

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS
LÍNEA TERMINAL CONSTRUCCIÓN

USO DEL HUMO DE SÍLICE Y ADITIVOS REDUCTORES
DE AGUA DE ALTO RANGO (SUPERPLASTIFICANTES)
EN EL CONCRETO

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
LÍNEA TERMINAL CONSTRUCCIÓN

PRESENTA

ING. ABIMAE LÓPEZ GUZMÁN

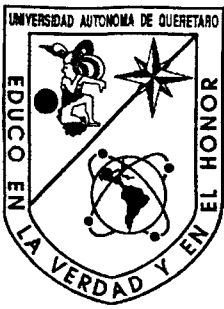
SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. AGOSTO DE 1999.

No. ADQ H 60773

CLAS G 20.136

L 864.2

Ej. 1.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS
LÍNEA TERMINAL CONSTRUCCIÓN

USO DEL HUMO DE SÍLICE Y ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO (SUPERPLASTIFICANTES) EN EL CONCRETO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS LÍNEA TERMINAL CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ING. ABIMAE LÓPEZ GUZMÁN

Dirigido por:

M.I. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA

SINODALES

M.I. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA

Presidente

DR. JAIME HORTA RANGEL

Secretario

DR. ALFREDO PÉREZ GARCÍA

Vocal

DR. VÍCTOR CASTAÑO MENESES

Suplente

DR. ALEJANDRO MANZANO RAMÍREZ

Suplente

M.I. J. JESÚS HERNÁNDEZ ESPINO
Director de la Facultad de Ingeniería

DRA. MA. GUADALUPE BERNAL SANTOS
Directora de Investigación y Posgrado

CENTRO UNIVERSITARIO
QUERÉTARO, QRO., 30 DE JUNIO DE 1999
MÉXICO

Resumen

Para esta investigación se utilizó: cemento portland tipo I, arena de río y grava triturada; como aditivos se emplearon: humo de sílice, reductor de agua y un superplastificante; todo lo anterior con el fin de modificar algunas propiedades conocidas del cemento portland estándar.

El diseño de experimentos utilizado incluye una mezcla base y cuatro mezclas con diferente composición, todas con una adecuada trabajabilidad y un revenimiento que varió entre 9 y 11 cm. Las cinco etapas de esta investigación se identificaron como A, B, C, D y E respectivamente. La etapa A posee un contenido de cemento de 300 Kg/m^3 , humo de sílice y un reductor de agua (aditivo tipo A, de acuerdo a la norma estándar ASTM C-494). Para las etapas B, C y D los contenidos de cemento que se emplearon fueron de 300, 350 y 400 Kg/m^3 respectivamente, junto con humo de sílice y el superplastificante (reductor de agua de alto rango, tipo F, de acuerdo a la norma estándar ASTM C-494), todo lo anterior con el objeto de producir concretos de alto desempeño (esfuerzo a compresión $> 420 \text{ Kg/cm}^2$).

Las pruebas mecánicas fueron desarrolladas a los 3, 7, 28 y 56 días de edad de los especímenes; se observaron algunos grados de regresión a los 56 días en algunos casos. La prueba de pH y difracción de rayos x revelaron que el humo de sílice y los otros aditivos, que proveen altas resistencias a edades tempranas, podrían resultar perjudiciales a largo tiempo. Por esta razón se deben hacer más estudios dedicados a este tema, para que los materiales que se utilizan para este propósito sean desarrollados adecuadamente.

Abstract

Silica fume, a water reducer and a superplasticizer were employed as additives, along with type I portland cement, river sand and broken gravel, aiming to modify some of the known properties of standard portland cement.

The experimental design included a basic mixture designed to have an adequate workability, namely 9 and 11 cm slump, and 4 other mixtures with different compositions. Five stages of this present investigation were identified as A, B, C, D and E, respectively. Stage A consists of 300 kg/m³ cement, silica fume and water reducer (additive type A, according to ASTM standard C-494). For stages B, C and D, 300, 350 and 400 kg/m³ contents of cement were employed, respectively, along with silica fume and the superplasticizer (high range water reducer, type F, according to ASTM standard C-494), aiming to produce high performance concretes (i.e., compressive strength > 420 kg/cm²).

Mechanical testings were performed at 3, 7, 28 and 56 days and some degree of regression at 56 days was observed in some cases. PH and x-ray powder diffraction revealed that silica fume and the other additives, in spite of providing higher strengths at early stages, could result detrimental at the long term. Therefore, more studies must be dedicated to this issue, if adequate materials for practical purposes are to be developed.

Dedicatoria

A Dios por darme la oportunidad de vivir y de superarme.

A mis abuelos ya fallecidos: Elena González Santos y José Guzmán López, por todos sus consejos y sus buenos ejemplos.

A mis padres Emmanuel López G. y Ana Ma. Guzmán S. por darme la vida, su incondicional apoyo y por creer en mí.

A mis hermanos: Ma. Guadalupe, Ignacio, Emmanuel y Abraham, por su cariño, buenos deseos y confianza.

A mi abuela Dolores Sánchez de Guzmán, por sus buenos deseos para toda la familia.

Al director de esta tesis M. en I. Juan Bosco Hernández Zaragoza por su apoyo, contribución y dedicación en esta tesis y por su gran amistad. Así mismo, agradezco al coasesor de la misma Dr. Victor M. Castaño por sus oportunas e importantes intervenciones.

Al Q. en A. Martín Adelaido Hernández Landaverde por su participación con la realización de los estudios de RX e IR.

A la Maestra Genoveva Hernández Padrón por su apoyo en la interpretación de los espectros de IR.

A la M.I. Ma. De la Luz Pérez Rea por su amistad y apoyo en el transcurso de la maestría. A la M. C. Teresa López por su amistad incondicional.

A la Q.F.B. Agustina Alvarado Gómez y a Marcos García Ayala por su participación desinteresada en este trabajo de investigación.

A SiKa Mexicana por su apoyo, con la contribución de materiales, laboratorio y personal para la realización de las pruebas de esta investigación.

