

T  
620.136  
AGU



CIB-ESPOL

## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

### **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“Estudio del comportamiento de un hormigón elaborado con  
Cemento Puzolánico y adición de Policarboxilato en combinación  
con Inclusores de Aire y Retardadores de Fraguado”

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO CIVIL**

Presentada por:

Carlos Omar Aguirre Vera

GUAYAQUIL – ECUADOR



CIB-ESPOL

Año: 2007

## AGRADECIMIENTO

Al Director de mi Tesis el Ing. Hugo Egüez Álava, que con su guía y valiosa ayuda en el préstamo de las instalaciones del laboratorio, han hecho posible la realización y culminación de este trabajo científico.

Al personal que integra el CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, por la ayuda brindada en la elaboración de todos los ensayos que se realizaron en esta tesis.



CIB-ESPOL

## DEDICATORIA


Agradeciendo a Dios por conservarme con salud y darme fortaleza para seguir adelante en la culminación de uno de mis más anhelados sueños.

A mis padres, que en toda circunstancia de mi vida han sabido guiarme y forjarme con esa mística de lucha y dedicación para conseguir metas trazadas, y así finalizar mi carrera con éxito.



**CIB-ESPOL**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Ing. Edison Navarrete  
SUBDECANO DE LA FICT  
PRESIDENTE



---

Ing. Hugo Egúez Alava.  
DIRECTOR DE TESIS



CIB-ESPOL



---

Ing. José Camposano L.  
VOCAL



---

Ing. Carmen Terreros  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Carlos Omar Aguirre Vera

## RESUMEN

El desarrollo de la presente investigación trata acerca del estudio del comportamiento de un hormigón elaborado con cemento puzolánico y adición de policarboxilato en combinación con inclusores de aire y retardadores de fraguado, tomando como base que desde hace mucho tiempo atrás la industria de la construcción ha utilizado diferentes tipos de aditivos químicos en el hormigón fresco por lo tanto se ha visto interesado en buscar alternativas para mejorar algunas características físicas, éstas adiciones de superplastificantes (policarboxilatos) en combinación con los dos tipos de aditivos tienen como finalidad en el hormigón fresco y endurecido, de mejorar dichas características físicas en sus propiedades reológicas que cuenten con trabajabilidad, consistencia, temperatura y una buena reducción de agua aceptables, que permitan ser económicos con la reducción de la cantidad de cemento y se obtengan resistencias altas a edades tempranas. Por ésta razón se diseñaron tres tipos de hormigones básicos tanto patrones (*mezcla de referencia sin aditivo*) como con aditivos, con sus respectivas dosificaciones y relaciones agua-cemento, y que a partir de las diferentes mezclas elaboradas se confeccionaron especímenes para determinar sus propiedades mecánicas

y comportamiento estructural mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo, donde se comprobó con resultados satisfactorios las resistencias de los especímenes mediante ensayos a la compresión simple y a la flexión.

Finalmente es importante resaltar que los diferentes tipos de hormigones elaborados deben ir acompañado de las correctas dosificaciones con sus respectivos ajustes para así lograr un aumento en la resistencia mecánica y poder emplearse dichos hormigones en la obra civil que sea requerida.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE FOTOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivos.....	5
CAPÍTULO 2	
2. COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	7
2.1 Cemento Puzolánico.....	7



2.2	Agregados.....	10
2.2.1	Agregado Grueso.....	11
2.2.2	Agregado Fino.....	12
2.3	Agua Empleada.....	13
2.4	Aditivos Utilizados.....	14
2.4.1	Definición general de Aditivos.....	14
2.4.2	Razones para el uso de Aditivos.....	15
2.4.3	Aditivos Inclusores de Aire.....	16
2.4.4	Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango.....	18
2.4.4.1	Superplastificantes basados en Policarboxilatos.	20
2.4.4.2	Propiedades y Ventajas del uso de Aditivos basados en Policarboxilatos.....	25
2.4.4.3	Aplicaciones.....	27
2.4.5	Aditivos Retardadores de Fraguado.....	30
CAPÍTULO 3		
3.	PRUEBAS EXPERIMENTALES EN MEZCLAS DE HORMIGÓN...	32
3.1	Mezclas de Pruebas Preliminares de Hormigón.....	32
3.1.1	Condiciones Iniciales de los Agregados.....	38
3.1.2	Procedimiento para la Elaboración de Mezclas.....	40
3.1.3	Elaboración de Ensayos Experimentales.....	46
3.1.3.1	Ensayo de Revenimiento (ASTM C 143M-00)....	47

3.1.3.2 Ensayo de Contenido de Aire (ASTM C 231-97).	49
3.1.3.3 Ensayo de Temperatura del Hormigón (ASTM 1064M-03).....	50
3.1.3.4 Moldeo de Especímenes de Hormigón (ASTM C 192M-02).....	51
3.1.3.5 Curado del Hormigón (ASTM C 192M-02).....	56
3.1.3.6 Refrentado (ASTM C 617-98).....	58
3.1.3.7 Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple (ASTM C39/C39M-03).....	61
3.1.3.8 Ensayo de Resistencia a la Flexión (ASTM C 78-02).....	65
3.2 Mezclas de Ajuste.....	69
3.3 Mezclas de Pruebas Definitivas de Hormigón.....	70
3.3.1 Pruebas Industriales.....	71
3.4 Comportamiento de la Mezcla Definitiva de Hormigón con respecto a la Trabajabilidad, Consistencia, Plasticidad, Segregación y Exudación.....	72

## CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS PRELIMINARES Y DEFINITIVOS.....	74
4.1 Resultados de los Ensayos de Consistencia, Resistencia a la	

Compresión Simple e Incorporación de Aire de las diferentes mezclas de Hormigón.....	75
4.2 Resultados del Ensayo a Flexión a los 7 y 28 días (ASTM C 78- 02).....	109

## CAPÍTULO 5

### 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS

PRELIMINARES Y DEFINITIVOS.....	120
5.1 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón X10.....	120
5.1.1 Resistencia 20.6 MPa.....	120
5.1.2 Resistencia 27.6 MPa.....	124
5.1.3 Resistencia 41.2 MPa.....	125
5.2 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón Y13.....	127
5.2.1 Resistencia 20.6 MPa.....	127
5.2.2 Resistencia 27.6 MPa.....	130
5.2.3 Resistencia 41.2 MPa.....	133
5.3 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón Z13.....	135
5.3.1 Resistencia 20.6 MPa.....	135
5.3.2 Resistencia 27.6 MPa.....	138
5.3.3 Resistencia 41.2 MPa.....	141
5.4 Análisis de los Ensayos de Flexión, hormigón 4.0 MPa.....	145
5.5 Análisis de los Ensayos de Flexión, hormigón 5.0 MPa.....	147

5.6 Conclusiones y Recomendaciones.....	149
---	-----

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 2.1 Molécula típica de los Policarboxilatos.....	22
FIGURA 2.2 Representación de la absorción de las moléculas de aditivos en los granos de cemento.....	23

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
FOTO 2.1	Muestra del Cemento Tipo IP (HE)..... 9
FOTO 2.2	Muestra de la Piedra TM 19mm..... 11
FOTO 2.3	Muestra de la Piedra TM 12.5mm..... 11
FOTO 2.4	Muestra de la Arena de Río..... 12
FOTO 2.5	Muestra de la Arena Unificada..... 12
FOTO 2.6	Agua Potable utilizada..... 13
FOTO 2.7	Mínimos defectos superficiales..... 26
FOTO 3.1	Humedecimiento de la muestra de Piedra TM 19mm... 39
FOTO 3.2	Humedecimiento de la muestra de Piedra TM 12.5mm 39
FOTO 3.3	Humedecimiento de la muestra Arena de Río..... 39
FOTO 3.4	Humedecimiento de la muestra Arena Unificada..... 40
FOTO 3.5	Cemento, Agregados y Agua para mezcla de hormigón 41
FOTO 3.6	Pesaje del Cemento tipo IP (HE)..... 41
FOTO 3.7	Balanza para determinar los pesos de los aditivos..... 42
FOTO 3.8	Mezcladora Basculante..... 43
FOTO 3.9	Mezcladora de Artesa..... 43
FOTO 3.10	Mezcla de todos los Agregados..... 44
FOTO 3.11	Efecto de los aditivos sobre la mezcla de hormigón.... 45
FOTO 3.12	Molde metálico viga 150x150x500 mm..... 53
FOTO 3.13	Llenado y Compactado de la primera capa de las vigas 54
FOTO 3.14	Compactado de la segunda capa de las vigas..... 54
FOTO 3.15	Acabado de la segunda capa de las vigas..... 55
FOTO 3.16	Probetas codificadas..... 57
FOTO 3.17	Muestras sumergidas en la piscina de curado..... 57
FOTO 3.18	Molde metálico para refrentado de cilindros..... 59
FOTO 3.19	Colocación del cilindro sobre el molde de refrentado... 60
FOTO 3.20	Cilindro totalmente capeado en las dos caras..... 61
FOTO 3.21	Prensa "ELE" 3000 KN..... 62
FOTO 3.22	Procedimiento de rotura de muestras de hormigón..... 63
FOTO 3.23	Equipo utilizado con prensa "ELE" 3000 KN..... 66
FOTO 3.24	Viga lista para ser ensayada en la prensa..... 67
FOTO 3.25	Procedimiento de colocado y centrado de la viga..... 67
FOTO 3.26	Procedimiento de rotura de vigas de hormigón..... 68



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2.1 Características Físicas del cemento Pórtland IP (HE).....	9
TABLA 3.1 Diseño tipo X10, hormigón 20.6 Mpa.....	33
TABLA 3.2 Diseño tipo X10, hormigón 27.6 Mpa.....	33
TABLA 3.3 Diseño tipo X10, hormigón 41.2 Mpa.....	34
TABLA 3.4 Diseño tipo Y13, hormigón 20.6 Mpa.....	34
TABLA 3.5 Diseño tipo Y13, hormigón 27.6 Mpa.....	34
TABLA 3.6 Diseño tipo Y13, hormigón 41.2 Mpa.....	35
TABLA 3.7 Diseño tipo Z13, hormigón 20.6 Mpa.....	35
TABLA 3.8 Diseño tipo Z13, hormigón 27.6 Mpa.....	35
TABLA 3.9 Diseño tipo Z13, hormigón 41.2 Mpa.....	36
TABLA 3.10 Diseño de Pavimento (SIKA), hormigón 4.0 MPa.....	36
TABLA 3.11 Diseño de Pavimento (SIKA), hormigón 5.0 MPa.....	36
TABLA 3.12 Diseño de Pavimento (MBT), hormigón 4.0 MPa.....	37
TABLA 3.13 Diseño de Pavimento (MBT), hormigón 5.0 MPa.....	37
TABLA 4.1 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	75
TABLA 4.2 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	76
TABLA 4.3 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	77
TABLA 4.4 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	78
TABLA 4.5 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	79

TABLA 4.6	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	80
TABLA 4.7	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	81
TABLA 4.8	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	82
TABLA 4.9	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	83
TABLA 4.10	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	84
TABLA 4.11	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	85
TABLA 4.12	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	86
TABLA 4.13	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	87
TABLA 4.14	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	88
TABLA 4.15	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	89
TABLA 4.16	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	90
TABLA 4.17	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	91

TABLA 4.18	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	92
TABLA 4.19	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	93
TABLA 4.20	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	94
TABLA 4.21	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	95
TABLA 4.22	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	96
TABLA 4.23	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	97
TABLA 4.24	Desarrollo de Resistencias y pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	98
TABLA 4.25	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	99
TABLA 4.26	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	100
TABLA 4.27	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	101
TABLA 4.28	Desarrollo de Resistencias y pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	102
TABLA 4.29	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos, superplastificante y retardador de fraguado.....	103
TABLA 4.30	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	104
TABLA 4.31	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	105

TABLA 4.32	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	106
TABLA 4.33	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	107
TABLA 4.34	Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	108
TABLA 4.35	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	109
TABLA 4.36	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	110
TABLA 4.37	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con un solo tipo de aditivo; superplastificante.....	111
TABLA 4.38	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	112
TABLA 4.39	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	113
TABLA 4.40	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante e incorporador de aire.....	114
TABLA 4.41	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	115
TABLA 4.42	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante e incorporador de aire.....	116
TABLA 4.43	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	117

TABLA 4.44	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.....	118
TABLA 4.45	Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado.....	119

## ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CTH	Centro Técnico del Hormigón
cm	centímetro
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
g	gramo
g / m <sup>3</sup>	gramo – metro cúbico
° C	grados Centígrados
° F	grados Fahrenheit
MPa	Mega Pascal
h	hora
s	segundo
min	minutos
A°	Amstron
HE	Cemento High Early
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
TM	Tamaño Máximo
in	pulgada
Kg	Kilogramo
Kg / m <sup>3</sup>	Kilogramo – metro cúbico
Kg / cm <sup>2</sup>	Kilogramo – centímetro cuadrado
kN	Kilo Newton
kN / seg	Kilo Newton - segundo
m	metro
m <sup>2</sup> / Kg	metro cuadrado - Kilogramo
m <sup>3</sup>	metro cúbico
in <sup>2</sup>	pulgada cuadrada
dm <sup>3</sup>	decímetro cúbico
mm	milímetro
µm	micra
MPa	Mega Pascal
MR	Módulo de rotura
NTE	Normas Técnicas Ecuatorianas

## SIMBOLOGÍA

MR	Módulo de rotura
H	Hormigón
HE	Cemento Alta Resistencia
NFS	Naftaleno Formaldehído Sulfonato
T	Tara
W	Agua
%W	Porcentaje de humedad
M	Molde
A	Área
V	Volumen
a/c	Relación agua cemento
b	Base
h	Altura
L	Longitud
P	Fuerza
f <sub>c</sub>	Resistencia a la compresión

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo trata sobre el “Estudio del Comportamiento de un Hormigón Elaborado con Cemento Puzolánico y Adición de Policarboxilato en combinación con Inclusores de Aire y Retardadores de Fraguado”, tomando como base que desde hace mucho tiempo atrás la industria de la construcción ha utilizado como elemento principal el hormigón fresco por lo tanto se ha visto interesado en buscar alternativas para mejorar las características físicas del hormigón fresco.

El desarrollo de la investigación de aditivos químicos dirigido a mejorar las propiedades rheológicas del hormigón fresco se ha venido incrementando en la actualidad ya que contamos en el comercio con productos formulados químicamente de tal manera que aportan al hormigón fresco con propiedades variadas.

Dentro de la variedad de aditivos químicos existentes, utilizados en el hormigón fresco son los aditivos superplastificantes que constituyen hasta el momento la tercera y última generación de los aditivos para el hormigón y comienzan con el nuevo siglo, ya que estos proporcionan las características deseables en un hormigón fresco como son la trabajabilidad, la consistencia, la temperatura, la reducción de agua.

De la misma manera que la aparición de los plastificantes y superplastificantes aportaron en épocas sucesivas unos notabilísimos avances en la tecnología de los hormigones tradicionales, actualmente el hormigón diseñado con alto revenimiento está ya marcando un nuevo hito en la forma de aplicar el hormigón a la construcción aportando muchas ventajas en cuanto a la facilidad de puesta en obra, la seguridad en el trabajo y la durabilidad del hormigón.

El hormigón una vez endurecido presentará un aumento en la resistencia mecánica por efecto directo de la reducción de agua, y esto podrá ser apreciado a tempranas edades y a la edad final, donde se registra la máxima resistencia que alcanzará dicho hormigón una vez situado en la obra civil que sea requerida.



**CIB-ESPOL**

### **1.1 Antecedentes.**

Las primeras investigaciones se iniciaron en Japón, buscando hormigones que no dependieran de la habilidad de la mano de obra en la vibración para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado, puesto que se requieren operarios entrenados que realicen la adecuada compactación del hormigón, para obtener un material suficientemente consolidado y, por lo tanto, durable en el largo plazo. Una reducción en la cantidad de operarios calificados para la vibración del hormigón significa también una reducción similar en la calidad de la construcción.

En 1988, en la Universidad de Tokio, se tuvo éxito en desarrollar el hormigón autocompactable. A partir de entonces se ha llevado a cabo una intensa investigación en diversas instituciones y empresas que han permitido, desde hace varios años, la aplicación práctica en las obras de esta nueva tecnología que pretende convertirse en el futuro en un hormigón estándar más que en un hormigón especial.

La evolución de los aditivos reductores de agua ha tenido un desarrollo relativamente reciente y creciente en el tiempo. Los primeros reductores de agua surgieron alrededor de 1930, utilizándose lignosulfatos como medio para mejorar la trabajabilidad de los hormigones sin necesidad de recurrir al siempre perjudicial agregado de agua.

No fue hasta 1970, con la aparición de los llamados superfluidificantes, que la tecnología produjo un salto cualitativo. A partir de allí, fue posible agregar dosis elevadas de aditivos, con los consiguientes beneficios al obtenerse reducciones de agua considerables (hasta 20-25%), sin producir efectos secundarios no deseados en las mezclas. Aquellos primeros superfluidificantes estaban basados en polímeros de melamina formaldehídos, presentando como principal limitación la reducida permanencia del efecto plastificante en el tiempo.

En los últimos años se han realizado investigaciones para el desarrollo del hormigón con adición de aditivos superplastificantes basados en polímeros acrílicos, llamados también Pollicarboxilatos, con el fin de encontrar una nueva forma de ver el hormigón que puede revolucionar el mundo de la construcción. Sin embargo, la principal ventaja no es de orden cuantitativo, sino cualitativo: a través de estos aditivos es factible lograr una mayor permanencia en el tiempo de las propiedades rheológicas del hormigón.

## **1.2 Objetivos.**

La ingeniería civil dentro de su campo de acción tiene el objetivo de mejorar las características físicas del hormigón mediante el uso de aditivos químicos formulados para este efecto.

La presente investigación está dirigida a mejorar las características físicas del hormigón diseñado con alto revenimiento por adición de Superplastificantes basados en Policarboxilatos en combinación con Incluidores de Aire y Retardadores de Fraguado, es de significativa importancia para la industria de la construcción el aportar con una nueva iniciativa para mejorar dichas características, ya que la investigación y experimentación es el único camino para desarrollar metodologías constructivas más eficientes, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

- 1) Buscar en el revenimiento una propiedad de correlacionar la facilidad de colocar el material y la correcta consolidación a la estructura.
- 2) Obtener un hormigón más homogéneo y durable durante los ensayos.
- 3) Lograr una importante reducción de agua con el uso de los Policarboxilatos.
- 4) Obtener con el uso de éstos aditivos hormigones que desarrollen altas resistencias tempranas.

Finalmente conviene aclarar que para conseguir una mayor uniformidad en la comparación de características de este tipo de hormigón se precisa la normalización de todos los ensayos previos y de control. Este hormigón debe ir acompañado de una correcta dosificación que debe tener en cuenta las características particulares del material a preparar, el tipo de elemento para el cual se va a utilizar y los métodos de control propios del hormigón a elaborarse.

# CAPÍTULO 2

## 2. COMPONENTES PARA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.

### 2.1 Cemento Puzolánico.

El tipo de cemento empleado para la elaboración de mezclas de hormigón es el **Cemento Pórtland Tipo IP HE** (*High Early*), de alta resistencia inicial o temprana, que es del grupo Pórtland Puzolánico, es un cemento compuesto obtenido mediante la pulverización conjunta de clinker pórtland y puzolana finamente pulverizada, con adición de sulfato de calcio, el contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15% y el 50% en peso del total, cumpliendo con la especificación ASTM C 1157-03 (Certificación de cemento hidráulico por desempeño).

Entre las propiedades que podemos citar a este tipo de cemento se encuentran las referentes a su cualidad puzolánica, que consiste en una serie de reacciones ocurridas durante la etapa de endurecimiento y que contribuyen en el desarrollo y al **CRECIMIENTO DE LAS RESISTENCIAS**

A COMPRESION más allá de las que se alcanzarían sin la adición de puzolanas. Otra propiedad es la de ser RESISTENTE A LOS SULFATOS, esto consecuencia de la reacción de la puzolana con los aluminatos del clinker que posibilita la solubilidad de éstos últimos, que al reaccionar con los sulfatos no genera productos expansivos y por estar en solución se desplazan. También reacciona con los álcalis generando productos más estables lo que lo convierte en un INHIBIDOR DE LA REACCIÓN ALCALI AGREGADO y por tener un menor porcentaje de los compuestos responsables de la elevación de la temperatura durante el fragüe del cemento genera un MENOR CALOR DE HIDRATACION.

**USOS RECOMENDADOS,** dada su mayor estabilidad química recomendamos su uso ANTE LA PRESENCIA DE MEDIOS AGRESIVOS, tales como aguas duras, sulfatadas, etc; EN COLOCACIONES MASIVAS de cualquier índole dado su menor calor de hidratación, COMO INHIBIDOR DE LA REACCIÓN ALCALI-SÍLICE, ante la presencia de áridos reactivos EN SUPERFICIES MOJADAS dada su mayor impermeabilidad.

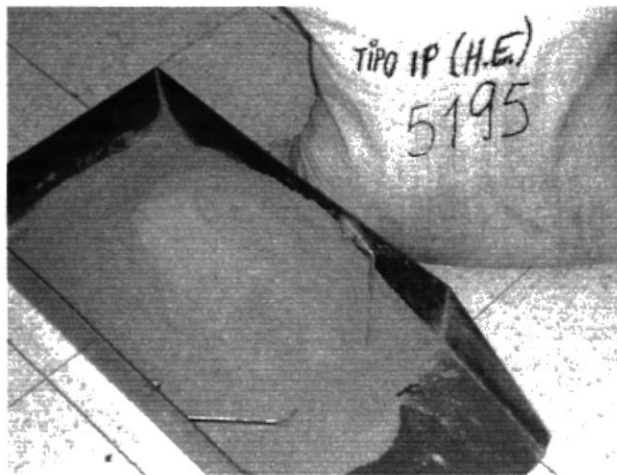
En cuanto al comportamiento del hormigón en estado fresco, elaborado con este tipo de **Cemento Pórtland Tipo IP HE** podemos destacar que las características de las partículas puzolana otorgan una MAYOR

TRABAJABILIDAD y una mayor cohesión de la matriz lo que EVITA LA SEGREGACIÓN de los agregados durante el manipuleo y colado.

**TABLA 2.1 Características Físicas del cemento Pórtland 1P (HE)**

Propiedad	Unidad	NTE INEN 2380 ASTM C-1157	NTE INEN 490 ASTM C-595	Resultado
Contenido de aire en mortero	%	---	12 máx.	2.9
Blaine	m <sup>2</sup> /Kg	---	---	460
Retenido en 45 µm. (No.325)	%	---	---	5.8
Contracción en Autoclave	%	---	0.20 máx.	0.04
Fraguado inicial Vicat	minutos	45-420	45-420	163
Fraguado final Vicat	minutos	---	---	283
Resistencia a compresión				
1 Día	MPa.	10.0 mín.	---	13.4
3 Días	MPa.	17.0 mín	13.0 mín.	25.5
7 Días	MPa.	---	20.0 mín.	32.8
28 Días	MPa.	---	25.0 mín.	38.6
f'c (7 días)	MPa.	---	---	31.6

- Fuente de Información: HOLCIM



**FOTO 2.1 Muestra del Cemento Tipo IP (HE)**

## **2.2 Agregados.**

Los agregados o áridos empleados para la elaboración de este hormigón se clasificarán en dos, Agregado Grueso y Agregado Fino provenientes de la planta de agregados, CALIZAS HUAYCO S.A., estos son materiales inertes de forma granular, naturales o artificiales, la importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 70% - 80% en volumen, de una mezcla típica de hormigón, para que el hormigón cumpla con su función, los agregados utilizados deben tener propiedades como la de ser compatible con el cemento, ser resistente al deterioro provocado por el clima y agentes químicos, estar libre de contenido de arcilla y limos ya que estos impiden la adherencia entre la pasta de cemento y el árido, tener resistencia interna adecuada y estabilidad para asimilar presiones superficiales con pocas deformaciones y ser resistente a los efectos de fuerzas internas, como expansión y contracción.

### **2.2.1 Agregado Grueso.**

Los agregados gruesos utilizados en el laboratorio para la elaboración de mezclas de hormigón están conformados por una combinación de calizas trituradas, las cuales cumplen con ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

Los nombres comerciales de estos agregados gruesos son la Piedra Homogeneizada Fina (# 67), cuya norma técnica es la ASTM C33 y la Piedra Chispa Gruesa (# 78), cuya norma técnica es la ASTM C33, como se puede apreciar en las siguientes fotografías.



**FOTO 2.2 Muestra de la Piedra TM 19 mm.**



**FOTO 2.3 Muestra de la Piedra TM 12.5 mm.**



**CIB-ESPOL**

### 2.2.2 Agregado Fino.

Los agregados finos son la arena natural o de río (Río Boliche), estas arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; y que arrastrados por corrientes fluviales se acumulan en lugares determinados, y la piedra caliza natural finamente triturada o Arena Unificada, estas arenas son de dimensiones reducidas cuyas partículas tienen diámetros menores que 4,76 mm. (No. 4) las cuales se puede apreciar en las siguientes fotografías.

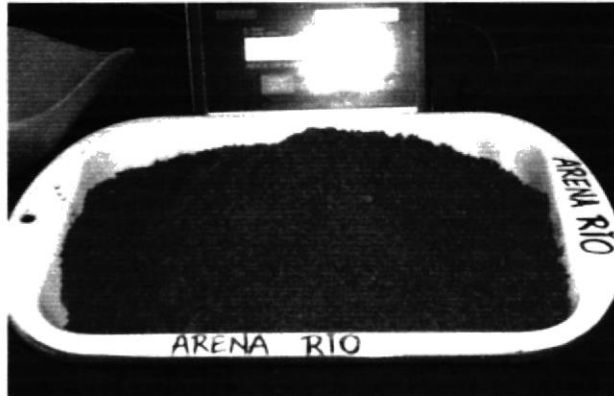


FOTO 2.4 Muestra de la Arena de Río

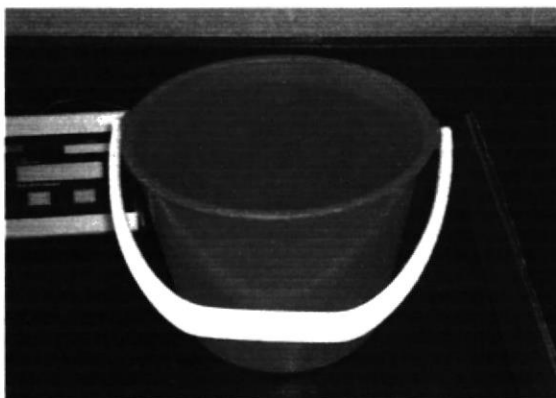


FOTO 2.5 Muestra de la Arena Unificada

### **2.3 Agua Empleada.**

El agua es un elemento fundamental en la preparación del hormigón, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del hormigón endurecido, el agua se puede definir como aquel componente del hormigón en virtud del cual el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. La pasta de cemento es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento, la cual genera la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta.

El agua a emplearse en la preparación de mezclas de hormigón es Agua Potable, deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas en el hormigón.



**FOTO 2.6 Agua Potable utilizada**

## **2.4 Aditivos Utilizados.**

Los aditivos son considerados un ingrediente más del hormigón y son empleados para modificar las propiedades de éste, de tal modo que se lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía. En la actualidad para ello se cuenta con toda suerte de aditivos que cumplen diversos fines dentro del hormigón.

Para el siguiente trabajo de investigación se han empleado aditivos Incluidores de Aire, aditivos Reductores de Agua de Alto Rango, aditivos Superplastificantes basados en Policarboxilatos y aditivos Retardadores de Fraguado. Estos aditivos seleccionados, que han sido considerados para emplearse en el hormigón, deberán cumplir las especificaciones pertinentes al realizarse las mezclas de prueba con los aditivos y los materiales por utilizar a las temperaturas y humedades que se vayan a tener, tanto en el laboratorio como en obra. De esta manera se puede observar la compatibilidad de los aditivos con los materiales a emplearse.

### **2.4.1 Definición General de aditivos.**

Los aditivos químicos son sustancias orgánicas e inorgánicas que, aparte del cemento Pórtland, los agregados y el agua se incorporan a la mezcla de hormigón siempre en porcentajes no superiores al 5% en peso del cemento con el objetivo de mejorar sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

#### **2.4.2 Razones para el uso de Aditivos.**

Los aditivos son utilizados principalmente para mejorar una o varias de las siguientes características del hormigón:

- Aumentar la trabajabilidad, sin modificar el contenido de agua.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Acelerar el desarrollo de la resistencia en la primera edad.
- Modificar la velocidad de producción de calor de hidratación.
- Reducir la exudación y el sangrado.
- Incrementar la durabilidad o resistencia en condiciones severas de exposición.
- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- Disminuir la segregación.
- Reducir la contracción.
- Incrementar la adherencia del hormigón viejo y nuevo.
- Mejorar la adherencia del hormigón con el refuerzo.

A pesar de estas consideraciones, se debe tener presente que ningún aditivo de ningún tipo ni en cualquier cantidad se podrá considerar como sustituto de una práctica correcta de colado. La efectividad del aditivo depende de factores tales como el tipo, marca y cantidad de cemento, el contenido de agua, proporciones de los agregados, el tiempo de mezclado, el revenimiento y las temperaturas del hormigón y del aire.

### **2.4.3 Aditivos Incluidores de Aire.**

Los aditivos aireantes, u incluidosores de aire, cubren las especificaciones ASTM C 260, se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el hormigón y cuya función principal es producir en el hormigón un número elevado de finas burbujas de aire, de diámetros comprendidos entre 25 y 200 micras, separadas y repartidas uniformemente. Estas burbujas deben permanecer tanto en la masa del hormigón fresco como en el endurecido.

El hormigón con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente con toda la pasta de cemento, la inclusión de aire en el hormigón se puede producir con la introducción de un aditivo incluidor de aire.

### **Propiedades y ventajas del uso de aditivos Incluidores de Aire.**

Los aireantes confieren al hormigón dos propiedades principales, una en su estado fresco dándole mayor fluidez, y otra en el hormigón endurecido dándole mayor durabilidad. La primera propiedad es debida a que el aire ocluido actúa como fino que no absorbe agua, y mejora el deslizamiento entre los áridos. La segunda propiedad, darle mayor durabilidad al hormigón endurecido, es el motivo principal de la utilización de los aireantes en la actualidad.



### CIB-ESPOL

El espaciamiento u tamaño de las burbujas son factores importantes que contribuyen a la efectividad de aire incluido en el hormigón, los vacíos dependen en gran medida de las características de los agregados.

El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del hormigón contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes.

También se ve mejorada de manera importante la trabajabilidad del hormigón fresco, y la segregación y el sangrado se reducen o se llegan a eliminar.

Los aditivos aireantes se emplean generalmente en aquellos hormigones que: pueden estar sometidos a ciclos de hielo-deshielo (pavimentos o presas de alta montaña, etc.) y que tengan un bajo contenido de finos.

La dosificación de los aditivos aireantes debe hacerse junto con el agua de amasado, ya que la cantidad a aditivar generalmente es muy pequeña y no se produciría un buen reparto en la masa del hormigón. La cantidad del aire ocluido en el hormigón mediante un aditivo aireante depende de la dosificación de éste, de la cantidad de cemento, de la cantidad de finos, consistencia del hormigón y tiempo de amasado, por lo que se debe hacer ensayos con los mismos componentes del hormigón y condiciones de la obra para determinar la dosificación óptima de aireante.

#### **2.4.4 Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango.**

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones ASTM C 1017 y C 494 Tipos F y G, que se agregan a los hormigones de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir hormigones fluidos de alto revenimiento. Los hormigones producidos son hormigones fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos.

#### **Propiedades y ventajas del uso de aditivos Reductores de Agua de Alto Rango.**

Con la adición de un superplastificante a un hormigón con revenimiento de 7.5 cm. se puede producir fácilmente un hormigón con 22.5 cm. de revenimiento, lo que entonces el hormigón fluido queda definido por la especificación ASTM C 1017 como aquel hormigón que tiene un revenimiento mayor de 19 cm. y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales de 25 cm. pueden provocar que el hormigón se segregue.

Los reductores de agua de alto rango normalmente son más efectivos, aunque más costosos, que los aditivos reductores de agua normales para producir hormigones trabajables.

En los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad, o para producir hormigones fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido por una pérdida muy rápida de trabajabilidad (pérdida de revenimiento).

El hormigón con superplastificante de alto revenimiento y bajo contenido de agua experimenta una menor contracción por secado que un hormigón convencional de alto revenimiento y alto contenido de agua.

Los reductores de agua de alto rango, se pueden emplear para fabricar hormigones de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el empleo de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%, esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua-cemento permite producir hormigones con: resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm<sup>2</sup>, mayores adquisiciones de resistencias a edad temprana.

#### **2.4.4.1 Superplastificantes basados en Policarboxilatos.**

Hace sólo algo más de 5 años, una última generación de superplastificantes basados en polímeros acrílicos, llamados también Pollicarboxilatos, incrementó drásticamente la capacidad reductora de agua o el poder plastificante. Sin embargo, la principal ventaja no es de orden cuantitativo (hasta 40% de reducción de agua), sino cualitativo: a través de estos aditivos es factible lograr una mayor permanencia en el tiempo de las propiedades rheológicas del hormigón. De este modo, se aumenta el tiempo en que el hormigón se mantiene trabajable según los parámetros de diseño, extendiéndose en algunos casos el período de trabajabilidad hasta dos horas o más, dependiendo por supuesto del diseño de mezcla, relación agua/cemento, tipo de cemento, condiciones ambientales, etc. Con el empleo de estos aditivos, surge mucho más factible de llevar a cabo una nueva tecnología de hormigones, los denominados autocompactantes.

#### **Mecanismos de Acción.**

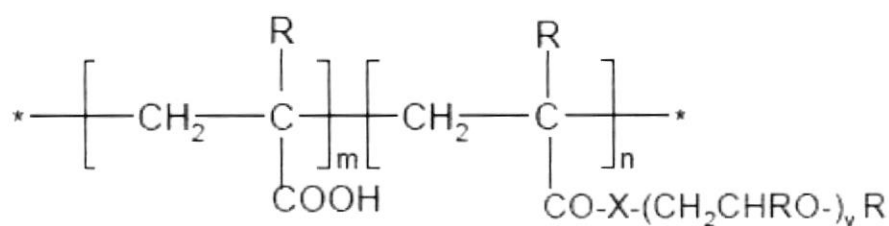
La tecnología de estos hormigones se basa fundamentalmente en el uso de un aditivo superplastificante reductor de agua de alta eficacia cuya base química es un éter policarboxílico, que con su nuevo mecanismo de eficacia sucesiva reduce enormemente el problema de la rápida pérdida de asentamiento.

En efecto, estas moléculas están formadas por cadenas de mayor longitud, con importantes ramificaciones, que producen una mayor separación física entre las moléculas de cemento, reduciendo aún más la fricción entre las mismas y aumentando el efecto dispersante.

Además, esta mayor separación física, sumada a la menor velocidad de absorción por parte del cemento de la molécula del aditivo, es también la responsable de mantener la trabajabilidad de la matriz cementicia por más tiempo.

**Los Policarboxilatos:** Constituyen hasta el momento la tercera y última generación de los aditivos Superplastificantes para el hormigón y comienzan con una nueva era. Los éteres de Policarboxilatos son copolímeros sintéticos diseñados en los laboratorios a la medida de las necesidades de los usuarios. Su tecnología de producción industrial es sofisticada y requiere de una industria química desarrollada. Como aditivos superplastificantes son capaces de lograr reducciones en el agua de amasado hasta un 40%. Como características especiales hay que indicar que las moléculas pueden ser diseñadas para responder a requerimientos y prestaciones en los hormigones muy específicas. Garantizan entre otros aspectos un mantenimiento de la trabajabilidad de la mezcla muy prolongada y muy elevadas resistencias mecánicas y durabilidad, logradas con relaciones agua/cemento muy bajas, estos

aditivos han permitido obtener los hormigones autocompactantes, que constituyen el mayor impacto técnico en la industria del Hormigón de los últimos años. En la siguiente figura se muestra la molécula típica de los Policarboxilatos.



**FIGURA 2.1 Molécula típica de los Policarboxilatos.**

El efecto tan especial de los Policarboxilatos se explica por la estructura peculiar de sus moléculas de gran masa molecular con muchos ramales secundarios, que además de modificar la carga electrostática de los granos de cemento los mantiene adecuadamente alejados durante el tiempo deseado, lo que recibe el nombre de "efecto estérico". En la siguiente figura (a) se muestra una representación muy semejante a la real de la molécula de Policarboxilato que es adsorbida por un grano de cemento y puede compararse con el mismo efecto producido por la molécula de naftaleno formaldehído sulfonato en la figura (b), tal como puede observarse la molécula de Policarboxilato por su estructura garantiza un efecto de separación del orden de los 100 Å°, en tanto que la de NFS (Naftaleno Formaldehído Sulfonato) sólo alcanza de 10 a 20 Å°.

