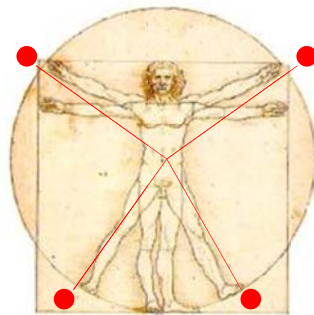


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XIII. AÑO 2015

SEPARATA



OPTIMIZACIÓN DE CONSUMOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES PREPARADOS EN CLIMA CALUROSO

Alfonso Prieto González , Javier Morales Pérez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Alfonso Prieto González, Javier Morales Pérez
Julio, 2015.

<http://www.uax.es/publicacion/optimizacion-de-consumos-de-materias-primas-en-la-fabricacion-de-hormigones.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

OPTIMIZACIÓN DE CONSUMOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES PREPARADOS EN CLIMA CALUROSO

Alfonso Prieto González (a), Javier Morales Pérez (b)

- (a) Master en Ingeniería Ambiental e Ingeniero de Edificación por la Universidad Alfonso X el Sabio. Arquitecto Técnico por la Universidad Politécnica de Madrid
- (b) Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciado en Ciencias Biológicas. Coordinador de las carreras de Ciencias Ambientales. Universidad Alfonso X el Sabio.

RESUMEN: A pesar de que es un hecho bien conocido que algunos factores ambientales tienen una influencia significativa en las propiedades físico – mecánicas del hormigón endurecido, muchos de los proveedores de hormigón preparado tienen implantadas unas dosificaciones tipo para cada obra y no las varían en función de las condiciones climatológicas estivales. Esto se traduce, normalmente, en sobredosificaciones de cemento para compensar las bajadas de resistencia. Con la presente campaña experimental se pretende conseguir una metodología que permita el ahorro de materias primas a los proveedores de hormigón preparado en época estival, con los consiguientes beneficios medioambientales que supone.

PALABRAS CLAVE: hormigón, resistencia, cemento, dosificación, ahorro energético.

ABSTRACT: In spite of it is well known that some environmental factors have a significant influence in the physical and mechanical properties of hardened concrete, most suppliers of ready-mixed concrete have implemented standard dosifications for each site and they don't vary it according to summer weather conditions. Consequently, there is a cement overdosage in order to compensate compression strength drop. The aim of this experimental study is develop a methodology that save cement and other raw materials in summer time, with the consequential environmental benefits.

KEY-WORDS: concrete, strength, cement, saving energy.

SUMARIO:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Plan de trabajo
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Bibliografía

1. Introducción

La influencia de los factores ambientales en las propiedades del hormigón endurecido, especialmente en época estival, es un hecho bien conocido y existen numerosa bibliografía al respecto. Los proveedores de hormigón, conocedores del problema, normalmente corrigen las dosificaciones aumentando tanto el contenido de cemento como la relación a/c, aunque en la mayoría de los casos sin un criterio normalizado en función de las condiciones ambientales y de la hora del día.

Basándonos en los resultados obtenidos en los estudios estadísticos realizados, se pretende desarrollar la metodología a implantar en las plantas de hormigón preparado para, por un lado, compensar las bajadas de resistencia en los días más calurosos y, por otro lado, optimizar los consumos de algunos componentes del hormigón hasta conseguir un producto lo más homogéneo posible en cuanto a prestaciones.

Se presenta el plan de trabajo que se va a llevar a cabo, todo ello documentado en base a los conocimientos teóricos y al análisis estadístico realizado sobre los datos reales de obras obtenidos en el laboratorio.

2. Objetivos

Los objetivos que se intentan conseguir en este capítulo son:

- Plantear una metodología que permita a los proveedores de hormigón preparado optimizar los consumos de algunos de los componentes del hormigón.
- Homogeneizar el producto final, de forma que las condiciones ambientales influyan lo menos posible en las prestaciones mecánicas.
- Plantear las principales conclusiones en función de los resultados obtenidos y las tendencias observadas.
- Validar las hipótesis y los resultados de la campaña de forma que permitan la implantación de la metodología propuesta en las plantas de hormigón preparado.

3. Plan de trabajo

En este apartado se describe la campaña realizada, las condiciones en las que se han llevado a cabo los ensayos, los materiales empleados, las dosificaciones y las variaciones realizadas en los componentes del hormigón.