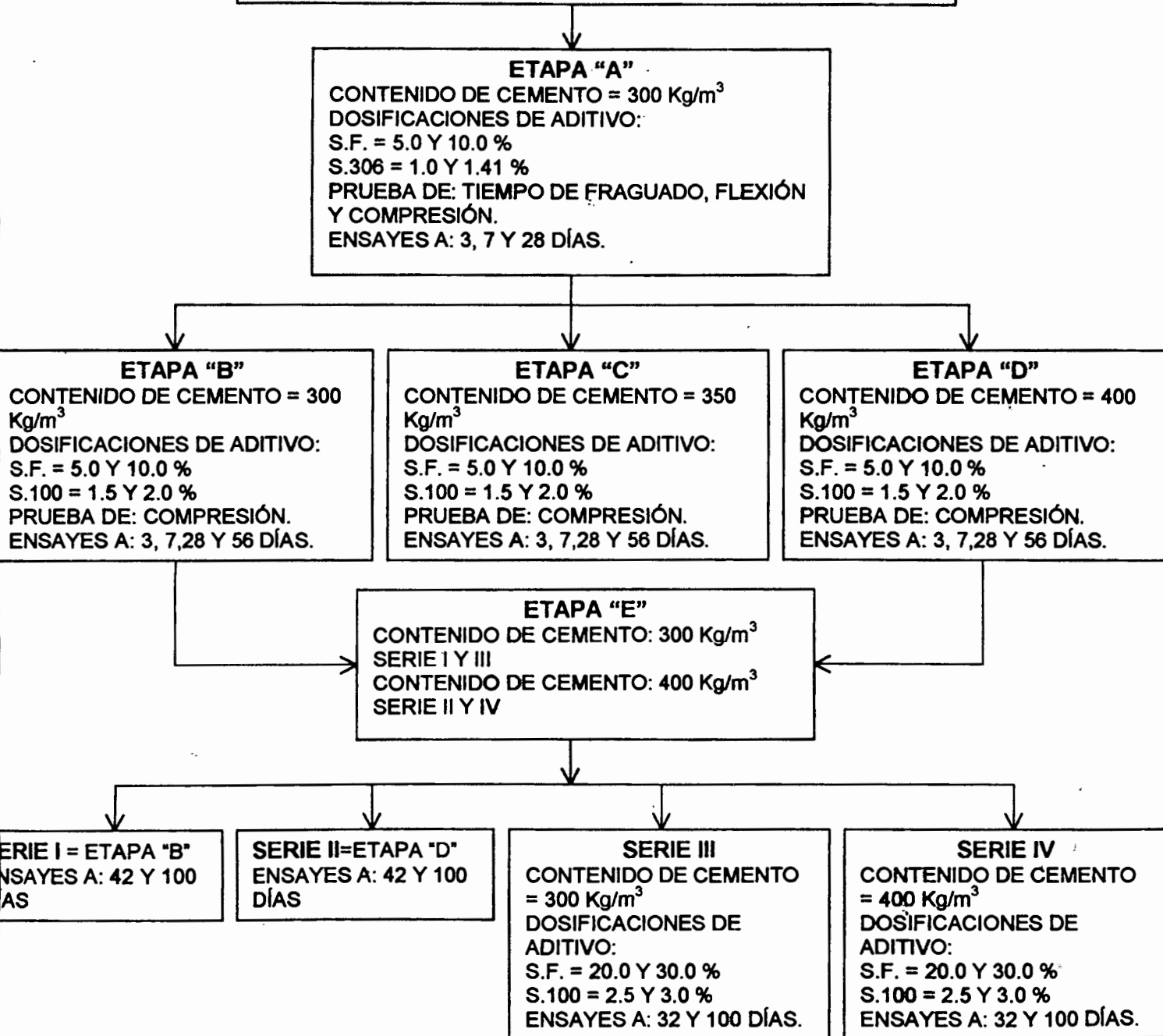
Al Ing. Daniel Estrada y a Porfirio García por su gran apoyo e interés mostrado en la realización de esta investigación.

A mis amigos Francisco Falcón, Ignacio Oropeza, Livia Hernández y Octavio Tovar por su apoyo, comprensión y amistad expresados en momentos difíciles.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por haberme permitido cursar este posgrado.

Metodología

"Uso del humo de sílice y aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificantes) en el concreto"



PRUEBAS FISICO-QUÍMICAS:

Mediciones de pH a: Morteros, cemento, Sikafume, Sikament-306, Sikament-100 y concretos.

RX, a: Sikafume, concretos y morteros.

IR, a: Sikafume, Sikament-306, Sikament-100 y pastas con proporción 1:1 de cada aditivo.

*S.F = Sikafume (H.S; puzolana); S.306 = sikament-306 (Reductor de agua); S.100 = sikament-100 (superfluidificante).

Índice general

	página
Resumen	I
Abstract	II
Dedicatoria	III
Metodología	IV
Índice general	V
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
Objetivos	1
Introducción	2
Antecedentes	3
Capítulo Uno	
Concretos	7
1.1 Introducción	7
1.2 Agregados	9
1.2.1 Pruebas de los Agregados	9
1.2.1.1 Introducción	9
1.2.1.2 Muestreo	9
1.2.1.3 Impureza Orgánica	9
1.2.1.4 Granulometría	10
1.2.1.5 Contenido de Humedad	10
1.2.1.6 Modulo de Finura	11
1.2.1.7 Peso Específico	11
1.2.2 Propiedades Físicas	12
1.2.3 Granulometría de la Grava	19
1.3 Proporcionamiento	23
1.3.1 Introducción	23
Capítulo Dos	
Aditivos	27
2.1 Introducción	27
2.1.1 Definición de Aditivo	27
2.1.2 Clasificación de los Aditivos	28
2.1.2.1 Aditivos Minerales	28
2.1.2.2 Aditivos Químicos	28
2.2 Humo de Sílice (H.S)	29
2.2.1 Origen del Humo de Sílice	29
2.2.2 Efectos de H.S sobre las Propiedades del Concreto	29
2.2.3 Efectos de H.S sobre el Concreto Fresco	29
2.2.4 Efectos de H.S sobre el Concreto Endurecido	30
2.3 Aditivos Reductores	31
2.4 Aditivos Superfluidificantes	32
2.4.1 Introducción	32
2.4.2 Superplastificantes	32
2.5 Aditivos Utilizados	33
2.5.1 SikaFume	33
2.5.1.1 Descripción	33
2.5.1.2 Propiedades Físicas y Químicas	33
2.5.1.3 Dosificacio0nes	34

2.5.1.4 Propiedades y Durabilidad de Concreto de Sílica Fume	34
2.5.1.5 Modo de Empleo	34
2.5.2 Sikament-306 (Datos según el fabricante)	34
2.5.2.1 Descripción	34
2.5.2.2 Usos	34
2.5.2.3 Ventajas	35
2.5.2.4 Modo de Empleo	35
2.5.2.5 Dosificación	35
2.5.2.6 Datos Técnicos	36
2.5.3 sikament-100(Datos de fabricante)	36
2.5.3.1 Descripción	36
2.5.3.2 Usos	36
2.5.3.3 Ventajas	36
2.5.3.4 Modó de Empleo	37
2.5.3.5 Dosificación	37
2.5.3.6 Características Físicas y Químicas	37
Capítulo Tres	
Diseño de Mezclas	39
3.1 Variables	39
3.1.1 Variables y Rangos	40
3.2 Matriz de Mezclas	41
3.2.1 Matriz de Planeación para la Etapa A	41
3.2.2 Matriz de Planeación para las Etapas B, C, D	41
3.3 Cantidad de Materiales para cada Mezcla	42
3.3.1 Volúmenes para la elaboración del Concreto para cada una de las Muestras	42
Capítulo Cuatro	
Elaboración de Mezclas y Curado de los Especímenes	43
4.1 Introducción	43
4.2 Procedimientos Empleados para la elaboración de las Mezclas	43
4.2.1 Secuencia de Mezclado	44
4.3 Descripción de la Prueba	45
4.3.1 Introducción	45
4.3.2 Mediación de la Temperatura	45
4.3.3 Revenimiento	45
4.3.3.1 Medida del Revenimiento (Norma ASTM C143)	45
4.3.4 Peso Volumétrico y Rendimiento	46
4.3.4.1 Procedimiento	46
4.3.5 Contenido del Aire	47
4.3.6 Tiempo de Fraguado	47
4.3.7 Elaboración de los Especímenes	48
4.3.8 Curva del Concreto	48
4.3.9 Cabeceo de los Especímenes	49
4.3.10 Prueba de Resistencia	49
Capítulo Cinco	
Propiedades Mecánicas	51
5.1 Introducción	51
5.2 Pruebas al Concreto en Estado Fresco	52
5.2.1 Pruebas: Revenimiento, Peso Volumétrico y Contenido de Aire	53
5.2.2 Resultado y Gráficas de las Pruebas de Revenimiento y Contenido de Aire	54
5.2.3 Tiempo de Fraguado del Mortero de Concreto	56
5.3 Prueba al Concreto en Estado Endurecido	60
5.3.1 Pruebas de Compresión	60