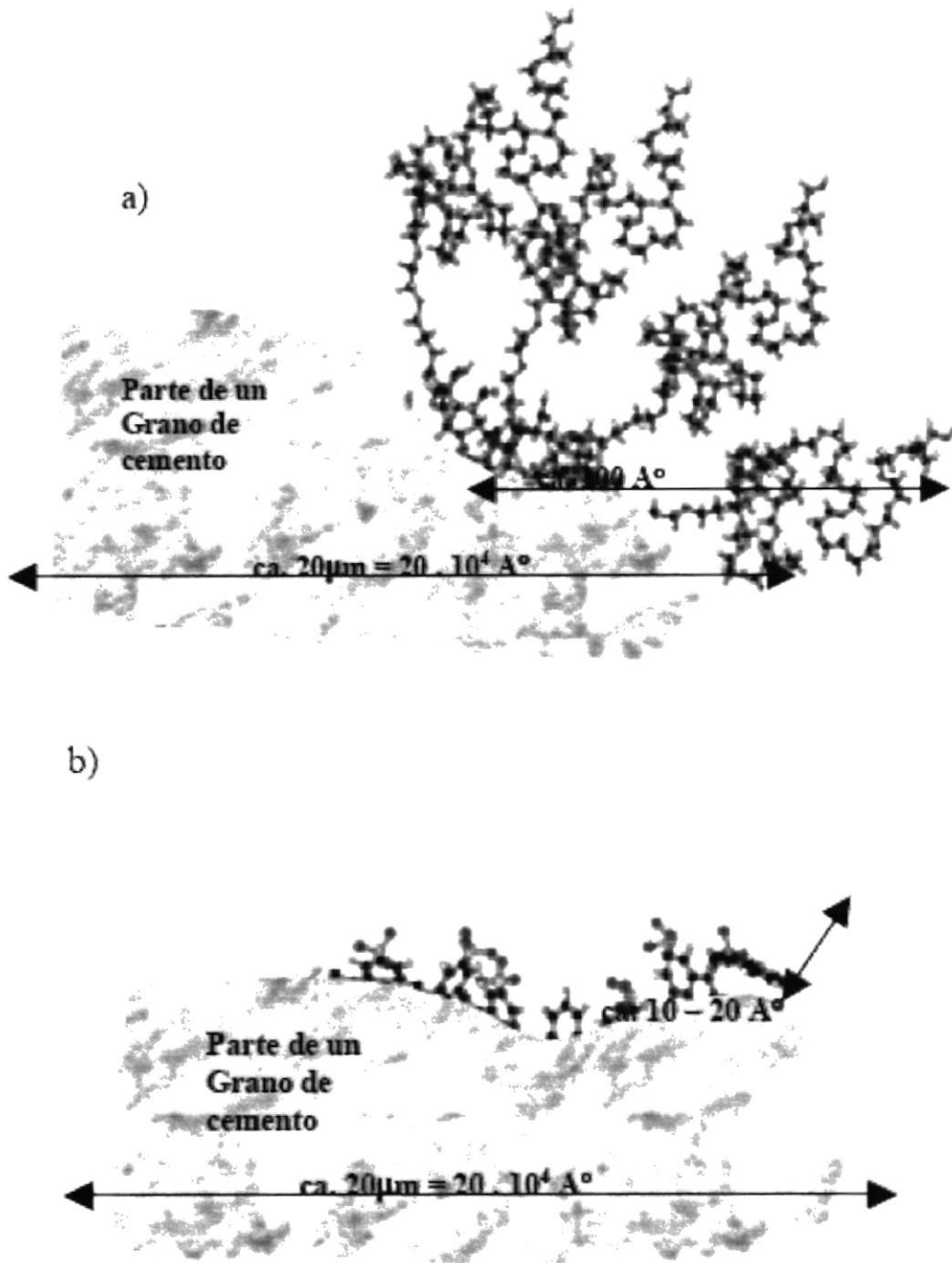


FIGURA 2.2 Representación de la absorción de las moléculas de aditivos en los granos cemento: a) de Policarboxilato; b) de Naftaleno Formaldehído Sulfonato



El mantenimiento de la fluidez, de la trabajabilidad del hormigón en el tiempo (en la mayor parte del tiempo posible), es una cualidad rheológica de esencial importancia que debe tener el hormigón premezclado, especialmente en climas calientes como el nuestro, pues eso evitaría la necesidad de efectuar el retemplado o reacomodo de la mezcla, actividad que consiste esencialmente en que la mezcla fresca sufre pérdidas incontrolables de su trabajabilidad con el transporte y agitación prolongados y hay que devolverle la laboralidad deseada en el momento del vertido y hacerlo de forma controlada para no afectar las prestaciones del hormigón. Los Policarboxilatos pueden garantizar esta excelente propiedad de mantener la fluidez de la mezcla por tiempo prolongado debido a su efecto estérico.

Está comprobado que cuando un aditivo superplastificante debe garantizar esta propiedad, y no lo hace, la causa radica en cierta incompatibilidad del mismo con el cemento. Esta incompatibilidad puede ser corregida y tiene que ver directamente con la velocidad de adsorción del aditivo en los granos de cemento. Una rápida adsorción garantiza una elevada fluidez inicial en la mezcla, en tanto que una adsorción retardada de las moléculas aporta propiedades de retención o mantenimiento de la fluidez con el tiempo.

#### **2.4.4.2 Propiedades y Ventajas del uso de aditivos basados en Policarboxilatos.**

**Las formas de empleo de estos aditivos son múltiples:**

- Como reductores de agua, su efecto es notable, permitiendo alcanzar reducciones en el agua de mezclado hasta un 40 %. Esto permite un considerable aumento de resistencias a toda edad, pudiéndose cumplir con proyectos donde se necesitan rápidos desencofrados de las estructuras o bien hormigones de altas resistencias finales. Por supuesto, de esta alternativa surgen todos los beneficios de trabajar con bajas relaciones agua/cemento, tales como menor contracción por secado, menor fluencia, menor permeabilidad a los gases y líquidos y mayor durabilidad.
- Una segunda posibilidad de uso es como reductor de agua y adicionalmente reductor de cemento; se puede arribar a una solución intermedia, donde se mejoren las propiedades del hormigón obteniendo igualmente importantes reducciones de cemento.
- Una tercera posibilidad, consiste en utilizar estos aditivos como mejoradores de trabajabilidad, para obtener mezclas extremadamente fluidas o incluso autocompactantes. Esto permite una rápida y fácil colocación del hormigón en sus moldes, e incluso

en obra, en elementos de formas complejas y delgadas que contengan una cuantía de armadura considerable. Asimismo, la calidad de las piezas obtenidas es uniforme, con mínimos o directamente sin defectos superficiales que reparar, lo que implica menor uso de equipos y mano de obra, con las consiguientes ventajas económicas, como se puede apreciar.



**FOTO 2.7 Mínimos defectos superficiales**

Otro aspecto que merece ser considerado es la eliminación del ruido debido al vibrado del hormigón, que se evita cuando este es autocompactante. Esto implica una sustancial mejora en las condiciones laborales, pero también una mejora ambiental para el vecindario, en particular en zonas densamente pobladas.

Finalmente, la durabilidad aumenta en modo considerable; la excelente cohesión de la mezcla fresca, y el evitar los efectos negativos del vibrado

cuando este no es realizado correctamente, dan como resultado una superficie de recubrimiento de armaduras más homogénea. Como sabemos, la calidad del hormigón de recubrimiento es extremadamente importante para la durabilidad de la estructura. Un vibrado no adecuado, muchas veces conlleva a incrementar la exudación y el lavado superficial, siendo estos factores los responsables de una reducción de la resistencia del hormigón de recubrimiento al ingreso de cloruros, carbonatación y otros agentes agresivos.

#### **2.4.4.3 Aplicaciones.**

Dada su amplia gama de posibilidades y excelente performance de este tipo de aditivos, su uso puede extenderse a prácticamente todos los ámbitos de aplicación en hormigones.

- Hormigones de alta resistencia.
- Hormigones autocompactantes.
- Colocación en elementos estructurales de formas complejas y esbeltas.
- Hormigón visto.
- Prefabricación.
- Hormigón Fast – Track.
- Obras de Tunelería.
- Fundaciones de plateas.

- Pilotes realizados "in situ".
- Proyectos de infraestructura en general.
- Edificios de propiedad horizontal y viviendas.
- Todos aquellos casos en que se requiera hormigones de elevada calidad.

### **El desarrollo hacia polímeros para aplicaciones específicas**

Como ya se mencionó anteriormente, la tecnología de los superplastificantes basados en policarboxilatos alcanzó un desarrollo bastante extendido en el mundo desde hace algo más de cinco años, por lo cual, desde entonces al presente, esta tecnología continuó evolucionando hacia nuevos y más específicos polímeros.

A diferencia de los superplastificantes basados en melaminas o naftalenos, con este tipo de polímeros es más fácil correlacionar propiedades intrínsecas de los mismos (peso molecular, longitud de cadena, potencial Z), con los efectos específicos que se desean obtener en su interrelación con el cemento (poder fluidificante, mantención de la trabajabilidad, tiempos de fraguado, etc.).

De este modo, un mayor entendimiento del comportamiento del polímero, permite el desarrollo de nuevos productos y soluciones específicas para cada requerimiento. Actualmente existen polímeros adaptados a distintas condiciones ambientales (verano, invierno) como a distintas necesidades

de aplicación y/o de clientes (plantas de hormigón elaborado, plantas de premoldeado) o tipos de hormigones (de alta resistencia inicial, con humo de sílice, etc.). En particular, es de reciente aparición en nuestro país un nuevo aditivo específicamente desarrollado para la industria del hormigón premoldeado.

Este producto induce en los hormigones aquellas características que son importantes para la industria de la prefabricación, pero que también permiten usar este nuevo aditivo en aplicaciones con requisitos técnicos similares:

- Elementos prefabricados.
- Elementos pre y postensados.
- Hormigón Fast – Track.
- Colocación de hormigón en encofrados deslizantes y trepadores.

Estas propiedades principales del nuevo polímero se relacionan con un muy alto poder plastificante y/o reductor de agua, una moderada mantención de la trabajabilidad, no producir demoras en los tiempos de fraguado y una mayor resistencia a compresión a edad temprana.



CIB-ESPOL

#### **2.4.5 Aditivos Retardadores de Fraguado.**

Los aditivos retardantes se emplean para retardar la velocidad de fraguado del hormigón. Las especificaciones de estos aditivos se encuentran descritas en la norma ASTM C 494 y corresponden a los aditivos tipo B, por otra parte, debido a que muchos retardadores también actúan como reductores de agua, éstos son llamados también aditivos reductores de agua y retardantes (tipo D según ASTM C 494), adicionalmente algunos retardantes también pueden incluir un poco de aire en el hormigón.

Las temperaturas altas en el hormigón fresco ( $30^{\circ}$  a  $32^{\circ}$  C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento, lo que provoca que el colado y acabado del hormigón sea difícil. Uno de los métodos más prácticos de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del hormigón enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del hormigón, pero sí alarga los tiempos de fraguado.

Los retardantes se emplean en ocasiones para:

- Compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del hormigón.

- Demorar el fraguado inicial del hormigón o lechada cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño.
- Retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

En general, el empleo de retardantes va acompañado de una cierta reducción de resistencia a edades tempranas (uno a tres días). Los efectos de estos materiales en las demás propiedades del hormigón, tales como la contracción, pueden ser impredecibles.

# CAPÍTULO 3



CIB-ESPOL

## 3. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN MEZCLAS DE HORMIGÓN.

### 3.1 Mezclas de Pruebas Preliminares de Hormigón.

En el contenido de este capítulo se involucra todos los procedimientos experimentales que se utilizaron para obtener los diseños patrones (*mezcla de referencia sin aditivo*) del Hormigón. Para la elaboración de muestras y ensayos se adoptó el uso de normas internacionales como las propuestas por el ASTM (*American Society for Testing and Materials*), en la selección de las proporciones de una mezcla de hormigón, puede ser verificada eficazmente mediante ensayos en el laboratorio, los cuales sirven para determinar las propiedades físicas básicas de los materiales empleados, para establecer interrelaciones entre el contenido de aire, la relación agua-cemento, el contenido de cemento y la resistencia, y para proporcionar información sobre las características de trabajabilidad de las mezclas ensayadas.

Diseñar una mezcla de hormigón envuelve una gran cantidad de factores que no permiten un método empírico infalible. Las proporciones de los materiales envueltos dependen de sus propiedades particulares y condiciones al momento de mezclar.

A efectos de evaluar la eficiencia de varios aditivos en hormigones elaborados con cemento puzolánico tipo IP HE (según norma NTE INEN 2380, ASTM C 1157-03) se escogieron varios diseños empleados por las plantas hormigoneras de HOLCIM ECUADOR en GUAYAQUIL.

Bacht significa una parada o una cantidad proporcionada de mezcla de laboratorio. Los diseños evaluados y sus proporciones se presentan a continuación:

**TABLA 3.1 Diseño tipo X10, hormigón 20.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	5.8
Piedra No. 67:	17.2
Piedra No. 78:	6.0
Arena triturada :	4.5
Arena natural:	11.0
Agua Total	3.34

**TABLA 3.2 Diseño tipo X10, hormigón 27.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	7.0
Piedra No. 67:	18.0
Piedra No. 78:	5.6
Arena triturada:	4.0
Arena natural:	9.9
Agua Total	3.43

**TABLA 3.3 Diseño tipo X10, hormigón 41.2 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	9.2
Piedra No. 67:	18.2
Piedra No. 78:	5.4
Arena triturada :	3.3
Arena natural:	8.1
Agua Total	3.56

**TABLA 3.4 Diseño tipo Y13, hormigón 20.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	6.5
Piedra No. 67:	19.1
Piedra No. 78:	----
Arena triturada :	5.2
Arena natural:	12.9
Agua Total	3.76

**TABLA 3.5 Diseño tipo Y13, hormigón 27.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	7.7
Piedra No. 67:	18.4
Piedra No. 78:	----
Arena triturada :	5.0
Arena natural:	12.4
Agua Total	3.85

**TABLA 3.6 Diseño tipo Y13, hormigón 41.2 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	9.8
Piedra No. 67:	17.9
Piedra No. 78:	----
Arena triturada :	4.5
Arena natural:	11.2
Agua Total	3.97

**TABLA 3.7 Diseño tipo Z13, hormigón 20.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	5.8
Piedra No. 67:	----
Piedra No. 78:	16.1
Arena triturada :	6.2
Arena natural:	15.3
Agua Total	3.86

**TABLA 3.8 Diseño tipo Z13, hormigón 27.6 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	7.0
Piedra No. 67:	----
Piedra No. 78:	16.0
Arena triturada :	5.8
Arena natural:	14.4
Agua Total	3.94

**TABLA 3.9 Diseño tipo Z13, hormigón 41.2 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	9.2
Piedra No. 67:	----
Piedra No. 78:	15.6
Arena triturada :	5.2
Arena natural:	12.9
Agua Total	4.11

**TABLA 3.10 Diseño de Pavimento (SIKA), hormigón 4.0 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	17.9
Piedra No. 67:	26.7
Piedra No. 78:	26.7
Arena triturada :	6.5
Arena natural:	16.0
Agua Total	7.95

**TABLA 3.11 Diseño de Pavimento (SIKA), hormigón 5.0 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	21.2
Piedra No. 67:	26.3
Piedra No. 78:	26.3
Arena triturada :	5.7
Arena natural:	14.2
Agua Total	7.68

**TABLA 3.12 Diseño de Pavimento (MBT), hormigón 4.0 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

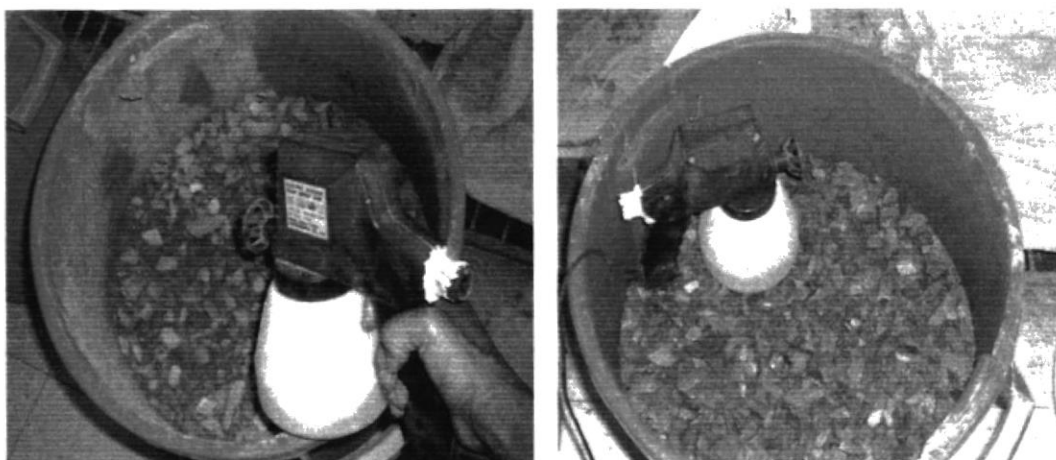
Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	9.0
Piedra No. 67:	13.4
Piedra No. 78:	13.4
Arena triturada :	3.2
Arena natural:	8.0
Agua Total	8.1

**TABLA 3.13 Diseño de Pavimento (MBT), hormigón 5.0 Mpa. para bacht de 20dm<sup>3</sup>**

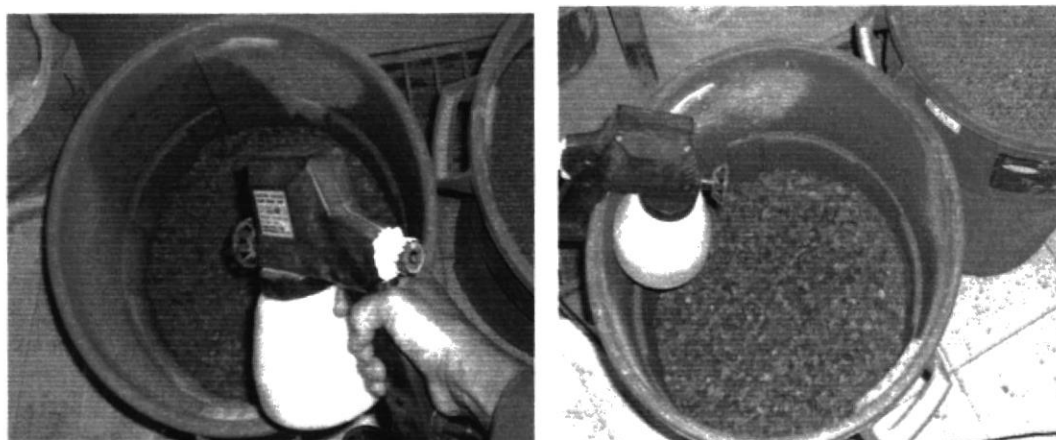
Dosificación	(Kg.)
Cemento IP (HE):	10.6
Piedra No. 67:	13.1
Piedra No. 78:	13.1
Arena triturada :	2.9
Arena natural:	7.1
Agua Total	9.0

### **3.1.1 Condiciones Iniciales de los Agregados.**

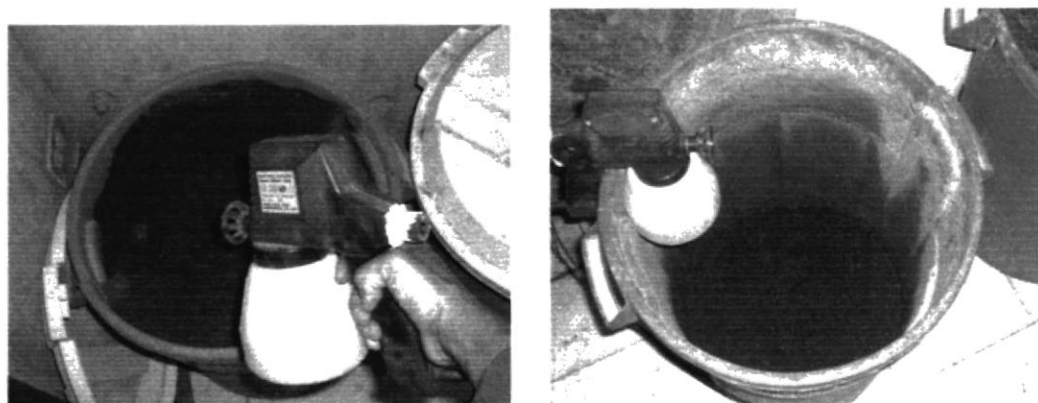
Las condiciones iniciales de los agregados empleados en las mezclas de hormigón en el laboratorio, se hallan en estado seco depositados en recipientes plásticos, dentro del cual se los humedece mediante un soplete removiendo el material con un cucharón y manteniéndolo así en un estado saturado superficialmente seco (condición ideal en que los agregados ni añaden ni quitan agua a la mezcla), luego de ello son cubiertos por una manta humedecida y al final se tapan cada uno de los recipientes. En los cálculos para el proporcionamiento del hormigón se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial. A continuación se presenta gráficamente el proceso de humedecimiento de los agregados en el laboratorio.



**FOTO 3.1 Humedecimiento de la muestra de Piedra TM 19 mm.**



**FOTO 3.2 Humedecimiento de la muestra de Piedra TM 12.5 mm.**



**FOTO 3.3 Humedecimiento de la muestra Arena de Río**



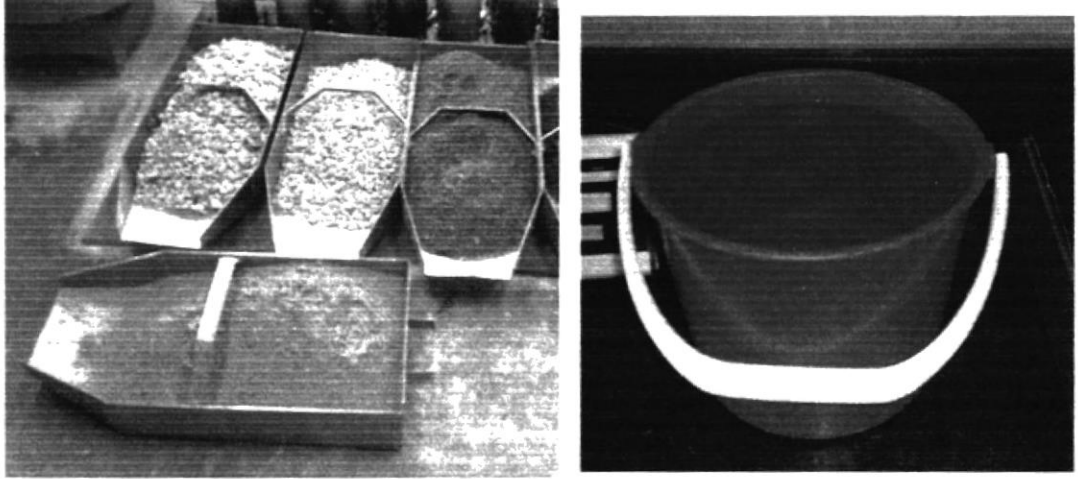
**FOTO 3.4 Humedecimiento de la muestra Arena Unificada**

### **3.1.2 Procedimiento para la Elaboración de Mezclas.**

Una vez que se han determinado las proporciones para la elaboración de mezclas de hormigón por medio de los diseños especificadas en la tabla de dosificación, se hace una mezcla de prueba esto es con el fin de verificar las hipótesis y establecer los efectos de las variables sobre el requisito de agua e inclusión de los aditivos a emplearse. Los materiales se dosifican a la temperatura ambiente de laboratorio (21 a 28<sup>0</sup>C) para las mezclas de pruebas, a continuación se procederá a describir los pasos para la elaboración de las mezclas de hormigón:

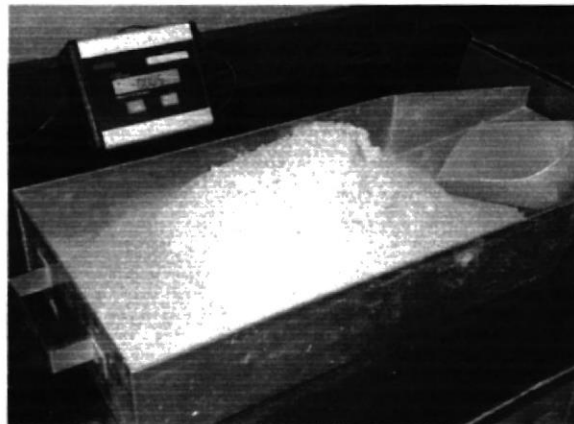
- Se pesarán cada uno de los agregados y el agua en una balanza de precisión (ver foto de balanza) en las cantidades especificadas en las tablas de dosificación (que se encuentra en la sección 3.1 del CAPITULO 3) y colocados en bandejas metálicas limpias (libre de partículas extrañas) las cuales se hayan previamente taradas en la balanza de

precisión. De igual forma el agua de mezclado se la toma de la llave del lavadero del laboratorio y es colocada en un recipiente plástico limpio previamente tarado en la balanza de precisión.



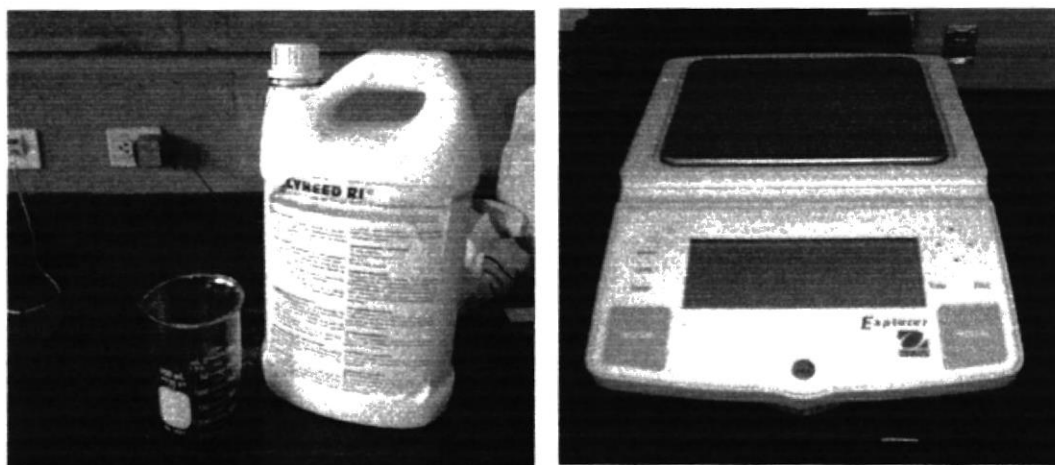
**FOTO 3.5 Cemento, Agregados y Agua para mezcla de hormigón**

- El cemento tipo **IP HE** se lo obtiene del depósito de cemento del laboratorio, se escoge un saco y se pesa por separado colocándolo en una bandeja metálica limpia la cual se haya previamente tarada en la balanza de precisión.



**FOTO 3.6 Pesaje del Cemento tipo IP (HE)**

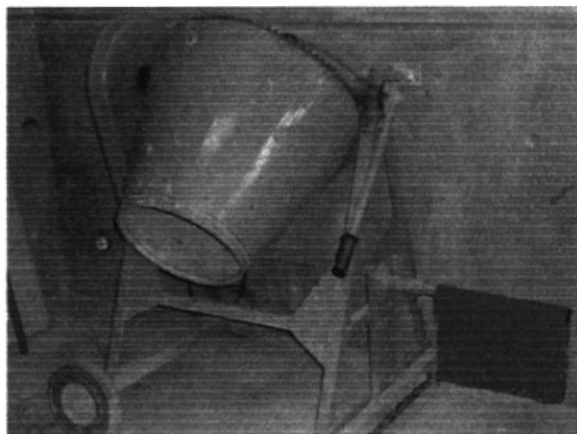
- Los aditivos (superplastificantes, incorporador de aire y retardador de fraguado) son colocados en los vasos de precipitación previamente tarados en la balanza de precisión, dentro de los cuales se pesa cada uno de los aditivos con la dosis propuesta por el fabricante, ya que posteriormente es utilizado directamente sobre la mezcla del Hormigón de prueba.



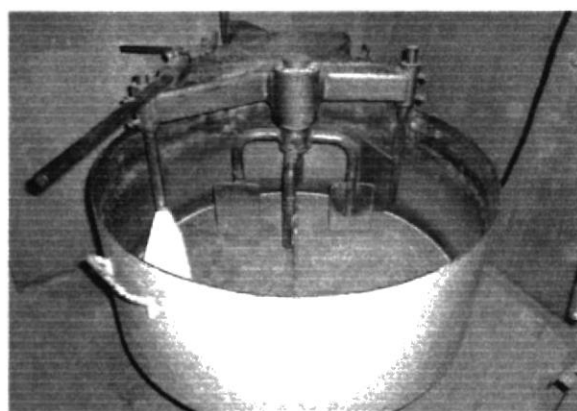
**FOTO 3.7 Balanza para determinar los pesos de los aditivos**

- Las mezcladoras a utilizarse para la elaboración del hormigón son:  
La de tipo basculante, la que tiene un tambor cónico o en forma de olla con aspas metálicas en el interior lo que permite un adecuado proceso de mezclado en los materiales, la descarga del hormigón se realiza al rotar el tambor basculante. Y la mezcladora de tipo artesa, la que tiene una forma de olla cilíndrica con aspas metálicas en el interior, ésta mezcladora ofrece la posibilidad de tener una mayor visualización del hormigón y por

consecuencia se puede ir ajustando la mezcla de hormigón que se está elaborando si así lo requiere el caso.



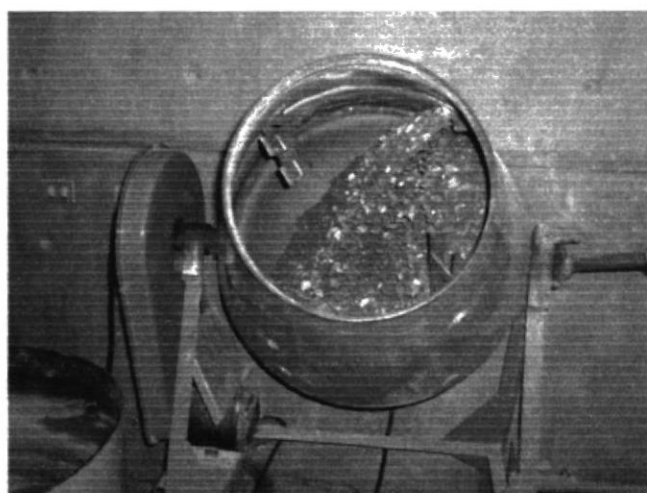
**FOTO 3.8 Mezcladora Basculante**



**FOTO 3.9 Mezcladora de Artesa**

- Las paredes de la mezcladora basculante y las aspás metálicas deben ser humedecidas con un chorrillo de agua previo a la colocación de los agregados y luego se coloca el tambor de la mezcladora hacia abajo para que escurra el agua que hay en el interior del tambor, evitando así dejar agua libre en el fondo de la mezcladora.

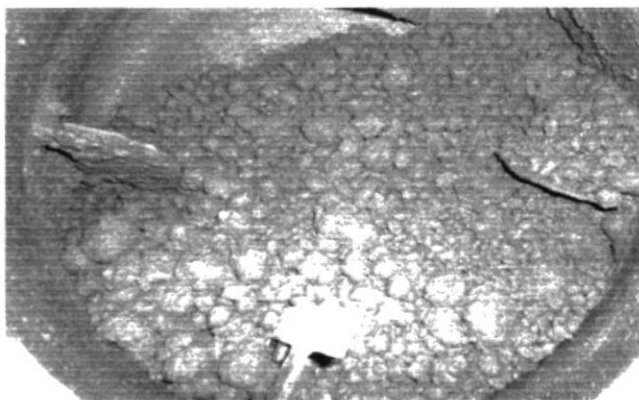
- Antes de comenzar la rotación de la mezcladora se deben colocar dentro del tambor los dos agregados gruesos y los dos agregados finos con una pequeña cantidad del agua de mezclado. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se añade posteriormente el cemento, una vez que se obtiene una mezcla homogénea de estos materiales se agrega el agua aproximadamente las dos terceras partes de lo pesado.



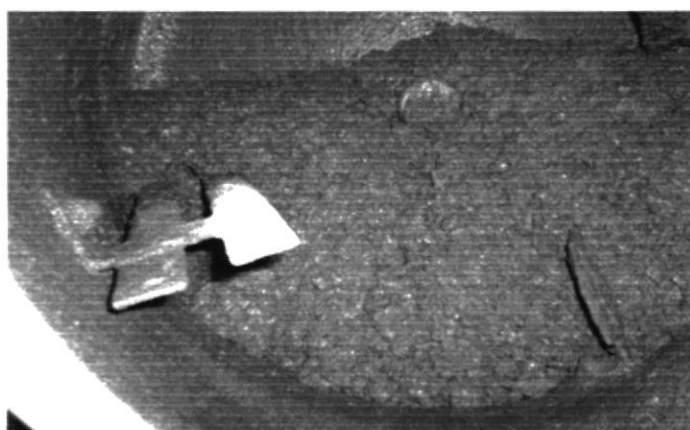
**FOTO 3.10 Mezcla de todos los Agregados**

- Luego se van mezclando los materiales dentro del tambor a medida que éste va girando debiendo observarse que los agregados queden uniformemente mezclados y agregándose el agua de manera pausada para poder ir observando el comportamiento físico de la mezcla de hormigón y luego esperar aproximadamente cuatro minutos hasta que el agua sea absorbida por los materiales.

- Finalmente los aditivos son colocados uno por uno directamente sobre la mezcla, y su efecto es apreciable en el hormigón al cabo de unos minutos de haberse agregado los aditivos como se observa en las siguientes fotos 3.11 en la parte a, donde aún no se ha colocado el aditivo y el aspecto que presenta la mezcla es grumoso y poco trabajable, mientras que en la parte b, se observa una mezcla más fluida es decir con una mejor trabajabilidad una vez que se han colocado los aditivos súper plastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado.



**(a) Mezcla grumosa antes de colocar los aditivos**



**(b) Mezcla con fluidez después de colocar los aditivos**

**FOTOS 3.11 Efecto de los aditivos sobre la mezcla de hormigón**

Al ser este un hormigón con una elevada fluidez se debe tener un especial cuidado al momento de agregarse el agua a la mezcla, como una medida de precaución la mezcla no debe tener un aspecto muy brillante y tener presente que si bien los aditivos superplastificantes aportan considerables beneficios al hormigón, su empleo en el mismo no corrige los errores que pudieran surgir de una incorrecta dosificación, por consiguiente es preciso adoptar todas las prescripciones de carácter tecnológico y las reglas de normas que se recomiendan para la elaboración del hormigón.

- Si la consistencia del hormigón es la adecuada para el laboratorista, los materiales no requerirán un tiempo de mezclado mayor a cinco minutos luego de agregarse los aditivos.

### **3.1.3 Elaboración de Ensayos Experimentales.**

La selección de proporciones de las mezclas de hormigón que se elaboraron, pueden verse verificada eficazmente mediante ensayos en el laboratorio, los cuales sirven para determinar las propiedades físicas básicas de los materiales empleados, para establecer interrelaciones entre el contenido de aire, la relación agua-cemento, el contenido de cemento y la resistencia, y para proporcionar información sobre las características de trabajabilidad de las mezclas ensayadas.

Para realizar los distintos ensayos al hormigón a diferentes edades se elaboraron dos grupos de probetas, los cuales son:

Moldes o probetas Cilíndricas de acero reutilizables de 100 x 200 mm. para ensayos de compresión simple.

Moldes para Vigas de acero reutilizables de 150 x 150 x 500 mm. para ensayos de flexión.

La ASTM (*American Society for Testing and Materials*) proporciona las normas más ampliamente aceptadas para determinar las propiedades de los materiales del hormigón, esto es cierto en particular para los métodos de prueba del hormigón y de sus componentes. En correlación con la determinación de las propiedades, la ASTM ha desarrollado especificaciones que señalan las propiedades mínimas que debe poseer el material para cierto uso.

#### **3.1.3.1 Ensayo de Revenimiento.**

En la ASTM Designación C143 se da el procedimiento para llevar a cabo la prueba de revenimiento y se resume como sigue:

- Se humedece con una esponja el interior del cono de revenimiento y se coloca sobre la base metálica de superficie plana húmeda, la base debe estar firme y nivelada, se debe mantener el cono en el centro de la base y ajustarlo con los seguros de la base metálica.

- Se llena el cono hasta un tercio de su capacidad y se apisona el hormigón exactamente 25 veces con la varilla de acero compactadora (varilla compactadora estándar de acero de 5/8 in. de diámetro por 24 in de largo, con uno de sus extremos redondeados en forma de punta hemisférica), distribuyendo el varillado de manera uniforme sobre el área.
- Se llena el cono con una segunda capa hasta dos tercios de su capacidad, se varilla esta capa 25 veces como se indicó antes, procurando que la varilla penetre en la primera capa, pero no a través de ésta.
- Llenamos el cono un poco más allá de su capacidad y se varilla esta capa 25 veces, asegurándose que la varilla penetre en la segunda capa pero no a través de ésta. Se distribuye el varillado de manera uniforme sobre toda el área.
- Luego usamos la varilla compactadora para enrasar y eliminar el exceso de hormigón de la parte superior, de inmediato limpiamos el hormigón derramado alrededor del fondo del cono.
- Luego levantamos el cono verticalmente y con lentitud en un lapso de  $5 \pm 2$  segundos con un movimiento ascendente uniforme y se evita realizar un movimiento de torsión, sacudir o chocar contra el hormigón.



- Colocamos el cono de revenimiento sobre la superficie de la base metálica cercano al hormigón revenido, pero de modo que no toque éste; tendemos la varilla compactadora a través de la parte superior del cono. Y procedemos a medir la cantidad de revenimiento, desde la parte de abajo de la varilla hasta la parte superior del centro original desplazado de la muestra revenida.

### **3.1.3.2 Ensayo de Contenido de Aire.**

Para este ensayo se realizó el método de la presión indicado en la norma de la ASTM Designación C231 es el más común, en este método de la presión se aplica el principio de la ley de Boyle, para determinar el contenido de aire por la relación entre la presión y el volumen. A continuación se da un resumen del procedimiento para llevar a cabo el ensayo:

- Se humedece con una esponja el interior del recipiente metálico de precisión y se coloca en una superficie plana, luego colocamos la mezcla de hormigón en el recipiente en tres capas iguales y varillamos cada capa de manera semejante a la descrita en la prueba del revenimiento.
- Se golpea ligeramente con el martillo de goma la superficie exterior del recipiente metálico de 10 a 15 veces, después de que cada capa haya sido compactada, lográndose así cerrar cualquier hueco dejado por la varilla de apisonar y expulsar cualquier burbuja grande de aire.

