- Inmersión de la muestra: 24/08/2017
- Ensayo y secado: 28/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 3000 gr.



Datos		Magnitud	Unidad
ma	Masa sumergida en agua	1975	gr
ms	Masa saturada y superficie seca	3191	gr
m	Masa seca	3167	gr
Cálculos de densidades			
d2 (m/ms-ma)	Densidad relativa seca	2,6	gr/cm3
d sss (ms/(ms-ma))	Densidad relativa saturada superficie seca	2,62	gr/cm3
d1 (m/(m-ma))	Densidad relativa real	2,66	gr/cm3
Determinación de la Absorción			
(m's - m)		24	gr
% [(m's-ms/m)x100]		0,75	%

Tabla 3.13 Determinación de densidad y absorción del canto rodado 6 mm – 19 mm

IRAM 1533 – Densidad y Absorción

- Identificación: Canto rodado 19-37,5 (LIM 5186)
- Inmersión de la muestra: 24/08/2017
- Ensayo y secado: 28/08/2017
- Técnico: Martín Quinteros
- Masa mínima: 5000 gr.



Datos		Magnitud	Unidad
ma	Masa sumergida en agua	3011	gr
ms	Masa saturada y superficie seca	4860	gr
m	Masa seca	4840	gr
Cálculos de densidades			
d2 (m/ms-ma)	Densidad relativa seca	2,62	gr/cm3
d sss (ms/(ms-ma))	Densidad relativa saturada superficie seca	2,63	gr/cm3
d1 (m/(m-ma))	Densidad relativa real	2,65	gr/cm3
Determinación de la Absorción			
(m's - m)		20	gr
% [(m's-ms/m)x100]		0,41	%

Tabla 3.14 Determinación de densidad y absorción del canto rodado 19 mm – 38 mm

3.6 DOSIFICACIÓN

En esta sección se describirán los pasos seguidos para llegar a la dosificación de los Hormigones solicitados indicados en el apartado 3.3, donde se han indicado las características que deben cumplir cada uno de ellos. Posteriormente se verificarán dichas condiciones de diseño en estado fresco y en estado endurecido.

3.6.1 H-25 Descarga directa

Los requerimientos son:

- 1) Asentamiento: 5 ± 1 cm
- 2) Agregado fino: Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm y 19 – 38 mm (Canto rodado)
- 4) Sin incorporación de aditivo

3.6.1.1 Mezcla de agregados y Módulo de Fineza

Utilizando los resultados obtenidos en la caracterización de áridos en los ensayos previos, es posible diseñar la mezcla de agregados. En este caso, estimamos un porcentaje de agregado fino con respecto al agregado total y verificamos si la curva mezcla cae sobre las curvas límites establecidas por la norma IRAM 1627. A su vez determinamos el módulo de fineza de la mezcla y tratamos de acercarnos a una mezcla cuyo módulo de fineza, sea próximo al de Fuller. Esto es así ya que Fuller demostró que este módulo caracteriza una curva granulométrica continua, lo cual implica obtener hormigones más trabajables. Este procedimiento se realiza por tanteos y se obtiene:

Agregado fino respecto del agregado total [%] :					41
Agregados finos que intervienen en la mezcla:					1
FINO	Agregado Nº	1			TOTAL
	Designación	5183			
	% agreg.Tota	41,0			
Agregados gruesos que intervienen en la mezcla:					2
GRUESO	Agregado Nº	1		2	TOTAL
	Designación	5185		5186	
	% agreg.Tota	29,5		29,5	
Tamiz IRAM [mm]	Mezcla de Agregados (% pasante)	T.M. Nominal (mm) 37,5			Fuller
		Límites Norma IRAM 1627			
		A	B	C	
63	100,0	100	100	100	100
50	100,0	100	100	100	100
37,5	100,0	97	98	100	100
25	87,8	78	85	94	82
19	73,5	60	71	88	71
12,5	61,7	52	61	83	58
9,5	51,3	45	52	77	50
4,75	37,9	39	43	66	36
2,36	31,7	29	38	53	25
1,18	26,9	20	33	42	18
0,60	21,9	10	22	30	13
0,30	11,0	4	9	17	9
0,15	2,1	1	2	4	6
M. F.	5,44	6,0	5,3	4,2	5,7
		M.F. PROMEDIO A-B			5,64

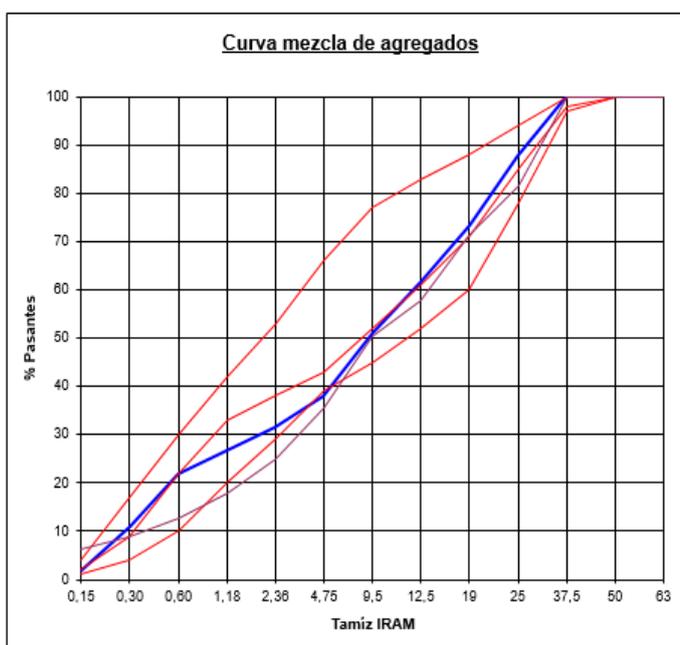


Tabla 3.15 Determinación de porcentajes en mezcla de áridos

3.6.1.2 Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr})

Siguiendo el reglamento CIRSOC 201/2005, para la estimación de la resistencia de diseño de una mezcla se debe tener en cuenta los modos de control:

- Modo 1: $f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$
 $f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 3,5$
- Modo 2: $f'_{cr} = (f'_c + 5) + 1,34 s$

Donde s es la desviación estándar, y cuando no se cuenta con registro para poder determinarla, el hormigón se debe proyectar adoptando la resistencia media de rotura a compresión dada por la siguiente tabla:

Resistencia especificada (f'_c) MPa	Resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr}) MPa
Igual o menor que 20	$f'_c + 7,0$
Mayor que 20 y menor que 35	$f'_c + 8,5$
Mayor que 35	$f'_c + 10,0$

Tabla 3.16 Resistencia de diseño de la mezcla cuando no se conoce la desviación estándar para hormigones sin armar y armados

Luego $f'_{cr} = 25 \text{ MPa} + 8,5 \text{ MPa}$
 $f'_{cr} = 33,5 \text{ MPa} = 341,6 \text{ Kg/cm}^2$

3.6.1.3 Estimación de la razón a/c

Se estiman en función de la resistencia de diseño de la mezcla para el cemento utilizado y verificando el cumplimiento de eventual razón a/c máxima por razones de durabilidad.