5.3.2	Tabla de resultados de las Pruebas a Compresión de la Etapa "A"	61
5.3.3	Grafica de Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "A"	66
5.3.4	Resumen de los Resultados de las Pruebas a Compresión	69
5.3.4.1	Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "A"	69
5.3.5	Prueba de Flexión	71
5.3.5.1	Introducción	71
5.3.5.2	Recomendaciones para el Ensayo de las Vigas	72
5.3.6	Tablas de Resultados de las Pruebas a Flexión de la Etapa "A"	73
5.3.7	Gráfica de Esfuerzos a Flexión de las Mezclas	78
5.3.8	Resumen del Comportamiento de los Especímenes (vigas) en la Prueba de Flexión	81
5.3.8.1	Resultados a Flexión de las Mezclas de la Etapa "A"	81
Capitulo Seis		
Propiedades Mecánicas		
6.1	Introducción	85
6.1.2	Tabla de los Resultados de las Pruebas a Compresión (Etapa B)	86
6.1.2.11	Resumen y Reducción de Agua en cada Mezcla	96
6.1.3	Gráfica de Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "B"	97
6.1.4	Resumen de los Resultados de las Pruebas a Compresión	100
6.1.4.1	Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "B"	100
Capitulo Siete		
Propiedades Mecánicas		
7.1	Introducción	104
7.1.1	Tablas de los Resultados de las Pruebas a Compresión	105
7.1.1.11	Resumen y Reducción de Agua en cada Mezcla (Etapa C)	115
7.1.2	Gráfica de Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "C"	116
7.1.3	Resumen de los Resultados de la Prueba a Compresión de los Especímenes de la Etapa C	119
7.1.3.1	Resumen de los Esfuerzos resultantes de las Diversas Muestras	119
7.1.3.3	Media Aritmética, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación Etapa "C"	121
Capitulo Ocho		
Propiedades Mecánicas		
8.1	Introducción	123
8.1.2	Tablas de los Resultados de las Pruebas a Compresión (Etapa D)	124
8.1.2.11	Resumen y Reducción de Agua en cada Mezcla Etapa D	134
8.2.2	Gráfica de Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Etapa "D"	135
8.2.3	Resumen de los Resultados de la prueba a Compresión de los Especímenes de la Etapa "D"	138
8.2.3.1	Resumen de los Esfuerzos Resultantes de las Distintas Mezclas	139
8.2.3.3	Media Aritmética, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación (Etapa D)	140
Capitulo Nueve		
Caracterización Química		
9.1	Introducción	142
9.2	Resistencia en Concretos a mas de 28 días de Edad	143
9.2.1	Tablas de los resultados de las Pruebas a Compresión (Etapa E)	144
9.2.1.9	Resumen de los Valores Obtenidos y Reducción de Agua en cada una de las Mezclas. Etapa E	152
9.2.2	Resumen de los Resultados a Compresión	153
9.2.2.1	Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Serie I, Complemento de la Etapa "B"	153
9.2.2.2	Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Serie II, Complemento de la Etapa "D"	153
9.2.2.5	Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Serie III	156

9.2.2.6 Resultado de los Esfuerzos a Compresión de las Mezclas de la Serie IV	156
9.3 Medición del pH	159
9.3.1 Introducción	159
9.3.2 Mediciones de pH	159
9.3.3 Tabla de los valores del pH medido en Morteros Elaborados con Diferentes Contenidos de Cemento y Variación en el Porcentaje de Puzolana y Aditivo Químico	160
9.3.4 Gráfica de Valores de pH en Concretos con Humo de Silice (H.S)	161
9.4 Difracción de Rayos X (RX) y Rayos Infrarrojos (IF)	164
9.4.1 Pruebas de RX	164
9.4.2 Pruebas de Infrarrojo (IF)	170
9.4.3 Descripción física y química de los compuestos identificados	174
Conclusiones Generales y Recomendaciones	178
Glosario	180
Bibliografía	181

Índice de figuras

	página
Figura 1.2.2.3 Curva granulométrica de la arena, muestra N° M-940-95	14
Figura 1.2.2.6 Curva granulométrica de la arena, muestra N° M-514-96	16
Figura 1.2.2.9 Curva granulométrica de la arena, muestra N° M-1244-96	18
Figura 1.2.3.2 Curva granulométrica del agregado grueso	20
Figura 1.2.3.4 Curva granulométrica del agregado grueso, muestra N° M-524-96	22
Etapa "A"	
Figura 5.2.2.2 Gráficas de las pruebas de revenimiento y contenido de aire	55
Figura 5.2.3.1 Gráfica para calcular el tiempo de fraguado inicial y final de un mortero de concreto	57
Figura 5.2.3.3 Gráfica de los resultados de los tiempos de fraguado inicial y final de morteros	59
Figura 5.3.3.1 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 1	66
Figura 5.3.3.2 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 2	66
Figura 5.3.3.3 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 3	67
Figura 5.3.3.4 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 4	67
Figura 5.3.3.5 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 5	68
Figura 5.3.4.2 Gráfica de los resultados a compresión de todas las mezclas	70
Figura 5.3.7.1 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 1	78
Figura 5.3.7.2 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 2	78
Figura 5.3.7.3 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 3	79
Figura 5.3.7.4 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 4	79
Figura 5.3.7.5 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 5	80
Figura 5.3.8.2 Gráfica del resumen de los esfuerzos a flexión	82
Etapa "B"	
Figura 6.1.3.1 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 1	97
Figura 6.1.3.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 2	97
Figura 6.1.3.3 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 3	98
Figura 6.1.3.4 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 4	98
Figura 6.1.3.5 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 5	99
Figura 6.1.4.2 Gráfica de los resultados a compresión de todas las mezclas	101
Etapa "C"	
Figura 7.1.2.1 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 1	116
Figura 7.1.2.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 2	116
Figura 7.1.2.3 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 3	117
Figura 7.1.2.4 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 4	117
Figura 7.1.2.5 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 5	118
Figura 7.1.3.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de las mezclas	120
Etapa "D"	
Figura 8.2.2.1 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 1	136
Figura 8.2.2.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 2	136
Figura 8.2.2.3 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 3	137
Figura 8.2.2.4 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 4	137
Figura 8.2.2.5 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la mezcla 5	138
Figura 8.2.3.2 Gráfica de los resultados a compresión de todas las mezclas	140
Etapa "E"	
Figura 9.2.2.3 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenido de cemento de 300Kg/m ³	154
Figura 9.2.2.4 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenido de cemento de 400Kg/m ³	155
Figura 9.2.2.7 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenido de cemento de 300Kg/m ³	157

Figura 9.2.2.8 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenido de cemento de 400Kg/m ³	158
Figura 9.3.4.1 Gráfica de valores de pH obtenidos de morteros con humo de sílice y contenido de cemento de 300Kg/m ³	161
Figura 9.3.4.2 Gráfica de valores de pH obtenidos de morteros con humo de sílice y contenido de cemento de 350Kg/m ³	162
Figura 9.3.4.3 Gráfica de valores de pH obtenidos de morteros con humo de sílice y contenido de cemento de 400Kg/m ³	163