3.1. *Diseño de las mezclas*

En base a los datos analizados de los proveedores en época estival, se ha partido de los diseños de mezclas que obtienen mejores resultados en cuanto a optimización de consumo de cemento y resistencia a compresión obtenida.

Todos los hormigones se fabrican con cementos tipo II, más apropiados para época estival que los tipo I por tener menor calor de hidratación. En concreto, las mezclas se realizan con cemento CEM II/A-P 42,5, cuyas características principales son:

Clínker (K)	80-94 %
Puzolana natural (P)	6-20 %
Componentes minoritarios	0-5 %

Tabla 3.1. Componentes principales normalizados CEM II/A-P 42,5

Cloruros	$\leq 0,10$ %
Sulfatos	≤ 4 %
Inicio Fraguado	≥ 60 min.
Final Fraguado	≤ 720 min.
Expansión	≤ 10 mm
Resistencia a 2 días	≥ 20 MPa
Resistencia a 28 días	$42,5 \leq R \leq 62,5$ MPa

Tabla 3.2. Especificaciones del cemento normalizado CEM II/A-P 42,5

Todos los hormigones corresponden a un hormigón HA-25/B-20/IIa, de resistencia nominal 25MPa. La relación a/c y la dosificación del cemento se irán variando en función de las condiciones ambientales, como se verá en los siguientes apartados.

Los hormigones fabricados se han distinguido en tres grupos diferenciados; a saber:

- Hormigones sin aditivos.
- Hormigones con plastificante.
- Hormigones con superfluidificante.

3.1.1. Aditivos

El plastificante utilizado es el MasterPolyheed 777NE, de BASF, que es un aditivo polifuncional especialmente diseñado para su utilización en plantas de hormigón preparado y obra civil, para la fabricación de todos los tipos convencionales de hormigón.

MasterPolyheed 777NE potencia el desarrollo de resistencias, especialmente las finales, en base a un incremento del rendimiento cementicio que aumenta el porcentaje de hidratación. Al mismo tiempo, MasterPolyheed 777NE ofrece un prolongado mantenimiento de consistencia y una óptima docilidad y cohesión para facilitar la puesta en obra del hormigón.

Entre las principales propiedades de este aditivo destacan:

- Mejora la plasticidad de la masa aditivada sin la necesidad de aumentar el agua de amasado.
- Aditivo de color claro. Apto para hormigones blancos.
- Elevado poder plastificante y reductor de agua.
- Incrementa las resistencias mecánicas.
- Excelente el mantenimiento de la consistencia incluso ante temperaturas elevadas.
- Mejora la durabilidad del hormigón.
- Mejora del aspecto de hormigón

El superfluidificante utilizado es el MasterGlenium SKY 511, de BASF, que es un aditivo superplastificante basado en éteres de policarboxílico de nueva generación, específicamente diseñados para el hormigón preparado.

MasterGlenium SKY 511 puede emplearse como aditivo único ya que permite la confección desde hormigones plásticos y blandos hasta hormigones fluidos, (incluso los de alta resistencias), hormigones para pavimentos y con demanda de resistencia inicial. Así mismo permite la obtención de hormigones de gran fluidez y elevado tiempo abierto incluso en tiempo caluroso y con el empleo de cementos rápidos y áridos absorbentes, evitando la adición de agua en obra, pero ofreciendo elevadas resistencias mecánicas iniciales, que permiten el desmolde más pronto.

MasterGlenium SKY 511 es compatible con todos los tipos de cemento y áridos.

Entre las principales propiedades de este aditivo destacan:

- Gran poder reductor de agua y plastificante.
- Permite confeccionar todos los tipos de hormigón con un solo aditivo, simplemente variando la dosificación.
- Aumenta las resistencias iniciales y finales del hormigón.
- Mejora la impermeabilidad y durabilidad del hormigón al disminuir la porosidad del mismo.
- Permite obtener hormigón fluido con baja relación agua/cemento, sin segregación ni sangrado.
- Mejora el aspecto y la trabajabilidad del hormigón.
- Reduce la pegajosidad del hormigón, facilitando su bombeo.
- Presenta un buen mantenimiento de consistencia, sin retraso de fraguado.