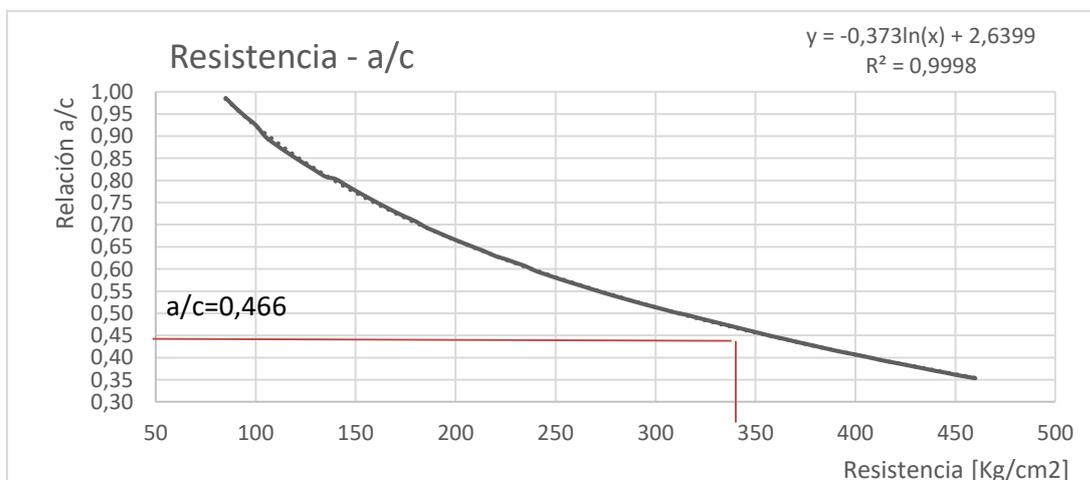


Gráfico 3.4 Relación agua/cemento H-25 Descarga directa

3.6.1.4 Cálculo de la cantidad de agua (A)

Ingresando con el asentamiento, el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de fineza de la mezcla, se obtuvo la cantidad de agua necesaria para la mezcla, el cual tuvo en cuenta el tipo de agregado y el uso o no de aditivos, teniendo en cuenta que los valores estimados son para cuando el contenido de aire es naturalmente incorporado, no con la adición intencional de aire.

3.6.1.5 Cálculo de la cantidad de cemento (C)

Conociendo la relación agua cemento y la cantidad de agua necesaria, se determina la cantidad de cemento según Ec 3.6.

$$C = \frac{A}{\frac{a}{c}} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$C = \frac{180 \text{ Kg/m}^3}{0,500} = 360 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.1.6 Volumen de agregados (Va)

El volumen de agregados, resulta de la diferencia entre 1m³ de Hormigón (1000 Lts) – el volumen de la pasta – volumen de aditivos – volumen de aire intencionalmente incorporado. Donde en este caso no se utilizó aditivos y tampoco se consideró un volumen de aire intencionalmente agregado. Es decir:

$$Va = 1000 \text{ Lts (H}^\circ) - 180 \text{ Lts (agua)} - \frac{360 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{3,15 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}} (\text{Cemento})$$

$$Va = 705,7 \text{ Litros de agregado}$$

3.6.1.7 Volumen de agregado grueso (Vag)

Recordando las proporciones establecidas en 3.6.1.1, es posible determinar el volumen de agregado grueso y fino. El 59% del volumen de agregados total será de agregado grueso y a su vez el 50 % de esta porción será 6-19 y el otro 50 % de 19-37.

$$Vag = 59 \% Va = 59\% 705,7 \text{ Litros}$$

$$Vag = 416,37 \text{ Litros}$$

A su vez:

$$V_{6-19} = 50\% Vag = 208,16 \text{ Litros}$$

$$V_{19-37,5} = 50\% Vag = 208,16 \text{ Litros}$$

3.6.1.8 Volumen de agregado fino (Vaf)

De igual manera que para agregados gruesos, es posible determinar el volumen de agregado fino. Sabemos que, del total de los agregados, el 41% son finos, entonces:

$$Vaf = 41\% Va = 41\% 705,7 \text{ Litros}$$

$$Vaf = 289,34 \text{ Litros}$$

3.6.1.9 Determinación de cantidades en peso

A la hora de realizar el pastón de prueba, es necesario conocer el peso de cada uno de los componentes. Para ello se utilizan las densidades del cemento, del agua y de los agregados determinadas en los ensayos previos.

Los datos obtenidos hasta aquí, se resumen en la siguiente memoria de cálculo:

MEMORIA DE CALCULO						FECHA	31/8/2017		
DOSIFICACION TEORICA DE HORMIGONES						MEMORIA N°	3		
1 - CARACTERISTICAS GENERALES:									
Tipo de hormigón :	H-25	Designación:	H-25-3	Relación a/c:	0,500				
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras		Asentamiento requerido: [cm]	Mínimo:	4				
Sol. N°:	578-17			Máximo:	8				
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS		Asentamiento requerido promedio: [cm]		6				
2 - CANTIDAD FINAL DE MATERIALES :									
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% resp. total	Cantidad en peso [sss]		Cantidad en Volumen		
CR 6-19	5185		50	59	545,4	Kg/m ³	208,2	L/m ³	
CR 19-30	5186		50		547,5	Kg/m ³	208,2	L/m ³	
						Kg/m ³		L/m ³	
Arena fina	5183		100	41	752,3	Kg/m ³	289,3	L/m ³	
							Kg/m ³		L/m ³
							Kg/m ³		L/m ³
CEMENTO	5184	CPP40 - HOLCIM			360,0	Kg/m ³	114,3	L/m ³	
AGUA					180,0	Kg/m ³	180,0	L/m ³	
ADICION						Kg/m ³		L/m ³	
ADITIVO 1						Kg/m ³		L/m ³	
ADITIVO 2						Kg/m ³		L/m ³	
AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO								L/m ³	
TOTAL					2385,3	Kg/m ³	1000	L/m ³	

Tabla 3.17 Memoria de cálculo H-25

Determinados estos valores, es posible calcular la densidad del hormigón dosificado. Esto resulta de sumar la cantidad en peso de cada componente.

$$\text{Densidad } H^{\circ} \text{ teórica} = 2385,5 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.1.10 Determinación pastón de prueba

Se determinan las cantidades en peso de un volumen que nos permita realizar los ensayos en estado fresco. Esto es así ya que sería inviable y costoso realizar un pastón de 1000 litros con las cantidades determinadas en el punto anterior. En función de las probetas a moldear, se elige el volumen del pastón. Para cada dosificación se moldean cuatro probetas y se trabaja con un pastón de 40 Litros.

Las proporciones del pastón se detallan en la Tabla 3.18

MEMORIA DE CALCULO						FECHA	17/3/2018			
PASTON DE PRUEBA						MEMORIA N°	3			
Tipo de hormigón:	H-25			Designación:	H-25-3					
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras			Asentamiento requerido: [cm]	Mínimo:	4				
Sol. N°:	578-17				Máximo:	8				
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS			Asentamiento requerido promedio [cm]		6				
% peso de agregado grueso:		59%		Relación agua/cemento:		0,500				
% peso de agregado fino:		41%								
Aditivo 1:				N° de probetas a moldear	4	21	Its.			
Aditivo 2:				Volumen del pastón:		40	Its.			
Adición:										
MATERIALES:										
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad		Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]	
CR 6-19	5185		50	59	545,4	Kg/m ³	21,818	0,13%	21,681	
CR 19-30	5186		50		547,5	Kg/m ³	21,901	0,12%	21,839	
						Kg/m ³				
Arena fina	5183		100	41	752,3	Kg/m ³	30,092	0,74%	29,947	
							Kg/m ³			
							Kg/m ³			
CEMENTO	5184	CPP40 HOLCIM			360,0	Kg/m ³	14,400		14,400	
AGUA					180,0	Kg/m ³	7,200		7,544	
ADICION						Kg/m ³				
ADITIVO 1						Kg/m ³				
ADITIVO 2						Kg/m ³				
AIRE INCORPORADO							Lts/m ³			
Cantidad Total					2385,3	Kg/m ³	95,411		95,411	

Tabla 3.18 Proporciones de pastón H-25

3.6.1.11 Corrección de humedades

Cuando se determinaron las proporciones de los áridos a utilizar, se tuvieron en cuenta los pesos saturado con superficie seca, pero en estado natural, los agregados no se encuentran en este estado. Debido a esto se determinan las humedades de cada uno de los agregados para realizar la corrección dada por Ec. 3.7.

$$Cantidad\ corregida = P_{sss} - A + H \quad (Ec. 3.7)$$

donde P_{sss} es la porción del pastón en Kilogramo; A es la absorción del árido en cuestión expresado en %, y H es la humedad del árido, expresado en %.

El procedimiento para determinar las humedades consiste en tomar una muestra de árido representativa de aproximadamente tres kilogramos, y pesarla. Este será el peso en estado natural. Se lleva la muestra a estufa y se la seca hasta masa constante, lo cual puede acusarse utilizando un vidrio de reloj. El material se encontrará seco cuando no se observe vapor de agua sobre el mismo. En este instante se pesa la muestra y se obtiene el peso seco. Luego, la humedad del árido se determina por la Ec. 3.8

$$H = \frac{P_n - P_s}{P_s} \% \quad (Ec. 3.8)$$

donde P_n es el peso natural del agregado en Kilogramos; y P_s es el peso del agregado en estado seco en Kilogramos.