Índice de tablas

	páginas
Tabla 1.2.2.1 Propiedades físicas de la arena. muestra N° M-940-95	13
Tabla 1.2.2.2 Granulometría de la arena (M-940-95)	13
Tabla 1.2.2.4 Propiedades físicas de la arena, muestra N° M-514-96	15
Tabla 1.2.2.5 Granulometría de la arena (M-514-96)	15
Tabla 1.2.2.7 Propiedades físicas de la arena, muestra N° M-1244-96	17
Tabla 1.2.2.8 Granulometría de la arena (M-1244-96)	17
Tabla 1.2.3.1 Requisitos de granulometría para los agregados gruesos	19
Tabla 1.2.3.3 Propiedades físicas de la grava	21
Tabla 1.3.1.1 Diseño de una mezcla de concreto	24
Tabla 1.3.1.2 Ajuste de una mezcla de concreto	25
Tabla 3.1.1 Variables y rangos	40
Tabla 3.2.1 Matriz de planeación para la etapa A	41
Tabla 3.2.2 Matriz de planeación para las etapas B, C y D	41
Tabla 3.3.1 Volúmenes para la elaboración del concreto para cada una de las mezclas	42
Etapa "A"	
Tabla 5.2.1.1 Resultados de las pruebas al concreto en estado fresco	53
Tabla 5.2.1 Media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación	54
Tabla 5.2.3.2 Resultados de los tiempos de fraguado (etapa A)	58
Tabla 5.3.2.1 Resultados a compresión para la mezcla 1	61
Tabla 5.3.2.2 Características de la mezcla 1	61
Tabla 5.3.2.3 Resultados a compresión para la mezcla 2	62
Tabla 5.3.2.4 Características de la mezcla 2	62
Tabla 5.3.2.5 Resultados a compresión para la mezcla 3	63
Tabla 5.3.2.6 Características de la mezcla 3	63
Tabla 5.3.2.7 Resultados a compresión para la mezcla 4	64
Tabla 5.3.2.8 Características de la mezcla 4	64
Tabla 5.3.2.9 Resultados a compresión para la mezcla 5	65
Tabla 5.3.2.10 Características de la mezcla 5	65
Tabla 5.3.4.1 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la etapa A	69
Tabla 5.3.6.1 Resultados a flexión de la mezcla 1	73
Tabla 5.3.6.2 Resultados a flexión de la mezcla 2	74
Tabla 5.3.6.3 Resultados a flexión de la mezcla 3	75
Tabla 5.3.6.4 Resultados a flexión de la mezcla 4	76
Tabla 5.3.6.5 Resultados a flexión de la mezcla 5	77
Tabla 5.3.8.1 Resultados a flexión de las mezclas de la etapa A	81
Etapa "B"	
Tabla 6.1.2.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 1	86
Tabla 6.1.2.2 Características de la mezcla 1	87
Tabla 6.1.2.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 2	88
Tabla 6.1.2.4 Características de la mezcla 2	89
Tabla 6.1.2.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 3	90
Tabla 6.1.2.6 Características de la mezcla 3	91
Tabla 6.1.2.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 4	92
Tabla 6.1.2.8 Características de la mezcla 4	93
Tabla 6.1.2.9 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 5	94
Tabla 6.1.2.10 Características de la mezcla 5	95
Tabla 6.1.4.1 Resultados de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la etapa B	100
Tabla 6.1.4.3 Media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación	102

Etapa "C"	
Tabla 7.1.1.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 1	105
Tabla 7.1.1.2 Características de la mezcla 1	106
Tabla 7.1.1.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 2	107
Tabla 7.1.1.4 Características de la mezcla 2	108
Tabla 7.1.1.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 3	109
Tabla 7.1.1.6 Características de la mezcla 3	110
Tabla 7.1.1.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 4	111
Tabla 7.1.1.8 Características de la mezcla 4	112
Tabla 7.1.1.9 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 5	113
Tabla 7.1.1.10 Características de la mezcla 5	114
Tabla 7.1.1.11 Resumen y reducción de agua en cada mezcla, etapa C	115
Tabla 7.1.3.1 Resumen de los esfuerzos resultantes de las distintas mezclas	119
Tabla 7.1.3.3 Media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación, etapa C	121
Etapa "D"	
Tabla 8.1.2.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 1	124
Tabla 8.1.2.2 Características de la mezcla 1	125
Tabla 8.1.2.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 2	126
Tabla 8.1.2.4 Características de la mezcla 2	127
Tabla 8.1.2.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 3	128
Tabla 8.1.2.6 Características de la mezcla 3	129
Tabla 8.1.2.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 4	130
Tabla 8.1.2.8 Características de la mezcla 4	131
Tabla 8.1.2.9 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, mezcla 5	132
Tabla 8.1.2.10 Características de la mezcla 5	133
Tabla 8.1.2.11 Resumen y reducción de agua en cada mezcla, etapa D	134
Tabla 8.1.3.3 Media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación, etapa D	135
Tabla 8.2.3.1 Resumen de los esfuerzos resultantes de las distintas mezclas	139
Etapa "E"	
Tabla 9.2.1.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, serie I	144
Tabla 9.2.1.2 Características de las mezclas, serie I	145
Tabla 9.2.1.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, serie II	146
Tabla 9.2.1.4 Características de las mezclas, serie II	147
Tabla 9.2.1.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, serie III	148
Tabla 9.2.1.6 Características de las mezclas, serie III	149
Tabla 9.2.1.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo, serie IV	150
Tabla 9.2.1.8 Características de las mezclas, serie IV	151
Tabla 9.2.1.9 Resumen de los valores obtenidos y reducción de agua en cada una de las mezclas. Etapa E	152
Tabla 9.2.2.1 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie I. Complemento de la etapa B	153
Tabla 9.2.2.2 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie II. Complemento de la etapa D	153
Tabla 9.2.2.5 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie III.	156
Tabla 9.2.2.6 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie IV.	156
Tabla 9.3.3.1 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la etapa B y E (serie III).	160
Tabla 9.3.3.2 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la etapa C.	160
Tabla 9.3.3.3 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la etapa D y E (serie IV).	160

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es conocer las propiedades mecánicas de los concretos con humo de sílice y superplastificante a edades avanzadas, así como los efectos del aditivo dentro del concreto a través del tiempo. Los ensayos de los especímenes se realizaron bajo las técnicas destructivas para determinar sus esfuerzos (compresión y flexión).

La regresión o pérdida de resistencia en concretos con Sílica-Fume, presentadas en investigaciones anteriores (Alexanderson, J. Strength Losses in heat cured concrete. Proceedings No. 43 Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm 1972. SP. 39-6; y ACI Materials Journal/ Noviembre-Diciembre 1993. Apparent Strength Retrogression of Sílica-Fume Concrete.), nos ha dado la pauta a seguir investigando al respecto.

En éste trabajo de investigación, a pesar de que el proceso de curado del concreto fue diferente al de las investigaciones antes mencionadas, se presentó también la regresión de resistencia en algunos concretos a edades posteriores a los 28 días. Por ésta razón desarrollamos las pruebas de RX, IR y la medición del pH, con el objetivo de conocer los componentes de cada material y las reacciones que puedan formar al mezclarse para producir el concreto; y con esto determinar las causas de regresión de resistencia.

Otro de los objetivos es ver como se afecta el pH del concreto con la presencia de los aditivos, para ello incrementamos las dosificaciones de los mismos. Haciendo las mediciones de pH a cada una de las mezclas e incluso mediciones en concretos de edad avanzada, sabremos si es afectada la alcalinidad del concreto; y por lo tanto si es favorecido el efecto de la corrosión del acero embebido en el concreto (en el caso de concreto reforzado).

Introducción

El uso de los aditivos en el concreto se ha venido generalizando debido a los requerimientos propios de las obras. Hoy en día se demandan concretos que cumplan con requisitos especiales de comportamiento, los cuales no pueden lograrse en forma rutinaria utilizando materiales convencionales y prácticas normales de mezclado, colocación y curado. Los aditivos pueden ser capaces de proveerle al concreto las características de: facilidad de colocación y compactación sin segregación, propiedades físicas a largo plazo, resistencias tempranas, tenacidad, estabilidad de volumen, mayor vida útil en ambientes agresivos, etc.

En nuestro trabajo de investigación analizaremos a los concretos con humo de sílice. Para nuestro estudio se partió de una mezcla básica, la cual se diseñó para que presentara buenas características de trabajabilidad; previamente se realizaron análisis de los agregados para conocer sus propiedades físicas y determinar si la calidad de éstos es la adecuada para elaborar un buen concreto.

Para nuestro trabajo determinamos cinco tipos de variables que consideramos de mayor importancia, tales como relación agua/cemento (a/c), porcentaje de aditivo, relación grava/arena (Pg/Pa), tipo de aditivo y contenido de cemento; considerando éstas variables y apoyándonos en una matriz de planeación se diseñaron 4 mezclas, que sumándole la mezcla base (testigo) resulta un total de 5 mezclas.

La etapa A de ésta investigación presenta las propiedades que comúnmente se obtienen de un concreto (esfuerzos de flexión y compresión) por medio de las pruebas destructivas tradicionales, en total se ensayaron 90 especímenes a compresión y 30 a flexión de cinco mezclas en estudio.

En las etapas B, C y D se realizan ensayos únicamente a compresión y se aumenta una edad más de prueba de los especímenes (a 56 días), se ensayaron 120 especímenes a compresión en cada una de las etapas. Haciendo un total de 360 especímenes en las tres etapas.