3.1.2. Áridos

Para la fabricación de los hormigones se utilizó árido de naturaleza silíceo rodado, con un tamaño máximo del árido de 20mm. Para la caracterización granulométrica de

los áridos se procedió de acuerdo a las prescripciones de la EHE-08, obteniendo los siguientes resultados:

Tamaño de apertura de tamiz (mm)	Masa del material retenido	% material retenido	% retenido y acumulado	% acumulado que pasa
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4	15,8	3,16	3,16	96,84
2	87,6	13,05	16,21	83,79
1	105,6	22,84	39,05	60,95
0,5	151,26	29,26	68,31	31,69
0,25	130,2	23,56	91,87	8,13
0,125	29,5	5,81	97,68	2,32
0,063	6,9	1,32	99	1
Finos	2	0,3		

Tabla 3.3. Caracterización granulométrica del árido fino

Se comprueba que presenta una curva bien graduada y que la cantidad de finos es muy pequeña.

Tamaño de apertura de tamiz (mm)	Masa del material retenido	% material retenido	% retenido y acumulado	% acumulado que pasa
20	0	0,0	0	100
10	279,5	10,8	10,8	89,2
4	1054,8	40,8	51,6	48,4
2	1196	46,2	97,8	2,2
1	31	1,2	99,0	1,0
0,5	9	0,3	99,4	0,6
0,25	2,1	0,1	99,5	0,5
0,125	2,8	0,1	99,6	0,4
0,063	6	0,2	99,8	0,2
Finos	5	0,2		

Tabla 3.4. Caracterización granulométrica del árido grueso:

Se comprueba que la graduación es, en general, buena y que corresponde con la clasificación nominal del árido.

3.1.3. *Dosificaciones de cemento, relación a/c y fabricación de hormigones*

Con la presente campaña experimental se pretende optimizar el consumo de materiales, entre otros el agua y el cemento, de forma que se compensen las bajadas de resistencias a compresión con las altas temperaturas y baja humedad relativa. En la medida en la que el empleo de aditivos está a día hoy generalizado, se han realizado tres propuestas diferentes en función del tipo de aditivo utilizado.

Las variaciones de resistencia a compresión del hormigón debidas a los diferentes factores que influyen en todo el proceso nos obligan a fabricar, en el caso de un HA-25, un hormigón con resistencia a compresión de $25+4,5=29,5$ MPa. Por este motivo, las dosificaciones planteadas en la presente campaña experimental están encaminadas a conseguir estos resultados y no los de un HA-25 estrictamente.

Vamos a partir de unas dosificaciones iniciales, distintas para cada uno de los casos citados, obtenidas a partir de los resultados más óptimos de roturas de probetas analizados en capítulos anteriores.

En cuanto a la relación a/c, se toman como base de partida tres niveles claramente diferenciados. Por un lado los hormigones sin aditivos, en los que la relación a/c inicial es de 0,54; por otro lado los hormigones con plastificante, en los que la relación a/c es de 0,48 y, por último, los hormigones con superfluidificante en los que la relación a/c es de 0,42. Como se verá posteriormente, estos valores se irán variando en función de las condiciones ambientales y de la hora del día.

Respecto a la dosificación de cemento, se han analizado los datos de los diferentes proveedores, concluyendo que las dosificaciones que cumplen con los requisitos de la EHE-08 y que nos pueden dar resultados de rotura a compresión iguales o superiores a los requisitos planteados con un nivel de confianza del 95% son los siguientes:

<i>Material</i>	<i>Dosificación (kg/m³)</i>	<i>Porcentaje (peso)</i>
<i>Grava</i>	<i>1050</i>	<i>45,9%</i>
<i>Arena</i>	<i>800</i>	<i>35,0%</i>
<i>CEM II/A-P 42,5 R</i>	<i>285</i>	<i>12,5%</i>
<i>Agua</i>	<i>153,9</i>	<i>6,7%</i>
<i>Aditivo</i>		
<i>Total</i>	<i>2288,9</i>	<i>100,0%</i>

Tabla 3.5. Dosificación hormigones sin aditivos:

Material	Dosificación (kg/m3)	Porcentaje (peso)
Grava	1070	46,7%
Arena	810	35,4%
CEM II/A-P 42,5 R	275	12,0%
Agua	132	5,8%
Aditivo	2,0625	0,1%
Total	2289,0625	100,0%