La humedad de los áridos varía constantemente en función del clima y condiciones de almacenamiento. Es por ello que estas cantidades se deben determinar el día que se materializará el pastón. Se resumen las humedades determinadas en la Tabla 3.19

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS ARIDOS:					
Materiales	LIM	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
CR 6-19	5185	3000,0	2996,0	4,0	0,13%
CR 19-30	5186	4011,0	4006,0	5,0	0,12%
Arena fina	5183	1500,0	1489,0	11,0	0,74%

Tabla 3.19 Determinación de humedades en los áridos para pastón H-25

Estos datos son los utilizados en el punto 3.6.1.10 para determinar las cantidades corregidas de áridos y confeccionar el pastón de prueba.

3.6.1.12 Confección del pastón

Se pesan las cantidades determinadas anteriormente, se limpia la hormigonera y los materiales a utilizar (pala, varillas, cono de Abrams, etc). Se coloca en primera instancia el agregado grueso y el cemento y se hacen dar algunas vueltas en la hormigonera para que el agregado rompa los posibles grumos de cemento. Se incorpora una porción de agua y la totalidad del agregado fino. Luego se va agregando lo que resta de agua hasta lograr una mezcla homogénea la cual estará lista para realizar los ensayos en estado fresco.

3.6.2 H-21 Bombeable

El procedimiento de dosificación es el mismo para los tres hormigones, es por ello que solo se informarán las tablas resumen de las memorias de cálculo, pastones de prueba y corrección de humedades con eventuales explicaciones en caso de ser necesarias.

Requerimientos:

- 1) Asentamiento: 12 ± 2 cm
- 2) Agregado fino. Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm (Canto rodado)
- 4) Aditivo

3.6.2.1 Mezcla de agregados y Módulo de Fineza

Por tanteos se puede obtener una mezcla de agregados constituida por 48% de material fino y 52% de canto rodado 6-19.

Agregado fino respecto del agregado total [%] :		48			
Agregados finos que intervienen en la mezcla:		1			
FINO	Agregado Nº	1			
	Designación	5183			
	% agreg.Total	48,0	TOTAL 48,0		
Agregados gruesos que intervienen en la mezcla:		1			
GRUESO	Agregado Nº	1			
	Designación	5185			
	% agreg.Total	52,0	TOTAL 52,0		
Tamiz IRAM [mm]	Mezcla de Agregados (% pasante)	T.M. Nominal (mm) 19,0			Fuller
		Límites Norma IRAM 1627			
		A	B	C	
63	100,0	100	100	100	100
50	100,0	100	100	100	100
37,5	100,0	100	100	100	100
25	100,0	100	100	100	100
19	100,0	94	97	100	100
12,5	84,4	70	77	93	81
9,5	66,0	55	65	86	71
4,75	44,3	41	46	72	50
2,36	37,0	32	43	58	35
1,18	31,4	22	36	44	25
0,60	25,6	11	24	28	18
0,30	12,8	4	10	15	13
0,15	2,4	1	2	4	9
M. F.	4,80	5,4	4,8	3,9	4,8
		M.F. PROMEDIO A-B 5,09			

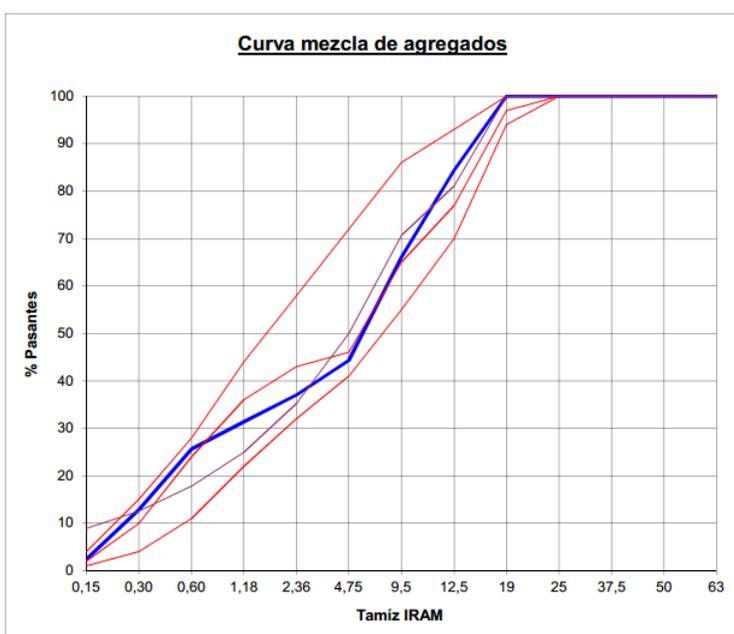


Tabla 3.20 Determinación de porcentajes en mezcla de áridos

Como se observa, este hormigón solo se compone de agregados finos y de canto rodado 6-19. Se ha conseguido obtener un módulo de fineza en la mezcla igual al de Fuller y la curva granulométrica cae dentro de los límites establecidos por la norma IRAM 1627

3.6.2.2 Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr})

Se estima la resistencia de diseño a partir del modo 2, ya que no se conocen valores del desvío estandar. Recurrimos a la Tabla 3.16 y obtenemos

$$f'_{cr} = 21 \text{ MPa} + 8,5 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = 29,5 \text{ MPa} = 300,81 \text{ Kg/cm}^2$$

3.6.2.3 Estimación de la razón a/c

Se estiman en función de la resistencia de diseño de la mezcla para el cemento utilizado y verificando el cumplimiento de eventual razón a/c máxima por razones de durabilidad.

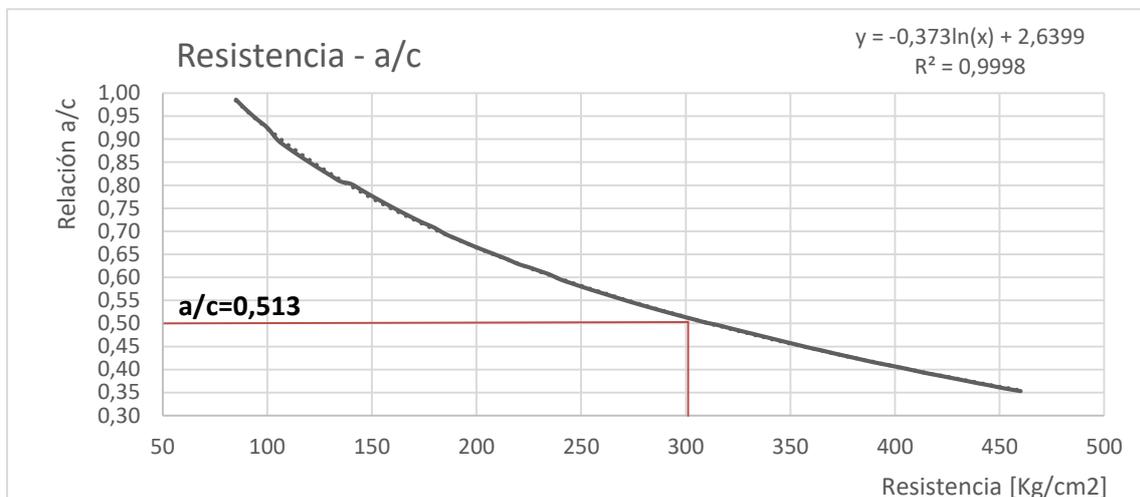


Gráfico 3.5 Relación agua cemento H21 Bombeable

3.6.2.4 Cálculo de la cantidad de agua, cemento y agregados

Se resumen en la siguiente tabla

CALCULOS	
Relación agua/cemento óptima:	0,513
Relación agua/cemento forzada:	-
Relación agua/cemento ajustada:	0,500
Cantidad de agua óptima [Lts/m ³]:	167
Cantidad de agua forzada [Lts/m ³]:	170
Cantidad de agua ajustada [Lts/m ³]:	170
Cantidad de cemento óptima [Kg/m ³]:	325
Cantidad de cemento forzada [Kg/m ³]:	340
Cantidad de cemento ajustada [Kg/m ³]:	340
Volumen de agregados [Lts]:	721
Corrección p/ tipo agregado óptima:	7,57

Tabla 3.21 Cantidades de cemento, agua y áridos por metro cúbico

La empresa que solicita la dosificación ya se encontraba utilizando hormigones con dosificaciones propias, pero obtenían un tenor de cemento de 410 Kg/m³ para el H-25 y de 400 Kg/m³ para el H-21. En su dosificación obtenían tenores tan altos de cemento por utilizar el canto rodado sin lavado previo. Como se mencionó anteriormente, los áridos caracterizados ya tienen un lavado previo y se puede observar la reducción significativa de la cantidad de cemento, lo que implica grandes ahorros de dinero.