En la etapa E se realizaron ensayos a compresión a 100 días de edad, los concretos que se elaboraron fueron de contenidos de cemento y dosificaciones de aditivo diferentes. Se ensayaron un total de 60 especímenes a compresión.

En ésta misma etapa se tomaron 25 mediciones de pH a morteros correspondientes a los concretos de las cuatro últimas etapas, se midió el pH en concretos con 130 días de edad y pudimos comprobar el pH del cemento, Microsílica (Humo de Sílice) y de los dos aditivos químicos. También se realizan los estudios de RX (rayos X) e IR (infrarrojos) para determinar los componentes de cada material y la interacción de los mismos en el conjunto.

En éste trabajo de investigación se ensayaron un total de 510 especímenes a compresión y 30 a flexión. Para la elaboración y curado de los especímenes nos basamos en las Normas Oficiales Mexicanas.

El material que se utiliza (cemento, grava, arena y aditivos), así como el laboratorio de prueba de materiales con todo el equipo y personal necesario fue proporcionado por Sika Mexicana.

Antecedentes

Aunque el concreto de alta resistencia es considerado frecuentemente como material relativamente nuevo, pero como su desarrollo ha continuado, la definición del concreto de alta resistencia ha cambiado. En 1950, el concreto con un esfuerzo de compresión de 5000 psi (34 MPa) fue considerado como de alta resistencia. En 1960, el concreto con 6000 y 7500 psi (41-52 MPa) de esfuerzo de compresión fueron usados comercialmente. A principios de 1970, concretos con 9000 psi (62 MPa) comenzaron a producirse. Más recientemente, con esfuerzos de 16,000 psi (110 MPa) fueron considerados para aplicaciones en el sitio de la obra y en miembros de concreto presforzado.

Por muchos años, concretos que excedían los 6000 psi (41 MPa) se obtuvieron en muy pocos lugares. Sin embargo, en años recientes la aplicación de concreto de alta resistencia se ha incrementado, y el concreto de alta resistencia es usado en muchas partes del mundo.

La Sílica Fume (humo de sílice) en el concreto ha sido usada por solo unos pocos años. Sus primeros usos en la construcción en 1970 en Escandinavia y a principios de 1980 en Norteamérica y Europa. Desde aquellos tiempos, la Sílica Fume ha sido usada opcionalmente como una sustancia parcial para cemento, cuando se obtiene casi al mismo precio del cemento, o como un aditivo cuando son deseadas propiedades especiales, tal como fácil colocación, alta resistencia, baja permeabilidad, durabilidad, etc.

Desde 1970, el uso de una nueva clase de aditivos químicos se ha incrementado sustancialmente en varias áreas de la industria del concreto. Los aditivos pueden ser usados frecuentemente para incrementar el revenimiento sin la adición de más agua o para reducir el contenido de agua sin pérdida en el revenimiento. Propiamente categorizado como un Aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA), cumpliendo con los requerimientos del ASTM C 494 Tipo F o G y ASTM C 1017 tipo 1 o 2, este material es considerado algunas veces como un "superreductor de agua" o "superplastificante". Primeramente fue vendido en Alemania y Japón en 1960, este material consistió al principio en un producto condensado de sulfonato de naphthaleno o melanina.

La información sobre las propiedades y usos del HRWRA fue publicada durante el periodo de introducción al mercado de los estados Unidos (de 1974 a 1981). La literatura incluía dos publicaciones especiales del ACI basadas en procedimientos de un Symposium Internacional SP-62, (1979), Sp-68 (1981) y publicaciones de la Portland Cement Association (1979), CANMET (1979) y la Cement and Concrete Association (1976). Recientemente se publicaron libros de texto sobre Aditivos (Ramachandran and Malhotra, 1984; Rixon and Mailvaganam, 1986)

El desarrollo de investigación en ésta área ha sido a grandes rangos como sigue:

- 1948 : Se introdujo desde Estados Unidos un aditivo químico a Japón.
- 1950 : Fue expedido un aditivo listo para adicionarse en planta.
Se introduce a Japón desde Estados Unidos un aditivo reductor de agua.
Se establecieron las primeras guías para el uso de aditivos.
- 1953 : Comenzó la producción de reductores de agua.
- 1964 : Se introduce desde Alemania los superplastificantes a Japón.

- 1965 : Se estableció el Comité para Aditivos, en la sociedad Japonesa de Ciencia y Materiales.
- 1966 : La Sociedad Japonesa de Ingeniería Civil establece las cantidades estándares para los aditivos reductores de agua.
- 1968 : La *House & Urban Development Corp.* (HUD), establece los estándares de aditivos químicos para concreto.
La Sociedad Japonesa de Ciencia y Materiales (JSMS), publicó los estándares de aditivos químicos para estructuras de concreto.
- 1970 : Concreto de alta resistencia y concreto fluido, usando reductores de agua de alto rango es producido en Europa.
- 1973 : Concreto de alta resistencia es aplicado en el sitio de trabajo.
Se introduce de Alemania a Japón concreto fluido.
- 1980 : Son establecidas industrias para la producción de aditivos químicos para el concreto.
- 1985 : Un nuevo aditivo reductor de agua de alto rango (HRWR), para adicionarse en planta es desarrollado.
- 1987 : Se hacen las primeras revisiones para regular los contenidos del ion cloruro y alcalí en aditivos.

A continuación mencionaremos algunas investigaciones publicadas acerca del humo de sílice (Microsílica) y superplastificantes.

- 1990 : La influencia del humo de sílice condensado sobre la resistencia del concreto. (Stefan Slanicka, *Research Institute for Civil Engineering*, 817 14 Bratislava, Czechoslovakia).
- Esta investigación concluye que la resistencia del concreto con humo de sílice, depende en un alto grado del contenido de agua y aire. Y que la contribución del H.S. para la resistencia del concreto no es lineal, que el incremento del contenido de H.S. no es necesariamente proporcional sobre la resistencia del concreto.
- 1992 : "*Concretos del 2000, lo último en aditivos y adiciones*". (Ernesto Schümperli C. Dipl. Bauing. ETH/SIA, Anwendungstechnik Sika A.G. – Zürich Suiza; Julio 1992).
- El presente trabajo reúne una experiencia Europea de más de 10 años de investigación y desarrollo de morteros y concretos adicionados con humo de sílice, tecnología que ha culminado en la fabricación de "concretos de altas resistencias" ($f'c > 12,000$ p.s.i.).
Se comparan las adiciones tradicionales y se analizan los efectos que sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido tiene la adición de humo de sílice.
- 1992 : "*Investigaciones en concreto con humo de sílice a temperaturas elevada*". (K. D. Hertz, *ACI Materials Journal* / Julio-Agosto 1992).
- Es bien sabido que la explosión spalling ocurre en concretos ordinarios hechos con humo de sílice, presentaron que estos concretos pueden explotar con un coeficiente de calentamiento de tan solo $1^{\circ} C$ ($1.8^{\circ}F$) por minuto, mientras que coeficientes de calentamiento de $10^{\circ}C$ ($18^{\circ}F$) por minuto son requeridos para explotar otros concretos.
Se encontraron más parámetros para que tengan la misma influencia sobre la explosión de concretos con y sin humo de sílica. El riesgo de explosión aumenta con el incremento del contenido de humedad, con la reducción de permeabilidad, con la reducción del esfuerzo de tensión, y con el incremento del coeficiente de calentamiento.

La presencia de fibras de acero no reduce el riesgo de explosión. Por lo contrario, especímenes con alto contenido de fibra son más probables a explotar.