- Luego se nivela la superficie superior hasta que quede al ras, con la aplicación de un movimiento de aserrado con la regla enrasadora y se limpia con la esponja los bordes del recipiente.
- Limpiamos bien las bridas, sujetamos la cubierta con las grapas y se añade el agua hasta la marca de cero, golpeamos ligeramente los costados después de añadir parte del agua para eliminar el aire atrapado.
- Luego hacemos funcionar las válvulas de acuerdo con las instrucciones del fabricante y aplicamos la presión de prueba deseada para leer directamente el contenido de aire en la carátula graduada del manómetro. El contenido de aire es la diferencia en la altura a la presión especificada y la lectura a la presión cero, después de haber liberado la presión.

### **3.1.3.3 Ensayo de Temperatura del Hormigón.**

El siguiente método de ensayo se lo realizó indicado en la norma de la ASTM Designación C1064 el cual cubre la determinación de la temperatura de mezclas de hormigón, a continuación se detalla el procedimiento del ensayo que se llevará a cabo:

- Se coloca el aparato medidor de temperatura en la mezcla de hormigón de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 3 in. (75 mm.). Presionamos suavemente la superficie del hormigón alrededor del

aparato medidor de temperatura, de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición.

- Luego dejamos el aparato medidor de temperatura en la mezcla de hormigón por un periodo mínimo de dos minutos, o hasta que la lectura de temperatura se estabilice.
- La determinación de la temperatura debe realizarse en un tiempo no mayor de cinco minutos a partir de la obtención de la muestra de hormigón.
- Por último registramos la temperatura del hormigón recién mezclado medida con una precisión de  $1^{\circ}\text{F}$  ( $0.5^{\circ}\text{C}$ ).

#### **3.1.3.4 Moldeo de Especímenes de Ensayo de Hormigón.**

El método para moldear especímenes se describe en la ASTM Designación C192 y el procedimiento que se da a continuación es un resumen de aquél, cuando se aplica a los cilindros y a las vigas descritas anteriormente en la sección 3.1.3. La elaboración de los especímenes (probetas) se lo realizó lo más rápido posible sobre una superficie nivelada, este ensayo se debe empezar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la mezcla de hormigón realizada en el laboratorio.

- Como paso previo para moldear las probetas cilíndricas, los moldes metálicos deberán ser lubricados con aceite para evitar que el hormigón se adhiera a ellos y haga complicado el desencofrado.
- Luego se colocarán los moldes sobre una superficie lisa y nivelada, cercano a la toma de la muestra de hormigón, y se procede con un cucharón metálico a tomar el hormigón de la mezcladora basculante.
- De inmediato se procede a llenar de hormigón los moldes en dos capas iguales, varillándose cada capa uniformemente 25 veces con una varilla de punta hemisférica de 3/8 in. (10 mm.) y compactándose ligeramente con aproximadamente 12 a 15 golpes con el martillo de goma distribuidos sobre los costados de los moldes. Se varillan las capas superiores de modo que la varilla apenas se extienda hacia la capa que está debajo aproximadamente 1 in. (25 mm.).
- La última capa debe contener un ligero exceso de hormigón, después de varillar y golpear ligeramente, elimínese el excedente de hormigón a los lados y extremo de los moldes con una llana metálica.
- Después de la consolidación se enrasa la superficie retirando el exceso de hormigón con el bailejo y se realiza el acabado con la manipulación mínima necesaria para producir una superficie lisa a nivel del borde de los moldes y sin depresiones.



A continuación se describe brevemente el procedimiento para moldear las vigas de hormigón, los especímenes para determinar la resistencia a la flexión son vigas de 150 x 150 x 500 mm.

- Los moldes metálicos para vigas deberán ser lubricados con aceite para evitar que el hormigón se adhiera a ellos y haga complicado el desencofrado.

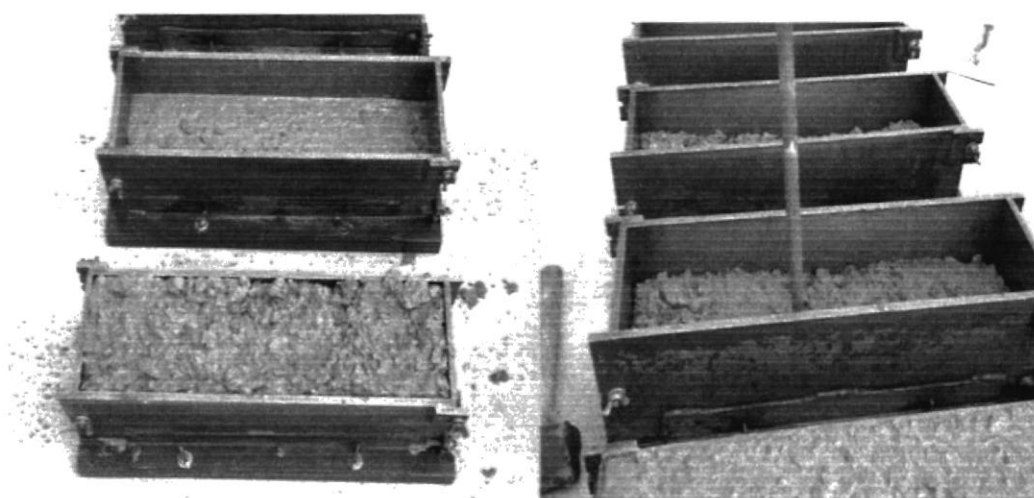


**FOTO 3.12 Molde metálico viga 150 x 150 x 500 mm.**

- Luego se colocarán los moldes metálicos sobre una superficie lisa y nivelada, cercano a la toma de la muestra de hormigón, y se procede con un cucharón metálico a tomar el hormigón de la mezcladora de artesana.

- Los moldes para vigas deben llenarse en dos capas de iguales espesores y consolidarse por varillado 58 veces utilizando una varilla de punta hemisférica de 5/8 in. (16 mm.) ( la frecuencia del varillado para cada capa es de un golpe por cada 2 in<sup>2</sup> de superficie). Después del

varillado se golpea con el martillo de goma en los costados del molde para asegurarnos de minimizar espacios vacíos.

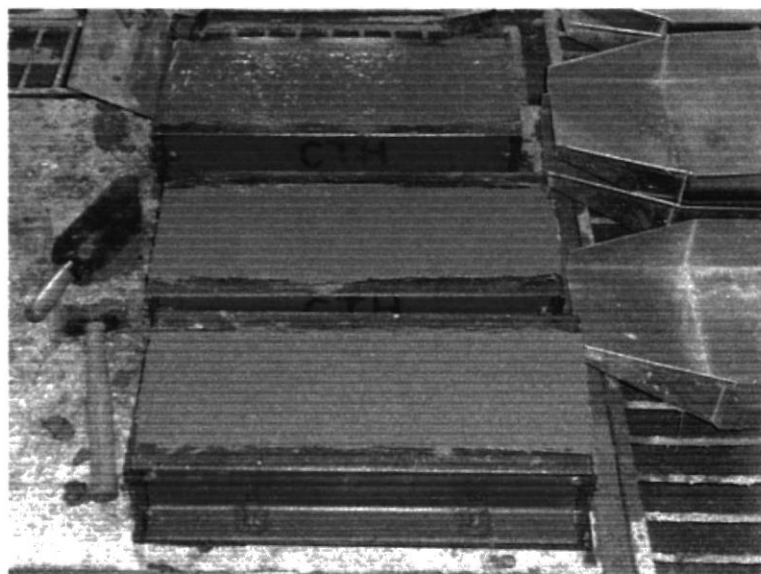


**FOTO 3.13 Llenado y Compactado de la primera capa de las vigas**



**FOTO 3.14 Compactado de la segunda capa de las vigas**

- Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera, al colocar la última capa se agrega una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación y la superficie superior se enrasa retirando el exceso de hormigón con una llana metálica.
- Por último se realiza el acabado con la manipulación mínima necesaria para producir una superficie lisa a nivel del borde del molde y sin depresiones o promontorios (se debe evitar el acabado excesivo).



**FOTO 3.15 Acabado de la segunda capa de las vigas**

Una vez que las muestras han sido recién moldeadas, debe evitarse la pérdida de humedad cubriéndolas con una lámina de plástico impermeable. Durante las primeras 24 horas, las muestras deben mantenerse a temperaturas entre 16 y 27<sup>0</sup>C, no deberán moverse ni perturbarse durante este período de tiempo y deben protegerse de manera adecuada para evitar que se rompan durante el transporte al cuarto de curado.

Los especímenes (cilindros y vigas) deben de codificarse para tener una identificación directa de ellos y del hormigón que representa, al retirar los especímenes de sus moldes se los marca en las superficies superiores y laterales de éstos para conservar sus identidades.

#### **3.1.3.5 Curado del Hormigón.**

El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al hormigón por varios días después de desencofrarse, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua. Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma ASTM Designación C192.

Como se puede apreciar en la secuencia gráfica de las fotos 3.16 y 3.17 una vez que las muestras de hormigón han sido desencofradas, éstas deben ser codificadas para ser fácilmente identificadas cuando se las vaya a ensayar.



**FOTO 3.16 Probetas codificadas**

Luego las muestras son transportadas al cuarto de curado, la condición de humedad debe lograrse por inmersión de los especímenes en agua, y se organizan los especímenes en la piscina de curado que contiene agua con adición de cal, manteniéndose a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , una vez hecho esto los especímenes se deben mantener en condiciones de humedad hasta el momento de ser ensayadas, 1, 3, 7, 28 y 90 días.



**FOTO 3.17 Muestras sumergidas en la piscina de curado**

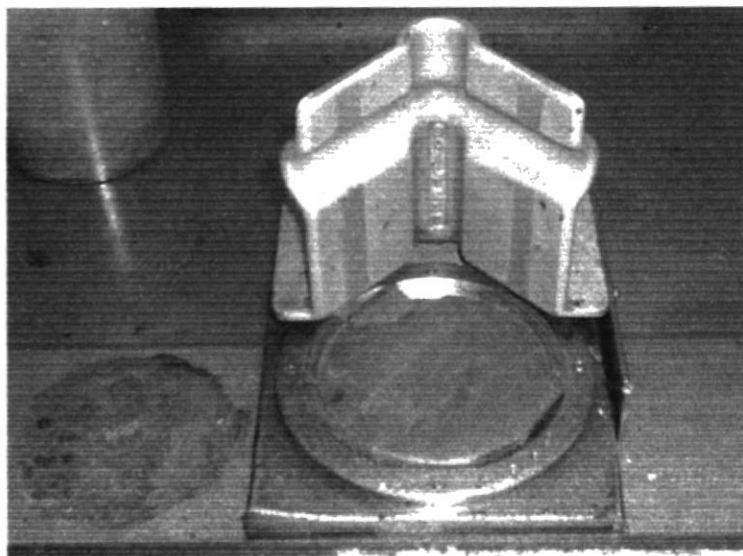
Los especímenes deben quedar sumergidos en la piscina con agua libre sobre la superficie en todo momento, pero no deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua. Las muestras deben protegerse de manera adecuada para evitar que se rompan durante el transporte a la piscina de curado, también deben evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del período de curado antes de ser ensayadas.

#### **3.1.3.6 Refrentado.**

Transcurrido el tiempo en que se cumplen las edades respectivas de cada juego de especímenes cilíndricos se las procede a llevar al cuarto de refrentado después que han sido lavado (lavarse las caras superficiales de cada cilindro con un chorro de agua para limpiar los grumos superficiales que se forman) y pesado cada espécimen.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se tapan (refrentan) con mortero de azufre y grafito (camping). Las muestras para pruebas de compresión deben tener superficies inferior y superior que sean planas dentro de 0.002 in. (0.05 mm.) y con cada superficie perpendicular al eje dentro 0.5°, con el fin de lograr esto último se procedió a colocarse una sobrecapa en las dos superficies cuando se usan moldes metálicos, como puede verse en la

foto 3.18 Las sobrecapas deben conformarse a los requisitos cubiertos con detalle en la norma ASTM Designación C617.



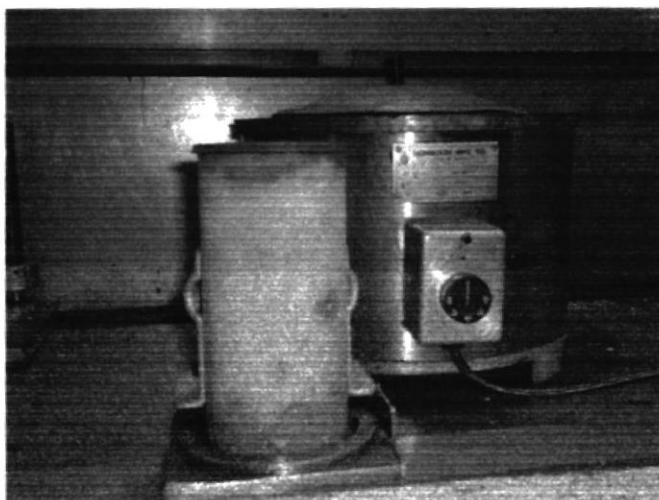
**FOTO 3.18 Molde metálico para refrentado de cilindros**

- las sobrecapas deben de ser tan delgadas como resulte práctico, y son fabricadas con una resistencia a la compresión mayor que la del hormigón, se componen de una mezcla de azufre y grafito que se funden en un recipiente. Este recipiente para calentar los compuestos de refrentado está diseñado para utilizarse en cualquier laboratorio, también está provisto de una tapa, luz piloto y termostato ajustable. El recipiente va montado sobre una base enfriada por aire (ver foto).



**FOTO 3.19 Colocación del cilindro sobre el molde de refrentado**

- A las muestras endurecidas se les coloca en cada cara una sobrecapa de la solución disuelta en el recipiente, contra superficies planas, para garantizar que se cumpla con los requisitos de tolerancia. Estas sobrecapas se las moldea en un refrentador de cilindros de hormigón en el cual se simplifica el proceso de refrentado asegurando superficies planas y ángulos rectos con respecto al eje del cilindro (ver foto). En todos los casos se debe dejar que la sobrecapa gane una resistencia cuando se pruebe.



**FOTO 3.20 Cilindro totalmente capeado en la dos caras**

### **3.1.3.7 Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple.**

El método de prueba más común sobre el hormigón endurecido que se da con respecto a la resistencia, es la prueba de resistencia a la compresión simple normalizada en la ASTM Designación C39/C39M-03, las mezclas de hormigón se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

#### **Objetivos.**

Se debe determinar de manera individual la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de hormigón elaborados en el laboratorio.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de hormigón en una máquina de ensayos. El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado, a una velocidad de carga



**CIB-ESPOL**

prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección transversal que resiste a la carga y se reporta en unidades SI (Megapascales).

### **Aparatos.**

**Máquina de ensayo.** La máquina de ensayo utilizada (ver figura abajo), debe ser de un tipo tal que tenga suficiente capacidad de carga, en la que se permita operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 3000, aplicándose una velocidad de carga de 2,3 kN./seg. para cilindros de hormigón de 100 x 200 mm.



**FOTO 3.21 Prensa "ELE" 3000 kN.**

**Procedimiento.**

Los cilindros se deben probar tan pronto como resulte práctico, el ensayo de compresión debe hacerse inmediatamente después de que estos han sido removidos del lugar de curado y también hayan sido capeados correctamente.

La muestra se debe mantener húmeda utilizando cualquier método, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando sea ensayada. Se debe ensayar la muestra en condición húmeda.

Luego colocamos la muestra sobre la plataforma de la máquina de ensayo, la muestra se debe alinear en el centro del apoyo inferior de la máquina de prueba.



**FOTO 3.22 Procedimiento de rotura (ASTM C39) de muestras de Hormigón**

Las caras de apoyo deben estar planas hasta dentro de 0.001 in. (0.025mm.) y apoyo con asiento esférico debe encontrarse en la parte de arriba y tener un diámetro mayor que el diámetro del cilindro a ensayarse. El apoyo de arriba debe poder moverse un poco e inclinarse ligeramente en cualquier dirección.

La carga debe aplicarse continuamente con razones especificadas en la norma, esta carga se la aplica sin golpes bruscos, hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

El informe de los resultados de la máquina de prueba a la compresión debe dar la carga máxima y la resistencia unitaria.

Este ensayo se lo ha realizado bajo recomendaciones de la norma ASTM C39/C39M-03.

### **3.1.3.8 Ensayo de resistencia a la Flexión.**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón, es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga de hormigón (no reforzada). El método de prueba consiste en ensayar la viga de hormigón sin refuerzo, se sujeta a flexión usando carga en dos puntos que se encuentran situados simétricamente hasta producirse la falla en el elemento. Como consecuencia de que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la prueba es llamada prueba de carga en los tercios medios. El esfuerzo a tracción máximo teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como módulo de rotura y el procedimiento para realizar la prueba a la flexión se encuentra normalizada en la ASTM Designación C78-02.

#### **Objetivos**

Se debe determinar la resistencia a la flexión del hormigón, por medio del uso de vigas simples de hormigón cargadas en los tercios de la luz, así como el módulo de rotura indicado en MPa.

## Aparatos

**Máquina de ensayo.** La máquina de ensayo utilizada debe ser de un tipo tal que tenga capacidad de carga, en la que se permita operar y emplearse el método de carga en los tercios de la luz para realizar los ensayos de flexión, utilizando los bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la figura de abajo se puede observar un diagrama del aparato que cumple con este propósito.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 3000, aplicándose una velocidad de carga de 1,13 kN./seg. para vigas de hormigón de 150 x 150 x 500 mm.

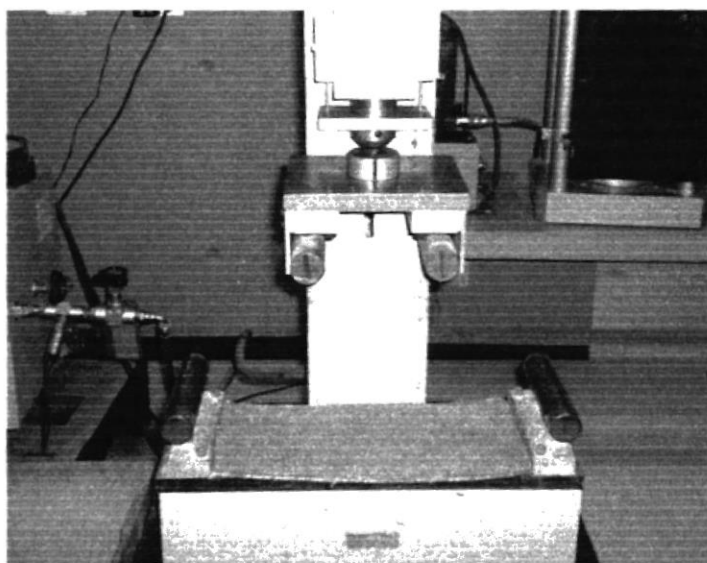


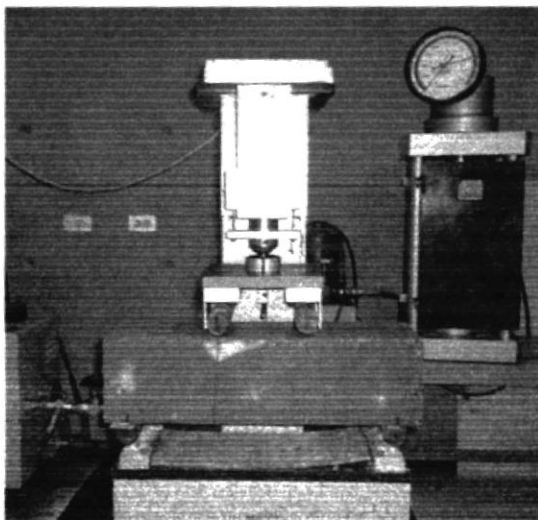
FOTO 3.23 Equipo utilizado con prensa "ELE" 3000 KN.

**Procedimiento.**

La carga es sobre los puntos que dividen a la viga en tres partes iguales, en un claro de tres veces la altura de la propia viga y colocada sobre un lado, con respecto a su posición de moldeo. Luego empezamos a centrar el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Póngase los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes.



**FOTO 3.24** Viga lista para ser ensayada en la prensa

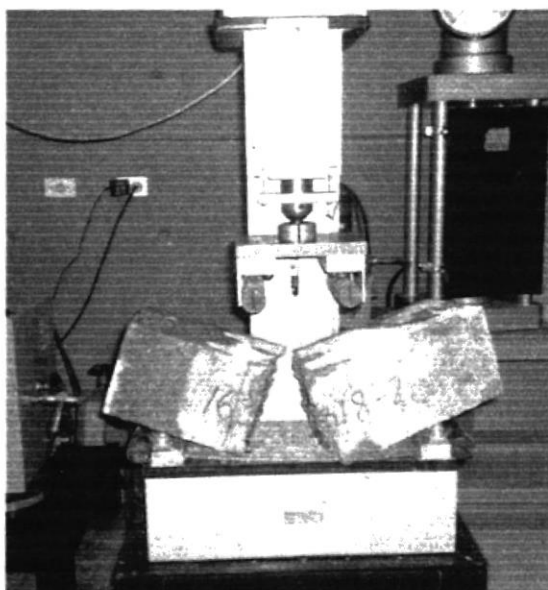


**FOTO 3.25** Procedimiento de colocado y centrado de la viga

El dispositivo de carga debe poder aplicar la fuerza a la viga verticalmente, sin excentricidad, y con la carga y las reacciones permaneciendo paralelas.

Es en absoluto esencial que las muestras se mantengan húmedas durante la prueba, es esencial la uniformidad de las condiciones de humedad en toda su extensión.

En los puntos de carga se debe producir un pleno contacto usando sobrecapas que son de material de calzas de cuero, para que así ocurra un incremento constante de esfuerzo hacia la fibra extrema, hasta que se produzca la rotura de la viga.



**FOTO 3.26 Procedimiento de rotura (ASTM C78-02) de vigas de Hormigón**

Los cálculos se basan en las mediciones de las dimensiones en el lugar de la falla. La resistencia a la flexión se calcula como el módulo de ruptura, cuando la fractura ocurre dentro del tercio medio de la longitud del claro.

Este ensayo ha sido realizado bajo recomendaciones de la norma ASTM C78-02.

### **3.2 Mezclas de Ajustes.**

Habiéndose estimado las proporciones de todos los ingredientes, el último paso es preparar una mezcla de prueba usando estas cantidades. Se deben verificar las proporciones calculadas de la mezcla de prueba preparadas y probadas de acuerdo con la norma ASTM C192, o con mezclas de campo de tamaño completo. Sólo debe utilizarse el agua suficiente para producir el asentamiento requerido sin considerar la cantidad supuesta en las proporciones de prueba. Se debe verificar el rendimiento del hormigón y el contenido de aire. También debe observarse cuidadosamente que el hormigón posea la trabajabilidad y las propiedades de acabado adecuadas y que esté libre de segregación. Se procedió a hacer los ajustes pertinentes con las proporciones de las mezclas subsecuentes.

Se estima de nuevo la cantidad de agua de mezclado necesaria por metro cúbico de hormigón, dividiendo el contenido neto de agua de mezclado de



la mezcla de prueba entre el rendimiento de la mezcla de prueba en metros cúbicos. Si el asentamiento de la mezcla de prueba no fue el correcto, se aumenta o se disminuye la cantidad reestimada de agua en 2 Kg. por cada centímetro de aumento o disminución requerido.

Si no se obtuvo el contenido deseado de aire, se estima nuevamente el contenido de aditivo requerido para el contenido adecuado de aire y se reduce o se aumenta el contenido de agua de mezclado indicado anteriormente en  $3 \text{ Kg./m}^3$  por cada 1% de contenido de aire que debe aumentarse o reducirse de la mezcla de prueba previa.

Si la base para la dosificación es el peso estimado por metro cúbico de hormigón fresco, la reestimación de ese peso se obtiene reduciéndole o aumentándole el porcentaje determinado por anticipado de aumento o disminución del contenido de aire de la mezcla, ajustada respecto a la primera mezcla de prueba.

### **3.3 Mezclas de Pruebas Definitivas de Hormigón.**

Las mezclas diseñadas en el laboratorio siempre deben afinarse en el campo. Esto es necesario en virtud de las muchas variables que influyen sobre las proporciones de las mezclas. La temperatura alterará el revenimiento y, por consiguiente, provocará un cambio en la relación agua/cemento para un revenimiento igual. Se debe hacer notar que el uso de aditivos retardadores hará que se retarde el tiempo de fraguado pero, en general, no influirá sobre la pérdida de revenimiento resultante de una

elevación de la temperatura. El uso de un retardador que reduzca la cantidad de agua, como medio de reducción de la cantidad de agua, puede compensar el aumento en el agua cuando se encuentran temperaturas más altas.

### **3.3.1 Pruebas Industriales.**

La finalidad de las pruebas de rutina del hormigón es mantener una calidad uniforme, asegurando de este modo los valores de, contenido de cemento y contenido de agua. Por lo común es bastante difícil producir una mezcla uniforme de manera constante, debido a las variaciones mayores en la absorción, contenido de humedad y gradación del agregado. Como consecuencia el hormigón debe probarse con todo detenimiento en el campo, durante su producción y uso, se deben hacer pruebas de revenimiento con frecuencia, contenido de aire, temperatura del hormigón y del ambiente, y humedad relativa.

### **3.4 Comportamiento de la Mezcla Definitiva de Hormigón con respecto a la Trabajabilidad, Consistencia, Plasticidad, Segregación, Exudación.**

Debido a que todas las propiedades del hormigón en estado endurecido dependen en mayor o menor grado de sus características en estado fresco (plástico), especialmente en lo que se refiere a los procesos de mezclado, colocación, compactación y terminado, en los siguientes

puntos se pretende dar una visión de las más importantes propiedades del hormigón que se ha elaborado, la forma de medir estas propiedades y los factores que la afectan.

### **Trabajabilidad**

Una propiedad importante en la elaboración de este hormigón en estado fresco es el mantenimiento de la fluidez permitiendo obtener un hormigón muy trabajable por más tiempo y sin retrasar el inicio ni el final de fraguado.

### **Consistencia**

Para el hormigón que se ha elaborado se especifica un tiempo de vida de 90 minutos, y esto implica que el hormigón debe mantener la consistencia blanda durante todo este tiempo. Con el empleo de estos aditivos, incluyendo los incorporadores de aire y retardadores de fraguado se lo consigue así. Se está demostrando que partiendo de una consistencia blanda, la caída de cono es significativa

### **Plasticidad**

La plasticidad es una consistencia del hormigón tal que puede ser moldeado, pero que le permite al hormigón fresco cambiar de forma teniendo una caída rápida si se saca del molde.

### **Segregación**

La segregación de los diversos componentes del hormigón es perjudicial y debe realizarse todos los esfuerzos posibles para minimizarlo. Una forma de provocar la segregación es la separación de la pasta (cemento y agua) de la mezcla, lo cual ocurre en mezclas húmedas. El aditivo empleado se distingue claramente del resto de los superplastificantes por poseer una elevada capacidad de reducción de agua incluso a bajas dosificaciones, esto permite producir hormigones con muy bajas relaciones a/c (0.30), pero a su vez con elevadas consistencias, pues por la características de este tipo de hormigones se obtienen masas de los mismos que resultan homogéneas, compactas y sin segregación.

### **Exudación**

La exudación consiste en qué parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del hormigón durante el proceso de fraguado. Por tal razón, se dice que es una forma especial de segregación o de sedimentación de las partículas las cuales no pueden retener toda el agua cuando se asientan.

# **CAPÍTULO 4**

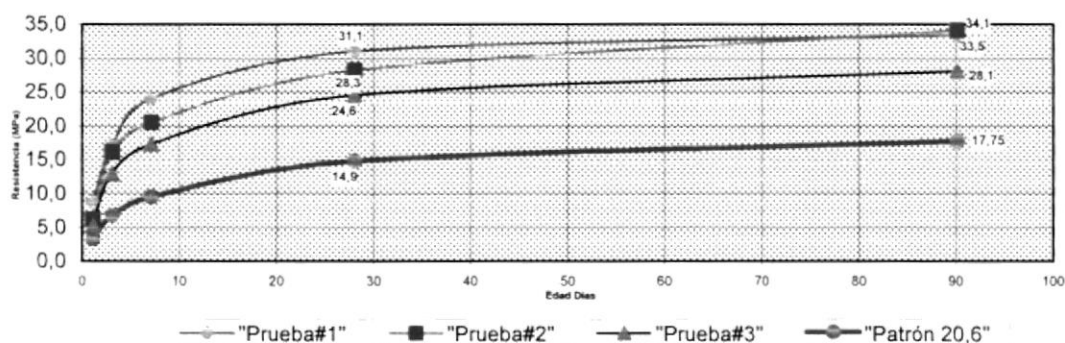
## **4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS PRELIMINARES Y DEFINITIVOS.**

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los ensayos descritos en el capítulo anterior, en donde se incluyen las curvas de pérdida de asentamiento y los resultados del desarrollo de las resistencias obtenidas por las muestras de hormigón de manera individual a distintas edades mediante ensayos destructivos. Finalmente son incluidos los resultados del crecimiento de resistencia de las muestras de hormigón en vigas sometidas a flexión, así como también el contenido de aire y la temperatura del hormigón en cada una de las muestras preliminares. El análisis de estos resultados y sus respectivas conclusiones son incluidos en los capítulos posteriores.

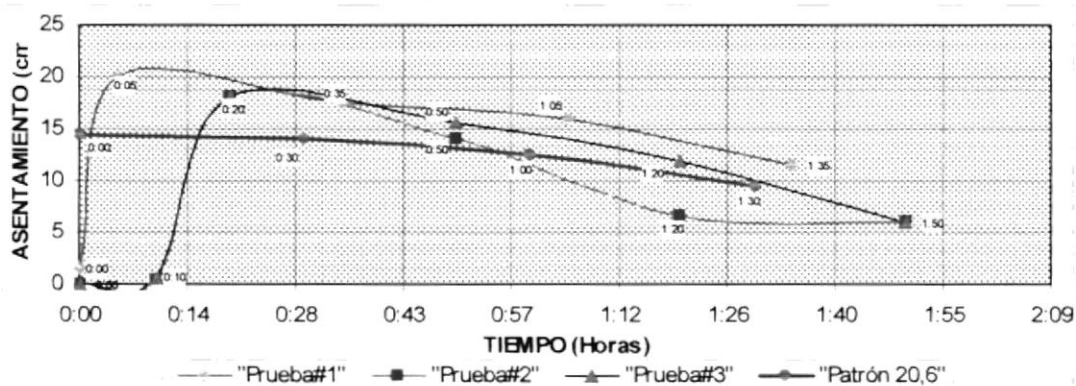
#### 4.1 Resultados de los Ensayos de Consistencia, Resistencia a la Compresión Simple e Incorporación de Aire de las diferentes mezclas de Hormigón.

**TABLA 4.1 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	26.5	0.55	66	1.7	38
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.645	25	2.0	28
3	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25.5	0.758	40	1.8	15
Patrón	---			24	0.894	30	1.2	0



**FIGURA 4.1 Curvas de Resistencia vs. Tiempo en Días**

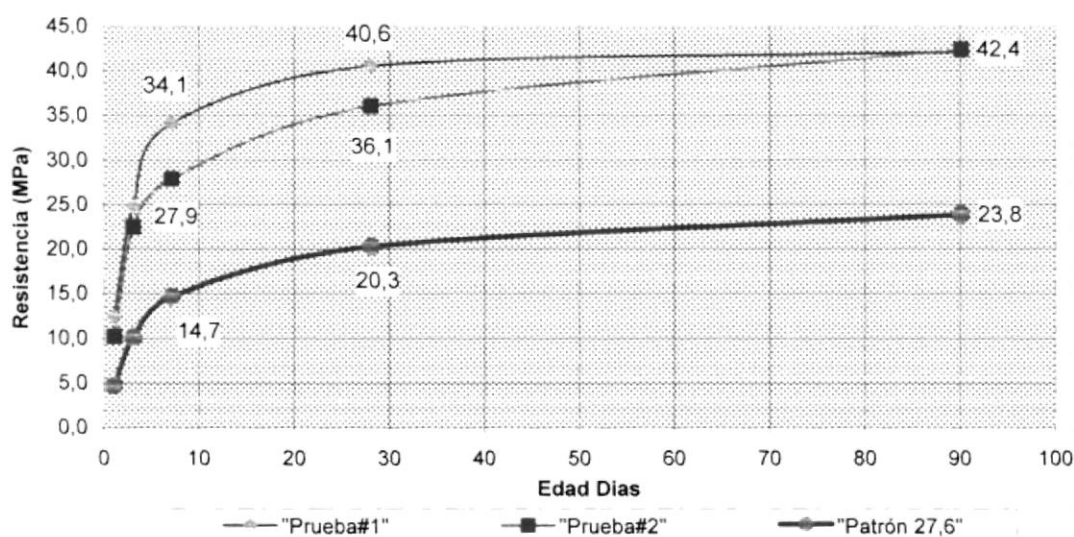


**FIGURA 4.2 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo en Horas**

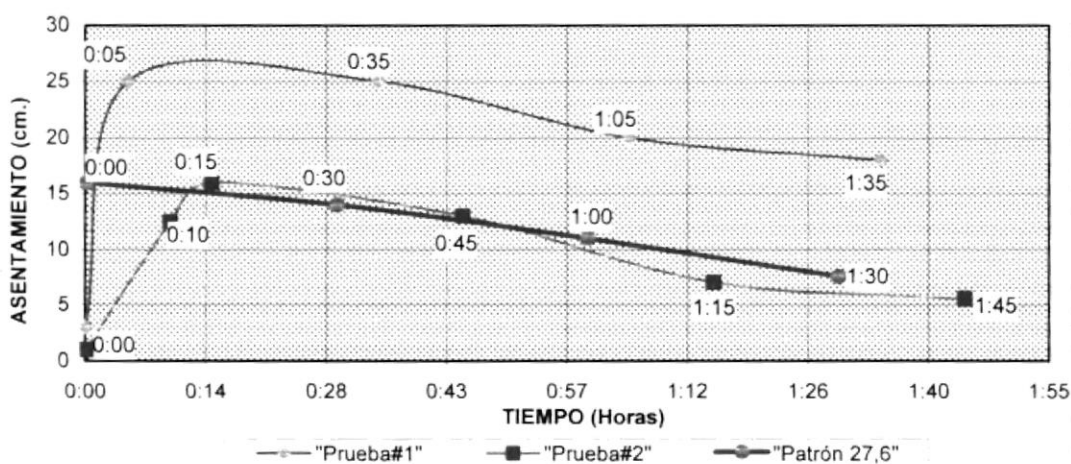


**TABLA 4.2 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	26	0.492	33	2.5	33
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	27.5	0.604	32	1.8	18
Patrón	----			25	0.734	30	1.5	0



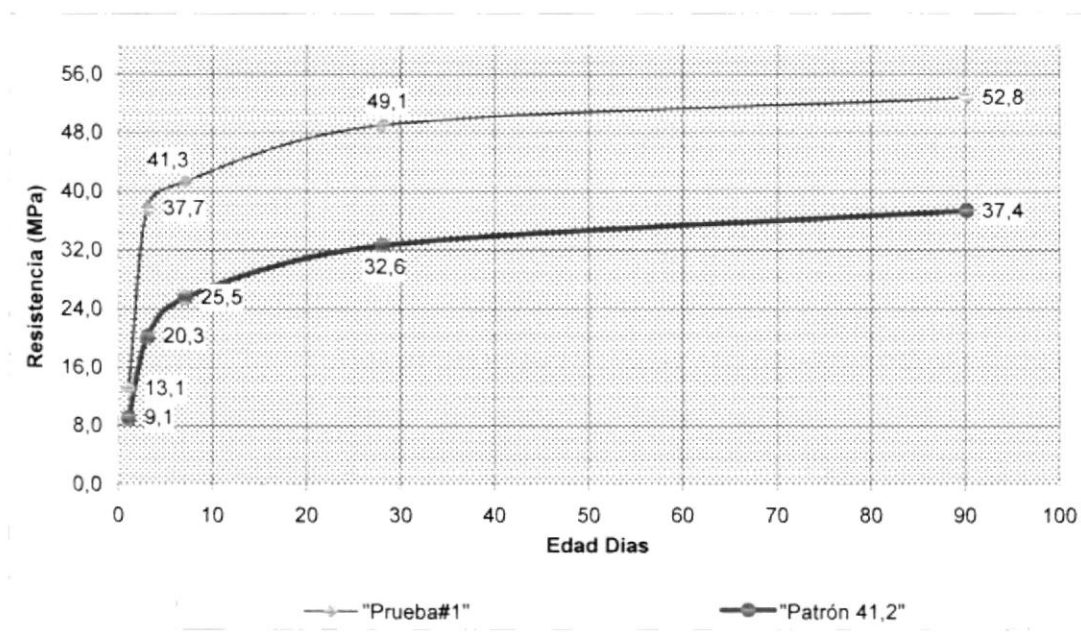
**FIGURA 4.3 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



**FIGURA 4.4 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.3 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.4%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.4%)	26	0.369	33	2.5	39
Patrón	----			----	0.601	----	----	0