3.6.2.5 Aditivo

El aditivo a utilizar es un Sikament 90E. El mismo puede tomar funciones de plastificante o de superfluidificante en función de la dosis utilizada.

Para dosis entre:

- a) 0,3% y 0,6%, actúa como plastificante - reductor de agua.
- b) 0,5% y 1,4%, actúa como superfluidificante.

La variación en la dosis depende del aumento de asentamiento deseado, el aumento de resistencias proyectado y los materiales usados en la dosificación; generalmente el uso de adiciones modifica ligeramente las cantidades a usar. En la solicitud se especificaba que el límite máximo a utilizar sea de 0,6%. Se adopta 0,40% en una primera instancia.

3.6.2.6 Determinación de cantidades en peso

Se resumen en la memoria de cálculo. Tabla 3.22

MEMORIA DE CALCULO					FECHA	4/9/2017			
DOSIFICACION TEORICA DE HORMIGONES					MEMORIA N°	1Bom c			
1 - CARACTERISTICAS GENERALES:									
Tipo de hormigón :	H-21	Designación:	H-21-1 Bom c	Relación a/c:	0,500				
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras		Asentamiento requerido: [cm]	Mínimo:	10				
Sol. N°:	578-17			Máximo:	14				
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS		Asentamiento requerido promedio: [cm]	12					
2 - CANTIDAD FINAL DE MATERIALES :									
Materiales	LIM	Procedencia	% par cial	% resp. total	Cantidad en peso [sss]		Cantidad en Volumen		
CR 6-19	5185		100	52	982,2	Kg/m ³	374,9	Lts/m ³	
							Kg/m ³		Lts/m ³
							Kg/m ³		Lts/m ³
Arena fina	5183		100	48	899,7	Kg/m ³	346,0	Lts/m ³	
							Kg/m ³		Lts/m ³
							Kg/m ³		Lts/m ³
CEMENTO	5184	CPP30 - HOLCIM			340,0	Kg/m ³	107,9	Lts/m ³	
AGUA					170,0	Kg/m ³	170,0	Lts/m ³	
ADICION						Kg/m ³		Lts/m ³	
ADITIVO 1		SIKAMENT 90E	0,4		1,4	Kg/m ³	1,2	Lts/m ³	
ADITIVO 2						Kg/m ³		Lts/m ³	
AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO								Lts/m ³	
TOTAL					2393,2	Kg/m ³	1000	Lts/m ³	

Tabla 3.22 Memoria de cálculo H-21 Bombeable

3.6.2.7 Determinación pastón de prueba

Se determinan las cantidades para un pastón de 40 litros. Tabla 3.23

MEMORIA DE CALCULO						FECHA	17/3/2018			
PASTON DE PRUEBA						MEMORIA N°	1 Bom c			
Tipo de hormigón:	H-21		Designación:		H-21-1 Bom c					
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras		Asentamiento requerido:		Mínimo:	10				
Sol. N°:	578-17		[cm]		Máximo:	14				
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS		Asentamiento requerido prom. [cm]		12					
% peso de agregado grueso:		52%		Relación agua/cemento:		0,500				
% peso de agregado fino:		48%								
Aditivo 1:	SIKAMENT 90E		0,4%	N° de probetas a moldear	4	21	lts.			
Aditivo 2:					Volumen del pastón:		40	lts.		
Adición:										
MATERIALES:										
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad		Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]	
CR 6-19	5185		100	52	982,2	Kg/m ³	39,287	0,17%	39,054	
							Kg/m ³			
							Kg/m ³			
Arena fina	5183		100	48	899,7	Kg/m ³	35,988	0,65%	35,784	
							Kg/m ³			
							Kg/m ³			
CEMENTO	5184	CPP30 - HOLCIM			340,0	Kg/m ³	13,600		13,600	
AGUA					170,0	Kg/m ³	6,800		7,237	
ADITIVO 1		SIKAMENT 90E	0,4		1,4	Kg/m ³	0,054		0,054	
AIRE INCORPORADO						Lts/m ³				
Cantidad Total					2393,2	Kg/m ³	95,729		95,729	

Tabla 3.23 Proporciones de pastón H-21 Bombeable

3.6.2.8 Corrección de humedades

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS ARIDOS:					
Materiales	LIM	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
CR 6-19	5185	3000,0	2995,0	5,0	0,17%
Arena fina	5183	2000,0	1987,0	13,0	0,65%

Tabla 3.24 Determinación de humedades en los áridos para pastón H-25

3.6.3 H-21 Descarga directa

Requerimientos:

- 1) Asentamiento: 5 ± 1 cm
- 2) Agregado fino: Arena
- 3) Agregado grueso: 6 – 19 mm (Canto rodado)
- 4) Sin incorporación de aditivo

3.6.3.1 Mezcla de agregados y Módulo de Fineza

Como los áridos a emplear son los mismos que ya se utilizaron en la dosificación del H-21 Bombeable, se utilizan las mismas proporciones. Gráfico 3.20 del apartado 3.6.2.1

3.6.3.2 Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr})

Al igual que en la dosificación anterior, se emplea el modo 2 para para la determinación de la resistencia de diseño:

$$f'_{cr} = 21 \text{ MPa} + 8,5 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = 29,5 \text{ MPa} = 300,81 \text{ Kg/cm}^2$$

3.6.3.3 Estimación de la razón a/c

Al igual que en la dosificación anterior: **a/c = 0,513**

3.6.2.4 Cálculo de la cantidad de agua, cemento y agregados

Se resumen en la siguiente tabla

CALCULOS	
Relación agua/cemento óptima:	0,513
Relación agua/cemento forzada:	
Relación agua/cemento ajustada:	0,529
Cantidad de agua óptima [Lts/m ³]:	169
Cantidad de agua forzada [Lts/m ³]:	180
Cantidad de agua ajustada [Lts/m ³]:	180
Cantidad de cemento óptima [Kg/m ³]:	330
Cantidad de cemento forzada [Kg/m ³]:	340
Cantidad de cemento ajustada [Kg/m ³]:	340
Volumen de agregados [Lts]:	712
Corrección p/ tipo agregado óptima:	7,57

Tabla 3.25 Determinación de agua, cemento y agregados por metro cubico de hormigón

Se fuerza el agua a una relación a/c = 0,529 para obtener un volumen de 180 litros. La misma se encuentra dentro de los límites establecidos por el CIRSOC 201-2005 para asegurar durabilidad. Se utiliza el mismo tenor de cemento que el H21-Bombeable.