Tabla 3.6. Dosificación hormigones con plastificante

Material	Dosificación (kg/m3)	Porcentaje (peso)
Grava	1070	46,9%
Arena	810	35,5%
CEM II/A-P 42,5 R	275	12,3%
Agua	117,6	5,2%
Aditivo	2,24	0,1%
Total	2279,84	100,0%

Tabla 3.7. Dosificación hormigones con superfluidificante:

A partir de estas dosificaciones iniciales y basándonos en los fundamentos teóricos y en las campañas experimentales realizadas por otros autores citadas en capítulos anteriores, se plantea la necesidad de corregirlas en función de las condiciones ambientales para evitar minoraciones significativas de resistencia a compresión.

Como hemos visto en capítulos anteriores, resulta fácil hacer una estimación de las condiciones ambientales, bien en base a pronósticos meteorológicos, bien en función de las existentes a primera hora del día. En el caso de la temperatura, la relación entre la temperatura mínima y la máxima la podemos obtener mediante una regresión potencial, que es la que mejores valores arroja.

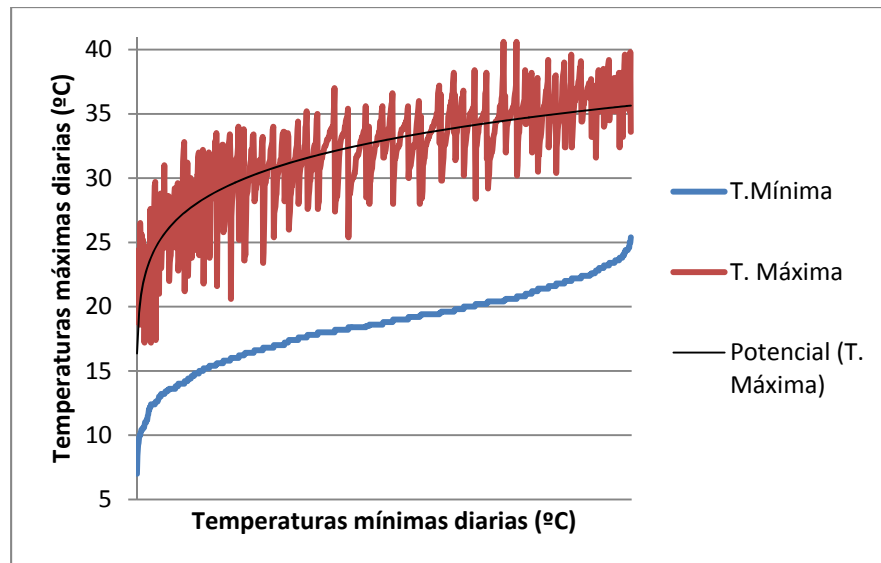


Figura 3.1. Relación entre temperatura mínima y máxima diarias

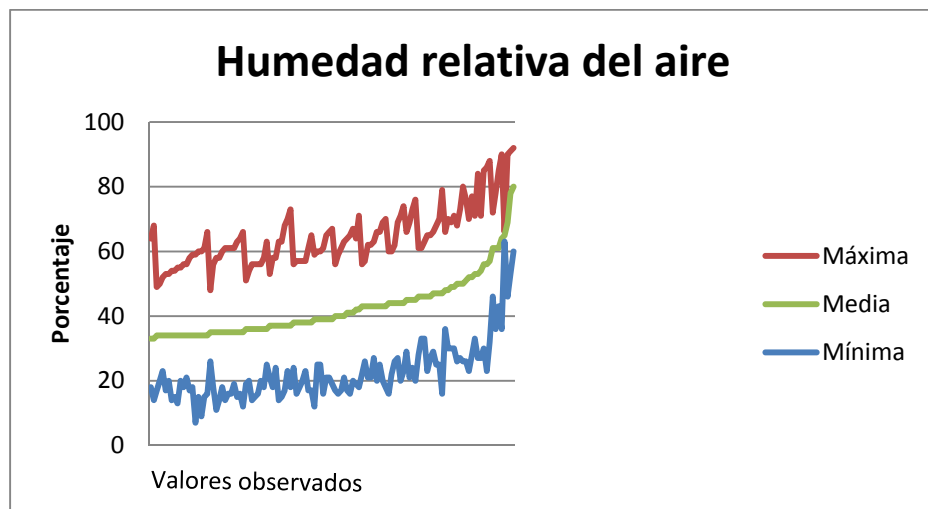


Figura 3.2. Relación entre humedad relativa del aire mínima, media y máxima diarias