- 1993 : *"Predicción de esfuerzos a edades posteriores por un modelo de madurez modificado"*. (Por Knut O. Kjellsen y Rachel J. Detwiler; ACI Material Journal / Mayo-Junio 1993).
 - Es un modelo de madurez modificado, proyectado para tomar un informe acerca de los efectos de la temperatura sobre la retardación de la resistencia del concreto ha sido presentado. Basado en un análisis de dos morteros curados isotérmicamente, el modelo modificado generalmente provee mejores estimaciones de esfuerzos a edades posteriores que el tradicional modelo de madurez.
El propuesto modelo podría ser referido como un primer intento para estimar el esfuerzo a compresión a edades tempranas o posteriores como una base del historial tiempo-temperatura del concreto.
- 1993 : El Committee Report ACI 212.4R publicó *"La guía para el uso de los Aditivos Reductores de Agua de Alto Rango (superplastificantes) en el Concreto"*.
- 1993 : *"Cómo obtener concreto durable"*. (Por Bryant Mather, para el Seminario Internacional, Monterrey; N. L., México. 5-8 Octubre 1993).
 - Para obtener concreto durable es necesario:
 1. Decidir qué tipo o niveles de imperfecciones son tolerables y no tolerables.
 2. Entender cuáles son las causas de las imperfecciones para que sean intolerables.
 3. Evaluar al medio ambiente, reconocer la presencia de influencias que sean resistidas.
 4. Preparar las especificaciones que se requieran.
 5. Determinar que ambos, el control de la calidad del contratista y la garantía del sistema de trabajo del propietario, asegure que el concreto producido sea el especificado.
- 1993 : *"Aparente regresión de esfuerzo de concretos con humo de sílice"*. (Por Francois de Larrard y Pierre-Claude Aitcin; ACI Materials Journal / Noviembre-Diciembre de 1993).
 - Algunos investigadores reportaron una decreción en el esfuerzo a compresión para los concretos con humo de sílice curados al aire, mientras otros no encontraron alguna pérdida de esfuerzo.
De acuerdo a la hipótesis, la aparente regresión de esfuerzo puede ser explicada por diferencias en el secado del concreto. Además, se ha mostrado que ésta aparente regresión del esfuerzo, cuando ocurre, es siempre menor que el doble del esfuerzo a tensión del concreto. Este valor teórico de la pérdida de esfuerzo está en concordancia con los resultados encontrados en las investigaciones.
Se demostró que los concretos con diferente composición y microestructura no siguen el mismo patrón de secado cuando son expuestos para secarse al aire por el mismo periodo de tiempo.
- 1994 : *"Estudio de la resistencia de concreto joven como una función de la cantidad de hidratos formados por influencia del superplastificante"*. (Por C. Legrand y E. Wirquin, Materials and Structures, 1994).
 - Comprende el estudio de las resistencias tempranas a compresión (24 hr.) de un microconcreto con o sin un superplastificante.

- 1995: "Medición de la consistencia y trabajabilidad del concreto con superplastificante". (Por A.A.Al-Manaseer y A.J.Albert; ACI Materials Journal, V.92,N°3/Mayo-Junio de 1995).
- 1995: "Abstracto de: Guía para el uso del Humo de Sílice". (Por el comité ACI 234; ACI Materials Journal, V.92,N°4/Julio-Agosto de 1995).
 - Este reporte describe las propiedades físicas y químicas de Humo de Sílice; como interactúa el Humo de Sílice con el cemento portland; los efectos del Humo de Sílice sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido; recientes aplicaciones del Humo de Sílice en el concreto; como el concreto con Humo de Sílice es proporcionado, especificado y manejado en el campo; y áreas donde es necesario investigaciones adicionales.
- 1995: "Influencia de la ceniza volante, Humo de Sílice y escoria sobre la resistencia a los sulfatos del concreto". (Por P.S.Mangat y J.M.Khatib; ACI Materials Journal, V.92,N°5/Septiembre-Octubre de 1995).
 - Este documento presenta los resultados de una investigación sobre la resistencia a los sulfatos del concreto conteniendo diferentes grados de ceniza volante, Humo de Sílice y escoria para remplazar parcialmente el cemento portland ordinario.
- 1995: "Efectos de los materiales de relleno (Filler) sobre las propiedades reológicas del concreto fresco". (Por Olafur H. Wallevik, Arild Saasen y Odd E. Gjorv; ACI Materials Journal, V.92,N°5/Septiembre-Octubre de 1995).
- 1996: "Efecto de la dosificación del superplastificante sobre las propiedades mecánicas, permeabilidad y durabilidad de concretos de alta resistencia con y sin Humo de Sílice". (Por Richard Gagné, Alain Boisvert y Michael Pigeon; ACI Materials Journal, V.93, N°2/Marzo-Abril de 1996).
 - Este documento presenta los resultados de un estudio sobre los efectos de revenimiento y dosificación del superplastificante en las resistencias de flexión y compresión, permeabilidad y durabilidad de concretos típicos de alta resistencia. Se usaron dos tipos de cemento: un cemento portland tipo 10 canadiense (ASTM tipo 1) y un cemento mezclado canadiense, conteniendo porcentaje de Humo de Sílice.
- 1997: "Uso del cemento mezclado con Humo de Sílice en mezclas de concreto comercial". (Por K.H.Khayat, M.Vachon y M.-C.Lanctot; ACI Materials Journal V.94,N°3/Mayo-Junio de 1997).

Capítulo Uno

Concretos

1.1 INTRODUCCIÓN

La pasta en un concreto está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto. La figura 1.1 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 por ciento y el agua entre el 14 y el 21 por ciento. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8 por ciento del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 al 75 por ciento del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencia a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto (ver 1.2.1.1). Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es necesario contar con una granulometría continua de tamaños de partículas. (ACI 318).

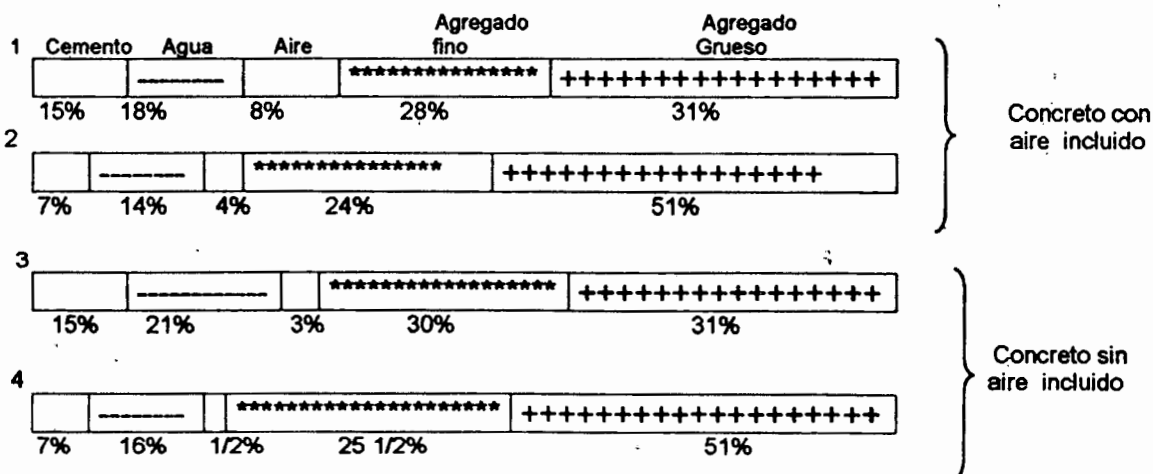


Figura 1.1. Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto (ver 1.3).

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 a 2,400 Kg por metro cúbico (kg/m^3). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y la densidad relativa del agregado, de la cantidad de aire atrapada e intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez son influenciados por el tamaño máximo del agregado. (ACI – 318).

En las tablas de resultados de las pruebas en los capítulos 5,6,7,8 y 9 se muestra la densidad de cada espécimen elaborado.

Resistencia del Concreto.

La Resistencia del concreto a la compresión es una propiedad mecánica fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de estructuras de concreto.

La resistencia a flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como un índice de la resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% al 12 % de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión (El comité ACI 207.2R estima la resistencia a la tensión en 1.78 veces la raíz cuadrada de $\sqrt{f_c}$).

La resistencia a la torsión para el concreto esta relacionado con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto. La resistencia al cortante de concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión.

La correlación existente entre la resistencia a compresión y la resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante, varía de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre. (ACI – 318).