3.6.2.5 Determinación de cantidades en peso

Se resume en la Tabla 3.26 a continuación

MEMORIA DE CALCULO						FECHA	4/9/2017		
DOSIFICACION TEORICA DE HORMIGONES						MEMORIA N°	2c		
1 - CARACTERISTICAS GENERALES:									
Tipo de hormigón :	H-21	Designación :	H-21-2c	Relación a/c:			0,529		
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras		Asentamiento requerido: [cm]	Mínimo:			4		
Sol. N°:	578-17			Máximo:			6		
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS		Asentamiento requerido promedio: [cm]				5		
2 - CANTIDAD FINAL DE MATERIALES :									
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% resp. total	Cantidad en peso [sss]		Cantidad en Volumen		
CR 6-19	5185		100	52	970,1	Kg/m ³	370,3	Lts/m ³	
							Kg/m ³		Lts/m ³
							Kg/m ³		Lts/m ³
Arena fina	5183		100	48	888,7	Kg/m ³	341,8	Lts/m ³	
							Kg/m ³		Lts/m ³
							Kg/m ³		Lts/m ³
CEMENTO	5184	CPP40 - HOLCIM			340,0	Kg/m ³	107,9	Lts/m ³	
AGUA					180,0	Kg/m ³	180,0	Lts/m ³	
ADICION						Kg/m ³		Lts/m ³	
ADITIVO 1						Kg/m ³		Lts/m ³	
ADITIVO 2						Kg/m ³		Lts/m ³	
AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO								Lts/m ³	
TOTAL					2378,8	Kg/m ³	1000	Lts/m ³	

Tabla 3.26 Memoria de cálculo H21 descarga directa

Se obtiene una densidad teórica de 2378, 8 Kg/m³

3.6.2.6 Determinación pastón de prueba

Se determinan las cantidades para un pastón de 40 litros. Tabla 3.27

MEMORIA DE CALCULO						FECHA	17/3/2018			
PASTON DE PRUEBA						MEMORIA N°	2c			
Tipo de hormigón:	H-21		Designación:		H-21-2c					
Solicitante:	Laboratorio de Estructuras		Asentamiento requerido:		Mínimo:	4				
Sol. N°:	578-17		[cm]		Máximo:	6				
Intervino:	GAMOND - QUINTEROS		Asentamiento requerido prom. [cm]		5					
% peso de agregado grueso:		52%		Relación agua/cemento:		0,529				
% peso de agregado fino:		48%		N° de probetas a moldear		4	21	lts.		
Aditivo 1:				Volumen del pastón:		40	lts.			
Aditivo 2:										
Adición:										
MATERIALES:										
Materiales	LIM	Procedencia	% parcial	% total	Cantidad		Pastón sss [Kg]	Humedad %	Pastón corregido [Kg]	
CR 6-19	5185		100	52	970,1	Kg/m ³	38,805	0,17%	38,574	
							Kg/m ³			
							Kg/m ³			
Arena fina	5183		100	48	888,7	Kg/m ³	35,546	0,65%	35,345	
							Kg/m ³			
							Kg/m ³			
CEMENTO	5184	CPP30 - HOLCIM			340,0	Kg/m ³	13,600		13,600	
AGUA					180,0	Kg/m ³	7,200		7,631	
ADICION						Kg/m ³				
ADITIVO 1						Kg/m ³				
ADITIVO 2						Kg/m ³				
AIRE INCORPORADO						Lts/m ³				
Cantidad Total					2378,8	Kg/m ³	95,151		95,151	

Tabla 3.27 Cantidades para pastón de prueba H-21

3.6.2.7 Corrección de humedades

Como se observa en la Tabla 3.28, las humedades han sido corregidas de acuerdo a los valores determinados el día de confección del pastón según Tabla 3.27

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS ARIDOS:					
Materiales	LIM	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [gr]	Humedad [%]
CR 6-19	5185	3000,0	2995,0	5,0	0,17%
Arena fina	5183	2000,0	1987,0	13,0	0,65%

Tabla 3.28 Determinación de humedades en áridos empleados para el H21 descarga directa

3.7 ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

Una vez obtenido el hormigón, se está en condiciones de realizar los ensayos en estado fresco y confeccionar las probetas. Se harán comentarios de cada uno de los ensayos y luego se publica una tabla resumen de los tres hormigones dosificados. Los ensayos en estado fresco son:

3.7.1 Determinación de la temperatura de la mezcla

Se utiliza un termómetro bimetálico y se lo hinca sobre la mezcla de forma tal que el vástago se sumerja en su totalidad. Se presiona suavemente la superficie de su alrededor para asegurar que el vástago quede totalmente en contacto con el hormigón fresco. Se toma lectura al transcurrir dos minutos o cuando la temperatura se estabilice y se registra con aproximación de $0,5^{\circ}\text{C}$. La temperatura no debe diferir 2°C con respecto a la temperatura ambiente. Las mediciones se detallan en la tabla resumen.

3.7.2 Determinación del asentamiento

La consistencia es la relación entre la deformación del hormigón y su fluidez. Para determinar el asentamiento de la mezcla, se utiliza el Cono de Abrams (norma IRAM 1536). Con este equipo se determina la estabilidad por pérdida de altura expresada en centímetros de volumen de hormigón fresco. Al ser retirado el molde que lo contiene este se deforma y se asienta. Se emplea para hormigones plásticos, cohesivos, cuyo agregado tenga un tamaño máximo nominal menor de 51 mm. El cono húmedo se coloca verticalmente sobre una superficie plana y rígida y no absorbente. Se rellena con mezcla en tres capas y se lo compacta con 25 golpes por capa en forma regular y sin llegar a la capa subyacente, se enrasa y se levanta el cono. Fig. 3.8. El asentamiento se mide en centímetros y está dado por la distancia entre la regla horizontal colocada sobre el cono y el nivel medio de la cara superior de la masa del hormigón asentado. Una vez medido el asentamiento se da unos golpes de varilla a la mezcla del hormigón. Si no se resquebraja o parte, tiene buena plasticidad.

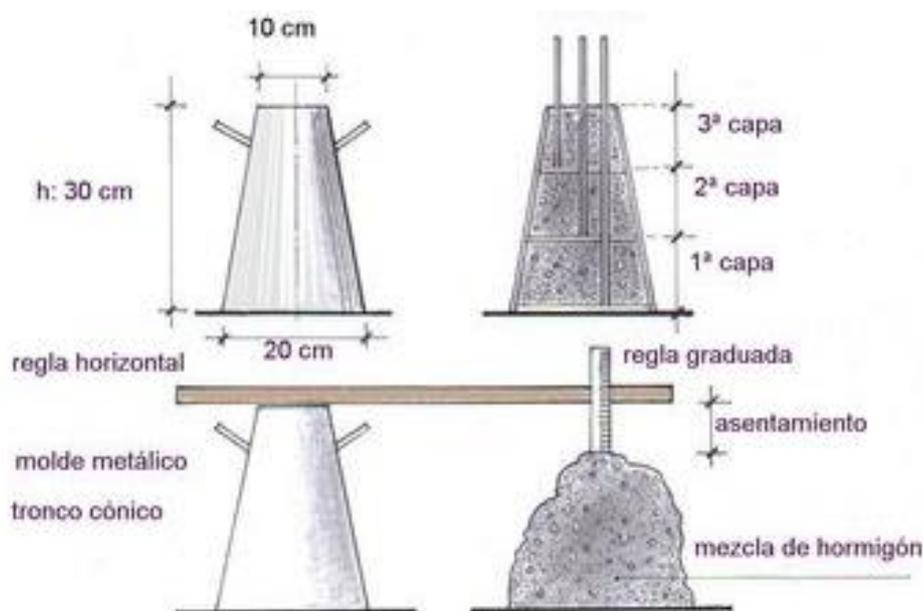


Fig. 3.8 Ensayo del Cono de Abrams – IRAM 1536

3.7.3 Determinación del contenido de aire

Corresponde a la norma IRAM 1602-1 Hormigón de Cemento Portland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros.

El método de presión se basa en la aplicación de la Ley de Boyle-Mariotte. El hormigón en estado fresco es un fluido incompresible en cuyo interior existen burbujas de aire y cuyo volumen puede variar en función de la presión a la cual sea sometida.

El dispositivo que se empleó para el ensayo, se conoce como aparato de Washington y consta de un recipiente cilíndrico metálico cuya capacidad es de aproximadamente 7 litros, dentro del cual se coloca la muestra de hormigón a ensayar compactándola en 3 capas mediante 25 golpes de varilla normalizada por capa (similar al moldeo de probetas de hormigón). Una vez enrasado, el nivel del hormigón se encuentra en coincidencia con el borde del molde de Washington y se lo cierra herméticamente mediante las abrazaderas de su tapa metálica. También consta de una cámara de aire interior que puede almacenar aire a presión y se conecta con el recinto que aloja el hormigón mediante un conducto provisto por válvulas de cierre. A su vez la tapa contiene dos válvulas en sus laterales que permiten mediante su cierre o apertura elegir entre trabajar a presión o liberar presión igualándose a la presión atmosférica respectivamente.