Para hormigones fabricados antes de las ocho de la mañana y después de las seis de la tarde no se plantea ninguna corrección en la dosificación. En el caso de los hormigones fabricados a primera hora de la mañana los áridos no están calentados por el soleamiento, presentan cierta humedad por el rocío a nivel superficial y su hora de comienzo de fraguado no es en las horas centrales del día. En cuanto a los hormigones fabricados al atardecer su hora de comienzo de fraguado coincide con el descenso de temperatura. En base a estas premisas se plantean las sobredosificaciones de cemento y el incremento de la relación a/c en función de la hora del día y de las condiciones

ambientales a primera hora de la mañana. Con el incremento de cemento se pretende compensar la bajada de resistencia por efecto de la temperatura y con el incremento de la relación a/c se pretende compensar la desecación y aumento de temperatura de los áridos por efecto del soleamiento. Presentamos a continuación los valores con los que se han realizado los ensayos:

Tipos de cemento	CEM 42,5R	II/A-P	Dosificación (kg/m ³)	Aditivos						
				No						
				Hora de fabricación						
				< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
				Relación a/c						
Temperatura a las 6am	Temperatura máxima	Humedad		0,54	0,55	0,57	0,60	0,57	0,55	0,54
<19	<32	<35		0	0	0	0	0	0	0
		35-43		0	0	0	0	0	0	0
		43-50		0	0	0	0	0	0	0
19-21	34	<35		0	4	11	14	11	4	0
		35-43		0	3	9	11	9	3	0
		43-50		0	2	6	7	6	2	0
21-23	35	<35		0	8	14	19	14	8	0
		35-43		0	6	11	14	11	6	0
		43-50		0	4	8	11	8	4	0
23-25	36	<35		0	11	17	22	17	11	0
		35-43		0	9	14	20	14	9	0
		43-50		0	8	13	18	13	8	0
>25	>37	<35		0	17	22	28	22	17	0
		35-43		0	14	19	24	19	14	0
		43-50		0	12	17	22	17	12	0

Tabla 3.8. Sobredosificaciones en función de rangos de variables en hormigón sin aditivos:

Tipos de cemento	CEM 42,5R	II/A-P	Dosificación (kg/m ³)	Aditivos						
			275	Plastificante						
				Hora de fabricación						
				< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
				Relación a/c						
Temperatura a las 6am	Temperatura máxima	Humedad		0,48	0,50	0,52	0,52	0,50	0,48	0,48
<19	<32	<35	0	0	0	0	0	0	0	0
		35-43	0	0	0	0	0	0	0	0
		43-50	0	0	0	0	0	0	0	0
19-21	34	<35	0	4	10	13	10	4	0	0
		35-43	0	3	8	10	8	3	0	0
		43-50	0	2	5	6	5	2	0	0
21-23	35	<35	0	7	13	17	13	7	0	0
		35-43	0	5	10	13	10	5	0	0
		43-50	0	4	7	10	7	4	0	0
23-25	36	<35	0	10	15	20	15	10	0	0
		35-43	0	8	13	18	13	8	0	0
		43-50	0	7	12	16	12	7	0	0
>25	>37	<35	0	15	20	25	20	15	0	0
		35-43	0	13	17	22	17	13	0	0
		43-50	0	11	15	20	15	11	0	0

Tabla 3.9. Sobredosificaciones en función de rangos de variables en hormigón con plastificante:

Tipos de cemento	CEM 42,5R	II/A-P	Dosificación (kg/m ³)	Aditivos						
				Superfluidificante						
Temperatura a las 6am	Temperatura máxima	Humedad	Hora de fabricación							
			< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18	
			Relación a/c							
			0,42	0,45	0,47	0,47	0,45	0,42	0,42	
<19	<32	<35	0	0	0	0	0	0	0	
		35-43	0	0	0	0	0	0	0	
		43-50	0	0	0	0	0	0	0	
19-21	34	<35	0	5	12	15	12	5	0	
		35-43	0	3	9	12	9	3	0	
		43-50	0	2	6	7	6	2	0	
21-23	35	<35	0	8	15	20	15	8	0	
		35-43	0	6	12	15	12	6	0	
		43-50	0	5	8	12	8	5	0	
23-25	36	<35	0	12	17	23	17	12	0	
		35-43	0	9	15	21	15	9	0	
		43-50	0	8	14	18	14	8	0	
>25	>37	<35	0	17	23	29	23	17	0	
		35-43	0	15	20	25	20	15	0	
		43-50	0	13	18	22	18	13	0	