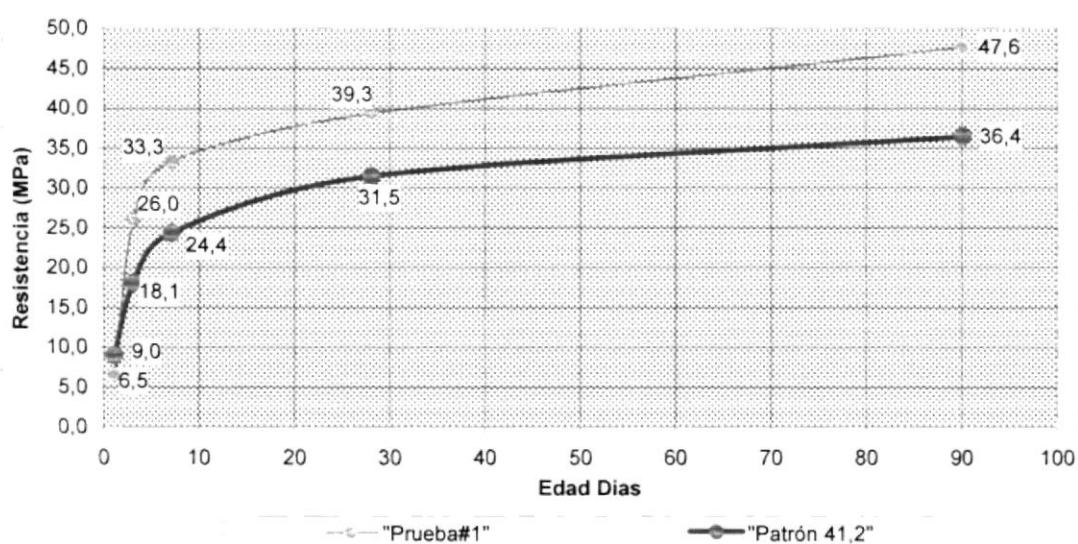
**FIGURA 4.5 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**

**“PERDIDA DE ASENTAMIENTO”**

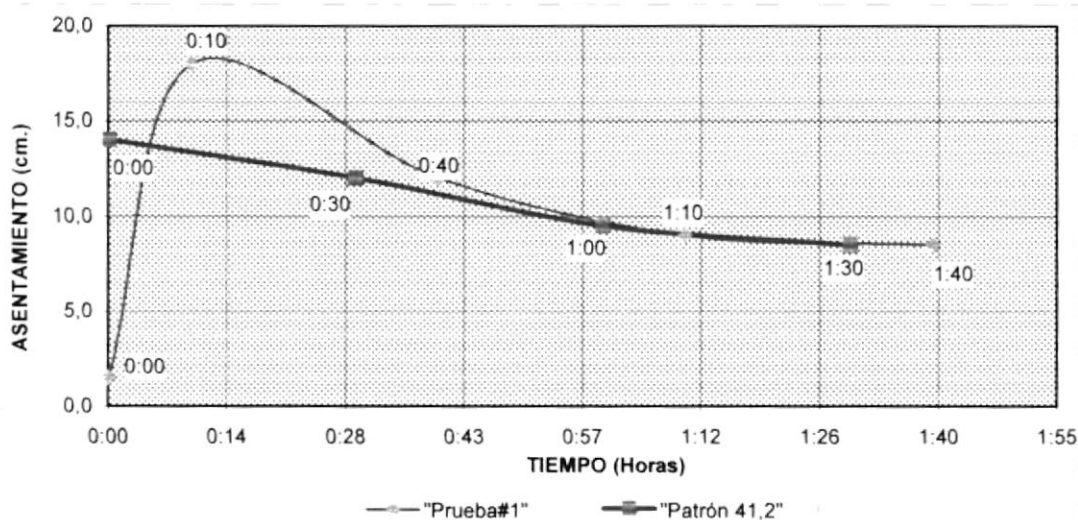
Mezcla Autonivelante  
No se pudo medir Asentamiento  
En Cono de Abrams

**TABLA 4.4 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25.2	0.485	41	2.1	12
Patrón	---			24	0.553	30	1.5	0



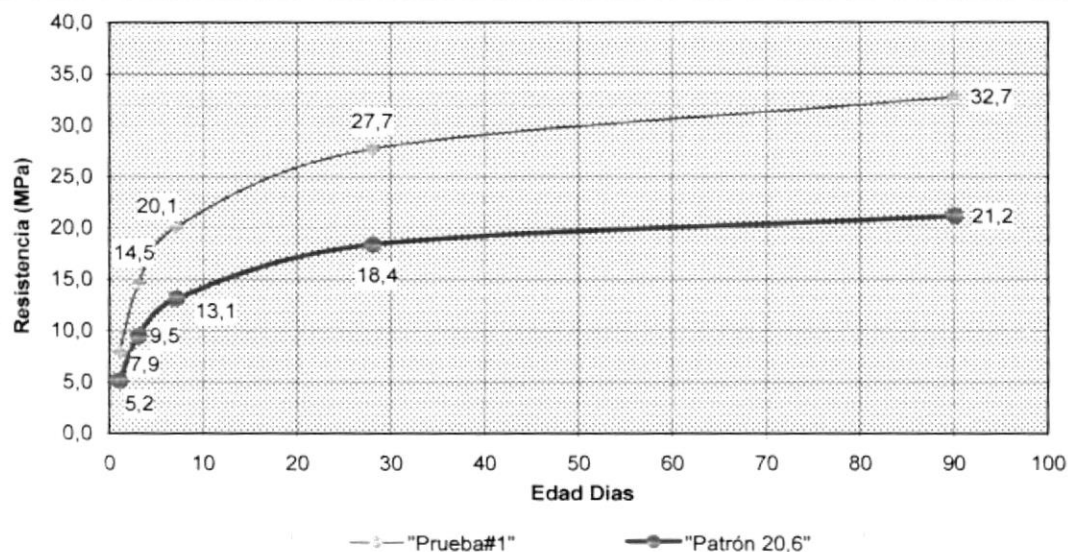
**FIGURA 4.6 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



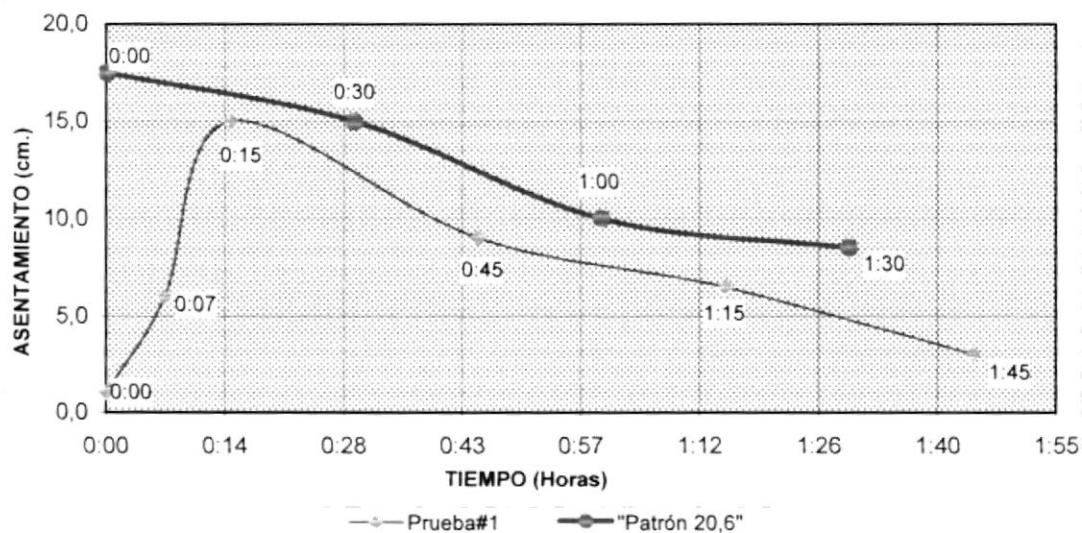
**FIGURA 4.7 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.5 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	22	0.640	39	2.0	23
Patrón	----		24	0.834	34	1.3	0



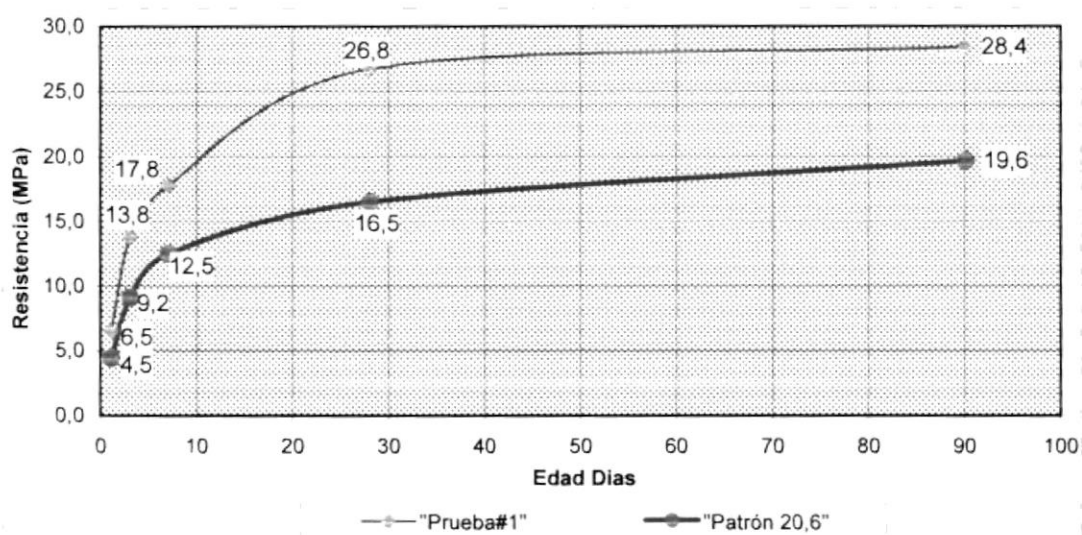
**FIGURA 4.8 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



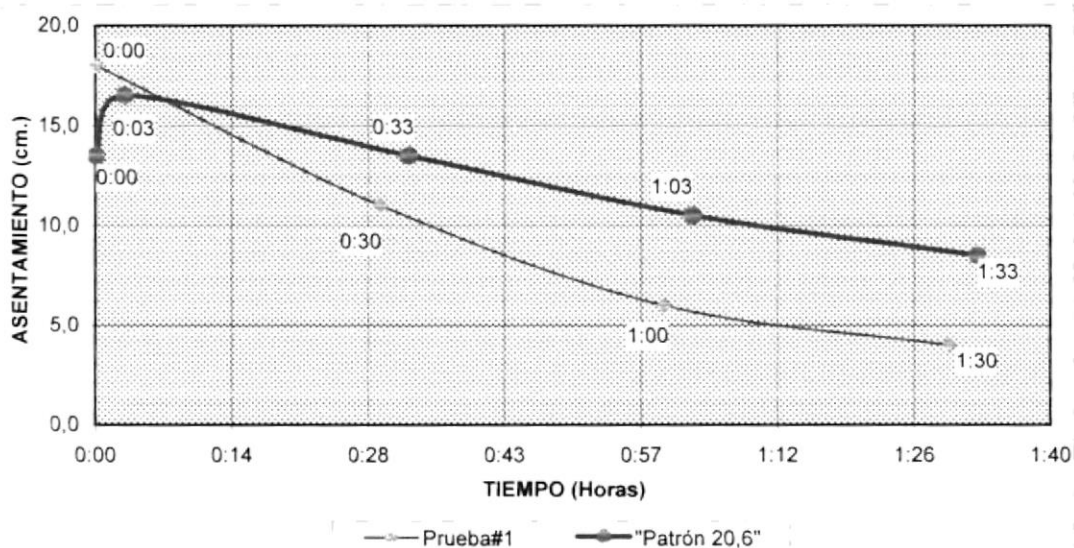
**FIGURA 4.9 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.6 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.8%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	25	0.775	49	1.4	13
Patrón	---		24	0.892	36	1.5	0



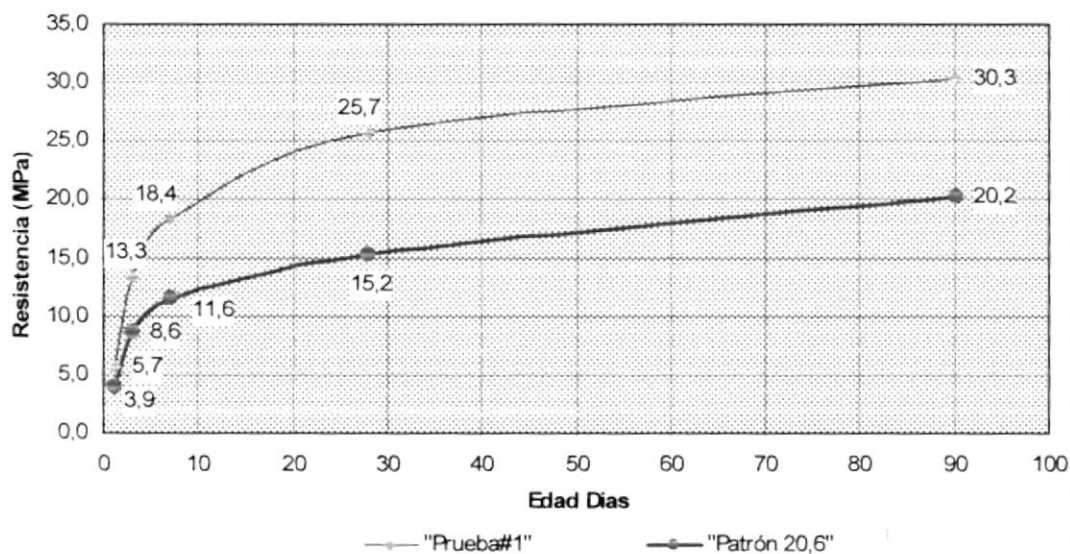
**FIGURA 4.10 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



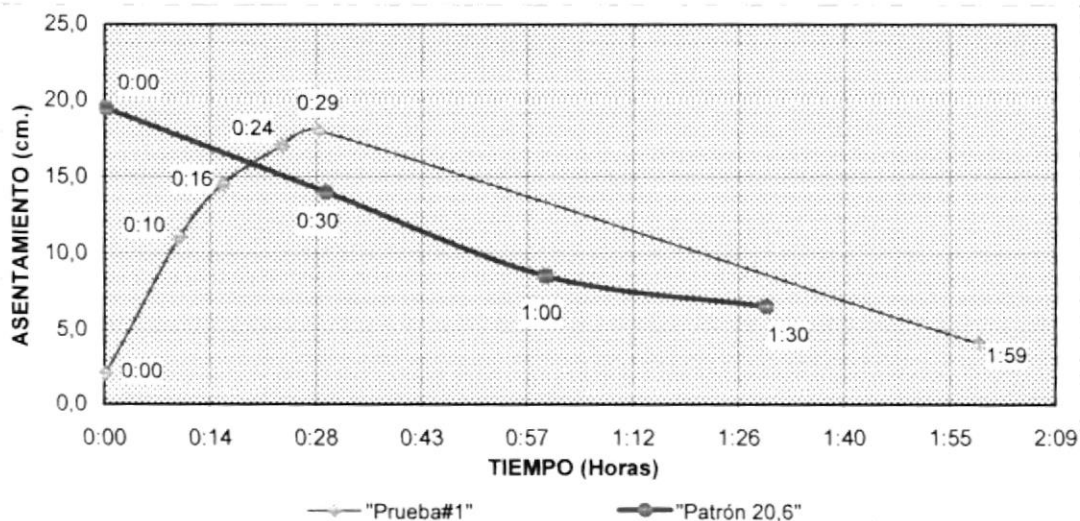
**FIGURA 4.11 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.7 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.2%) Pozzolith 200RP (0.3%)	26	0.682	69	2.0	21
Patrón	---	23	0.866	32	1.6	0



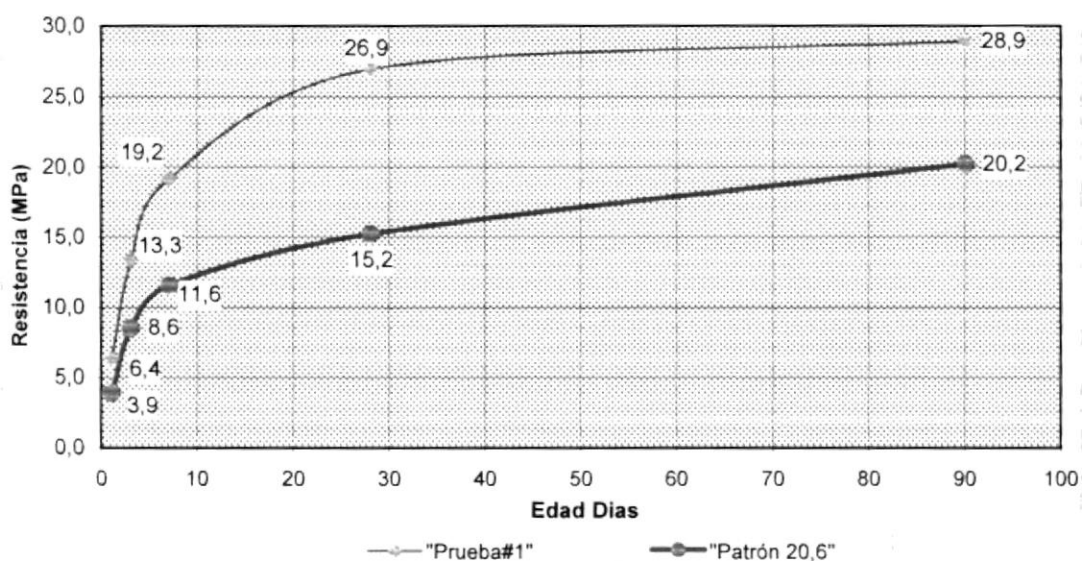
**FIGURA 4.12 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



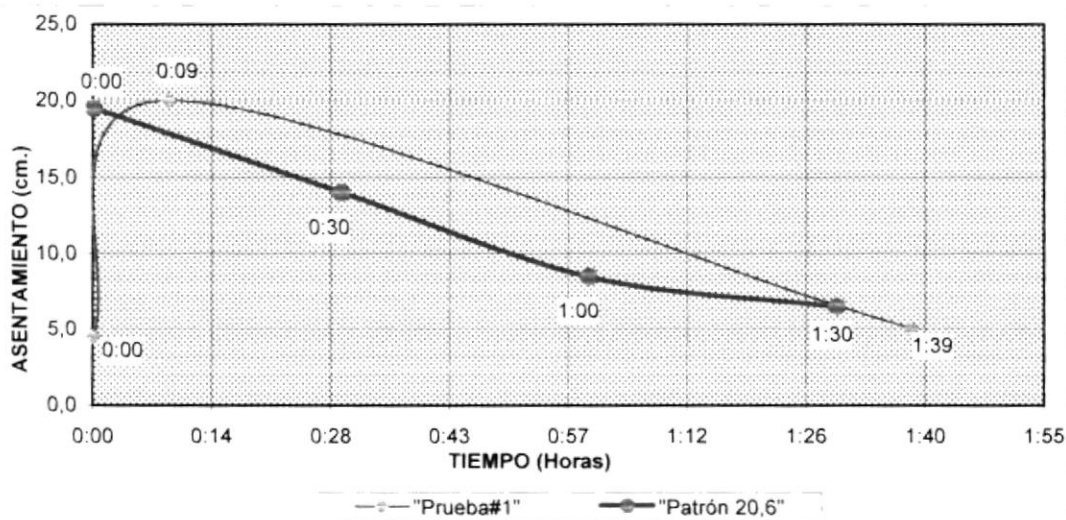
**FIGURA 4.13 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.8 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño X10, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	26	0.646	50	2.8	25
Patrón	---		23	0.866	32	1.6	0



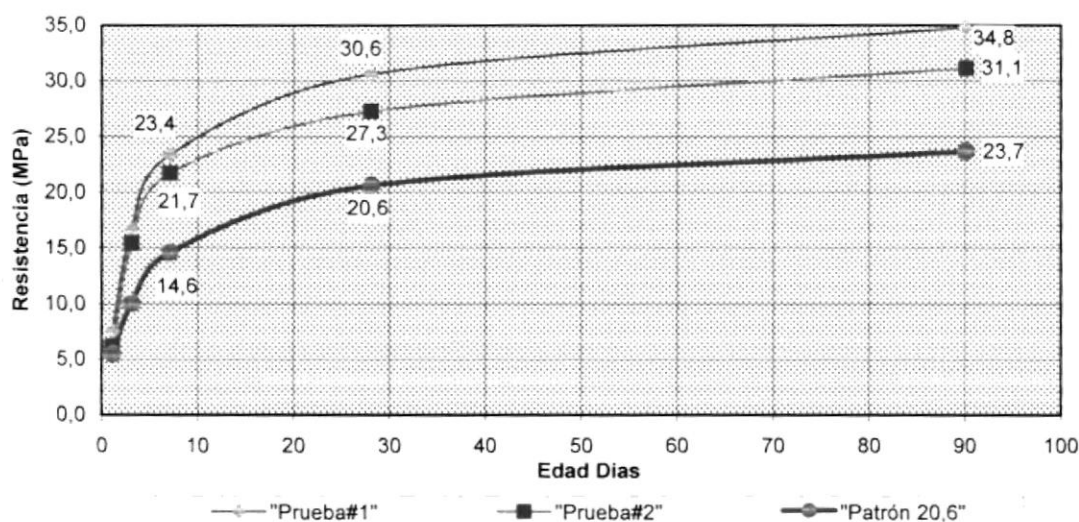
**FIGURA 4.14 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



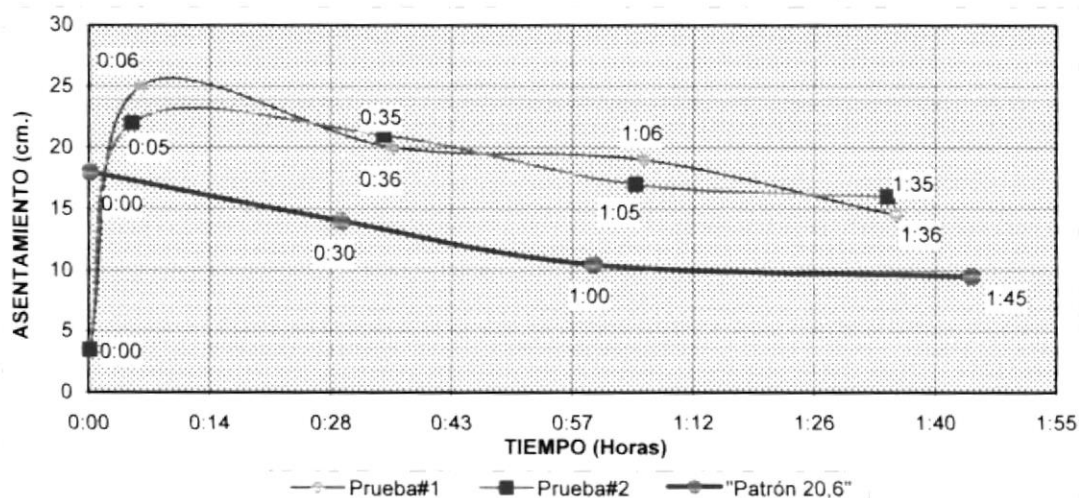
**FIGURA 4.15 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.9 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	---	0.580	---	2.5	24
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.639	36	2.2	16
Patrón	---			23	0.762	32	1.7	0



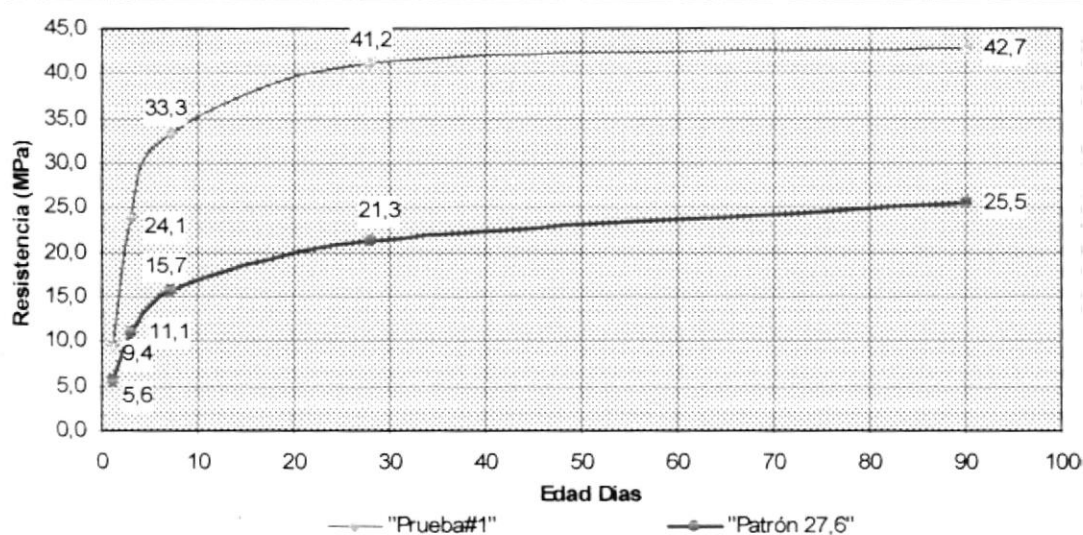
**FIGURA 4.16 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



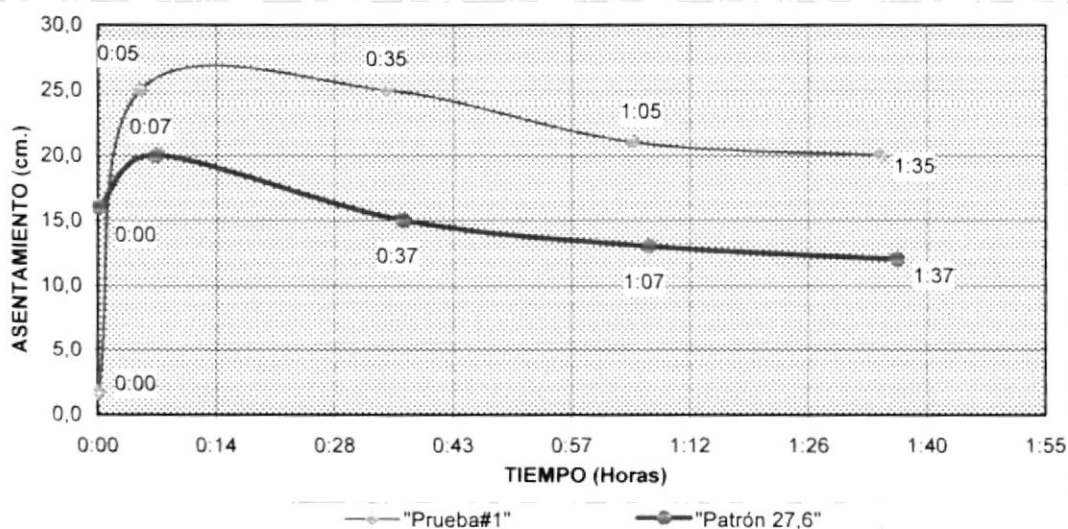
**FIGURA 4.17 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.10 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	---	0.490	---	5.0	33
Patrón	---			---	0.728	30	---	0



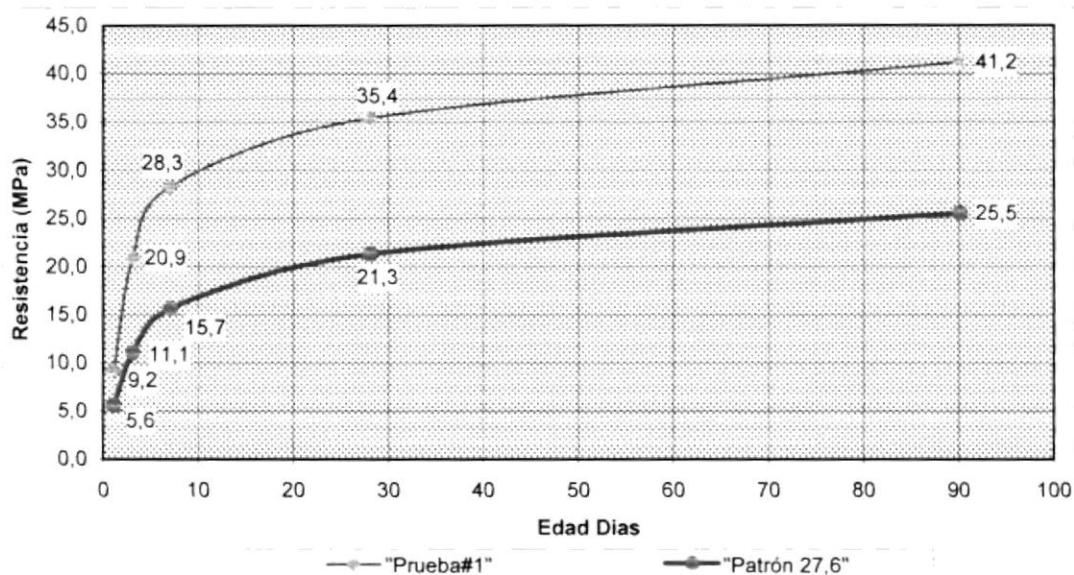
**FIGURA 4.18 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



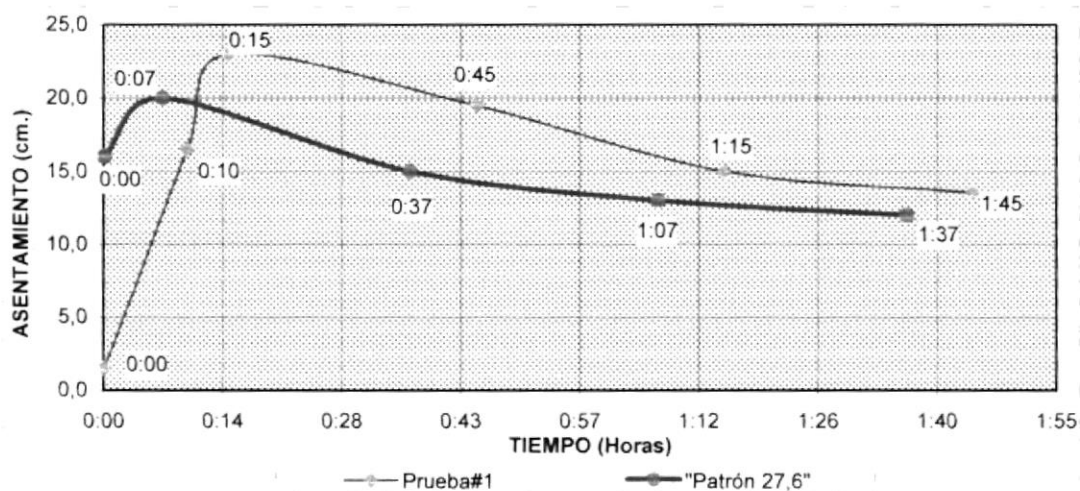
**FIGURA 4.19 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.11 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.3%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.3%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.552	40	1.8	24
Patrón	---			---	0.728	30	---	0



**FIGURA 4.20 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**

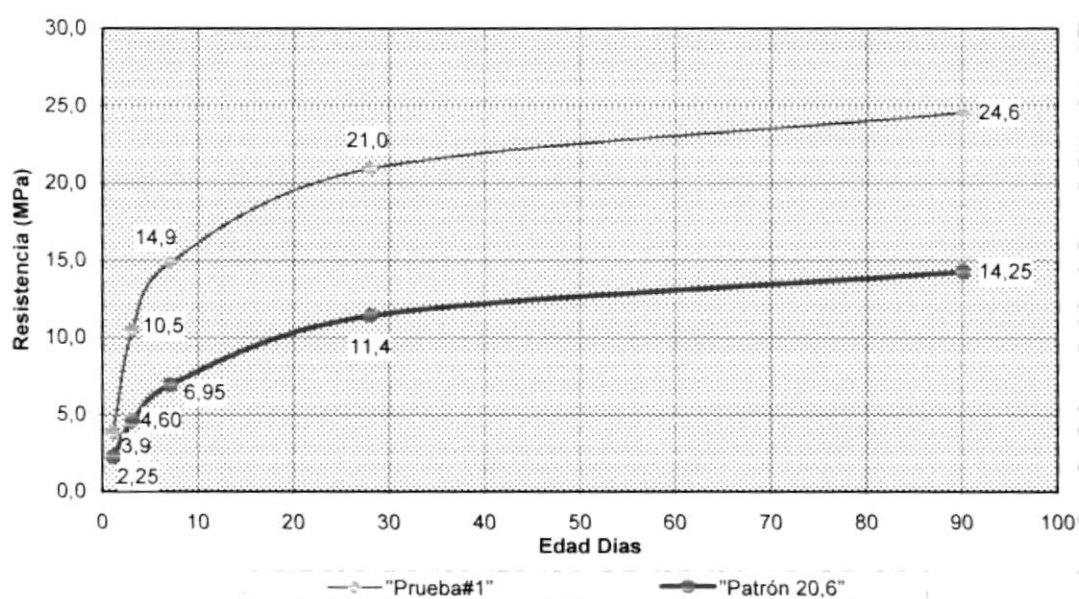


**FIGURA 4.21 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

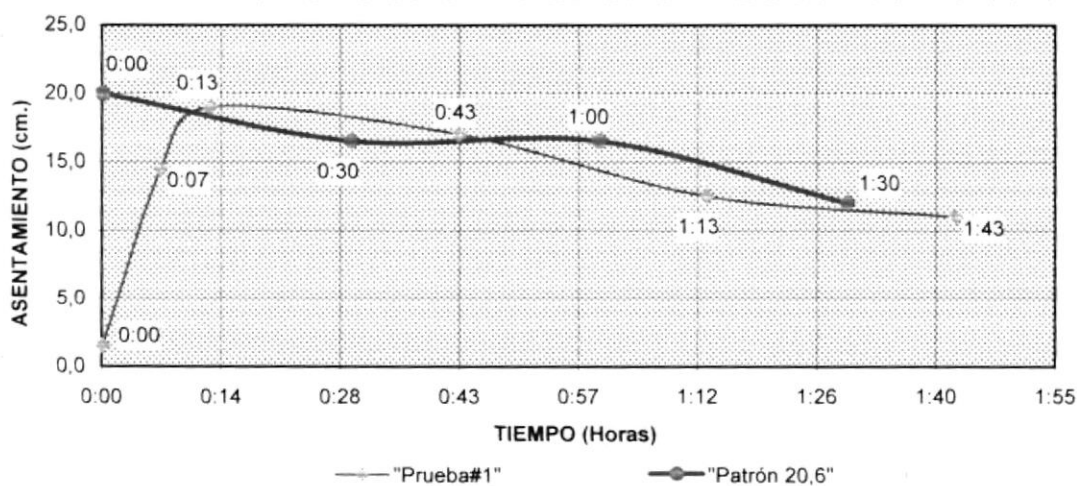


**TABLA 4.12 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.4%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.4%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.733	35	5.8	27
Patrón	---			25	1.00	27	1.6	0



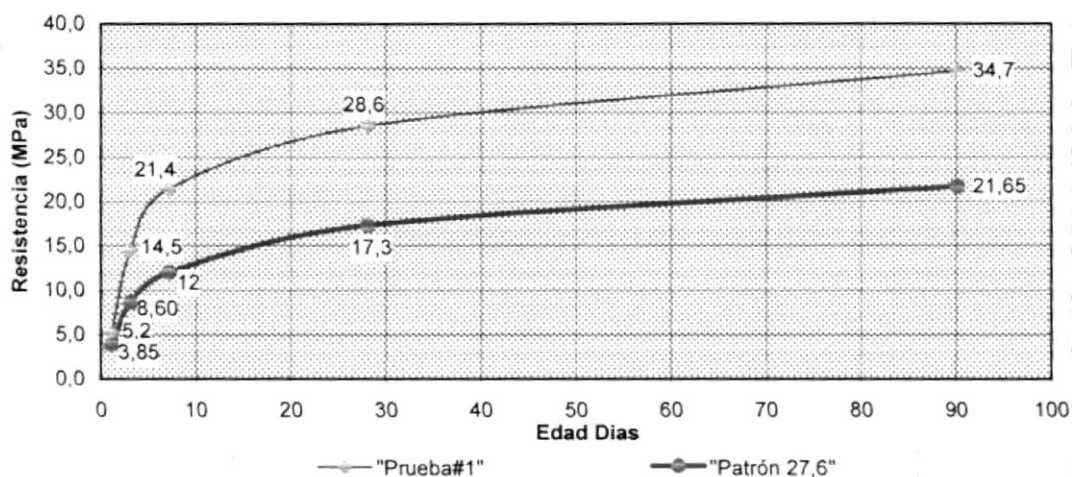
**FIGURA 4.22 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



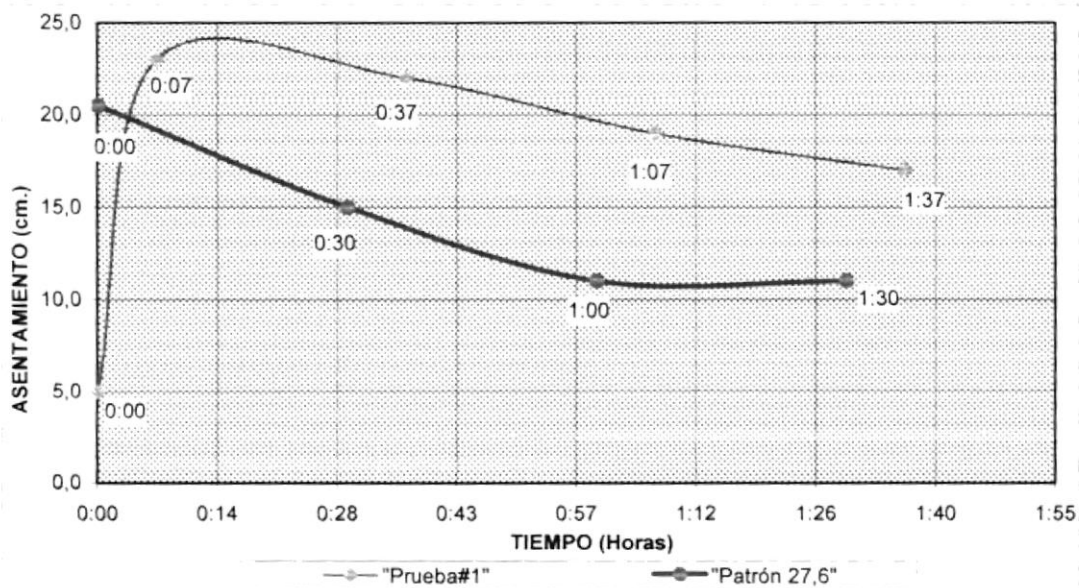
**FIGURA 4.23 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.13 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.630	35	2.8	16
Patrón	---			23	0.753	40	0.9	0