Al ponerse en contacto el aire a presión de la cámara con el hormigón del recipiente intenta comprimirlo, pero como este es incompresible transmite el esfuerzo de compresión a las burbujas de aire que esta aloja. En consecuencia, estas disminuyen su volumen por lo que el nivel de la superficie superior del hormigón desciende en una cantidad proporcional al contenido de aire de la mezcla. Al ocupar el aire a presión parte del volumen del recipiente, disminuirá su presión inicial que será acusada en un manómetro conectado a la cámara de aire y que se encuentra graduado para tomar lectura directamente del contenido de aire incorporado.

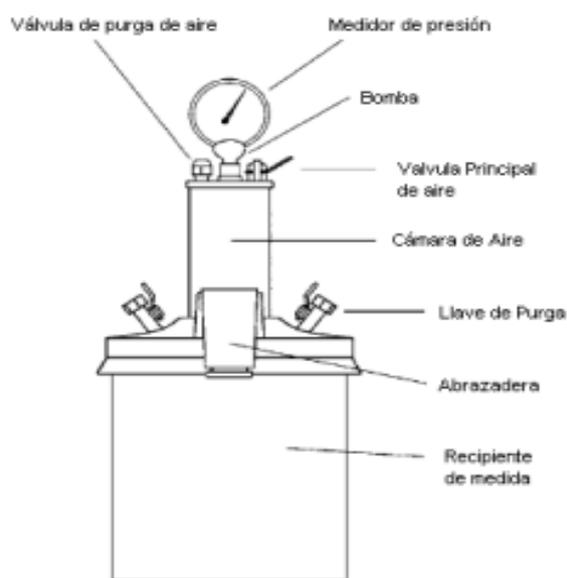


Fig. 3.9 Aparato de Washington

Los valores normales de aire incorporado son aproximadamente del 3%.

En el siguiente capítulo se explican los procedimientos para calibrar un aparato de Washington

3.7.4 Determinación de densidad

Para determinar la densidad del hormigón obtenido, se aprovecha el procedimiento para determinar el contenido de aire incorporado, solo que antes, se pesa el molde vacío. Podemos obtener el peso del molde más el del hormigón compactado. Además, sabemos el volumen del molde ya que se encuentra calibrado. Utilizamos la Ec 3.9.

$$\delta = \frac{P_{m+h} - P_m}{V} \quad (Ec. 3.9)$$

donde δ es la densidad de la mezcla expresada en Kilogramo por metro cúbico; P_{m+h} es el peso del molde con hormigón en Kilogramos; P_m es el peso del molde vacío en Kilogramos; y V es el volumen del molde de Washington en metros cúbicos. Se indican las densidades en la tabla de resultados.

También es posible determinar la densidad de la mezcla utilizando las probetas moldeadas, aunque es preferible utilizar el molde de Washington ya que, si bien las dimensiones de las probetas se encuentran normalizadas, el molde de Washington está siempre calibrado y se obtendrán resultados más precisos.

3.7.5 Resultados de ensayos en estado fresco

Ensayo	H-25	H-21 Bomb.	H-21
Temperatura de la mezcla [°C]	15	16,5	15,5
Temperatura ambiente [°C]	16,5	16	17
Asentamiento medido [cm]	5	14	5,8
Densidad [Kg/m ³]	2326,1	2276,35	2304,19
Plasticidad	Buena	Buena	Buena

Tabla 3.29 Resultados de ensayos en estado fresco

3.7.5 Confeccionado de probetas

Se confeccionan probetas para la determinación de la resistencia a compresión simple según la norma IRAM 1534 - Probetas moldeadas en laboratorio. Antes de preparar el pastón de prueba, se limpian perfectamente las probetas que van a ser utilizadas. Son necesarias cuatro probetas por pastón, ya que dos de ellas se ensayarán a 7 días y las otras dos a 28 días. Se engrasa su superficie interior para garantizar un correcto desmolde y se ajustan sus mariposas para asegurar estanqueidad, dejando los elementos necesarios para efectuar los ensayos a disposición. Fig. 3.10.



Fig. 3.10 Elementos necesarios para realizar los ensayos en estado fresco y moldeado de probetas

Se utilizaron moldes de fundición cilíndricos, no absorbentes, estancos, ajustables a través de bulones y tuercas. Sus dimensiones están normalizadas y son de 30 cm de alto, igual a dos veces el diámetro, siendo este de 15 cm (el diámetro deberá ser tres veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado).

El llenado de las probetas se realiza en 3 capas, se coloca hormigón hasta cubrir la tercera parte de la altura del molde cada vez. Una vez colocada cada capa, se la compacta con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie. La primera capa, los golpes deben atravesarla íntegramente pero no golpear el fondo del molde. La compactación de la segunda y la tercera capa se realiza atravesando cada una de ellas y penetrando solamente la parte superior de la capa siguiente. Finalmente, se enrasa la probeta al nivel del borde superior del molde, mediante una cuchara de albañil, retirando el sobrante de hormigón y trabajando la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa. Fig. 3.11.



Fig. 3.11 Probetas moldeadas con su correspondiente identificación

Se deja reposar las probetas ya moldeadas durante 24 horas en un lugar resguardado para evitar golpes, cambios abruptos de temperatura y humedad ya que la variación de estas condiciones podrían significar una disminución de la resistencia mecánica.

Trascurrido este período, se procede a desmoldarlas y a identificarlas nuevamente para llevarlas a la pileta de curado. La misma consiste en un recinto de agua con cal (ambiente alcalino) que mantiene la temperatura en aproximadamente 20°C. Fig. 3.12. Las probetas se dejan sumergidas el tiempo correspondiente a la edad de ensayo.



Fig. 3.12 Probetas identificadas y sumergidas en cámara de curado

3.7 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

3.7.1 Determinación de la resistencia a compresión simple

Antes de realizar los ensayos destructivos, se deben normalizar las caras de las probetas. Para garantizar esta condición, se encabezan las probetas con una mezcla de azufre, tierra refractaria y grafito, a una temperatura de 130 a 140 °C, con lo que se logra una pasta que se coloca en un molde metálico, asentando luego sobre ella la probeta y haciendo coincidir los laterales de la probeta con los cilindros guías a los costados de los moldes. Esta pasta endurece rápidamente, logrando una resistencia a la compresión igual o mayor que la prevista para la probeta.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión simple de probetas cilíndricas, se establece en la IRAM 1546

3.7.1.1 Procedimiento

Se utiliza una prensa IBERTEST HIB 150 que consta de dos platos de carga perfectamente planos y un sistema de regulación de la velocidad de carga. Antes de comenzar el ensayo se mide la altura y el diámetro de la probeta al milímetro, medido este último en varias secciones de la probeta, para garantizar que las dimensiones se encuentren dentro de los límites establecidos por la norma. Hay que considerar, que un aumento del diámetro, implica aumento de la sección y, en consecuencia, un aumento de la carga que producirá la rotura, dando resultados no representativos.

Se limpian las caras de las probetas y los platos de carga. Se coloca la probeta en el plato inferior utilizando la guía del cabezal para centrarla. Se acerca en forma manual el cabezal superior de la prensa hasta que quede en contacto con la probeta (este plato tiene una rótula).

Una vez posicionada la probeta, se aplica la carga en forma continua y sin choques a una cierta velocidad hasta lograr la rotura de la probeta y registrando la carga máxima. La resistencia a compresión vendrá dada por la Ec. 3.10

$$\sigma_c = \frac{4000 \times Q}{\pi \times d^2} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

donde σ_c es la resistencia a compresión, en Megapascales; Q es la carga máxima alcanzada, en Kilonewton; y d es el diámetro de la probeta en metros



Fig. 3.13 A la izquierda, la probeta alcanzó la rotura; a la derecha se evidencia el tipo de falla TIPO 1

3.7.1.2 Tipo de rotura de las probetas

Existe convención para calificar el tipo de rotura de la probeta. Fig 3.14. La totalidad de las probetas ensayadas presentan rotura TIPO 1. Fig. 3.13

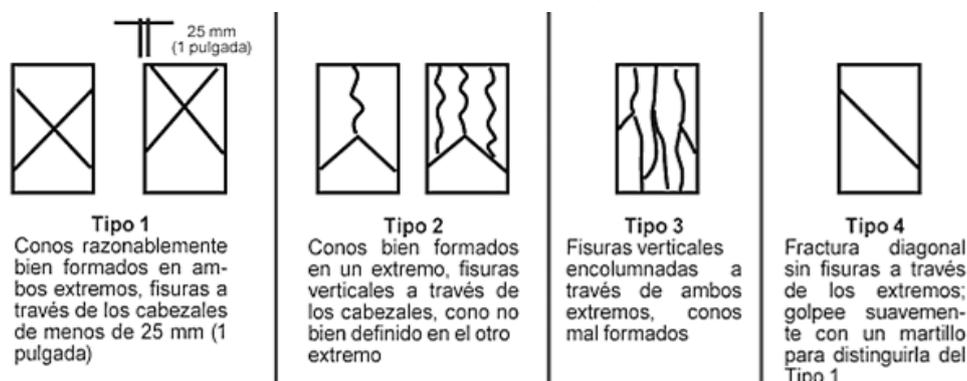


Fig. 3.14 Tipos de fallas en probetas cilíndricas de Hormigón ensayadas a compresión simple.