Tabla 3.10. Sobredosificaciones en función de rangos de variables en hormigón con superfluidificante:

3.1.4. Fabricación de las probetas

Para la fabricación de las probetas se acopió el material en las instalaciones del laboratorio de LCC de la siguiente forma:

- Cemento: sacos de 50kg acopiados en palés en el exterior, al aire libre, pero protegidos del soleamiento directo.
- Áridos: acopios a granel en el exterior, sin protección contra el soleamiento directo en dos zonas separadas para árido fino y para árido grueso. Se trata de reproducir lo más fielmente posible las condiciones habituales en las plantas de hormigón preparado.
- Aditivo: acopiado en sus envases correspondientes en el interior del laboratorio.

Las amasadas se llevaron a cabo en una hormigonera eléctrica marca ECOMIX con las siguientes características técnicas:

- N° posiciones de la cuba 5
- Alto 114 cm
- Protección de la corona No
- Peso 49
- Capacidad de mezcla 100 litros

El volumen de hormigón en cada amasada fue de 30 litros, de la que se realizaron 2 probetas cilíndricas estándar para romper a 7 días y otras 2 para romper a los 28 días.

Toda la campaña de ensayos se llevó a cabo durante los meses de julio y agosto de 2013, eligiendo los días que mejor se ajustaran a las condiciones de ensayos en función de las previsiones meteorológicas y los valores obtenidos a primera hora de la mañana. Los días en los que se realizaron las amasadas fueron los siguientes:

Temperatura a las 6am	Temperatura máxima	Humedad media (%)	Fecha
<19	<32	<35	30/07/2013
		35-43	29/07/2013
		43-50	27/08/2013
19-21	34	<35	10/08/2013
		35-43	24/08/2013
		43-50	22/07/2013
21-23	35	<35	24/07/2013
		35-43	18/07/2013
		43-50	14/08/2013
23-25	36	<35	02/08/2013
		35-43	14/08/2013
		43-50	
>25	>37	<35	21/08/2013
		35-43	
		43-50	

Tabla 3.11. Fechas de realización de los ensayos y rangos de variables

Hubo tres ensayos que no pudieron realizarse ya que no hubo ningún día en todo el verano que cumpliera las condiciones de los intervalos de temperatura y de humedad relativa media.

Una vez confeccionadas las probetas se protegieron con una arpillera húmeda y se metieron en bolsas de plástico, dejándolas durante 24 horas en el exterior protegidas del soleamiento directo.

Los ensayos se realizan siguiendo una serie de actividades normalizadas que detallamos a continuación:

- Toma de muestras de hormigón fresco, según UNE 83300:1984
- Fabricación de probetas cilíndricas de 15x30 cm, según UNE 83301:91
- Conservación de las probetas en obra, según UNE 83301:91
- Transporte al laboratorio y desmoldeo de las probetas, según UNE 83301:91
- Curado en cámara húmeda, según UNE 83301:91
- Refrentado de probetas con mortero de azufre, según UNE 83303:84
- Rotura por compresión, según UNE 83304:84

4. Resultados obtenidos

En las siguientes tablas se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los diferentes tipos de aditivos utilizados, en las diferentes horas del día. Se incluye la media de cada ensayo en cada tramo horario, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Aditivos	NO
-----------------	-----------

		Resistencia a 7 días						
		Hora de fabricación						
		< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media		24,21	24,55	24,16	24,64	24,27	24,69	24,24
Des.estandar		1,08	1,38	1,14	1,36	1,33	1,23	1,33
C.V.		4,44%	5,62%	4,71%	5,54%	5,48%	5,00%	5,47%