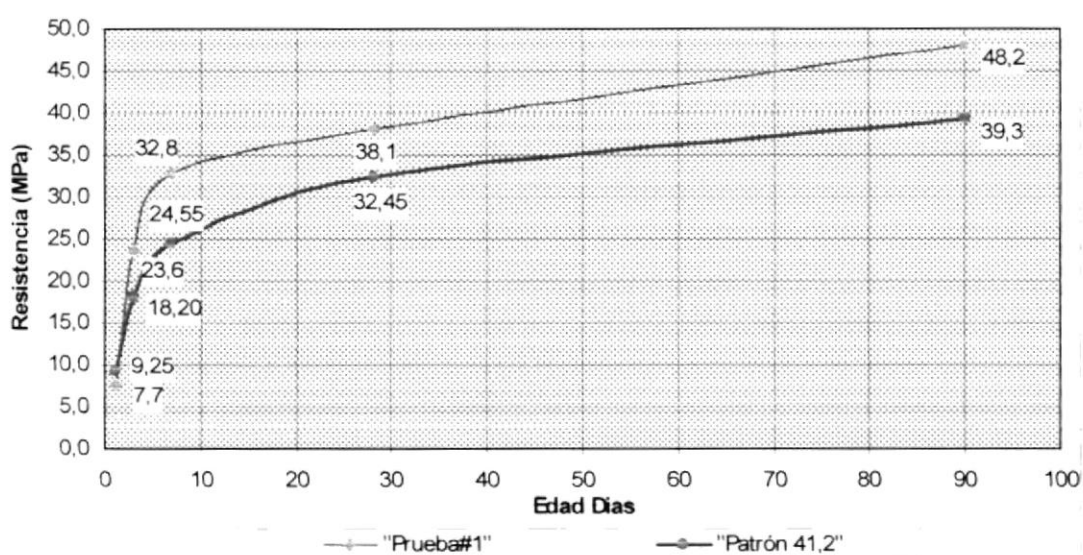
**FIGURA 4.24 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



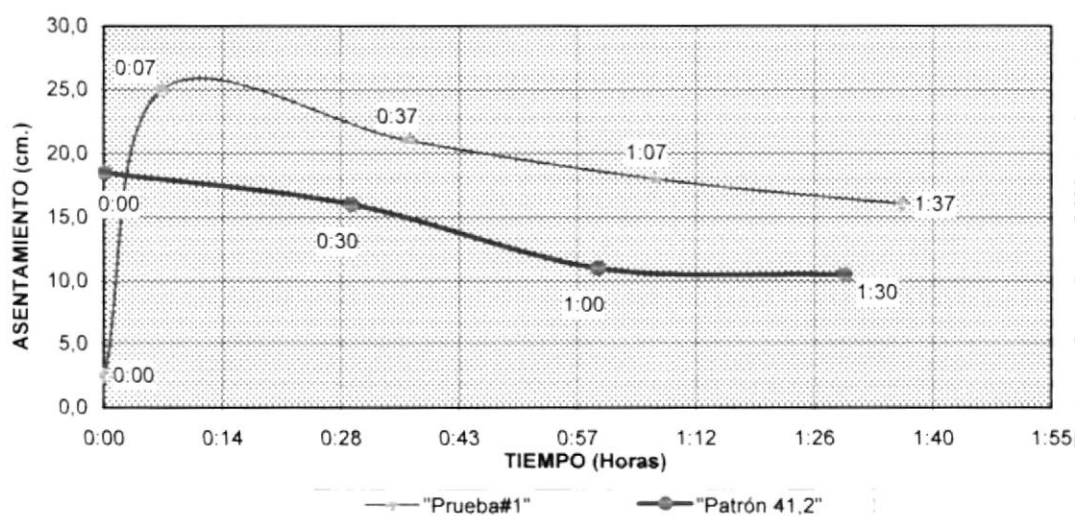
**FIGURA 4.25 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.14 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.451	35	2.3	22
Patrón	---			24	0.579	39	1.5	0



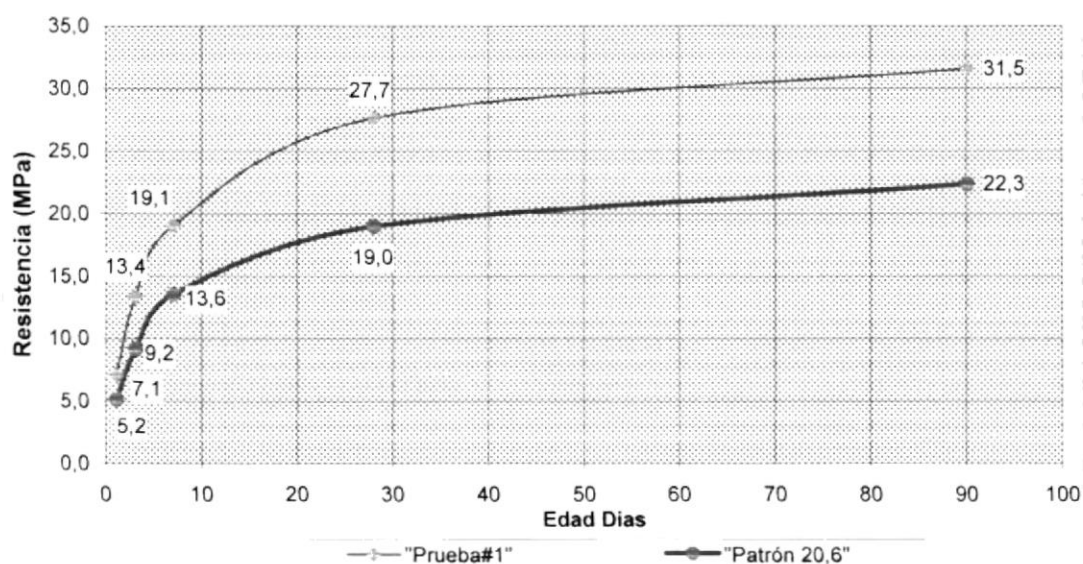
**FIGURA 4.26 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



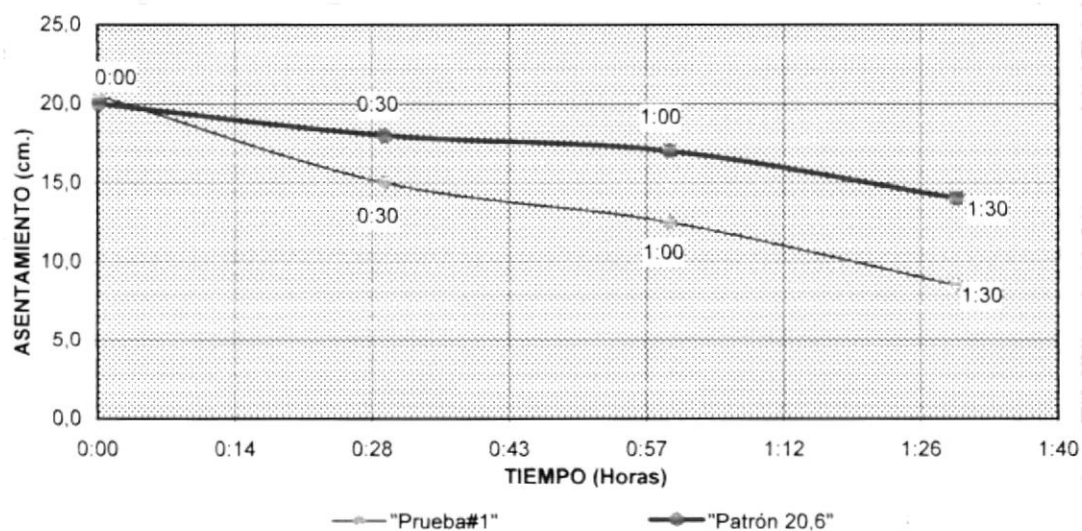
**FIGURA 4.27 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.15 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%) Pozzolith 200RP (0.3%)	22	0.646	39	2.3	24
Patrón	----	25	0.845	35	----	0



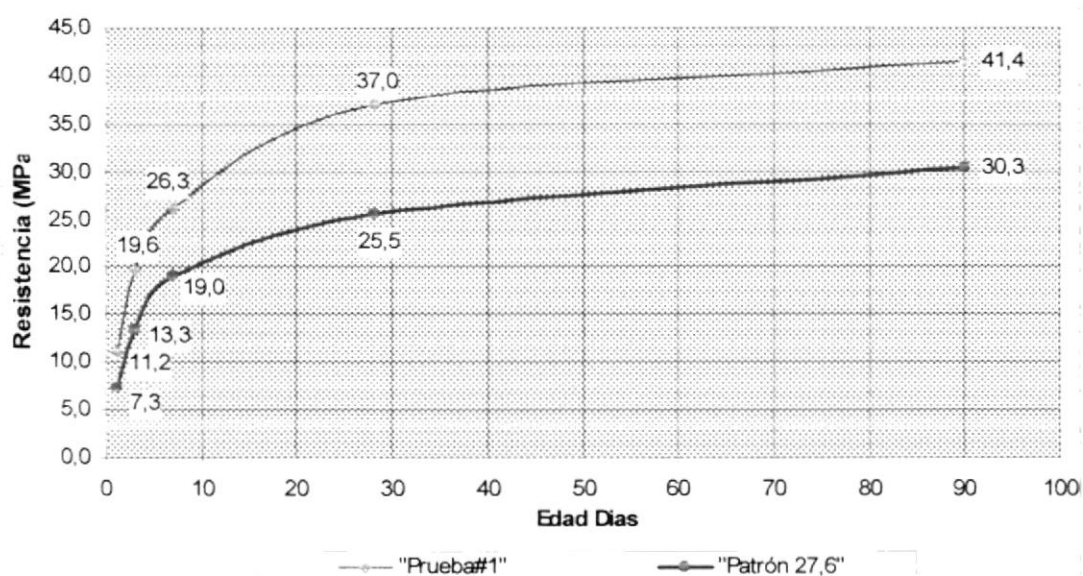
**FIGURA 4.28 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



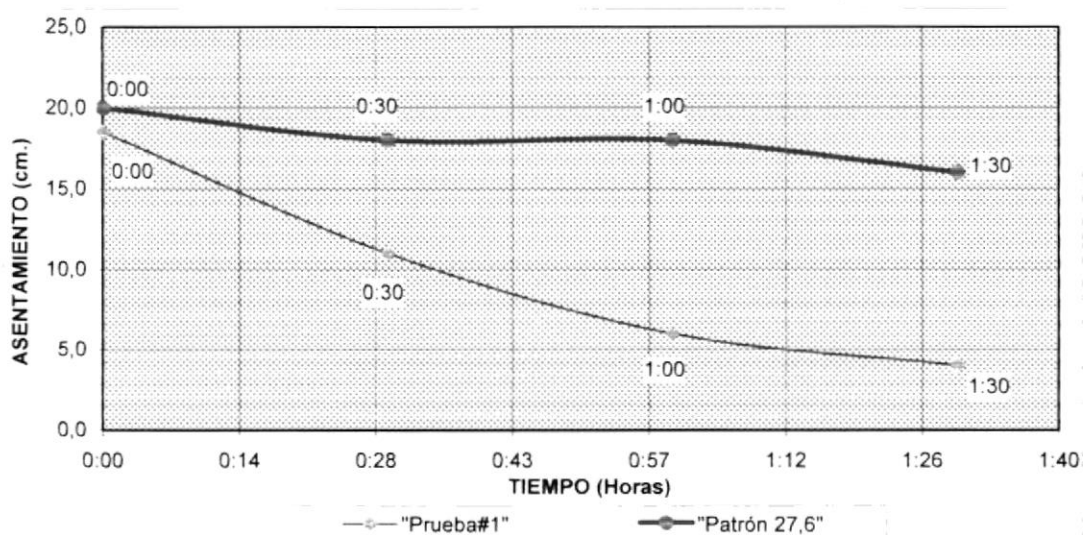
**FIGURA 4.29 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.16 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%) Pozzolith 200RP (0.3%)	22	0.543	40	2.6	24
Patrón	----	----	0.712	----	----	0



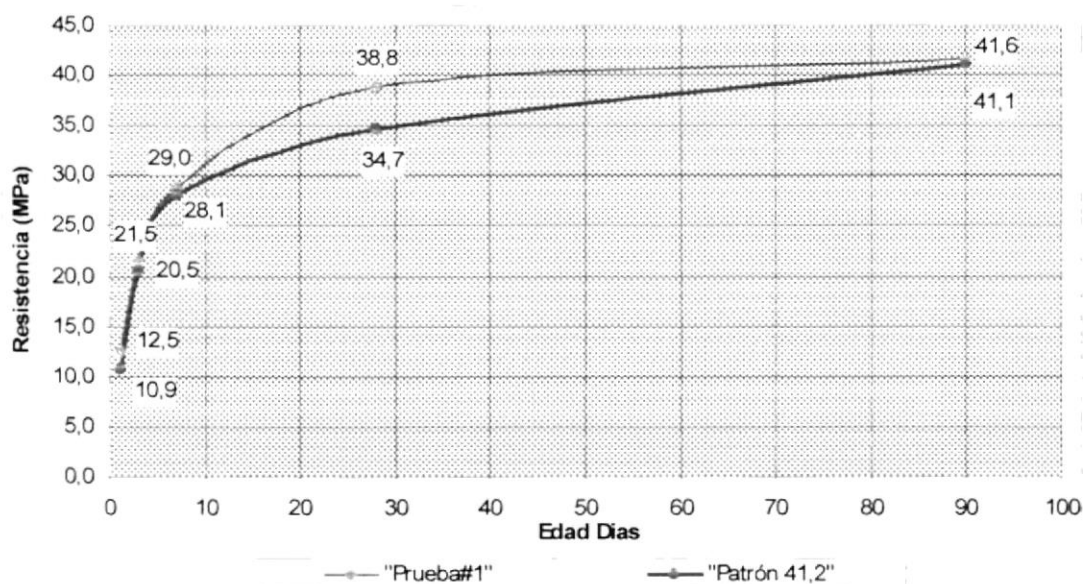
**FIGURA 4.30 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



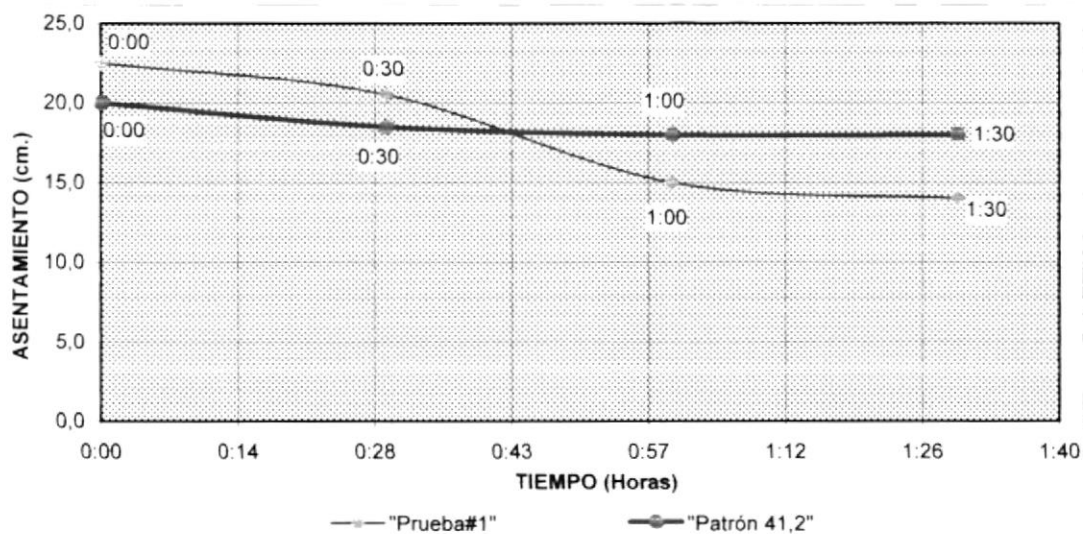
**FIGURA 4.31 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.17 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	23	0.476	36	2.2	20
Patrón	---		---	0.596	35	1.3	0



**FIGURA 4.32 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**

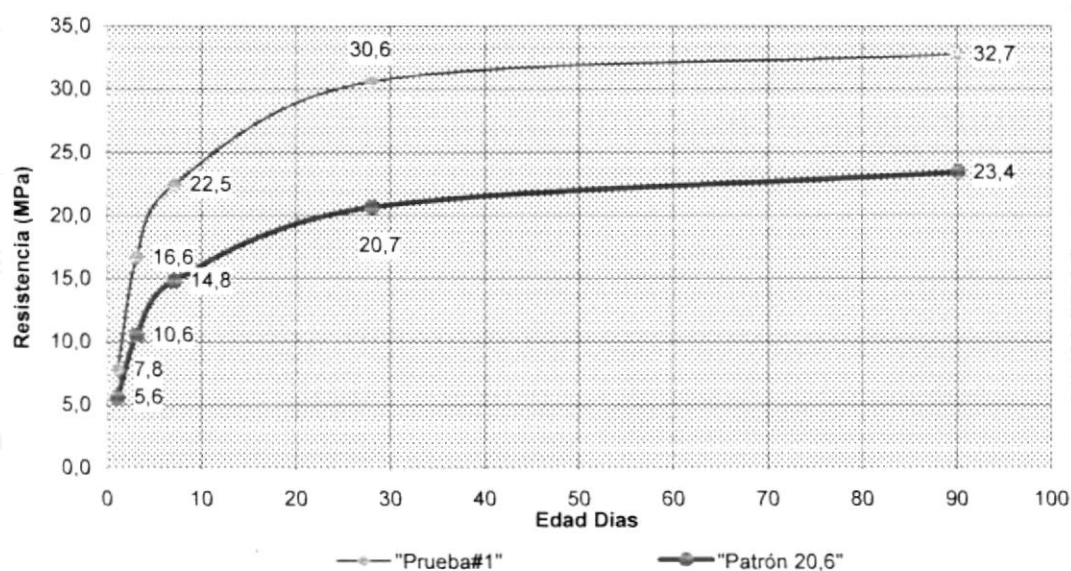


**FIGURA 4.33 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

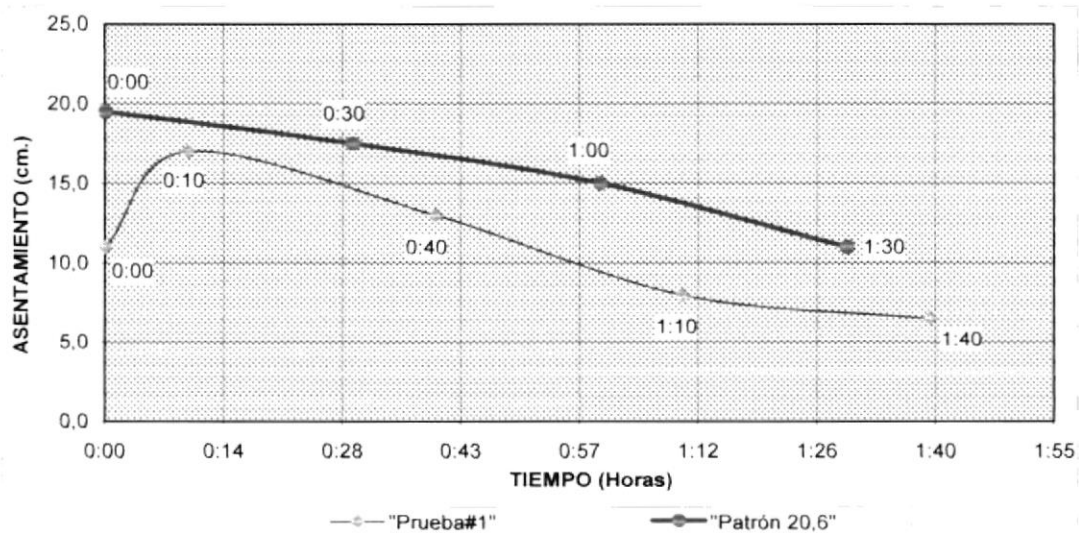


**TABLA 4.18 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fragado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%) Pozzolith 200RP (0.4%)	24	0.691	38	1.7	13
Patrón	----	24	0.791	48	1.6	0



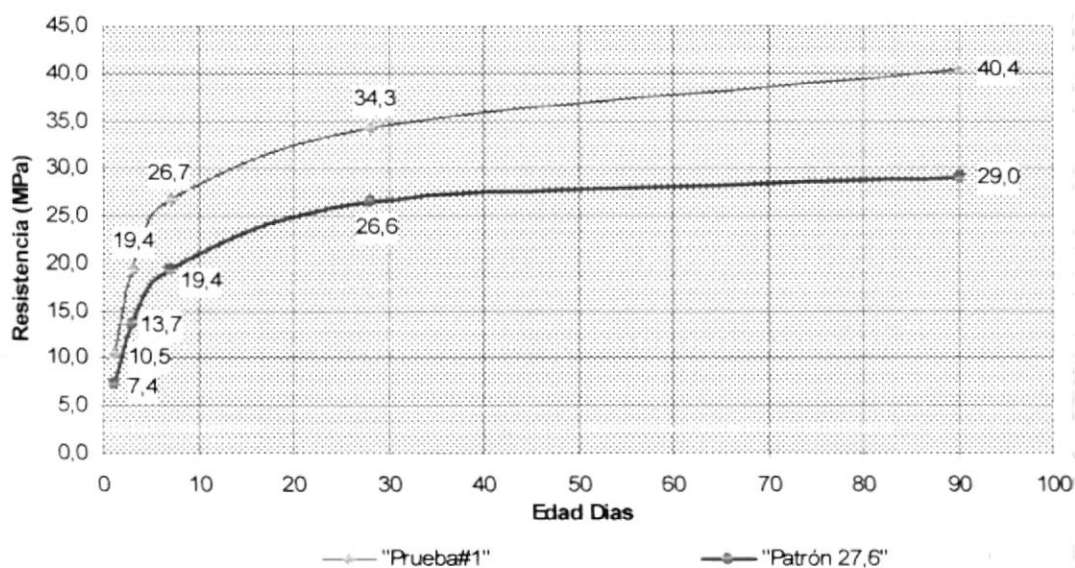
**FIGURA 4.34 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



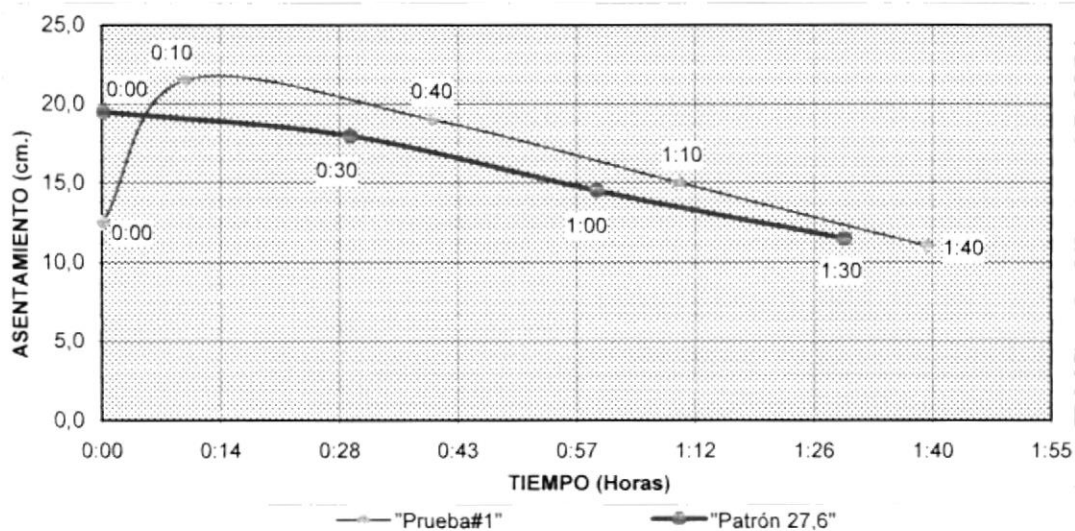
**FIGURA 4.35 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.19 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%)	Pozzolith 200RP (0.4%)	22	0.662	47	1.5	8
Patrón	---		23	0.722	50	1.4	0



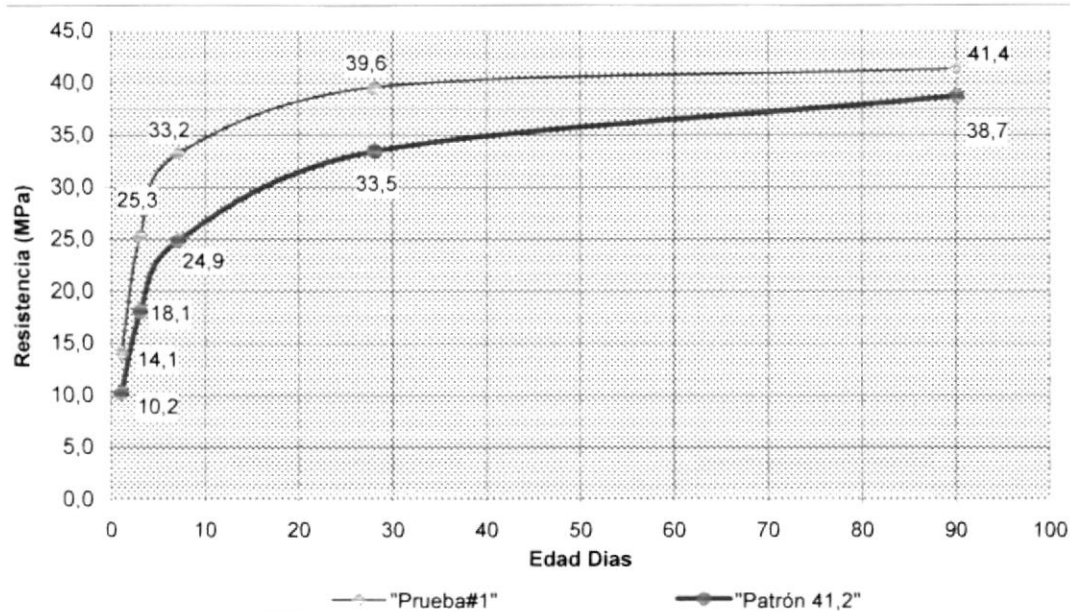
**FIGURA 4.36 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



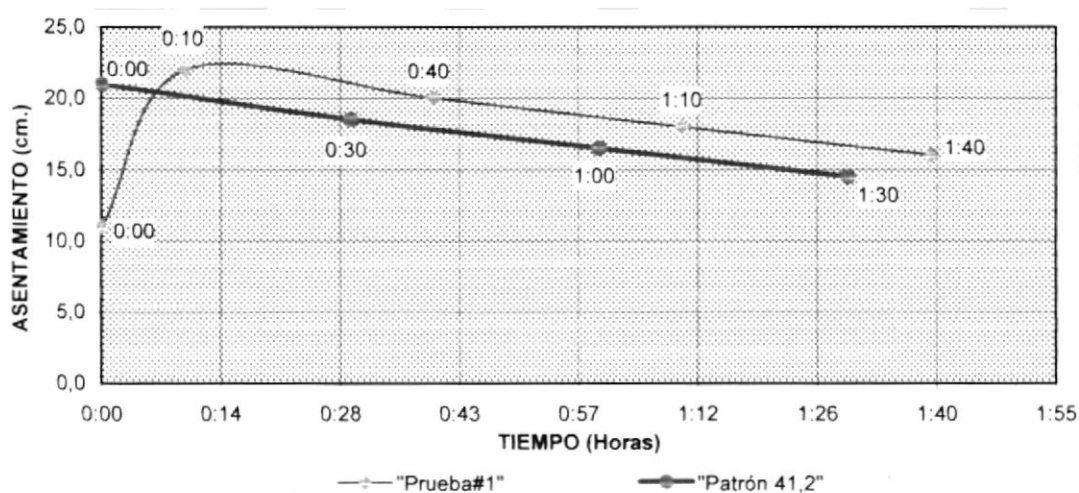
**FIGURA 4.37 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.20 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%) Pozzolith 200RP (0.4%)	20	0.527	28	1.6	12
Patrón	---	24	0.598	42	0.9	0



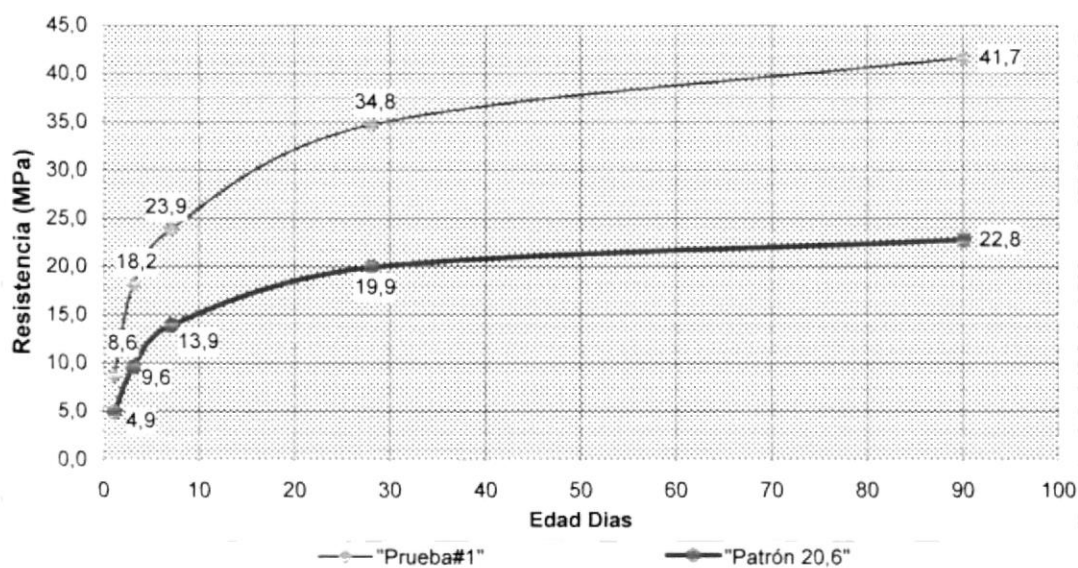
**FIGURA 4.38 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



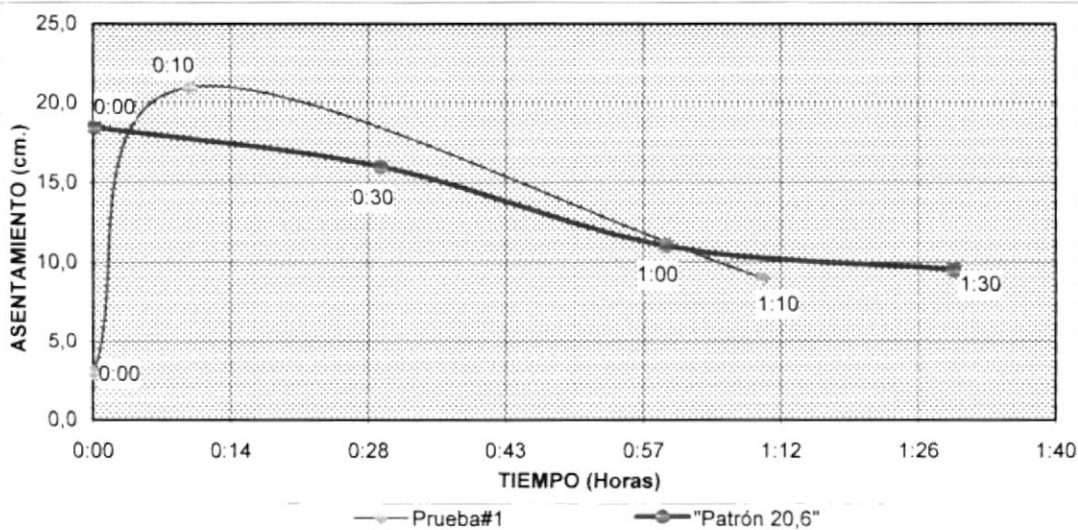
**FIGURA 4.39 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.21 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.626	59	2.8	22
Patrón	----		24	0.801	34	1.8	0



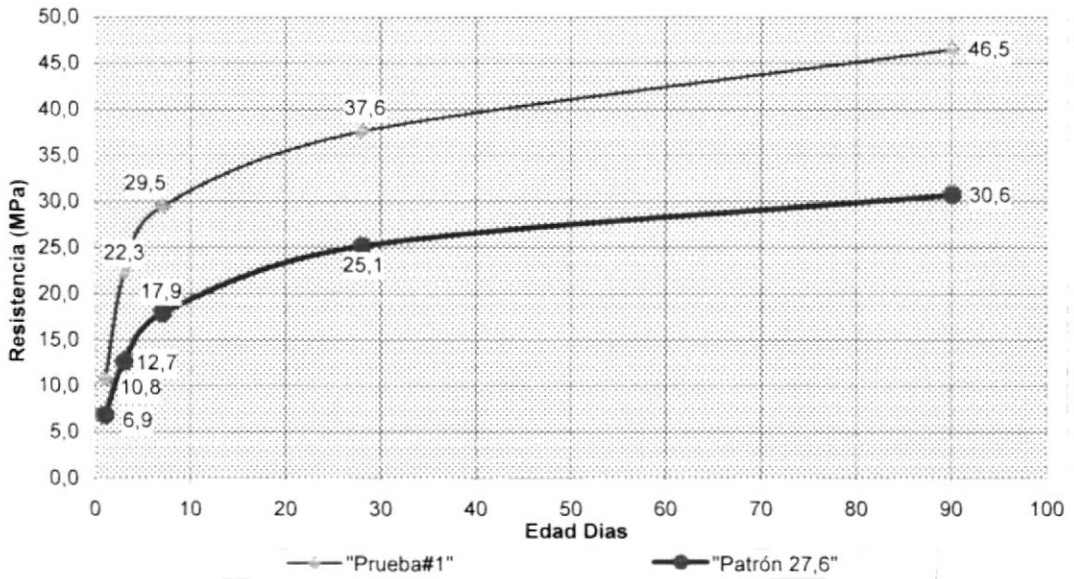
**FIGURA 4.40 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



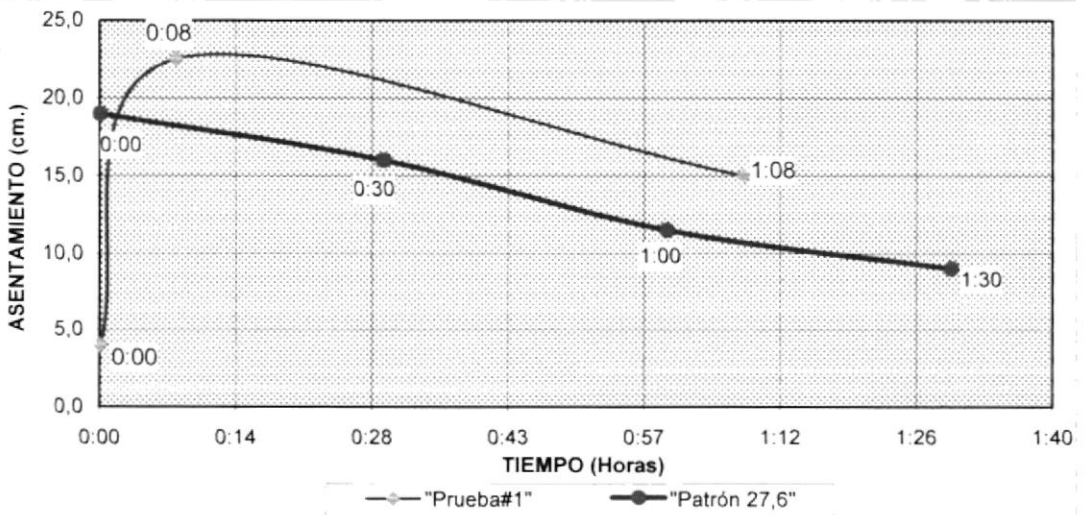
**FIGURA 4.41 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.22 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.607	65	2.9	14
Patrón	---		23	0.706	34	1.5	0



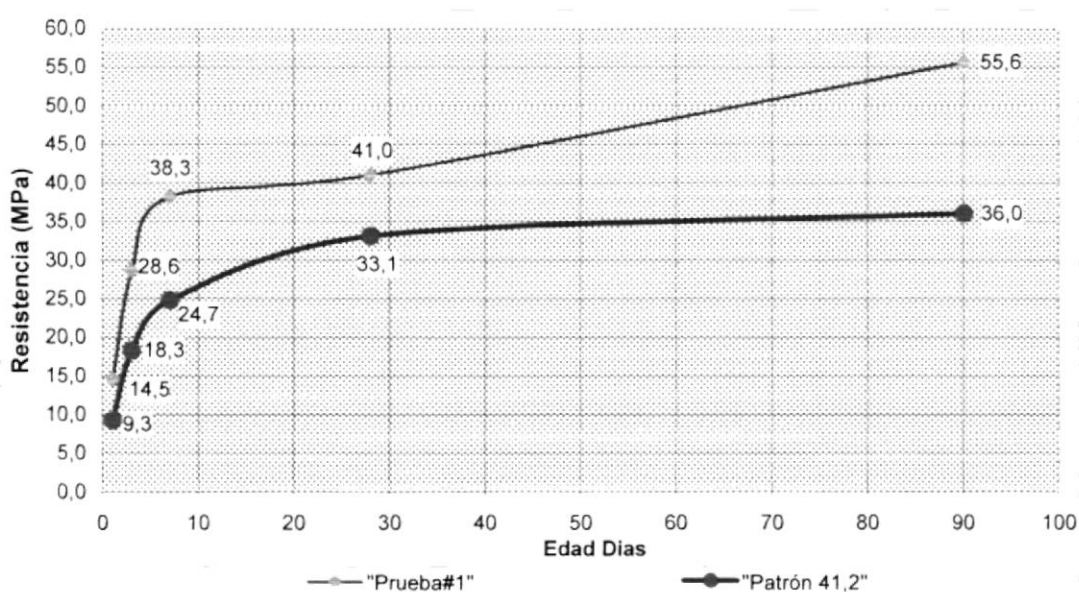
**FIGURA 4.42 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