3.7.2 Resultados

3.7.2.1 Pastón H-25 Descarga directa

Identificación de Probetas			Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga máxima		Tensión de rotura	
Según Laboratorio				θ	h	[KN]	[Tn]	[MPa]	[Kg/cm ²]
LIM	Ident.	Edad de ensayo	[mm]	[mm]					
5237-1	3	7	7/9/2017	150	307	384,9	39,3	21,9	223
5237-2	3	7	7/9/2017	150	307	401,6	41	22,8	233
5237-3	3	28	28/9/2017	151	306	564,6	57,6	31,6	323
5237-4	3	28	28/9/2017	150	306	570,1	58,1	32,1	328

Tabla 3.30 Resistencia a compresión simple de probetas H-25

3.7.2.2 Pastón H-21 Bombeable

Identificación de Probetas			Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga máxima		Tensión de rotura	
Según Laboratorio				θ	h	[KN]	[Tn]	[MPa]	[Kg/cm ²]
LIM	Ident.	Edad de ensayo	[mm]	[mm]					
5246-1	1BomC	7	11/9/2017	150	308	357,2	36,4	20,1	205
5246-2	1BomC	7	11/9/2017	151	310	388,8	39,7	21,8	222
5246-3	1BomC	28	2/10/2017	151	307	549,4	56	30,8	314
5246-4	1BomC	28	2/10/2017	149	308	566,8	57,8	32,3	330

Tabla 3.31 Resistencia a compresión simple de probetas H-21 Bombeable

3.7.2.3 Pastón H-21 Descarga directa

Identificación de Probetas			Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga máxima		Tensión de rotura	
Según Laboratorio				θ	h	[KN]	[Tn]	[MPa]	[Kg/cm ²]
LIM	Ident.	Edad de ensayo	[mm]	[mm]					
5245-1	2C	7	11/9/2017	150	310	336,5	34,3	19	194
5245-2	2C	7	11/9/2017	150	313	323,1	33	18,4	187
5245-3	2C	28	2/10/2017	150	306	507,6	51,8	28,7	293
5245-4	2C	28	2/10/2017	150	307	510,7	52,1	29,1	297

Tabla 3.32 Resistencia a compresión simple de probetas H-21 descarga directa

Como puede observarse en las Tablas 3.30, 3.31 y 3.32, las dosificaciones diseñadas cumplen con las condiciones de resistencia, superando ampliamente la resistencia requerida.

Se observa que tanto para el hormigón H25 descarga directa y el H21 Bombeable se obtienen resistencias a los 7 días cercanas al 70% de la resistencia a los 28 días, mientras que para el hormigón H21 esta relación es próxima a 60%. Llama la atención las resistencias alcanzadas en el hormigón H-21 Bombeable, ya que alcanzan prácticamente a las resistencias obtenidas en las probetas de H-25. Es posible que esto se deba a la reducción de agua empleada en el H-21 Bombeable por uso de aditivo.

Al lograr alcanzar las resistencias requeridas y a su vez cumplir con las condiciones de trabajabilidad, se dan por satisfactorias las dosificaciones diseñadas.

- CAPÍTULO 4 -

CALIBRACIÓN DEL APARATO DE WASHINGTON

4.1 DESCRIPCIÓN DEL APARATO A CALIBRAR

Como se indicó en el capítulo anterior, el aparato de Washington se emplea para determinar el contenido de aire agregado en el hormigón. El aparato a calibrar es un COSACOV cuya última calibración fue realizada en octubre de 1983 y se encontraba en mal estado. El aparato de Washington es un elemento que está en contacto directo con el hormigón fresco y posee muchos lugares que son de difícil limpieza. Es importante limpiar el aparato apenas se termine de realizar el ensayo para poder conservarlo en buen estado.

En primera instancia se desarmó el aparato completamente. Se separó la cámara de aire, las abrazaderas y sus válvulas para limpiar y lijar cada una de sus partes por separado. Algunas de sus piezas se encontraban en mal estado y se decidió cambiarlas.

La válvula de ajuste de presión posee en su parte inferior un aro de goma que permite que el paso de aire sea gradual y de esta manera nos permita regular la presión para comenzar con el ensayo. Este aro se lo cambió por uno nuevo materializado con elementos que se encontraban en el laboratorio.

La válvula de ingreso de aire es del tipo Presta y sus repuestos son fáciles de conseguir por lo que se decidió cambiarlas por piezas nuevas.

Una vez que el aparato se encontraba en condiciones y era capaz de mantener la presión en el recinto de aire, se precedió con su calibración.

4.2 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

4.2.1 Determinación del volumen del recipiente:

Se busca determinar el volumen del tacho y el peso de enrase del aparato. Para ello se pesaron las distintas partes del aparato en una balanza con precisión de 0,1 gr completando la siguiente tabla:

		Unidad
Temperatura	24	°C
Peso balde (B)	3118,9	gr
Peso tapa (T)	4721,5	gr
Peso paca de vidrio (V)	701	gr
Peso tacho + agua + vidrio (BAV)	10755	gr
P tacho + agua enrase + tapa (BAT)	14838	gr
Peso del agua (A)	6935,1	gr
Volumen del tacho	6953,31769	cm ³
Peso de enrase	62,5	gr

Tabla 4.1 Características de Washington

Se pesan el balde vacío y el balde lleno de agua más una placa de vidrio. La diferencia será la masa de agua que entre en el balde y por definición de densidad se determina

su volumen. Para este paso se utiliza una placa de vidrio que nos garantiza no perder agua en los procesos pesaje y acusa además si en el interior del balde quedan alojadas burbujas de aire. En ecuaciones:

$$A = BAV - V - B \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$\text{Volumen} = A / \delta \quad (\text{Ec. 4.2})$$

donde A es la masa de agua contenida en el balde en Kg, V es la masa de la placa de vidrio en Kg, B es la masa del balde del Washington, Vol es el volumen de agua almacenada en el balde en m³ y δ es la densidad del agua a su correspondiente temperatura en Kg/m³.

Es importante medir la temperatura del agua ya que su densidad es proporcional a la misma. Tabla 4.2.

Temperatura	Densidad	Temperatura	Densidad	Temperatura	Densidad
°C	Kg/m ³	°C	Kg/m ³	°C	Kg/m ³
0 (hielo)	917	10	999,77	21	998,08
0	999,82	11	999,68	22	997,86
1	999,89	12	999,58	23	997,62
2	999,94	13	999,46	24	997,38
3	999,98	14	999,33	25	997,13
4	1	15	999,19	26	996,86
5	1	16	999,03	27	996,59
6	999,99	17	998,86	28	996,31
7	999,96	18	998,68	29	996,02
8	999,91	19	998,49	30	995,71
9	999,85	20	998,29		

Tabla 4.2 Variación de la densidad del agua en función de la temperatura

4.2.2 Determinación del peso de enrase:

La tapa del aparato tiene una serie de conductos que posibilitan el transporte de aire encerrado hacia el exterior por medio de las llaves de purga. Este volumen debe ser tenido en cuenta para su calibración ya que la pérdida de presión que acusará en el manómetro de la cámara de aire dependerá en parte de este compartimiento.