		Resistencia a 28 días						
		Hora de fabricación						
		< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media		30,56	30,54	30,62	30,53	30,49	30,32	30,56
Des.estandar		0,43	0,45	0,48	0,50	0,42	0,43	0,42
C.V.		1,42%	1,47%	1,56%	1,63%	1,39%	1,42%	1,36%

Tabla 3.12. Resumen resultados por tramo horario en hormigón sin aditivos:

Aditivos	Plastificante
-----------------	---------------

Resistencia a 7 días							
Hora de fabricación							
	< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media	20,06	20,13	20,31	20,15	20,01	20,14	20,48
Des.estandar	0,49	0,55	0,66	0,62	0,65	0,56	0,58
C.V.	2,43%	2,72%	3,23%	3,08%	3,27%	2,79%	2,83%

Resistencia a 28 días							
Hora de fabricación							
	< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media	29,59	29,39	29,45	29,42	29,42	29,31	29,33
Des.estandar	0,43	0,43	0,45	0,37	0,36	0,43	0,39
C.V.	1,45%	1,47%	1,53%	1,25%	1,21%	1,48%	1,33%

Tabla 3.13. Resumen resultados por tramo horario en hormigón con plastificante:

Aditivos	Superfluidificante
-----------------	--------------------

Resistencia a 7 días							
Hora de fabricación							
	< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media	19,72	19,75	19,74	19,62	19,74	19,71	19,65
Des.estandar	0,33	0,36	0,36	0,31	0,33	0,33	0,32
C.V.	1,69%	1,82%	1,84%	1,57%	1,67%	1,68%	1,63%

Resistencia a 28 días							
Hora de fabricación							
	< 8am	8-9	9-11	11-14	14-17	17-18	>18
Media	29,58	29,58	29,74	29,40	29,57	29,42	29,46
Des.estandar	0,83	0,72	0,73	0,75	0,82	0,73	0,68
C.V.	2,80%	2,42%	2,46%	2,54%	2,76%	2,49%	2,29%

Tabla 3.14. Resumen resultados por tramo horario en hormigón con superfluidificante.

Podemos concluir, a modo de resumen, que los coeficientes de variación son pequeños y, por lo tanto, podemos asumir la fiabilidad de los resultados. Hay que tener

en cuenta que al ir variando las dosificaciones de cemento y la relación a/c en cada tramo horario lo que se intenta es conseguir la mayor homogeneidad de producto posible, en términos de resistencia a compresión. Por otro lado, la propia heterogeneidad del hormigón, lo que le puedan afectar las condiciones de fabricación y conservación y el propio proceso de control de calidad son las causas de la variabilidad obtenida.

Para comprobar si las variables independientes consideradas en esta campaña tienen influencia significativa en la variable dependiente (resistencia) procedemos a realizar ANOVAS de tres factores. Para ello se clasifican las variables independientes de la siguiente manera:

- Temperatura: se clasifican en los 5 tramos de temperatura mínima en los que se ha realizado la campaña.
- Humedad relativa: se clasifican en los 3 tramos de humedad media en los que se ha realizado la campaña.
- Tramo horario: se clasifican en los 7 tramos horarios en los que se ha realizado la campaña.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Origen	Suma de cuadrados III	de tipo gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1844,162 ^a	83	22,219	1,238	,165
Intersección	1,416E7	1	1,416E7	789011,0	,000
Hora	116,193	6	19,365	1,079	,381
Humedad	70,568	2	35,284	1,966	,146
Temperatura	310,835	4	77,709	4,331	,003
Hora * Humedad	177,191	12	14,766	,823	,626
Hora * Temperatura	642,702	24	26,779	1,493	,093
Humedad * Temperatura	66,287	5	13,257	,739	,596
Hora * Humedad * Temperatura	574,148	30	19,138	1,067	,397
Error	1507,170	84	17,943		
Total	1,565E7	168			
Corrected Total	3351,332	167			

a. R Squared = ,550 (Adjusted R Squared = ,106)

Tabla 3.15. Anova 3 factores variables Hora, Temperatura y Humedad en hormigón sin aditivos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1386,549 ^a	83	16,705	,972	,552
Intersección	1,319E7	1	1,319E7	767344,382	,000
Temperatura	33,166	4	8,292	,482	,749
Humedad	11,251	2	5,625	,327	,722
Hora	74,608	6	12,435	,723	,632
Temperatura * Humedad	116,238	5	23,248	1,352	,251
Temperatura * Hora	503,936	24	20,997	1,221	,249
Humedad * Hora	161,474	12	13,456	,783	,667
Temperatura * Hum. * Hora	412,757	30	13,759	,800	,751
Error	1444,245	84	17,193		
Total	1,454E7	168			
Corrected Total	2830,793	167			

a. R Squared = ,490 (Adjusted R Squared = -,014)