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetas al desgaste: por lo tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a compresión del concreto.

Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Son muchos los factores que intervienen en la resistencia a compresión del concreto, entre los más importantes están la relación agua/cemento y el proceso de curado, una relación agua/cemento baja así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste.

1.2 AGREGADOS

1.2.1 Pruebas de los agregados (Descripción)

1.2.1.1 Introducción

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo, por ejemplo: que sus partículas sean 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 agregados de peso normal deben cubrir los requisitos de la norma ASTM C 33. (ACI – 318).

La prueba de los agregados tiene dos objetivos fundamentales: Primero determinar la adecuación del material para su uso en el concreto, incluyéndose las pruebas de abrasión, sanidad, peso específico y análisis petrográficos y químicos; segundo, para asegurar la uniformidad, como son las pruebas para control de humedad y granulometría de los agregados.(ACI – 318).

1.2.1.2 Muestreo

Los métodos para obtener muestras representativas de agregados se presentan en la norma ASTM D 75.

Para los agregados gruesos, esto se hace normalmente por medio del método de cuarteo: la muestra, mezclada por completo se extiende sobre una lona en una capa uniforme de 7.5 o 10 cm. de espesor, se divide en cuatro partes iguales y finalmente se desechan dos partes opuestas. Este proceso se repite hasta que quede el tamaño deseado de la muestra. En ocasiones se utiliza un procedimiento similar para el agregado fino. (ACI – 318).

1.2.1.3 Impurezas orgánicas

Las impurezas orgánicas en el agregado fino deben determinarse de acuerdo con la norma ASTM C 40. La prueba se realiza de la siguiente manera: se coloca una muestra de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio y se agita. Al día siguiente el color de la solución se compara con el color de una solución estándar. Si el color es más oscuro que el estándar, no se deberá usar el agregado fino para trabajos de importancia.

Algunos agregados finos contienen cantidades pequeñas de carbón o de lignito que le dan un color oscuro al líquido, si la cantidad es insuficiente para reducir apreciablemente la resistencia del concreto, el agregado fino podrá ser aceptado.

Las grandes cantidades de arcilla en los agregados pueden afectar de manera adversa la durabilidad, aumentar los requerimientos de agua e incrementar la contracción. Normalmente las especificaciones limitan la cantidad de material que pasa por la malla de 0.080 mm (No. 200) a 2 ó 3% del agregado fino y al 1% ó menos del agregado grueso. La prueba para el material que pasa la malla de 0.080 mm (No. 200) deberá realizarse de acuerdo a la norma ASTM C 117.(ACI – 318).

1.2.1.4 Granulometría

La granulometría del agregado afecta fuertemente al proporcionamiento del concreto y su trabajabilidad. La granulometría de un agregado se determina mediante una prueba de análisis de mallas en la que las partículas se dividen según sus distintos tamaños por medio de mallas estándar. Se deberá hacer el análisis de conformidad con la norma ASTM C 136.

Los resultados de los análisis de mallas se emplean de tres formas:

- 1) Para determinar si los materiales satisfacen o no las especificaciones.
- 2) Para elegir el material más adecuado si se dispone de distintos agregados;
- 3) Para detectar variaciones en la granulometría que sean suficientes para justificar mezclar tamaños seleccionados o algún ajuste en las proporciones de la mezcla de concreto.

Los requisitos en cuanto a la granulometría de los agregados para el concreto se muestran en la norma ASTM C 33. (ACI - 318).

1.2.1.5 Humedad.

Se pueden usar varios métodos para determinar la cantidad de humedad en las muestras de agregado. El contenido total de humedad para agregado fino o grueso puede probarse conforme a la norma ASTM C 566. Según este método una muestra medida de agregado húmedo se seca ya sea dentro de un horno, o sobre una plancha o al fuego directo. A partir de los pesos anterior y posterior al secado, se pueden calcular los contenidos de humedad total y de humedad superficial (libre). El contenido total de humedad se puede calcular como sigue:

$$P = 100 (W-D) / D$$

Donde: P = contenido de humedad de la muestra, en por ciento
W = peso de la muestra original
D = peso de la muestra seca

El contenido de humedad superficial es igual al contenido total de humedad menos la absorción. Se puede suponer que la absorción es de 1% para los agregados promedio o, para una mayor precisión, se debe determinar de acuerdo con los métodos dados en las normas ASTM C 127 para el agregado grueso y ASTM C 128 para el agregado fino. Únicamente la humedad superficial, y no la humedad absorbida, forma parte del agua de mezclado en el concreto. (ACI - 318).

1.2.1.6 Módulo de finura

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada a la malla y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son las de 0.15 mm (No. 100), 0.3 mm (No. 50), 0.60 mm (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.52 mm (3/8"), 19.05 mm. (3/4"), 38.10 mm (1/2"), 76.20 mm (3") y 152.40 mm (6"). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. (ACI – 318).

1.2.1.7 Peso específico

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen específico ocupado por el agregado. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9*.

Los métodos de prueba para determinar los pesos específicos para los agregados gruesos y finos se describen en las normas ASTM C 127 y C 128 respectivamente. El peso específico de un agregado se puede determinar considerando que ha sido secado al horno totalmente o que se encuentra saturado y superficialmente seco. Ambos pesos específicos se pueden utilizar en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto. (ACI – 318).

* La densidad del agregado usada en los cálculos de proporcionamiento de mezclas (sin incluir los vacíos entre las partículas) se determina multiplicando el peso específico por la densidad del agua. El valor de la densidad de agua normalmente empleado es de 1000 kg./m³.

1.2.2 Propiedades físicas

El término agregado comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizadas para preparar morteros y concretos y también se aplica a los materiales especiales utilizados para producir concretos ligeros y pesados.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado. Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si retiene la estabilidad en su forma con cambios de temperatura o humedad y resiste la acción de la intemperie sin descomponerse.

Para que el agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe ser capaz de desarrollar toda la resistencia propia del aglomerante. Cuando la resistencia al desgaste es importante, el agregado debe ser duro y tenaz.

La clasificación y el tamaño máximo de los áridos son importantes debido a su efecto en las dosificaciones, ductilidad, economía, porosidad y contracción. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de tamices normales. Los tamices normales utilizados son No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100, para agregado fino, y 6, 3, 1, 1/2, 3/4 y 3/8 de pulgada y No. 4, para agregado grueso. El agregado grueso, por lo general, se escoge hasta el tamaño máximo que resulte práctico para un trabajo: siendo el límite superior normal de 6 pulgadas. (Frederick S. Merritt).

En las tablas que se muestran a continuación se describen las propiedades físicas de las arenas que utilizamos para la elaboración de nuestras mezclas y en las gráficas podemos observar la curva granulométrica que resultó de cada una de ellas. De igual manera (en 1.2.3) se presentan las curvas granulométricas para el agregado grueso (grava) y sus propiedades físicas.