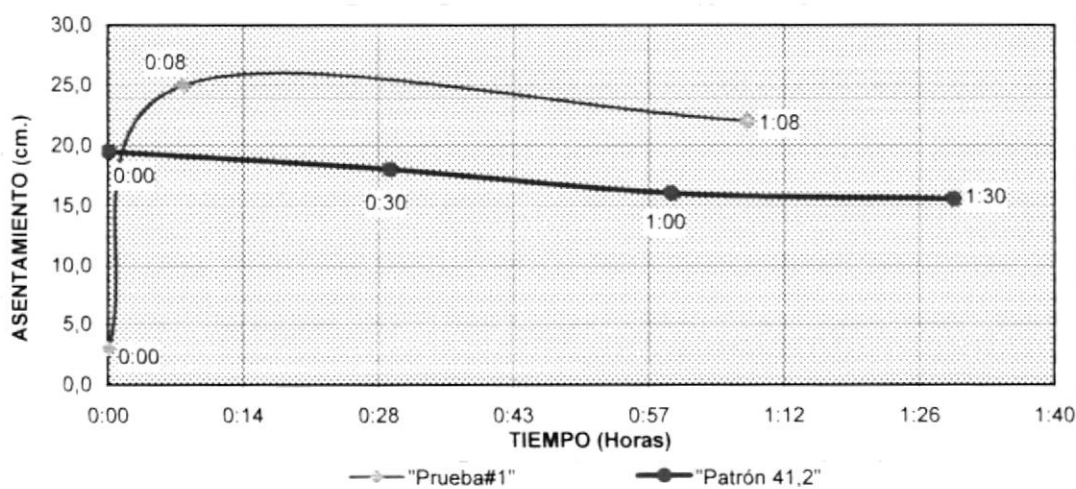
**FIGURA 4.43 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.23 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Y13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)					
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	26	0.419	65	3.7	24
Patrón	----		23	0.551	31	1.5	0



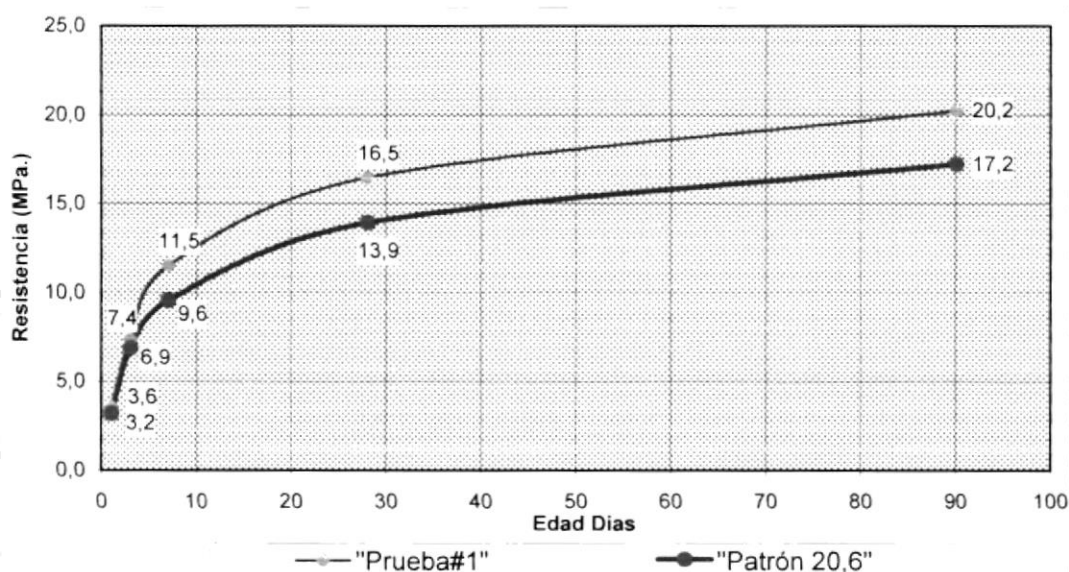
**FIGURA 4.44 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



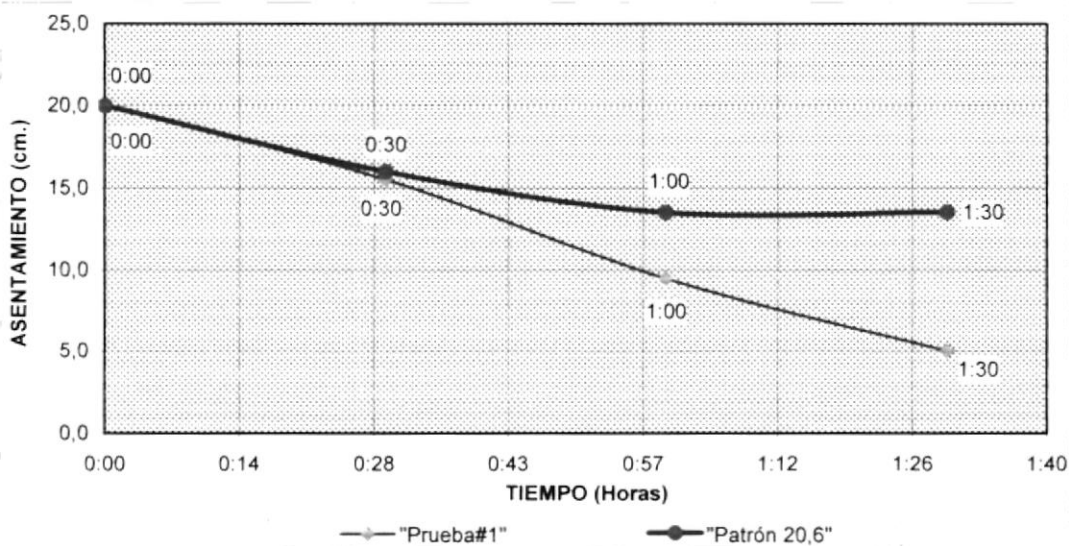
**FIGURA 4.45 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.24 Desarrollo de Resistencias y pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	23	0.893	51	2.3	9
Patrón	----		----	0.977	34	1.5	0



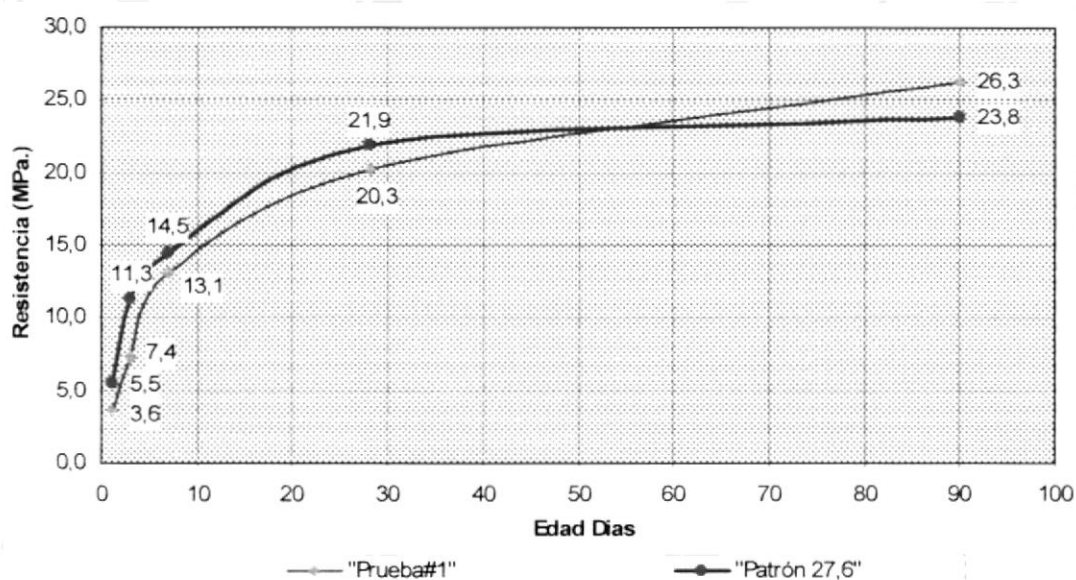
**FIGURA 4.46 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



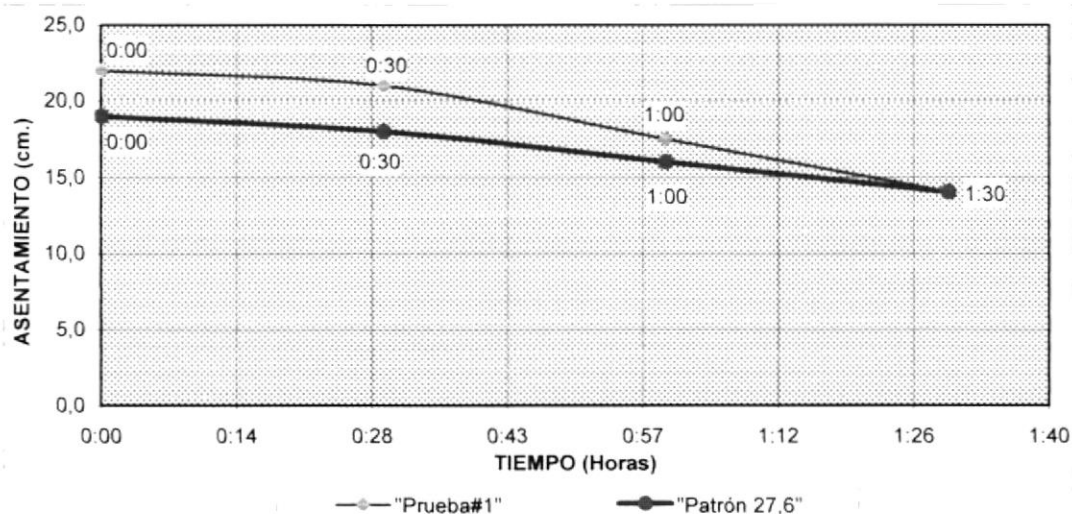
**FIGURA 4.47 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.25 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	23	0.731	36	1.3	1
Patrón	----		----	0.740	39	1.6	0



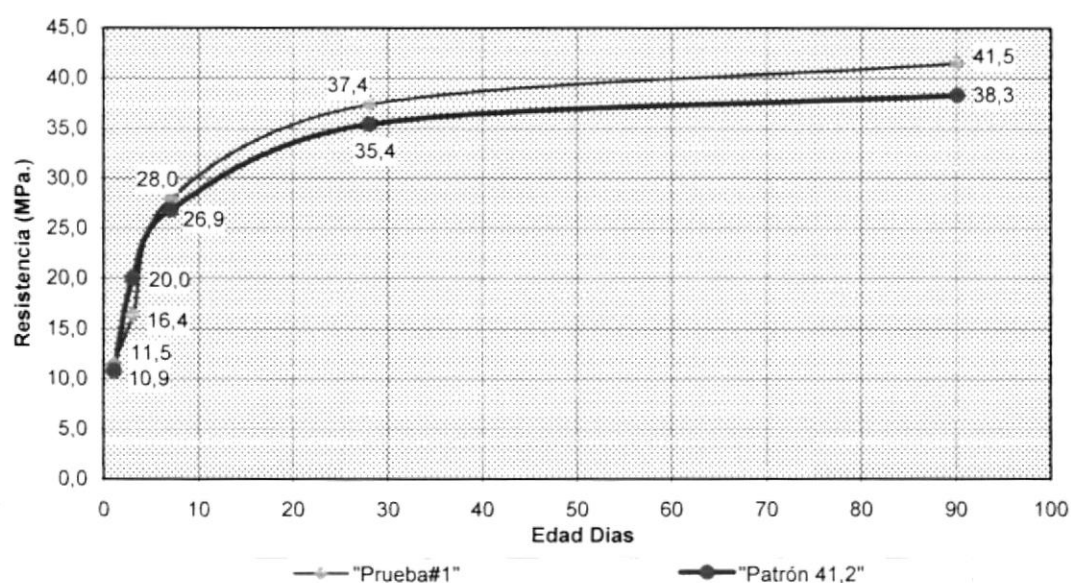
**FIGURA 4.48 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



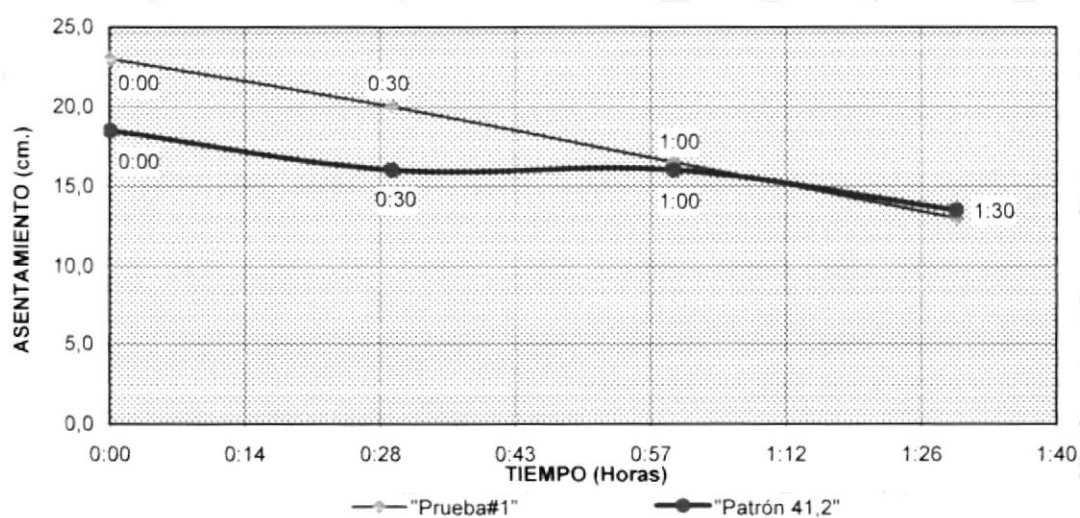
**FIGURA 4.49 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.26 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.3%)	24	0.554	45	0.8	7
Patrón	----		----	0.598	40	1.7	0



**FIGURA 4.50 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**

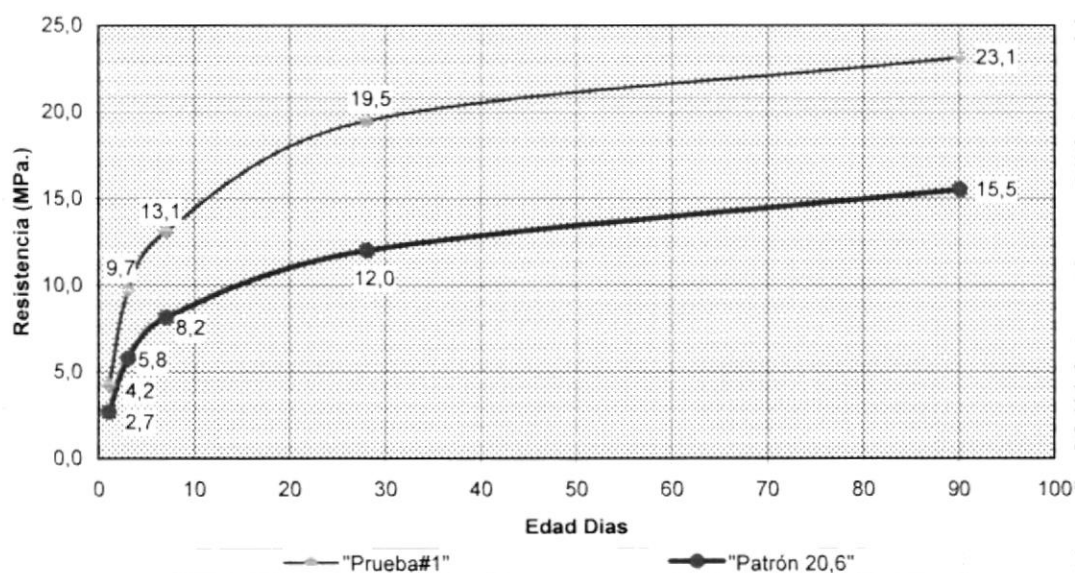


**FIGURA 4.51 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

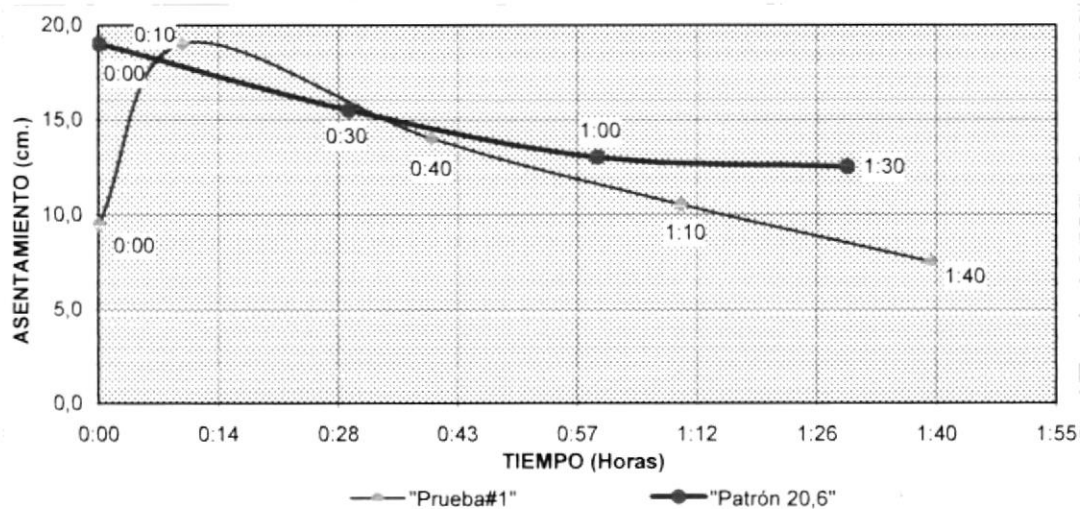


**TABLA 4.27 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%)	Pozzolith 200RP (0.4%)	21	0.928	30	2.5	15
Patrón	---		25	1.095	50	1.6	0



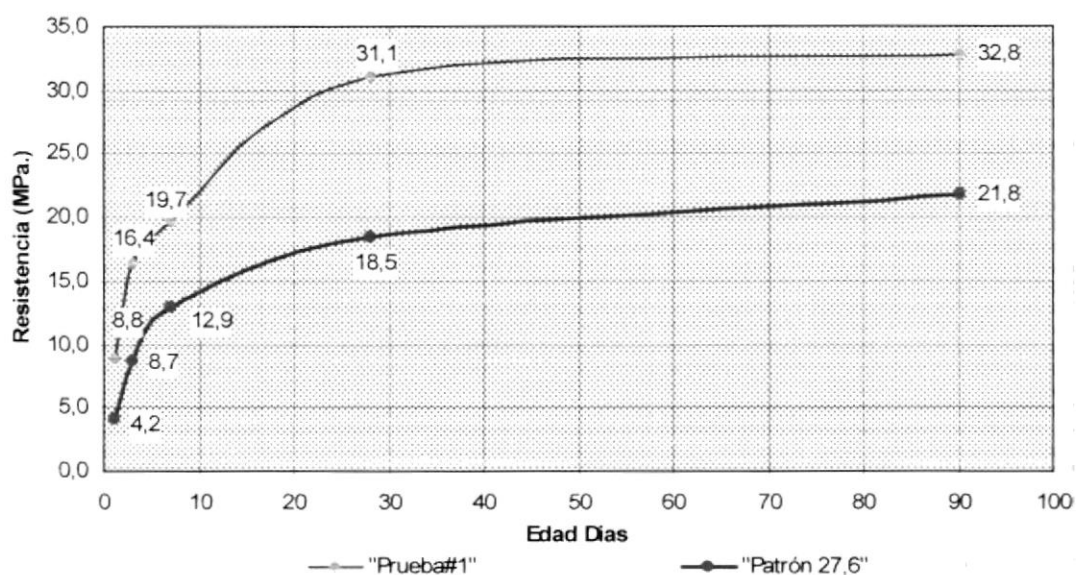
**FIGURA 4.52 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



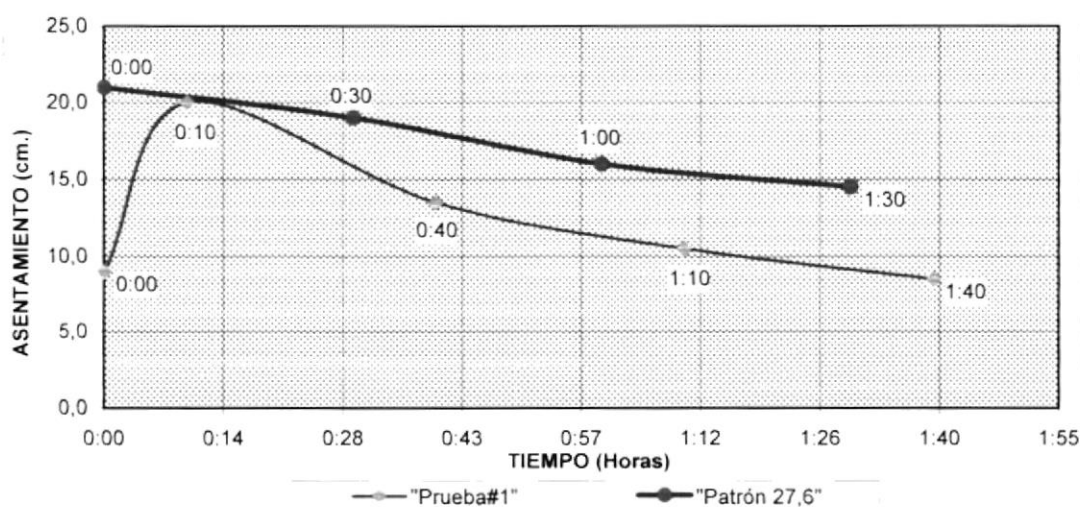
**FIGURA 4.53 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.28 Desarrollo de Resistencias y pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%)	Pozzolith 200RP (0.4%)	21	0.737	42	2.1	18
Patrón	----		24	0.898	47	1.1	0



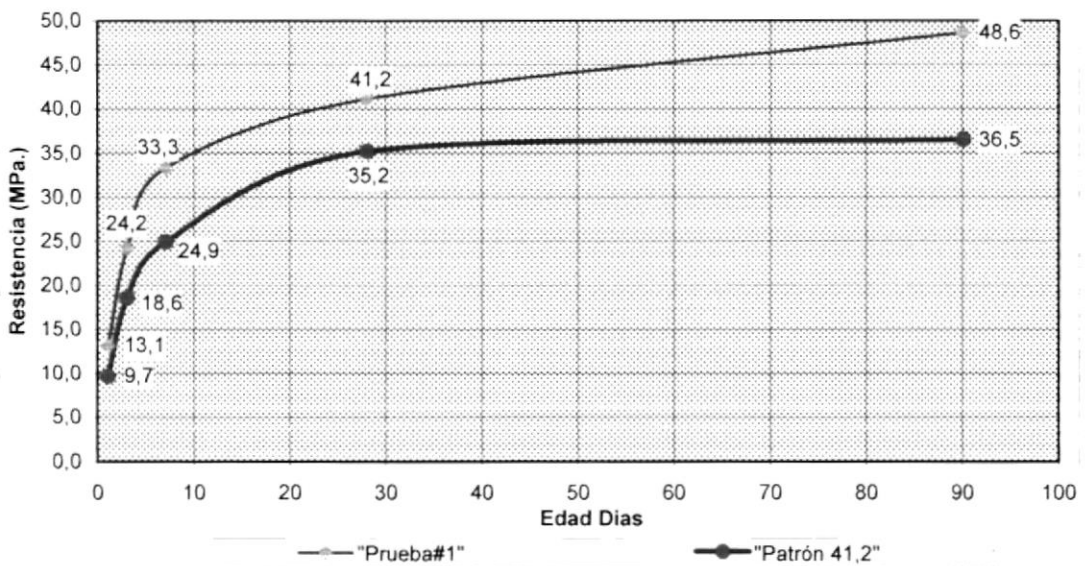
**FIGURA 4.54 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



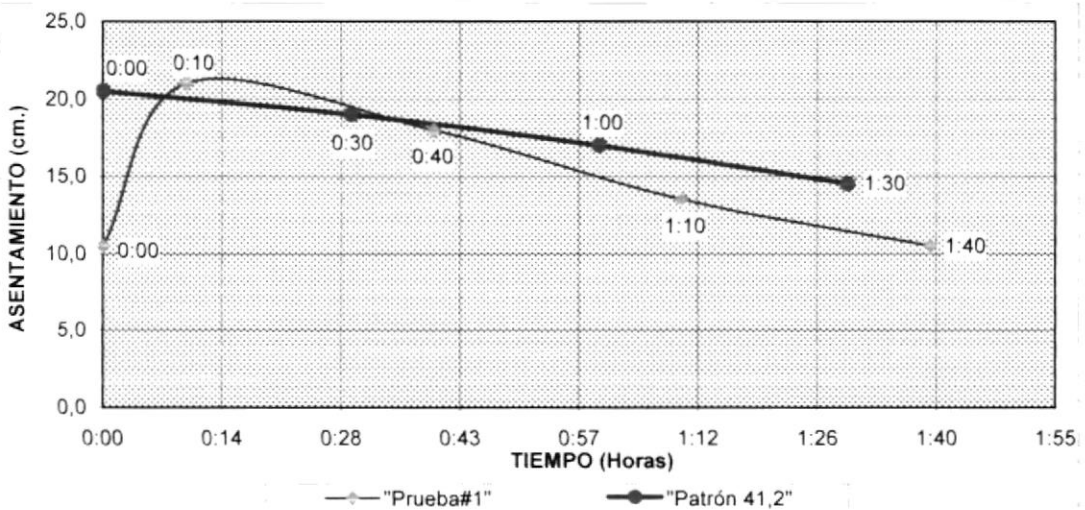
**FIGURA 4.55 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.29 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos, superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (0.7%)	Pozzolith 200RP (0.4%)	22	0.552	30	1.7	15
Patrón	---		24	0.647	34	0.8	0



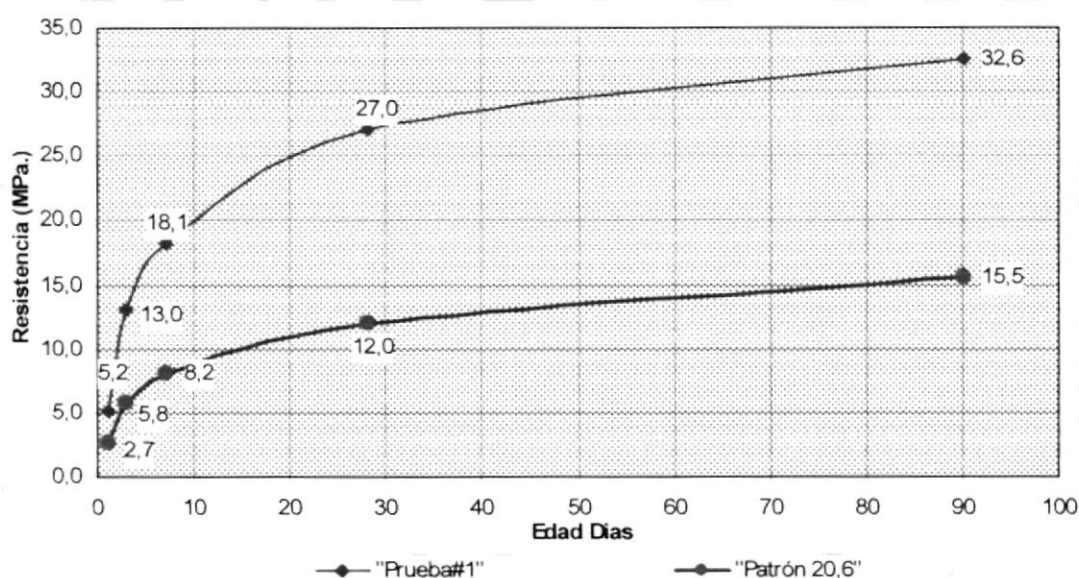
**FIGURA 4.56 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



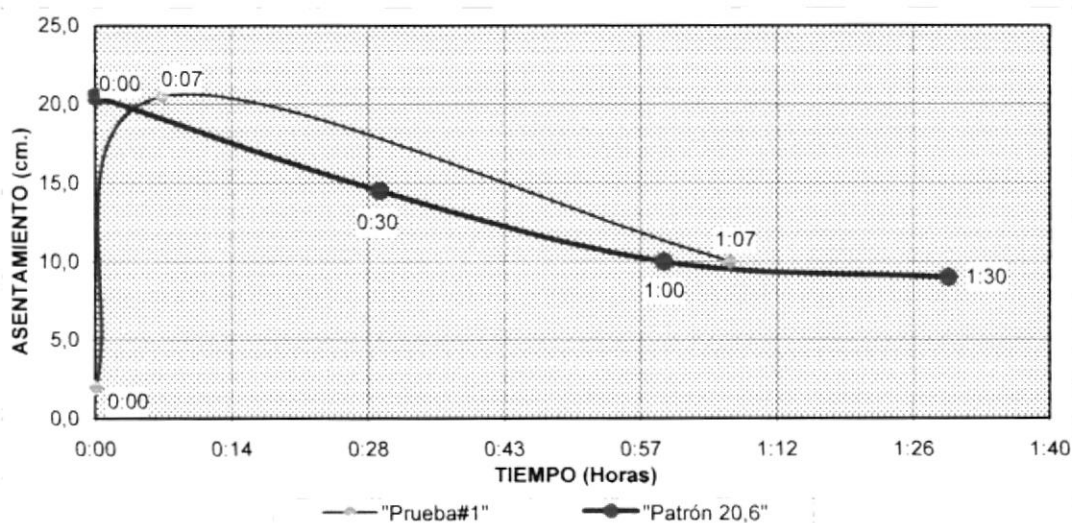
**FIGURA 4.57 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.30 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.5%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.471	76	---	52
Patrón	---		24	0.983	33	1.9	0



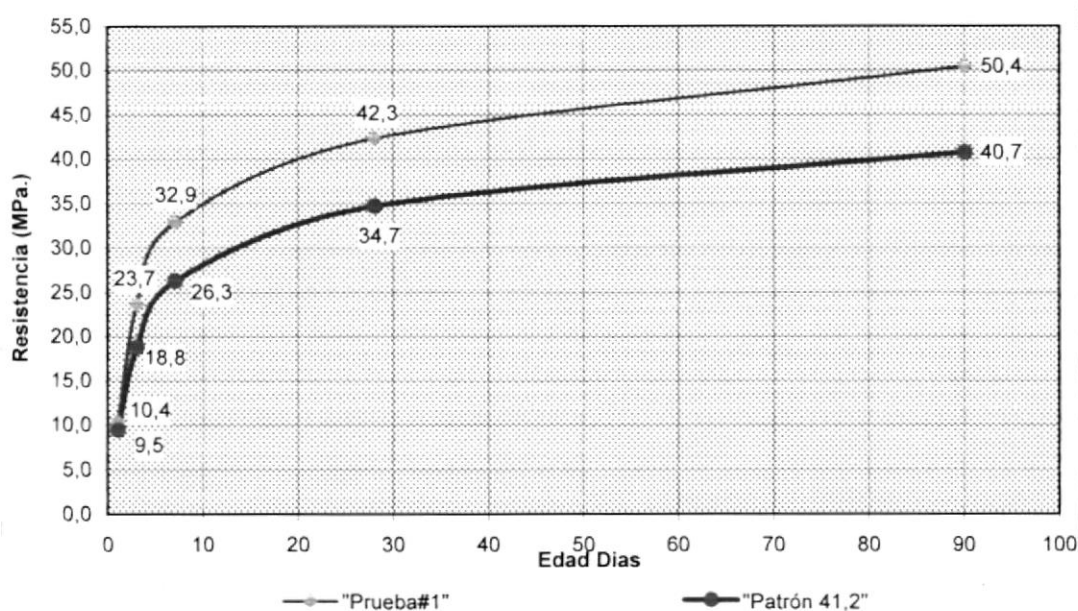
**FIGURA 4.58 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



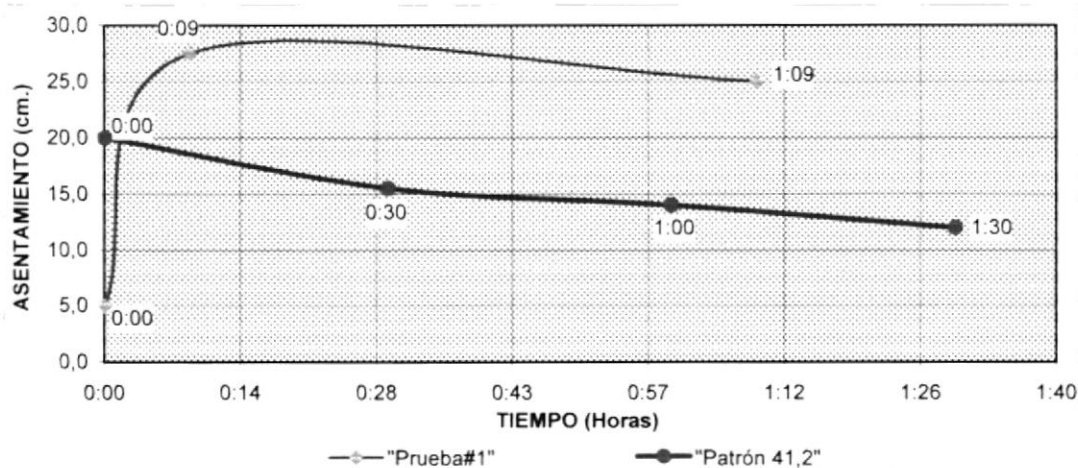
**FIGURA 4.59 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.31 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.5%)	Delvo Estl. (0.4%)	26	0.506	62	2.0	19
Patrón	----		25	0.622	29	1.8	0



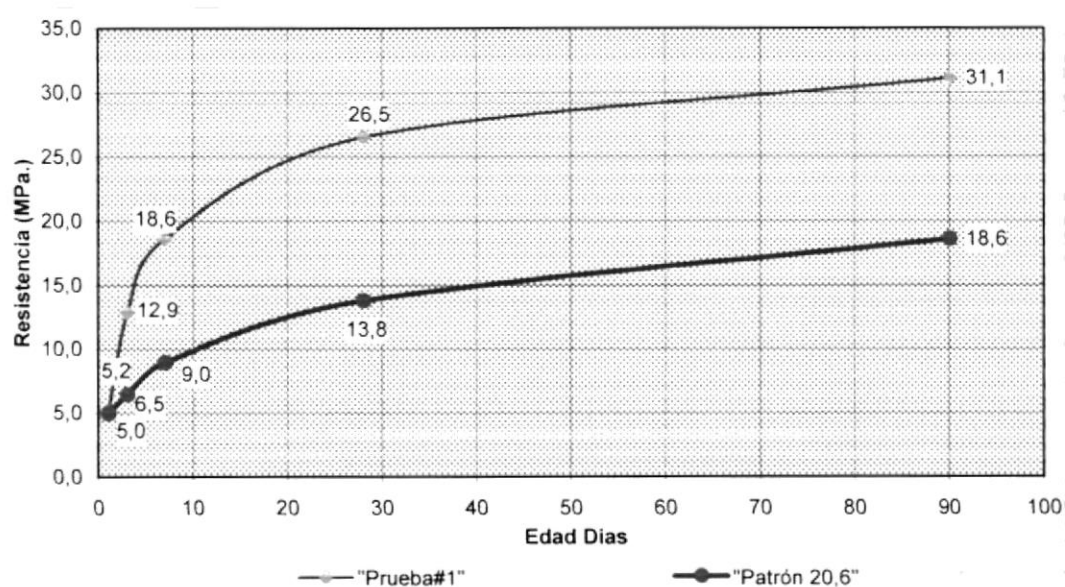
**FIGURA 4.60 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



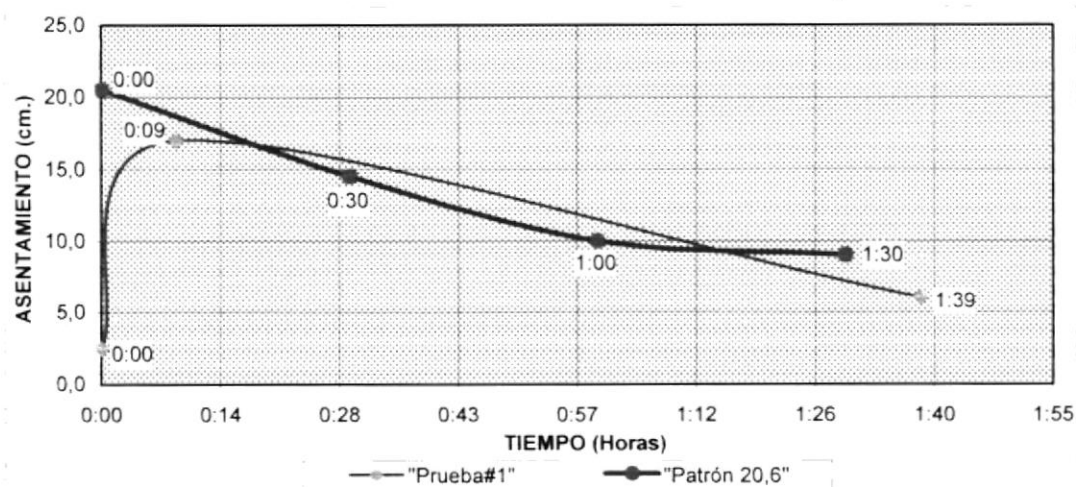
**FIGURA 4.61 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.32 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 20.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.470	72	4.5	52
Patrón	---		24	0.983	33	1.9	0