Tabla 3.16. Anova 3 factores variables Hora, Temperatura y Humedad en hormigón con plastificante

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4333,304 ^a	83	52,208	,910	,666
Intersección	1,329E7	1	1,329E7	231665,181	,000
Temperatura	349,366	4	87,342	1,522	,203
Humedad	111,922	2	55,961	,975	,381
Hora	234,827	6	39,138	,682	,664
Temperatura * Humedad	235,825	5	47,165	,822	,537
Temperatura * Hora	1240,662	24	51,694	,901	,600
Humedad * Hora	917,460	12	76,455	1,333	,216
Temperatura * Hum. * Hora	1313,175	30	43,773	,763	,796
Error	4819,193	84	57,371		
Total	1,466E7	168			
Corrected Total	9152,498	167			

a. R Squared = ,473 (Adjusted R Squared = -,047)

Tabla 3.17. Anova 3 factores variables Hora, Temperatura y Humedad en hormigón con perfluidificante

A la vista de los resultados podemos concluir que ninguna de las variables independientes, ni por si misma ni en combinación con las otras, tiene una influencia significativa en la variable dependiente *Resistencia*, que es lo que se pretendía al plantear la campaña experimental.

5. Conclusiones

Recogemos a continuación las principales conclusiones sobre los trabajos realizados en el presente capítulo:

- Los resultados obtenidos, tanto a 7 como a 28 días, están por encima de los requisitos de la instrucción vigente y están dentro de los márgenes de seguridad planteados con motivo de las variaciones originadas durante todo el proceso de fabricación.
- Los valores de resistencias obtenidos no presentan variaciones estadísticas significativas, que era el objetivo al plantear la campaña con sobredosificaciones de cemento y variaciones en la relación a/c en función de parámetros ambientales y de la hora de fabricación.
- La metodología propuesta en el presente capítulo es de fácil implementación a nivel industrial y los costes son relativamente bajos.
- Se deberán contrastar los resultados cuando se utilicen aditivos distintos a los empleados en la presente campaña experimental.
- Se deberán contrastar los resultados cuando se utilicen áridos distintos a los utilizados en la presente campaña y cuando las condiciones ambientales estivales difieran significativamente de las de la zona Sur de Madrid.
- Se deben llevar a cabo los ensayos necesarios en planta antes de implementarlos a nivel industrial para validar la metodología propuesta.

6. Bibliografía

- CALAVERA, J. FERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ, G Y LEY, J. (2005), “Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón”, Nota de información técnica INTEMAC 1-05
- CALAVERA RUIZ, J., “Probetas tomadas a la salida de la hormigonera”. Revista Informes de la construcción nº 275 I. Eduardo Torroja c.c.- 1975.
- FERNÁNDEZ CÁNOVAS, MANUEL (1991), “Influencia de la temperatura de curado sobre la evolución de las resistencias a compresión de hormigones fabricados con distintos tipos de cementos”, Materiales de construcción, vol. 41, nº 222, pp.37-46
- LÓPEZ DE LA FUENTE, J. Y PALOMO, A. (2004), “Comportamiento Mecánico-resistente del Hormigón Preparado en Períodos Estivales”, Cemento-Hormigón No. 867, pp. 4-13.
- ORTEGA BARRIONUEVO, F., FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M. (2009), “Análisis de las causas que motivan la disminución de resistencias a compresión, por efecto de temperaturas elevadas, en probetas de hormigón conservadas en obras durante el control de recepción”, Cemento-Hormigón No 934, pp. 14-25.
- ORTIZ LOZANO, J. (2005), “Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado”, Tesis doctoral, Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- PALOMO, A., BLANCO-VARELA, M.T., VÁZQUEZ, T., PUERTAS, F. Y PUIG, J. (2000), “Modificaciones Microestructurales del Cemento Hidratado por curado del Hormigón en Períodos Estivales”, Cemento-Hormigón No. 814, pp. 1004-1018.