Para ello se llena de agua el recipiente, se lo tapa y por medio de una de las llaves de purga se hace desbordar el agua. A continuación, se cierran las llaves de purga, se seca por fuera el aparato y se registra su peso.

Como ya se conoce la cantidad de agua que entra en el balde, el peso del balde y el peso de la tapa, se puede determinar el peso de enrase de la siguiente forma:

$$PE = BAT - B - A - T \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$PE = 62,5 \text{ gr}$$

4.2.3 Determinación teórica de los porcentajes contenidos de aire:

El manómetro está graduado de forma tal que nos indique cual es el porcentaje de contenido de aire dentro del balde. Su graduación va desde una Presión inicial P_i hasta 10% (correspondiente a un 10 % de aire en el interior del balde).

Para su calibración se determinó las masas de agua necesaria en el interior correspondiente a cada uno de los porcentajes de aire incorporado. Se resumen en la Tabla 4.3

Volumen	% aire	Masa	balde + agua
100	0	6935	10116
99	1	6866	10047
98	2	6796	9978
97	3	6727	9908
96	4	6658	9839
95	5	6588	9770
94	6	6519	9700
93	7	6449	9631
92	8	6380	9562
91	9	6311	9492
90	10	6241	9423

Tabla 4.3 Porcentajes teóricos de aire



Fig. 4.1 Determinación de nueva graduación

En la columna Masa se indica la masa de agua necesaria en el balde para que el mismo tenga un porcentaje de aire determinado. Por ejemplo: Para que en el balde haya un porcentaje de aire del 5% de su volumen, es necesario que tenga 6935 gr de agua en su interior. Es necesario corregir este valor por el peso del balde y el peso de enrase, la cual se indica en la última columna de la tabla.

4.2.4 Nueva escala de manómetro:

Se llena la cámara de aire hasta que el manómetro indique P_i , se cierran las llaves de purga y se abre la llave que permite que ingrese el aire al balde. El manómetro acusará una disminución de presión equivalente al porcentaje de aire teórico. Se hace una nueva marca sobre el reloj del manómetro y se repite este procedimiento tres veces. El promedio de las tres marcas será la nueva medida del porcentaje de aire a la cual se hizo medida. Este procedimiento se realiza para cada uno de los porcentajes, obteniéndose así la nueva graduación.



Fig. 4.2 Aparato de Washington calibrado para ser usado

- CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES

En cuanto a la participación en el Interlaboratorio, se concluye que, salvo el ensayo de finura de Blaine, los resultados obtenidos prácticamente son coincidentes con la media de los ensayos informados. Esto indica que el instrumental del Laboratorio de Estructuras, se encuentra en buen estado para realizar los ensayos de Densidad, Consistencia Normal, y Tiempo de Fraguado en pasta de cemento de consistencia normal. En cuanto al ensayo de finura de Blaine, si bien, no se obtuvieron resultados próximos a la media, fue posible utilizar estos resultados para su calibración. Es decir, que se utilizó el cemento del Interlaboratorio como cemento de referencia y se obtuvo un valor de la constante K gracias a los ensayos realizados. Esta calibración podrá ser verificada el año próximo en el certamen de Interlaboratorio 2018.

En cuanto a la correlación de resultados entre ensayos de penetración en pasta de cemento de consistencia normal y ensayos de calorimetría para la determinación del tiempo de fraguado, se concluye que, si bien los resultados obtenidos presentan cierta relación, los ensayos de calorimetría deben ser utilizados para una estimación del tiempo de fraguado y no como un resultado certero. El ensayo en calorímetro semiadiabático posibilita un ensayo práctico ya que una vez obtenida la pasta de cemento de consistencia normal, se la coloca en el calorímetro y se obtienen los resultados sin comprometer al operario a estar realizando penetraciones como con el Vicat cada diez minutos como lo indican las normas IRAM. Con normas IRAM se obtienen resultados precisos, mientras que con calorimetría se obtienen un rango de posibles tiempos de fraguado. Quizá este rango de tiempos se pueda disminuir para obtener resultados más precisos, al utilizar una muestra más grande de cementos. Se debe tener en cuenta que el calorímetro comienza a medir las temperaturas desde el momento en que uno coloca la muestra en su interior, por lo que los resultados se verán afectados si este tiempo es distinto para cada ensayo que se realice.

Por otro lado, la dosificación de los tres hormigones permitió obtener mezclas con menor tenor de cemento. Recordamos que la empresa se encontraba utilizando entre 400 y 410 Kilogramos de cemento por metro cúbico cuando para lograr las resistencias requeridas cuando se utilizaba el canto rodado tal como salía de la cantera (con mucho contenido de polvo). Se concluye que al lavar el árido, se logran hormigones con menor tenor de cemento, entre 350 y 360 Kg/m³ el cual cumple con las condiciones de diseño en estado fresco y endurecido, implicando beneficios económicos para la empresa.

Conclusiones personales

Es de destacar la importancia de la Práctica Supervisada como un primer acercamiento a la vida profesional. Posibilita el desarrollo intelectual como social para desenvolverse en el ámbito laboral.

El Laboratorio de Estructuras en particular, permite conocer el comportamiento de materiales como el cemento, áridos, hormigones con los que uno estará en contacto permanentemente durante la vida profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- IRAM 50.000 – Cementos para uso general
- IRAM 50.001 – Cementos con propiedades Especiales
- IRAM 1624 – Método de ensayo para la determinación de la Densidad de Cemento – Segunda edición 04/05/2005
- IRAM 1623 - Cemento portland. Método de ensayo de finura por tamizado seco y por determinación de la superficie específica por permeabilidad al aire (Método de Blaine) – Segunda edición. – 01/11/2004
- IRAM 1612 – Cemento. Método de ensayo para la determinación de la consistencia normal. Tercera edición – 24/11/2006
- IRAM 1619 – Cemento. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado – Tercera edición – 24/11/2006
- UNE-EN 196-3 – Métodos de ensayos de cementos. Parte 3. Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
- IMCYC – El concreto en la obra. Determinación de la finura de cementos hidráulicos (Método de permeabilidad de Blaine) – 02/2011
- Dr. Demetrio Gaspar-Tebar – Normalización del Cemento. Tiempo de Fraguado: Algunos comentarios sobre el método de ensayo.
- M.I.Sánchez de Rojas, M. Frías y J. Rivera – Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) España – Estudios sobre el calor de hidratación desarrollado en morteros con materiales puzolánicos: naturales y subproductos industriales. 29/03/2000
- Lic. Jaime A. Gainza, Qco. Francisco Da Cruz – Contribución Experimental a la Clorimetría de Cementos Hidráulicos.
- PCA – Portland Cement Association. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Primera edición. 2004
- Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón – Ese material llamado Hormigón. Segunda Edición. 09/2016.
- INTI - CIRSOC 201-2005 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.
- Luis Bañón Blázquez – Propiedades y Caracterización de los Áridos.

AGRADECIMIENTOS

A la Directora del Laboratorio de Estructuras, Ing. Patricia Irico, por darme la oportunidad de tener este primer contacto a la vida profesional y compartir sus conocimientos para el desarrollo de esta práctica supervisada. A Marcelo Tissera, por guiarme en cada uno de los ensayos realizados y compartir su amplia experiencia y al personal del Laboratorio de Estructuras por la buena predisposición de todos los días.

A Alejandro Zaffarano, Agustín Chaves, Gonzalo Cazón, Nicolás Vázquez, Maximiliano Ocampos, Franco Cravero, Catalina Pekarek, Rocio Rocchicchioli, Candelaria Lagares, Lourdes Romano, Lucía Volando, Agustín Galvez, Federico Caminal, grandes amigos que me regaló la Facultad.

A Facundo, Juan Manuel, Franco, Sergio y Ezequiel, mis amigos de toda la vida, por aguantarnos en los buenos y malos momentos durante la estadía en Córdoba.

A María Elisa por su paciencia y apoyo incondicional. A mis hermanos Alexis y Andrea. A mi abuela Carmen, que me cobijó durante los primeros cuatro años de cursado en Río Ceballos como si fuera mi madre.

Y en especial a mis padres, Alejandra y Juan Carlos que me dieron todo lo que estuvo a su alcance y mucho más para decir algún día: soy Ingeniero.

¡A todos ustedes, gracias infinitas!