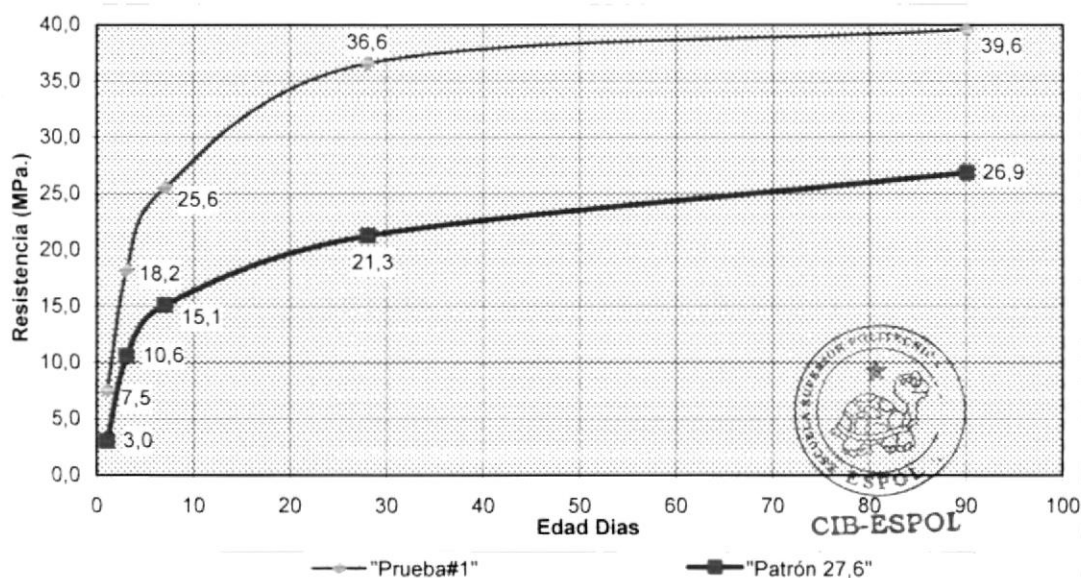
**FIGURA 4.62 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



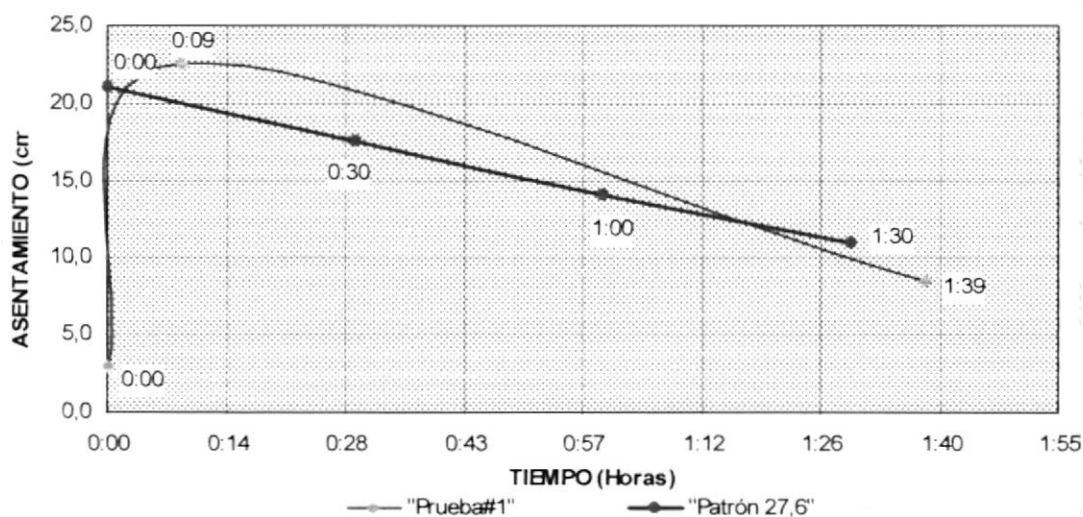
**FIGURA 4.63 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.33 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento, diseño Z13, hormigón 27.6 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.480	66	4.0	40
Patrón	----		24	0.802	33	1.8	0



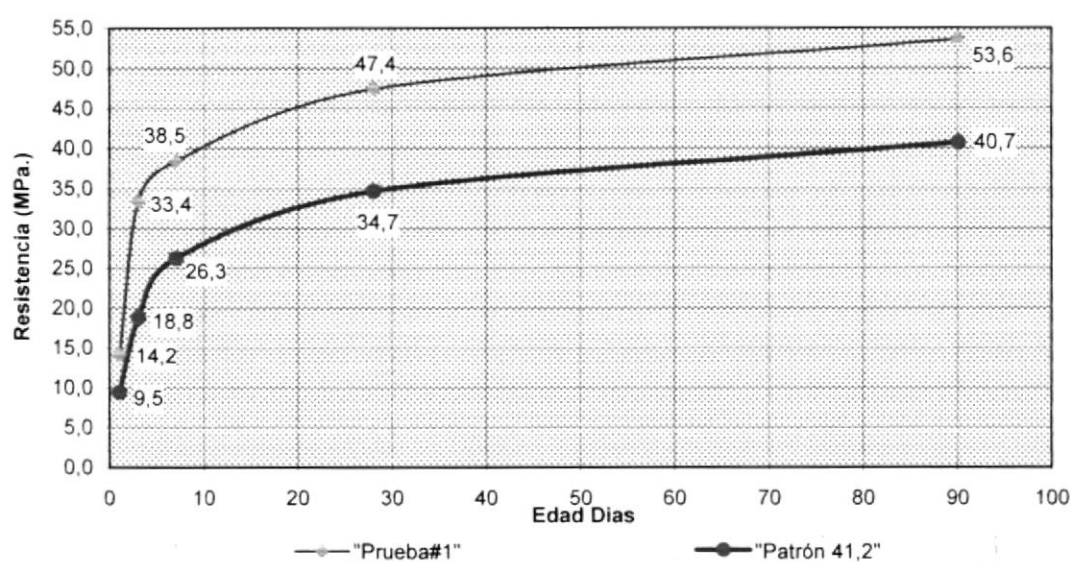
**FIGURA 4.64 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**



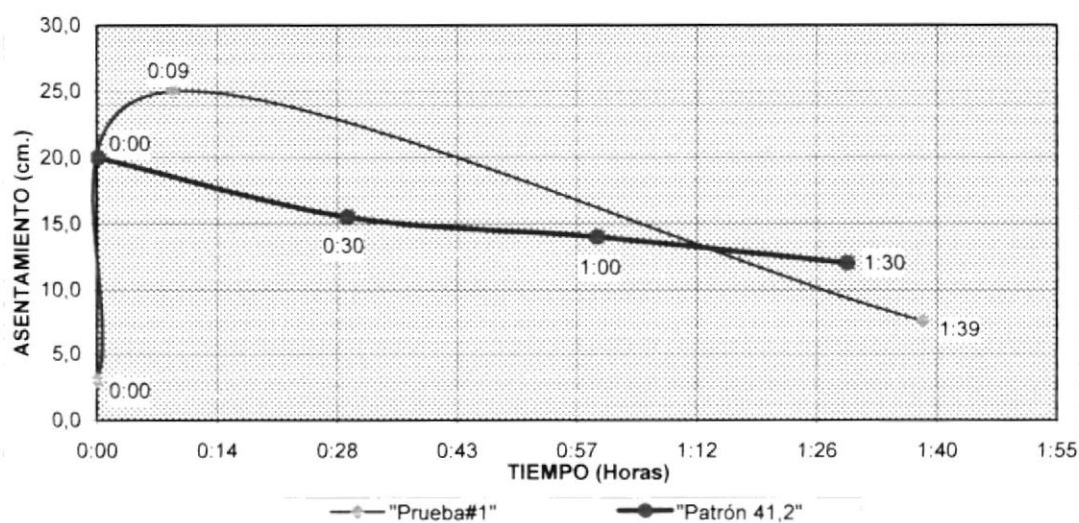
**FIGURA 4.65 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

**TABLA 4.34 Desarrollo de Resistencias y Pérdida de Asentamiento diseño Z13, hormigón 41.2 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	26	0.486	59	3.0	22
Patrón	---		25	0.622	29	1.8	0



**FIGURA 4.66 Curvas de Resistencia vs. Tiempo**

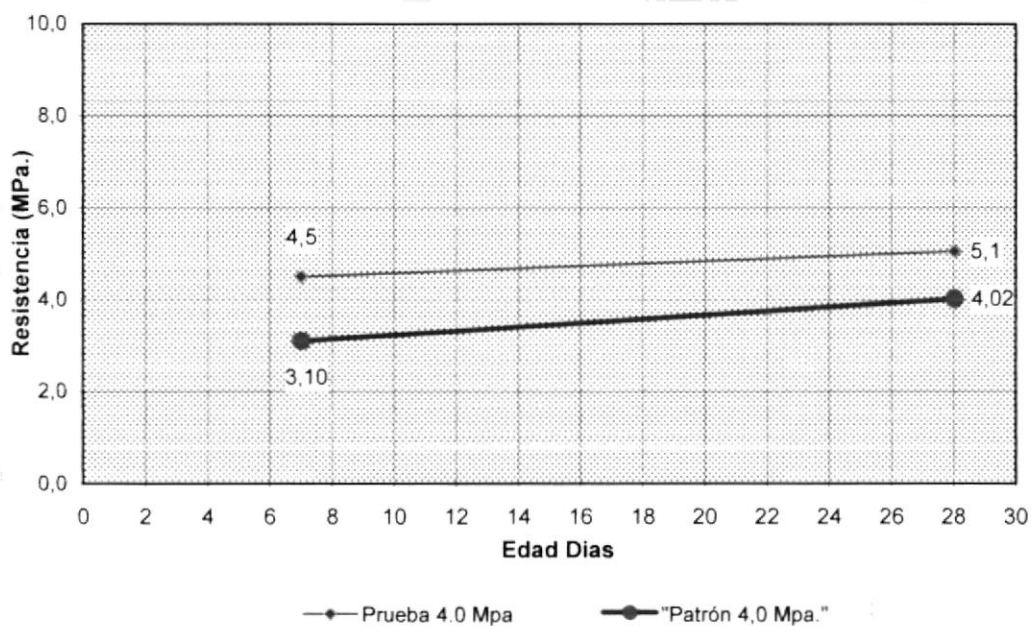


**FIGURA 4.67 Curvas de Pérdida de Asentamiento vs. Tiempo**

## 4.2 Resultados del Ensayo a Flexión a los 7 y 28 días (ASTM C 78-02).

**TABLA 4.35 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

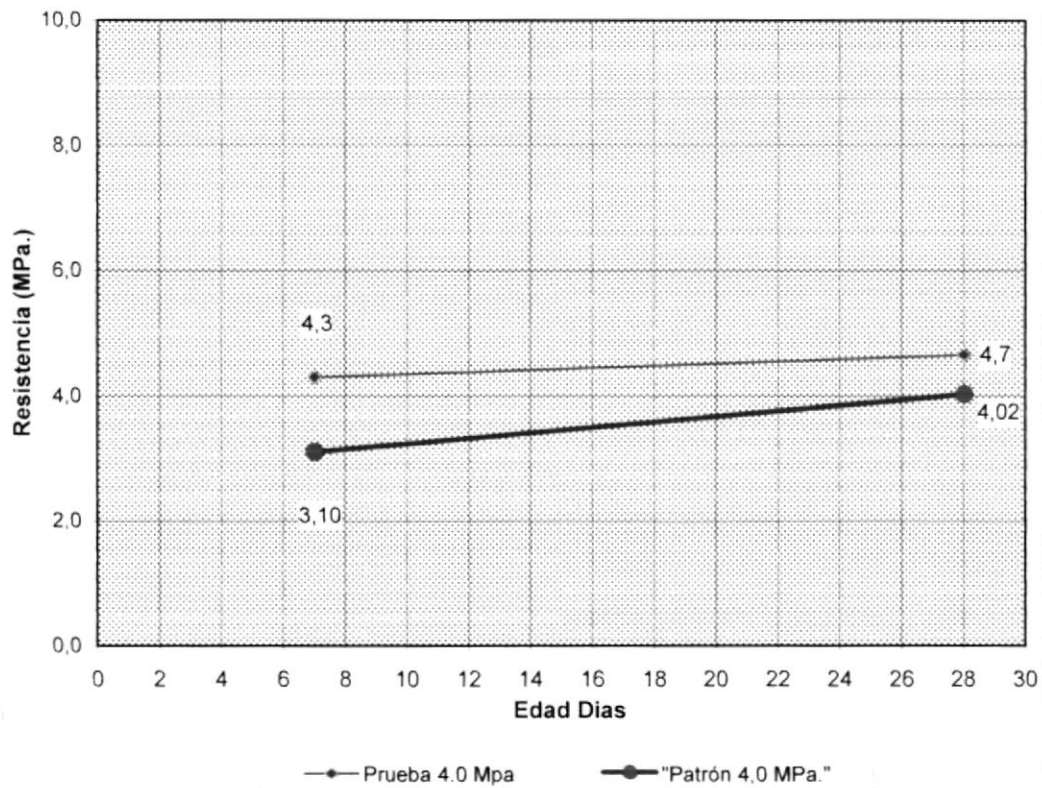
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.444	38	2.5	39
Patrón	---			24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.68 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.36 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

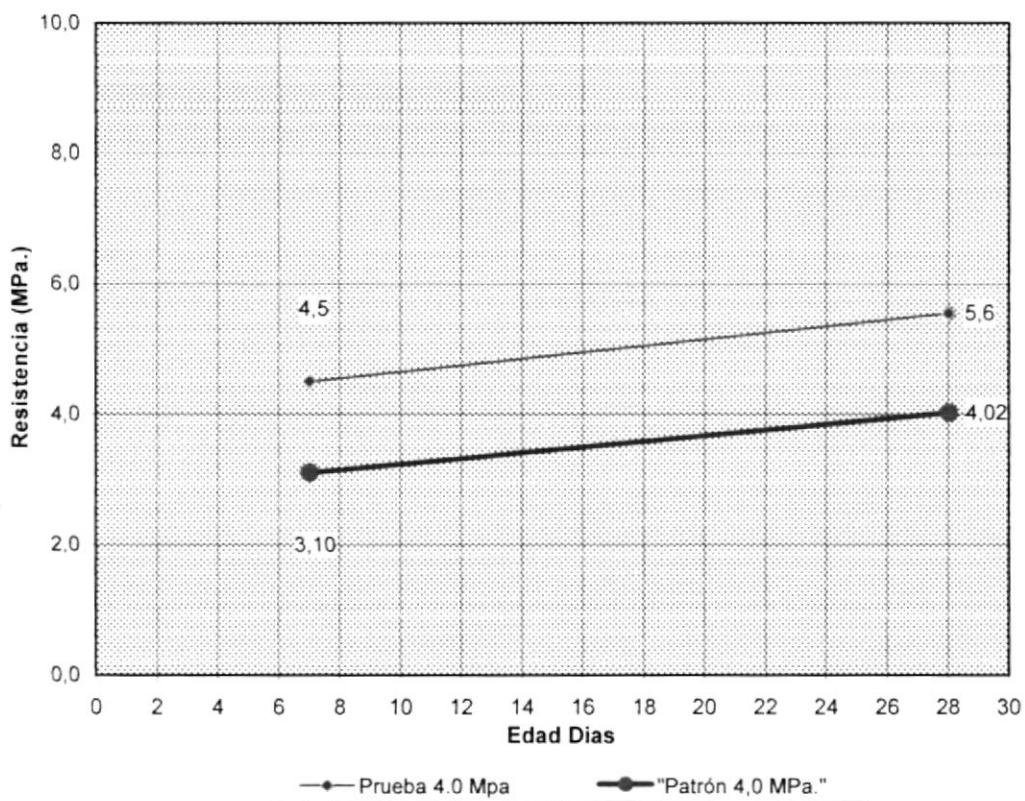
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete 10 (1.0%)	Sika Retarder (0.4%)	24	0.333	28	1.8	54
Patrón	---		24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.69 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.37 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con un solo tipo de aditivo; superplastificante**

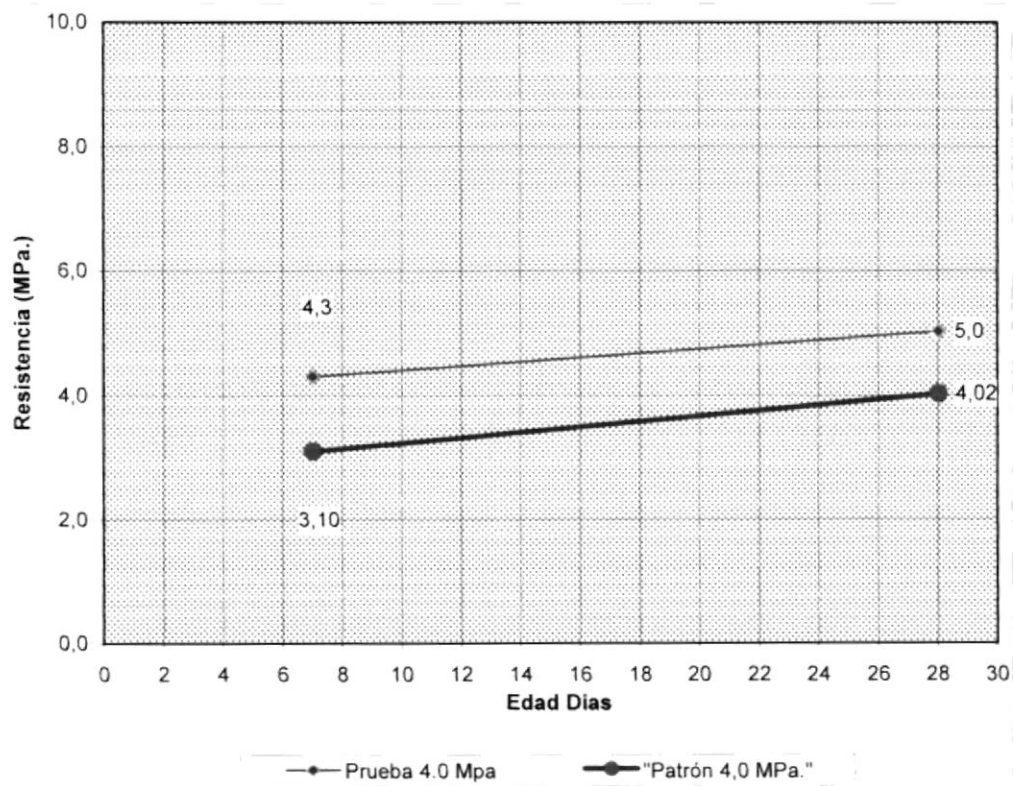
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento	Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete 10 (1.5%)	25	0.473	33	2.3	35
Patrón	---	24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.70 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.38 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos: superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

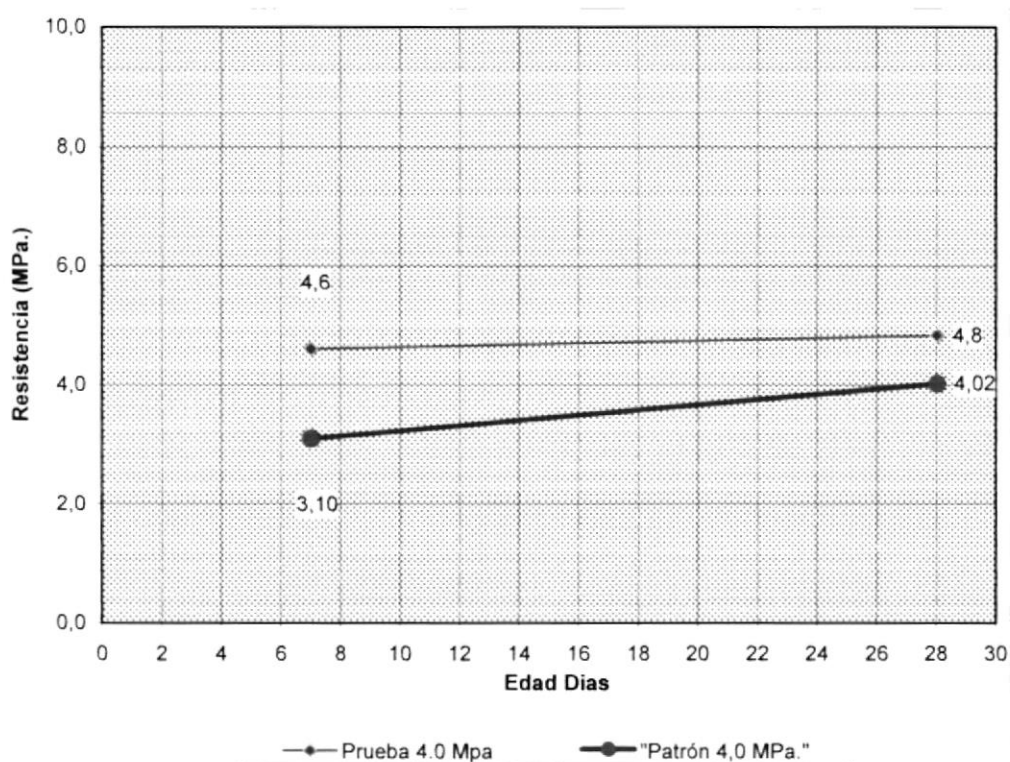
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.2%)	MBVR (0.05%)	24	0.475	52	3.6	35
Patrón	---			24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.71 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.39 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos: superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

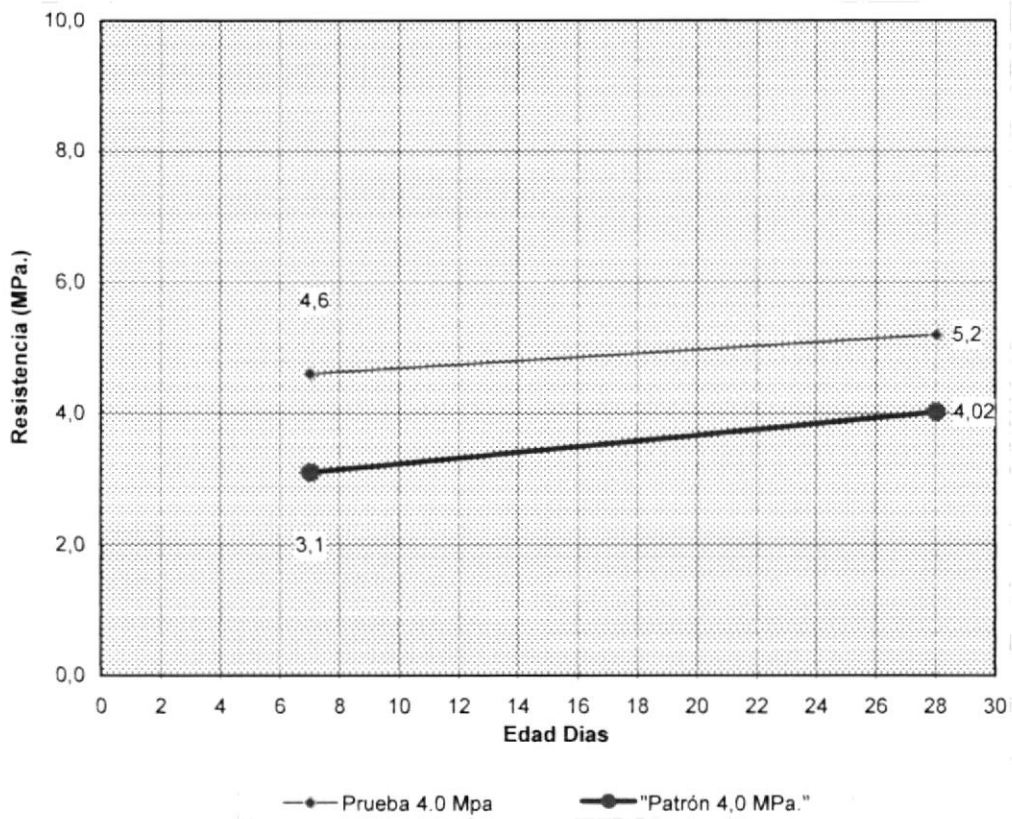
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.2%)	MBVR (0.05%)	25	0.525	46	3.2	28
Patrón	---			24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.72 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.40 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos superplastificante e incorporador de aire**

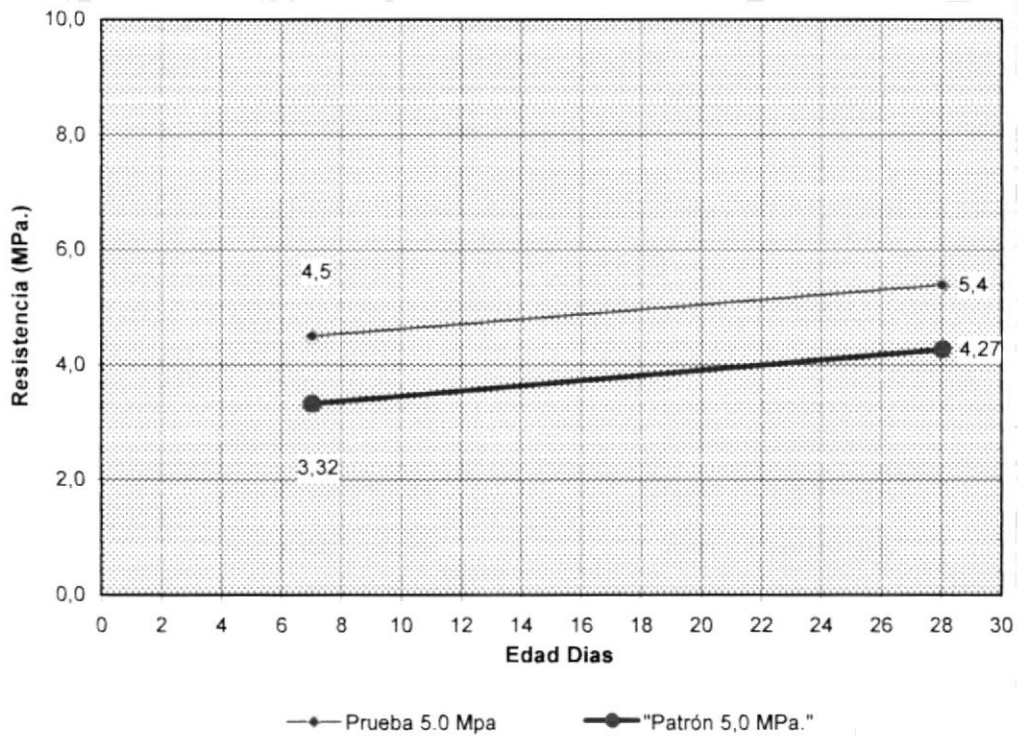
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Glenium (0.6%)	MBVR (0.05%)					
1	Glenium (0.6%)	MBVR (0.05%)	23	0.444	50	7.2	39
Patrón	----		24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.73 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.41 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

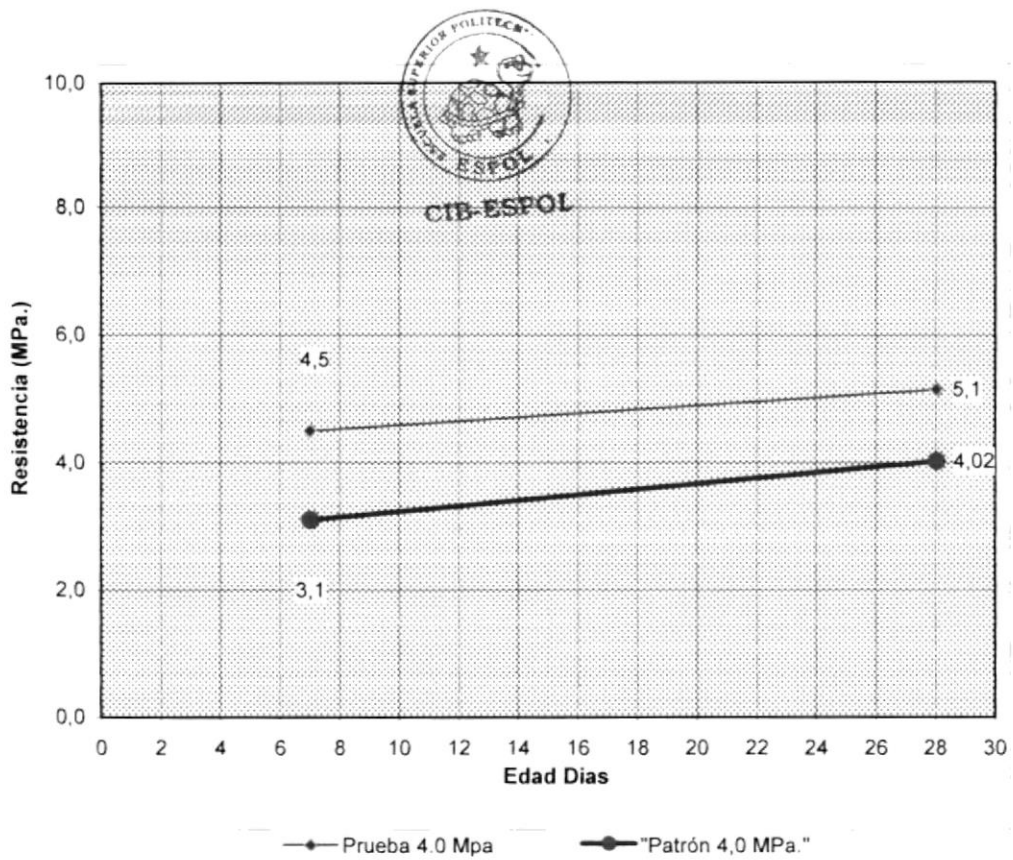
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.2%)	MBVR (0.05%)					
1	Glenium (1.0%)	Pozzolith 200RP (0.2%)	MBVR (0.05%)	23	0.471	45	3.8	27
Patrón	---			22	0.645	36	1.7	0



**FIGURA 4.74 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.42 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 4.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante e incorporador de aire**

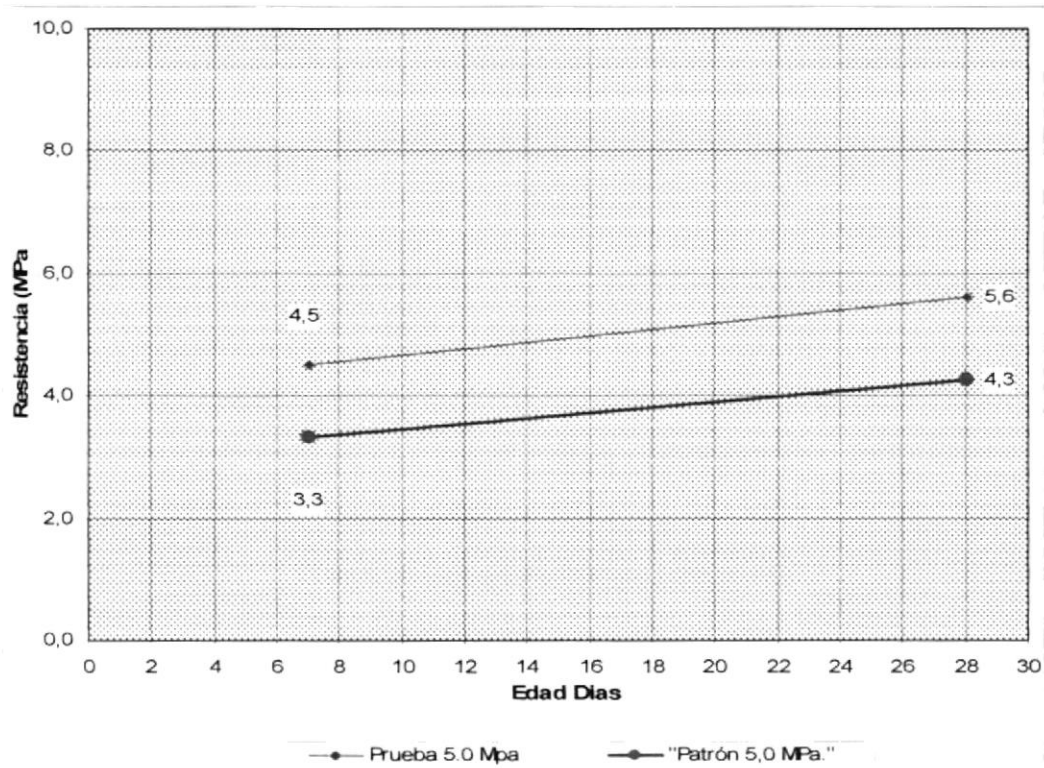
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.0%)	MBVR (0.05%)	24	0.408	44	4.5	44
Patrón	---		24	0.726	40	1.7	0



**FIGURA 4.75 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.43 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

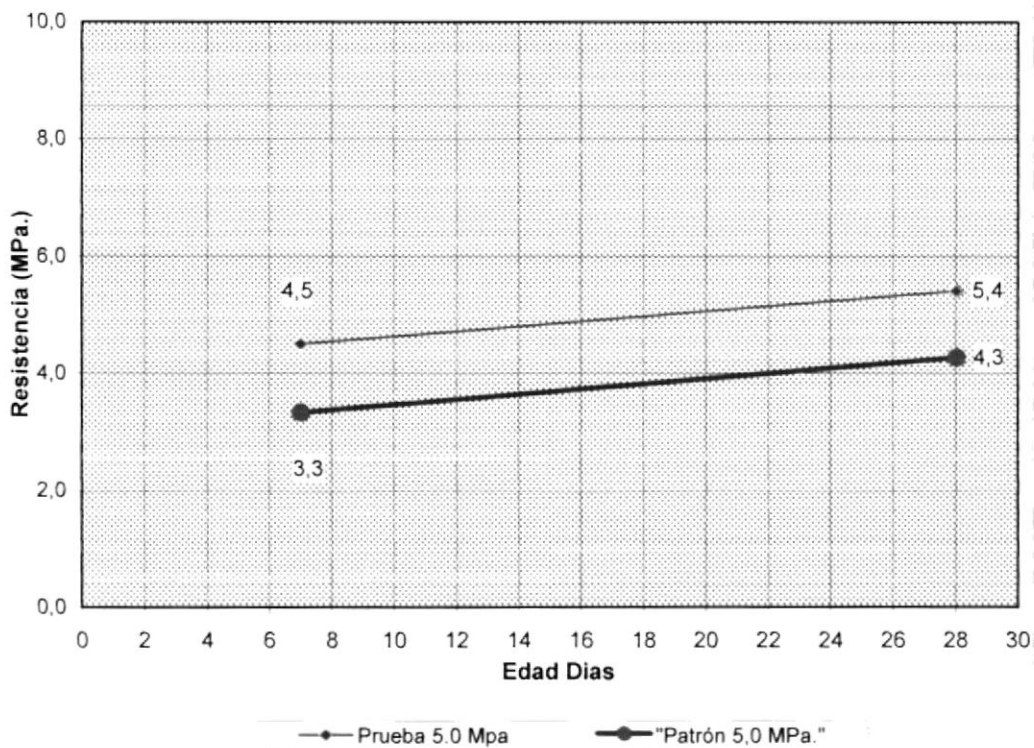
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.446	30	2.3	31
Patrón	----			22	0.645	36	1.7	0



**FIGURA 4.76 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.44 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con tres tipos de aditivos; superplastificante, incorporador de aire y retardador de fraguado**

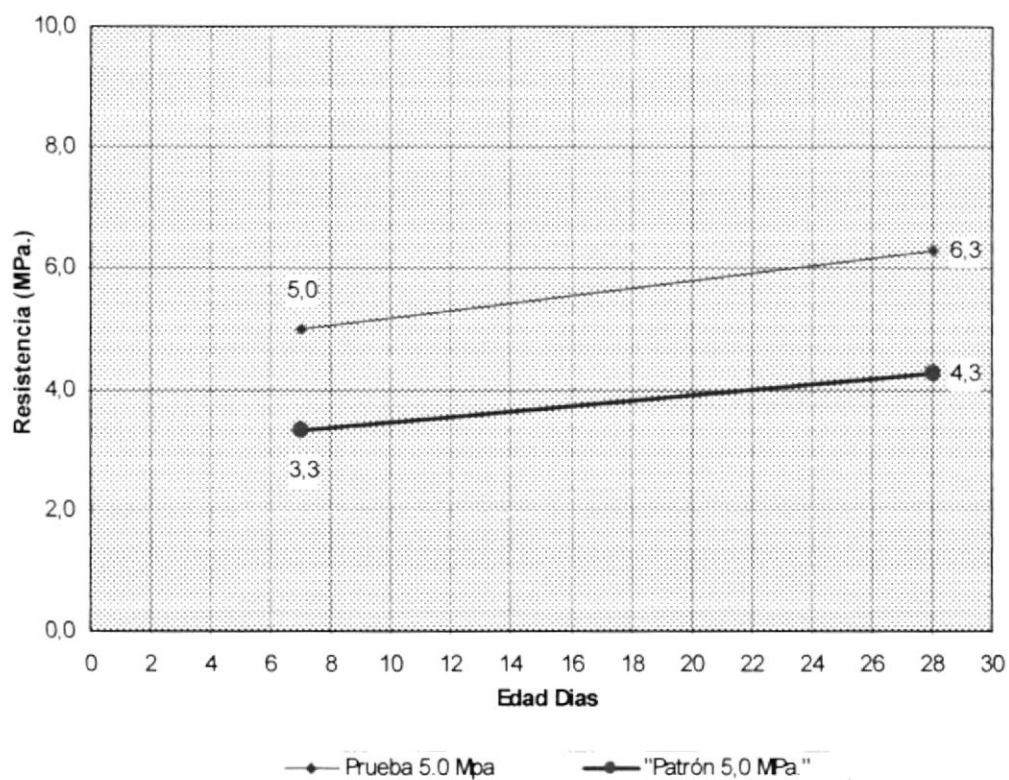
Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)					
1	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)	26	0.293	41	2.3	55
Patrón	---			22	0.645	36	1.7	0



**FIGURA 4.77 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

**TABLA 4.45 Resultado del desarrollo de resistencia a la flexión, hormigón 5.0 Mpa con dos tipos de aditivos; superplastificante y retardador de fraguado**

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete 10 (1.4%)	Sika Retarder (0.2%)	28	0.398	55	---	38
Patrón	---		22	0.645	36	1.7	0



**FIGURA 4.78 Curvas de Resistencia a la Flexión vs. Tiempo**

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS PRELIMINARES Y DEFINITIVOS.

### 5.1 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón X10.

#### 5.1.1 Resistencia 20.6 MPa.

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de hormigón y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 95 mm, registró 1.2% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 14.9 MPa.

Se pretende en lo posterior, mejorar las características mecánicas de éste hormigón de referencia reduciendo para el efecto la relación agua-cemento, con la ayuda de aditivos superplastificantes, retardadores de fraguado e incorporadores de aire, manteniendo o mejorando las

condiciones que presentaba el hormigón patrón durante su comportamiento en estado fresco.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 38%, 28% y 15% (ver tabla 4.1) en las tres pruebas obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 165% y 209%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La caída de revenimiento (ver figura 4.2) no fue significativa manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 85 mm, registró 1.3% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 18.4 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de

23% (ver tabla 4.5), se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trababilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la del diseño patrón, en un valor de 151%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.9) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón; por esta razón se realizaron tres pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.

En la segunda prueba el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trababilidad pues se obtuvo un revenimiento de 85 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 16.5 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.8%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 13% (ver tabla 4.6), se diseñó una sola prueba obteniendo una trababilidad no muy manejable y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 162%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.



CIB-ESPOL

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.11) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón.

En la tercera prueba el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una baja trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 65 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 15.2 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 21% (ver tabla 4.7), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima con resultados de asentamiento por debajo de los obtenidos en la muestra patrón, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 169%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.13) fue muy significativa manteniéndose hasta aproximadamente 2 horas.

Finalmente el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una baja trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 65 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 15.2 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 25% (ver tabla 4.8), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima con el resultado final de asentamiento por debajo de la muestra patrón, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 177%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.15) fue muy significativa manteniéndola hasta aproximadamente 1.5 horas.

### **5.1.2 Resistencia 27.6 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño X10, hormigón 27.6 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 75 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 20.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento

presentó una reducción de agua de 33% y 18% (ver tabla 4.2) en las dos pruebas obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 178% y 200%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La caída de revenimiento (ver figura 4.4) no fue significativa manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

### **5.1.3 Resistencia 41.2 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño X10, hormigón 41.2 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

En la siguiente prueba de hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño X10, una vez mezclado sin aditivos, no se midió la trabajabilidad (ver nota abajo de figura 4.5), pero se pudo obtener una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 32.6 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 39% (ver tabla 4.3), se diseñó una sola prueba en la que el hormigón fue autonivelante y se mantuvo así aproximadamente durante 1.5 horas, experimentó una resistencia a la

compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 151%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

Una segunda prueba fue realizada, aquí el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño X10 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 85 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 31.5 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 12% (ver tabla 4.4), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días óptima sobrepasando la del diseño patrón, en un valor de 125%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.7) fue muy significativa y aceptable manteniéndola hasta aproximadamente 1.5 horas.

## **5.2 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón Y13.**

### **5.2.1 Resistencia 20.6 MPa.**

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 95 mm, registró 1.7% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 20.6 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24% y 16% (ver tabla 4.9) en las dos pruebas obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 133% y 149%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

Las curvas de caída de revenimiento (ver figura 4.17) fueron muy significativa y aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 140 mm, registró además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 19.0 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24% (ver tabla 4.15), se diseñó una sola prueba obteniendo muy poca trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 146%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.29) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón, por tal razón se realizaron tres pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.

En la segunda prueba el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 110 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 20.7 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.7%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de



13% (ver tabla 4.18), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy aceptable, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 148%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.35) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón hasta aproximadamente 1.5 horas.

Finalmente el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 95 mm, registró 1.8% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 19.9 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 22% (ver tabla 4.21), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 175%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.41) fue muy óptima y aceptable manteniéndose hasta aproximadamente en 1.0 hora.

### **5.2.2 Resistencia 27.6 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño Y13, hormigón 27.6 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 120 mm, no se registró de aire incorporado en el laboratorio, además se obtuvo una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 21.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 33% (ver tabla 4.10) se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima con resultados de asentamiento muy arriba de los obtenidos en la muestra patrón, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena, sobrepasando la del diseño patrón, en un valor de 193%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.19) fue muy significativa manteniéndose por arriba del diseño patrón hasta aproximadamente 1.5 horas, por ésta razón se realizaron cuatro pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.

En la segunda prueba, el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 120 mm, no se registró aire incorporado en el laboratorio, además se obtuvo una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 21.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.3%) y retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24% (ver tabla 4.11), se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 166%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.21) fue muy significativa y aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

En la tercera prueba, el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 115 mm, registró 1.4% de aire incorporado,

además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 26.6 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.7%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 8% (ver tabla 4.19), se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 129%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.37) fue muy aceptable y óptima manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Finalmente el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 90 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 25.1 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 14% (ver tabla 4.22), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 150%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.43) fue muy aceptable manteniéndose hasta aproximadamente en 1.0 hora.

### **5.2.3 Resistencia 41.2 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño Y13, hormigón 41.2 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad no muy óptima pues se obtuvo un revenimiento de 180 mm, registró 1.3% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 34.7 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 20% (ver tabla 4.17), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy buena pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 112%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.33) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón; por ésta razón se realizaron dos pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.



En la segunda prueba, el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad más aceptable pues se obtuvo un revenimiento de 145 mm, registró 0.9% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 33.5 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.7%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 12% (ver tabla 4.20), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy aceptable con resultados de asentamiento por arriba de los obtenidos de la muestra patrón, y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy buena pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 118%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.39) no fue muy aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Finalmente el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Y13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad no muy óptima pues se obtuvo un revenimiento de 155 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 33.1 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24% (ver tabla 4.23), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 124%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.45) no fue muy significativa manteniéndose muy por arriba del diseño patrón hasta aproximadamente en 1.0 hora.

### **5.3 Análisis de los Ensayos de Diseño de hormigón Z13.**

#### **5.3.1 Resistencia 20.6 MPa.**

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 120 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 11.4 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 27% (ver tabla 4.12) se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón,

en un valor de 184%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.23) fue muy aceptable y óptima manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

El hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad óptima pues se obtuvo un revenimiento de 135 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 13.9 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 9.0% (ver tabla 4.24), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad muy baja y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy óptima pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 149%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.47) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón; por ésta razón se realizaron dos pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.

En la segunda prueba, el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó trabajabilidad óptima pues se obtuvo un revenimiento de 125 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 12.0 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 15% (ver tabla 4.27), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy buena pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 163%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.53) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón.

Finalmente el hormigón patrón 20.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 90 mm, registró 1.9% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 13.8 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 52% (ver tabla 4.32), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy aceptable, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 192%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.63) no fue muy aceptable manteniéndose por debajo del diseño patrón hasta aproximadamente 1.5 horas.

### **5.3.2 Resistencia 27.6 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño Z13, hormigón 27.6 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una muy buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 110 mm, registró 0.9% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 17.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento

presentó una reducción de agua de 16% (ver tabla 4.13) se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy aceptable, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 165%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.25) no fue aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

En la segunda prueba, el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad aceptable pues se obtuvo un revenimiento de 140 mm, registró 1.6% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 20.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 1.0% (ver tabla 4.25), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad aceptable, pero una resistencia a la compresión a los 28

días no muy buena, obteniendo una diferencia de 108%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.49) no fue muy significativa manteniéndose en aproximadamente 1.5 horas.

En la tercera prueba, el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó trabajabilidad aceptable y óptima pues se obtuvo un revenimiento de 145 mm, registró 1.1% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 18.5 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.7%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 18% (ver tabla 4.28), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad más aceptable y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 168%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.55) fue muy aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

Finalmente el hormigón patrón 27.6 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad óptima pues se obtuvo



un revenimiento de 110 mm, registró 1.8% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 21.3 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 40% (ver tabla 4.33), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 172%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.65) fue muy aceptable y óptima manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

### **5.3.3 Resistencia 41.2 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos definitivos de diseño Z13, hormigón 41.2 MPa. y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una buena trabajabilidad pues se obtuvo un revenimiento de 105 mm, registró 1.5% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 32.45 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 22% (ver tabla 4.14) se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy óptima pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 117%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.27) fue significativa manteniéndose muy por arriba del diseño patrón; por ésta razón se realizaron tres pruebas adicionales, con la finalidad de mejorar los resultados.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

En la primera prueba, el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad aceptable y óptima pues se obtuvo un revenimiento de 135 mm, registró 1.7% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 35.4 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.3%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 7.0% (ver tabla 4.26), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad muy óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días no muy buena pero sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 106%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.51) fue muy significativa y aceptable manteniéndose hasta aproximadamente 1.5 horas.

En la segunda prueba, el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad aceptable y óptima pues se obtuvo un revenimiento de 145 mm, registró 0.8% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 35.2 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (0.7%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 15% (ver tabla 4.29), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima pero se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 117%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.57) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón hasta aproximadamente 1.5 horas.

Finalmente el hormigón patrón 41.2 MPa. de diseño Z13 una vez mezclado sin aditivos presentó una trabajabilidad óptima pues se obtuvo un revenimiento de 120 mm, registró 1.8% de aire incorporado, además una resistencia a la compresión a la edad de 28 días de 34.7 MPa.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 22% (ver tabla 4.34), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 137%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

La curva de caída de revenimiento (ver figura 4.67) fue muy significativa manteniéndose por debajo del diseño patrón hasta aproximadamente 1.5 horas.



CIB-ESPOL

#### **5.4 Análisis de los Ensayos de Flexión, hormigón 4.0 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de los diseños de hormigón y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.4%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 39%, registró 2.5% de aire incorporado (ver tabla 4.35), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad con un revenimiento de 90 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.1 MPa. (ver figura 4.68), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.0%) y retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 54%, registró 1.8% de aire incorporado (ver tabla 4.36), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 45 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 4.7 MPa. (ver figura 4.69), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.5%), por peso de cemento presentó una reducción de agua de 35%, registró 2.3% de aire incorporado (ver tabla 4.37), se diseñó una sola prueba

obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 55 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.6 MPa. (ver figura 4.70), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

Ahora se continúa con el análisis de los resultados obtenidos sobre el mismo diseño pero utilizando los aditivos de Master Builders (llamado en la actualidad BASF).

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.2%) e incorporador de aire (0.05%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 35%, registró 3.6% de aire incorporado (ver tabla 4.38), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 30 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.0 MPa. (ver figura 4.71), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (0.6%) e incorporador de aire (0.05%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 39%, registró 7.2% de aire incorporado (ver tabla 4.40), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 75 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.2 MPa. (ver figura 4.73), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.2%) e incorporador de aire (0.05%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 27%, registró 3.8% de aire incorporado (ver tabla 4.41), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 45 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.4 MPa. (ver figura 4.74), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF.

### **5.5 Análisis de los Ensayos de Flexión, hormigón 5.0 MPa.**

A continuación se hace un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de los diseños de hormigón y dosificados con los aditivos a distintas concentraciones por peso de cemento.

El hormigón de 5.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.4%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 31%, registró 2.3% de aire incorporado (ver tabla 4.43), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad con un revenimiento de 70 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.6 MPa. (ver figura 4.76), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

El hormigón de 5.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.4%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 55%, registró 2.3% de aire

incorporado (ver tabla 4.44), se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad con un revenimiento de 90 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.4 MPa. (ver figura 4.77), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

El hormigón de 5.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.4%) y retardador de fraguado (0.2%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 38%, no se registró aire incorporado en el laboratorio (ver tabla 4.45), se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad con un revenimiento de 75 mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 6.3 MPa. (ver figura 4.78), cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA.

## 5.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la revisión de todo lo expuesto sobre los distintos ensayos preliminares y definitivos de hormigón, tanto en experiencias previas en campo y de laboratorio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El uso de aditivos reductores de agua como los Policarboxilatos permite disminuir agua en las mezclas elaborados con cemento puzolánico que van desde rango de 15% hasta un 55%.
- Por otro lado, la trabajabilidad del hormigón en su estado fresco, es notablemente incrementada y el asentamiento del hormigón se mantiene por un periodo de 1.5 horas cuando la dosificación del aditivo es del 1.0% al 1.2% con respecto al peso del cemento, en condiciones de temperatura de 24<sup>0</sup>C (en condiciones de laboratorio).
- Ésta última conclusión es considerada importante, ya que hormigones elaborados con cementos finos puzolánicos, tienden a perder rápidamente su trabajabilidad.
- Los importantes niveles de reducción de agua logrados con éstos aditivos permiten obtener hormigones que desarrollan altas resistencias tempranas, garantizando además su prolongada durabilidad.



## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda, iniciar una serie de pruebas industriales con las mezclas y dosis de aditivos probados en laboratorio, a fin de evaluar su desempeño en condiciones de obra.

## ANEXOS

## **Sika ViscoCrete® 10 E**

### **Superplastificante de alto rendimiento**

**Descripción** Superplastificante de tercera generación para hormigón y mortero. Cumple con los requerimientos de la norma EN 934-2 de aditivo superplastificante retardador de fraguado y reductor de agua de alto rango.

#### **Usos**

Está especialmente diseñado para mezclas de hormigón con largos periodos de transporte y larga trabajabilidad, alto poder de reducción de agua y excelente fluidez.

*Se usa sobre todo para las siguientes aplicaciones:*

- Hormigones con una gran reducción de agua (hasta 30%).
- Hormigones de altas prestaciones.

Hormigones fabricados en verano y en aquellos casos en que se requiera un transporte largo (y un elevado tiempo de trabajabilidad).

#### **Ventajas**

El Sika ViscoCrete 10 E es un poderoso superplastificante que actúa bajo diferentes mecanismos.

*A través de la absorción superficial y efectos estéricos, separando las partículas del ligante, se obtienen las siguientes propiedades:*

- Muy elevado poder de reducción de agua, obteniendo un hormigón de alta densidad, alta resistencia y baja permeabilidad.
- Excelente efecto plastificante, aumentando la fluidez, la facilidad de puesta en obra y la compactabilidad del hormigón.
- Disminución de la fluencia y de la retracción.

El Sika ViscoCrete 10 E no contiene cloruros u otras sustancias promotoras de la corrosión de las armaduras. Por lo tanto es apto para hormigones pretensados.

#### **Ensayos**

Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2, Tabla 11.1/11.2.

#### **Datos del producto**

##### **Color**

Líquido marrón amarillento.

**Presentación** Contenedor de 1 m<sup>3</sup>. Bajo pedido puede suministrarse a granel.

#### **Almacenamiento**

##### **Condiciones de almacenamiento**

Al resguardo de las heladas y de la luz directa del sol, entre +5 °C y +30 °C.

#### **Conservación**

12 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

#### **Datos técnicos**

**Tipo** Policarboxilato modificado en base acuosa.

**Densidad** Aprox. 1,06 kg/l (a 20 °C).

**pH** 4,25 ± 0,5.

## **Información del sistema**

### **Detalles de aplicación**

#### **Dosificación**

*Dosificación recomendada para un hormigón con alta trabajabilidad*

Entre 0,4 y el 1,5% del peso del cemento.

### **Condiciones/limites de aplicación**

#### **Compatibilidad**

El Sika ViscoCrete 5-910 E puede combinarse, entre otros, con los siguientes productos Sika:

SikaPump.

SikaFume.

Sika Stabilizer 229.

Sika Retarder.

Se recomienda la realización de pruebas previas.

### **Instrucciones de aplicación**

#### **Preparación**

Se añade al agua de amasado o a la mezcladora al mismo tiempo que el agua de amasado.

Para aprovechar de manera óptima la gran capacidad de reducción de agua se recomienda un preamasado durante 60 segundos como mínimo.

Para evitar un exceso de agua en el hormigón, la dosificación final debe comenzar transcurridos 2/3 del tiempo de preamasado.

#### **Herramientas**

Deben seguirse las normas de buen uso del hormigón, en lo que se refiere a la fabricación y a la aplicación.

El hormigón fresco debe ser curado correctamente tan pronto como sea posible.

#### **Limpieza de herramientas**

Todos los útiles y herramientas deben ser limpiados con agua abundante inmediatamente después de su uso. El material curado/endurecido sólo podrá ser eliminado por medios mecánicos.

### **Instrucciones de seguridad e higiene**

#### **Medidas de protección**

##### *Protección personal*

Medidas generales de protección e higiene.

Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.

Evitar el contacto con los ojos y la piel.

Protección preventiva de la piel con pomada protectora.

Quitarse inmediatamente la ropa manchada.

No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.

Lavarse las manos antes de los descansos.

Protección de las manos con guantes de goma de butilo/nitrilo.

Protección de los ojos con gafas herméticamente cerradas.

Protección corporal.

#### **Ecología**

No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.

#### **Transporte**

Mercancía no ADR.

**Toxicidad**

No peligroso.

**Eliminación de residuos**

Producto

Recomendaciones observadas en la norma en vigor. Debe ser tratado en un centro de eliminación de residuos industriales.

*Envases/embalajes*

Los envases /embalajes vacíos pueden destinarse a reciclaje. Aquellos que no puedan ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

**Nota** Los datos de esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio.

Los valores de las características del producto pueden sufrir ligeras variaciones debidas a circunstancias fuera de nuestro control.

## **Sika Retarder® 50**

### **Retardador de fraguado para hormigón**

#### **Descripción del Producto**

Aditivo líquido que presenta un alto efecto retardador al mismo tiempo que fluidifica el hormigón, produciendo un endurecimiento acelerado después de su fraguado y altas resistencias finales. Está exento de cloruros.

**Usos** *Se utiliza como retardador/plastificante en hormigones estructurales y en masa donde se necesita un retraso controlado de su tiempo de fraguado como en:*

- Colocación de grandes volúmenes.
- Evitar juntas de hormigonado por interrupción del trabajo.
- Transporte a larga distancia.
- Cuando las condiciones de colocación son difíciles.
- Con temperaturas altas.
- Si el hormigón tiene que ser revibrado.

#### **Características/Ventajas**

- Se puede controlar la duración del tiempo de fraguado.
- Aumento de resistencias.
- Reduce la retracción y la segregación.
- Mejora la adherencia a las armaduras.
- No ocluye aire suplementario.

#### **Ensayos**

**Certificados/Normas** Cumple la norma UNE-EN934-2

#### **Datos del Producto**

**Apariencia/Color** Líquido marrón

**Presentación** Garrafas de 30 kg

#### **Condiciones de Almacenamiento/Conservación**

18 meses, desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados no deteriorados. Al abrigo de las heladas y la acción directa del sol.

#### **Datos Técnicos**

**Composición Química** Fosfatos modificados

**Densidad** ~ 1,2 kg/l

**Contenido en sólidos** ~ 30%

**pH** ~ 8.5

## **Información del Sistema**

### **Detalles de Aplicación**

**Consumo/Dosificación** *Variable entre el 0,1 y el 1% del peso de cemento.*

La dosificación exacta ha de determinarse en cada caso por ensayos efectuados en obra. A título de ejemplo orientativo (dependiendo del tipo de cemento, etc.):

Con dosificación del 0,2%:

Principio fraguado: 12 horas.

Final de fraguado: 16 horas.

Con dosificación del 1%:

Principio fraguado: 32 horas.

Final de fraguado: 36 horas.

(Ensayo según ASTM C-403).

Si accidentalmente se produce una sobredosificación el desarrollo de las resistencias mecánicas no se verá afectado durante mucho tiempo.

**Instrucciones de Aplicación** Se incorpora directamente al agua de amasado.

### **Notas de Aplicación/Limitaciones**

Para la obtención de un retraso determinado tienen una gran importancia los siguientes factores: temperatura exterior, tipo y edad del cemento, relación agua/cemento, dosificación de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón, etc. Sin embargo, es posible, a lo largo de una determinada obra, mantener estos factores de manera casi constante, de forma que los resultados de los ensayos efectuados sean correctos y válidos.

Se huela a una temperatura aproximada de -2° C. Durante su utilización la temperatura en los recipientes de almacenamiento y en la central dosificadora no debe ser inferior a 0° C.

Si se hubiese helado el producto, puede volver a utilizarse sin pérdida de sus cualidades, descongelándolo lentamente y agitándolo cuidadosamente. No exponerlo a la llama directa ni a temperatura superior a +50° C.

El encofrado del hormigón retardado debe ser estanco y no absorbente.

Cuando se utilizan encofrados de madera es indispensable humedecer la madera durante varios días o mejor aún tratarla con Sika® Desencofrante.

El hormigón colocado necesita estar bien húmedo antes y después del fraguado, con el fin de evitar una desecación prematura. Sin embargo, es preciso evitar un exceso de agua que puede provocar el deslavado superficial del hormigón fresco.

**Notas** Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

### **Instrucciones de Seguridad e Higiene**

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.



**CIB-ESPOL**

## **Sika® Pump**

### **Aditivo para hormigón bombeado**

#### **Descripción del Producto**

Aditivo universal para hormigón que mejora el bombeo de mezclas poco favorables y protege las bombas y conducciones contra el desgaste excesivo.

#### **Usos**

- Se usa en hormigones con finos variables, un contenido de cemento bajo o una granulometría pobre y una consecuente capacidad de retención de agua baja, por ejemplo, mezclas que tiendan a segregarse cuando se bombean y/o creen altas presiones de bombeo.
- Incluso con áridos contaminados (por ejemplo con suciedad y escombros) se puede bombear sin excesiva presión usando el Sika Pump®.

#### **Características/Ventajas**

- Aumenta enormemente la cohesión interna, plasticidad y flexibilidad del hormigón fresco. Esto produce una mejora de la trabajabilidad y particularmente las características de bombeo de las mezclas de hormigón. Se reduce enormemente o previene el bombeo de hormigón segregado y mejora significativamente la eficiencia de bombeo. Con Sika Pump® se reduce la tensión en las conducciones y en la bomba del hormigón con lo que se prolonga su vida en servicio.
- Sika Pump® no tiene efectos negativos en las propiedades del hormigón endurecido.
- Sika Pump® no contiene cloruros o cualquier otra sustancia que cause la corrosión de la armadura por lo que se puede usar sin restricciones para las estructuras de hormigón armado o pretensado.

#### **Datos del Producto**

**Apariencia/Color** Líquido verde claro

**Presentación** Contenedores de 1 m<sup>3</sup>, bajo pedido puede suministrarse a granel.

#### **Condiciones de Almacenamiento/Conservación**

24 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco protegido de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5° C y +30° C

#### **Datos Técnicos**

**Composición química** Solución polimérica reguladora de viscosidad.

**Densidad** Aprox. 1,01 kg/l

**Valor del pH** Aprox. 5-9

## **Información del Sistema**

### **Detalles de Aplicación**

**Consumo/Dosificación** Dosificaciones recomendadas en % en peso de cemento:

- 0,2%-0,4% para aumentar la cohesión de mezclas de cemento poco favorables.
- 0,5%-1,5% para reducir la presión de bombeo y para compensar la falta de fracciones de áridos finos en la mezcla.

### **Notas de aplicación/Limitaciones**

**Compatibilidad** La adición de este producto permite elaborar hormigones de alta calidad. Puede combinarse con otros aditivos SIKA: aireante ( Sika Aer® 5), retardadores de fraguado ( Sika Retarder® 50) o acelerantes de fraguado ( Sika® Rapid 1), sin que ninguno de estos productos influya en su efectividad.

En combinación con los productos mencionados es aconsejable realizar ensayos previos. Para cualquier aclaración rogamos consulte con nuestro Departamento Técnico.

Cuando se combine el Sika Pump® con productos que contengan naftaleno sulfonado se realizarán ensayos del comportamiento de endurecimiento para asegurar la compatibilidad.

### **Instrucciones de Aplicación**

**Mezclado** Sika Pump® se añade al cemento/ mezcla de áridos en la planta de hormigonado después de añadir el agua de amasado. ¡No añadir a la mezcla seca! Sika Pump® alcanza su máximo efecto después de 90 segundos tras un mezclado húmedo. Sika Pump® cambia la viscosidad de tal forma que requiere una carga de mezcla mayor que una mezcla convencional para la misma relación agua / cemento.

### **Método de aplicación/ Herramientas**

El Sika Pump® se puede combinar con un plastificante de las gamas Sikament® o Viscocrete®.

La utilización de Sika Pump® ofrece altas cualidades en el hormigón.

Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a la producción y colocación.

Todas las medidas necesarias se llevarán a cabo para asegurar una colocación y un curado óptimo, como se especifica en la norma SIA 262-2003. En particular, se deberá seguir las recomendaciones en la norma SN EN 206-1: 2000 para el contenido mínimo de finos en el hormigón bombeado.

### **Notas de aplicación/ Limitaciones**

En el caso de que Sika Pump® se hubiera congelado puede utilizarse de nuevo después de deshelarlo lentamente a temperatura ambiente, sin dejar de agitar.

**Notas** Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

### **Instrucciones de Seguridad e Higiene**

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

## **GLENIUM® 3000 NS**

### **Superplastificante reductor de agua de alto rango**

#### **DESCRIPCION**

GLENIUM 3000 NS es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de cemento con diferentes niveles de trabajabilidad incluyendo aplicaciones que requieren Concreto Autocompactante o Concreto RHEODYNAMIC™. El concreto reodinámico está en la vanguardia de concretos autocompactantes.

#### **VENTAJAS**

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango, Tipo F.
- Mezclas de concreto cohesivas sin segregación
- Menor contenido de agua para un asentamiento determinado
- Reducción lineal de agua en todo el rango de dosis recomendado
- Menor costo de producción debido a un vaciado más rápido, mejor acabado y menores costos de curado.
- Incremento en el desarrollo de resistencias a compresión y a flexión durante todas sus etapas.
- Rotación más rápida de encofrados debido a un rápido desarrollo de resistencias iniciales.

#### **USOS RECOMENDADOS**

- Concreto donde el control de manejabilidad y el tiempo de fraguado son críticos.
- Concreto donde se requiera reducción de agua de alto rango (12 a 40%).
- Concreto donde se requieran altas resistencias iniciales y finales y mayor durabilidad
- Producción de mezclas de concreto autocompactante y concreto reodinámico.
- Aplicaciones en construcción subterránea Civil y Minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grout, vaciados en masa en tubos, rellenos cementicios o pozos de sondeo. Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto.

#### **APLICACIÓN**

##### **Dosificación**

El rango de dosificación recomendado para el aditivo superplastificante GLENIUM® 3000 NS es de 260-780 ml/100 kg (4-12 oz fl/100lb) de cemento para la mayoría de las mezclas de concreto. El rango de dosificación aplica a la mayoría de las mezclas de concreto usando ingredientes típicos de concreto. Sin embargo, debido a las variaciones de las condiciones de la obra y de los materiales de concreto como la microsilica, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, contacte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

##### **Mezclado**

A diferencia de los superplastificantes convencionales, GLENIUM 3000 NS puede adicionarse con el agua inicial de mezclado o agregarse después hasta la adición del agua final a la mezcla.

## RECOMENDACIONES

### Corrosividad

No corrosivo, No contiene cloruros GLENIUM 3000 NS no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado. No se utilizó cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruro de calcio en la manufactura de GLENIUM 3000 NS.

### Compatibilidad

No use GLENIUM 3000 NS con aditivos base naftaleno. Pueden ocurrir comportamientos erráticos en el asentamiento o movimiento del asentamiento. Para instrucciones sobre la evaluación adecuada de GLENIUM 3000 NS en aplicaciones específicas, contacte a su representante de BASF.

### Temperatura

Si el aditivo GLENIUM 3000 NS llega a congelar, eleve la temperatura a 7°C (45°F) o a una temperatura mayor y reconstituya el producto por completo con una agitación mecánica ligera. No use aire presurizado para agitar.

## ALMACENAMIENTO

GLENIUM 3000 NS tiene una vida útil de 9 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

## EMPAQUE

GLENIUM 3000 NS se suministra en tambores de 208 l (55 gal), en tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.

## SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante de BASF Construction Chemicals.



CIB-ESPOL

## **POZZOLITH® 200-RP**

### **Aditivo retardante del fraguado**

#### **DESCRIPCIÓN**

POZZOLITH 200 RP es un aditivo líquido, libre de cloruros, listo para usarse. Retarda el tiempo inicial de fraguado del hormigón, facilitando su colocación y acabado. POZZOLITH 200 RP cumple y excede la especificación ASTM C-494 tipo B.

#### **VENTAJAS**

POZZOLITH 200 RP además de controlar el tiempo de fraguado tiene las siguientes ventajas:

- Dependiendo de la dosificación, proporciona un retardo del fraguado desde ligero hasta moderado.
- Mejora y facilita la colocación del hormigón al incrementar el tiempo de trabajabilidad de la mezcla.
- Otorga características de acabado superiores en superficies planas y moldeadas.
- Aumenta las resistencias a la compresión y a la flexión, así como la adherencia al acero de refuerzo.
- Reduce el agrietamiento.
- Reduce la permeabilidad y aumenta la densidad.

#### **USOS RECOMENDADOS**

POZZOLITH 200 RP se recomienda en todo hormigón donde se requiera un fraguado inicial moderado – alto. POZZOLITH 200 RP se puede usar en hormigón arquitectónico blanco y de color.

Cuando se usa con algún otro aditivo, cada uno puede dosificarse por separado dentro de la mezcladora.

#### **FORMAS DE APLICACION**

POZZOLITH 200 RP debe agregarse simultáneamente con la última parte del agua de mezcla.

Nunca se añada directamente al cemento o a los agregados secos.

#### **DATOS TECNICOS**

##### **Resistencia a la compresión:**

En comparación con el hormigón sin aditivo, los hormigones diseñados con POZZOLITH 200 R desarrollan resistencias superiores en las edades finales, en condiciones de curados similares.

##### **EMPAQUE**

POZZOLITH 200 RP se suministra en envases de 4, 20,208 litros y al granel.

##### **ALMACENAMIENTO**

En envases originales cerrados en un lugar fresco y seco mantiene sus propiedades un período de 12 meses.

## **RENDIMIENTO**

POZZOLITH 200 RP se recomienda en un rango de 0.2 - 0.4% del peso del cemento).

Sin embargo, las variaciones en los ingredientes de la mezcla y las condiciones de la obra, pueden requerir dosificaciones diferentes.

En estos casos se recomienda consultar a su representante de BASF Construction Chemicals, quien le ayudará a determinar la dosificación adecuada para las necesidades de su obra.

## **SEGURIDAD**

### **Riesgos**

Puede causar irritación a los ojos y a la piel.

### **Precauciones**

Mantenga fuera del alcance de los niños. Use lentes protectores y guantes. Use ropa adecuada. Evitar el contacto prolongado con la piel. Antes de abrir el embalaje, lea las instrucciones.

### **Primeros Auxilios**

En caso de contacto con los ojos, enjuague con agua abundante por 15 minutos. Procure atención médica. En caso de contacto con la piel lave con agua y jabón. En el caso de ser ingerido, no induzca el vómito, tome agua, y busque atención médica inmediata.

## **SISTEMA DELVO®**

### **DESCRIPCIÓN:**

Tradicionalmente, la producción y uso del concreto ha originado desperdicios. Desperdicios del concreto mismo, de sus componentes, de costos de mano de obra y equipos, de costos para cumplir las leyes y reglamentos de protección ambiental, etc. Debido a que el concreto plástico es un material perecedero cuya vida útil se limita a sólo unas pocas horas, las demoras en su colocación o la devolución del material significan pérdidas no sólo en la inversión del concreto, sino también por los costos adicionales por la disposición o recuperación parcial de los materiales.

EL SISTEMA DELVO es un sistema único de dos componentes químicos sin cloruros. El DELVO permite un control sin precedentes sobre la dinámica del fraguado del concreto.

El concreto plástico devuelto tratado con DELVO puede mantenerse en dicho estado plástico, en la olla de un camión mezclador o en un recipiente central, por unas pocas horas, hasta el día siguiente o por un fin de semana. Cuando este concreto tratado con DELVO se combina con concreto fresco (el mismo día, al día siguiente o después de un fin de semana), se logra una mezcla con iguales o mejores características que el concreto original.

Los beneficios posibles gracias a este control único sobre la dinámica del fraguado del concreto, se extienden a prácticamente todos los aspectos de la construcción con concreto, y se traducen en mayores utilidades para todos aquellos involucrados en la producción y uso del concreto y mayor protección del medio ambiente.

### **VENTAJAS:**

El uso del SISTEMA DELVO ofrece muchas ventajas en la producción y uso del concreto, incluyendo las siguientes aplicaciones:

- Estabilización y reuso del agua de lavado de la mezcladora o de la olla, el mismo día o después de varios días. El agua de lavado estabilizada puede reusarse como agua de mezclado en la producción de concreto nuevo, reduciendo tanto los costos de mano de obra en el lavado de las mezcladoras, como los costos de mantenimiento de dichas mezcladoras por concepto de retirar el concreto acumulado en ellas. Al no tener que tirar el agua de lavado, se elimina la necesidad de fosos para tratar el agua.
- El concreto plástico devuelto al productor puede mantenerse en estado plástico por unas cuantas horas, por un día o hasta un fin de semana. Esto elimina el uso de costosas unidades de reciclaje y los continuos gastos de su mantenimiento. Se eliminan también los costos de mano de obra, desgaste de equipo y acarreo del concreto desechado.
- Estabilización del concreto sobrante en las tuberías de bombeo para ser utilizado en el mismo o al siguiente día de bombeo. Se elimina así el costo de la mano de obra en limpieza de las tuberías de bombeo.
- Reducción y/o eliminación de la contaminación ambiental provocada por la disposición del agua de lavado y del concreto plástico devuelto al productor.
- El concreto tratado con el SISTEMA DELVO tendrá un comportamiento con características iguales o mejores que el concreto producido convencionalmente.
- El concreto fresco puede estabilizarse manteniendo su asentamiento y plasticidad en trayectos largos. Con lo que se incrementa el radio de acción de las plantas de concreto, reduciendo o eliminando la instalación de plantas móviles para vaciados distantes. También permite mayor flexibilidad ante retrasos de vaciados.
- La estabilización del concreto fresco disminuye el aumento de la temperatura desde el mezclado hasta el vaciado. Esto permite reducir los costos de mano de obra y uso de hielo o nitrógeno líquido para mantener la temperatura del concreto por debajo de la especificada.

- La estabilización del agua de lavado y el concreto devuelto en las unidades de reciclado mantiene las partes móviles del equipo más limpias. La arena y la piedra se pueden usar de nuevo en concreto. Generalmente tiene que venderse como material de relleno debido al cemento adherido al agregado. Es más fácil manejar lechadas y desecharlas en tanques de sedimentación con lo que se tiene menos abrasión en las palas de los cargadores.

#### **DOSIFICACIÓN:**

El DELVO Estabilizador se recomienda usar en un rango de 65 a 8450 ml por cada 100 kg de material cementicio, para estabilizar por unas cuantas horas, un día o dos días. La reactivación de este concreto estabilizado se logra por medio de una dosificación del DELVO Activador de entre 0 a 9760 ml por cada 100 kg de material cementante. Deben usarse guantes de goma y LENTES de protección al utilizar tanto el Estabilizador como el DELVO Activador.

La dosificación específica para una mezcla de concreto dada, dependerá de los aditivos, los materiales del concreto, el diseño de la mezcla, el tiempo transcurrido desde su mezclado inicial, la temperatura ambiental y/o la del concreto plástico devuelto, la cantidad de concreto a ser tratado, y el tiempo de estabilización deseado. Para estabilizar el agua de lavado por una noche, (normalmente de 114 a 227 litros de agua): se recomienda una dosificación del Estabilizador DELVO de; 1000 a 2000 ml por camión. Para una estabilización de dos a tres días la dosificación es de 2000 a 3000 ml por camión.

#### **ENVASE:**

Los componentes del SISTEMA DELVO se suministran en tambores de 208 litros y a granel.

#### **PRECAUCIONES:**

- Almacene el DELVO Estabilizador a una temperatura de 1°C o más. Si los componentes llegaran a congelarse, llévense a una temperatura de 1°C o más, y agítense hasta que estén completamente reconstituidos. No use aire a presión para agitarlos.
- Al manejar los componentes del SISTEMA DELVO, deben utilizarse guantes de goma y lentes de protección. En caso de contacto con los ojos, piel o ropa, lávese inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos (en la piel, use agua y jabón). Quítese la ropa contaminada y lávese antes de volver a usarla.
- No ingerir ninguno de los componentes. No se deje al alcance de menores.

#### **TIEMPO DE ALMACENAJE:**

En envases originales cerrados, y almacenados en un sitio fresco y seco, los componentes del SISTEMA DELVO mantienen sus propiedades durante un mínimo de 12 meses.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ADAM M. NEVILLE, Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
2. JOSEPH J. WADDELL Y JOSEPH DOBROWOLSKI, Manual de la Construcción con Concreto, Tomo I.
3. STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE, Y JUSSARA TANESI, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association.
4. ING. FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto.
5. DIEGO SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Tecnología del Concreto y del Mortero.
6. ING CAMPOSANO LUQUE JOSE A, Verdadera Significación e Influencia de los Agregados en los Hormigones.

7. ASTM C192/C192M-03, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
8. ASTM C143/C143M-03, Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Revenimiento en el Concreto a base de Cemento Hidráulico.
9. ASTM C1064/C1064M-03, Método de Ensayo Estándar para la Medición de Temperatura del Concreto recién Mezclado Cemento Portland.
10. ASTM C231/C231M-03, Método de Ensayo Estándar para determinar por el Método de Presión, el Contenido de Aire del Concreto recién Mezclado.
11. ASTM C1017M-03, Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete.
12. ASTM C494M-02, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
13. ASTM C39/C39M-03, Standard test method for compressive strength cylindrical concrete specimens.

14. ASTM C78-02, Standard test method for flexural strength of concrete  
(using simple beam with third – point loading).



CIB-ESPOL