Tabla 1.2.2.1 Propiedades Físicas de la Arena

NORMAS DE REFERENCIAS: NMX-C-111, NMX-C-30, NMX- C-73, NMX-C-77, NMX- C-84, NMX-C-164

PRUEBA	CONCEPTO	PRUEBA	
		1	2
DENSIDAD		500	500
		2.05	2.06
	kg. / l	2.439	2.427
ABSORCION	PESO (S.S.S) kg. (SUELTO Y SUPERFICIALMENTE SECO)	600.00	600.00
	PESO SECO kg.	578.00	577.00
	%	3.81	3.99
P. VOLUMETRICO SUELTO	PESO BRUTO kg.	13.025	13.036
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336
	P.MATERIAL kg.	9.689	9.700
	VOL. RECIP. L.	7.081	7.081
	kg. / m ³	1.368	1.370
PESO VOLUMETRICO VARILLADO	PESO BRUTO kg.	13.951	13.959
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336
	P.MATERIAL kg.	10.615	10.623
	VOL. RECIP. L.	7.081	7.081
	kg. / m ³	1.499	1.500
PERDIDA POR LAVADO	P. MAT. SUCIO kg.	603	609
	P. MAT. LAV. Kg.	582	587
	%	1.04	1.04
MATERIA ORGANICA (COLORIMETRIA)		1	1

MUESTRA No.	M - 940 - 95
PROCEDENCIA:	COMONFORT, GUANAJUATO
DESCRIPCION:	ARENA DE RIO
CANTIDAD QUE REP.	14 M ³
FECHA DE RECIBIDO:	27-Oct-95
OBSERVACIONES:	VERIFICACION DE PROPIEDADES FISICAS, ANTERIOR ENSAYE 30 OCT. 95. MUESTRA TOMADA DE LA GAVETA DE ARENA

PROPIEDADES FISICAS (PROMEDIO)	
DENSIDAD	2.433 kg./l
ABSORCION	3.90%
PESO VOLUMETRICO SUELTO	1,369 kg./m ³
P.VOLUMETRICO VARILLADO	1,500 kg/m ³
PERDIDA POR LAVADO	1.04%
MODULO DE FINURA	2.32
MATERIA ORGANICA	1
CONTAMINACION	0.18%

Tabla 1.2.2.2 Granulometría de la Arena

MALLA No.	PESO RETENIDO (g)		PESO RETENIDO %			% REST. ACUM. PROM.
	1	2	1	2	PROM.	
4	--	--	--	--	--	--
8	22	22	3.75	3.79	3.77	3.77
16	42	43	7.17	7.40	7.29	11.06
30	166	162	28.33	27.88	28.11	39.17
50	246	251	41.98	43.20	42.59	81.76
100	86	82	14.68	14.11	14.39	96.15
CH	24	21	4.09	3.62	3.85	MODULO DE FINURA 2.32
TOTAL	586	581	100.0	100.0	100.0	

FECHA DE PRUEBA: ABRIL / 18 / 1996

(* Esta arena fue utilizada para la elaboración de las mezclas de la etapa A y B)

Muestra No. M-940-95
 Procedencia: COMONFORT, GUANAJUATO
 ARENA DE RÍO

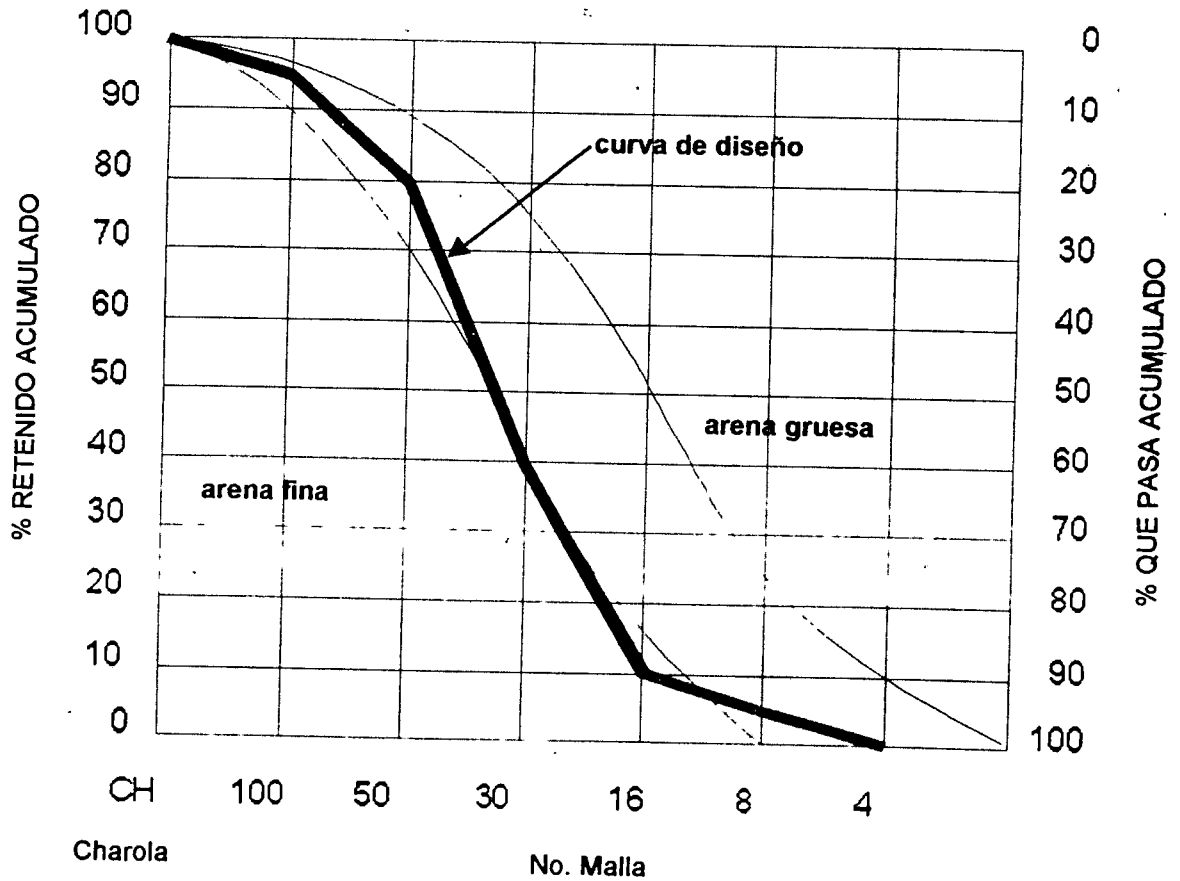


Figura 1.2.2.3 Curva Granulométrica de la Arena

Tabla 1.2.2.4 Propiedades Físicas de la Arena

NORMAS DE REFERENCIAS: NMX-C-111, NMX-C-30, NMX-C-73, NMX-C-77, NMX-C-84, NMX-C-164

PRUEBA	CONCEPTO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	MUESTRA No.	M - 514 - 96
DENSIDAD		500	500	PROCEDENCIA:	COMONFORT, GUANAJUATO (PRODUCCION)
		206	206	DESCRIPCION:	ARENA DE RIO
	kg. / l	2.427	2.427	CANTIDAD QUE REP.	15 M ³
				FECHA DE RECIBIDO:	18-Abr-96
ABSORCION	PESO (S.S.S) kg. (SUELTO Y SUPERFICIALMENTE SECO)	600	600	OBSERVACIONES:	SE OBTUVO UNA CARRETILLA LLENA DE ESTE MATERIAL, EL RESTO LO USO MANTENIMIENTO DE PLANTA.
	PESO SECO kg.	579	578		
	%	3.63	3.81		
P. VOLUMETRICO SUELTO	PESO BRUTO kg.	12.447	12.435		
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336		
	P.MATERIAL kg. VOL. RECIP. L.	9.111 7.081	9.099 7.081		
	kg. / m ³	1.287	1.285		
PESO VOLUMETRICO VARILLADO	PESO BRUTO kg.	14.308	14.322	PROPIEDADES FISICAS (PROMEDIO) DENSIDAD 2,427 kg/l ABSORCION 3.72% PESO VOLUMETRICO SUELTO 1,286 kg./m ³ P.VOLUMETRICO VARILLADO 1,550 kg/m ³ PERDIDA POR LAVADO 1.90% MODULO DE FINURA 2.98 MATERIA ORGANICA 1 CONTAMINACION 2.42%	
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336		
	P.MATERIAL kg. VOL. RECIP. L.	10.972 7.081	10.986 7.081		
	kg. / m ³	1.549	1.551		
PERDIDA POR LAVADO	P. MAT. SUCIO kg.	640	647		
	P. MAT. LAV. Kg.	628	635		
	%	1.91	1.89		
MATERIA ORGANICA (COLORIMETRIA)		1	1		

Tabla 1.2.2.5 Granulometría de la Arena

MALLA No.	PESO RETENIDO (g)		PESO RETENIDO %			% REST. ACUM. PROM.
	1	2	1	2	PROM.	
4	--	--	--	--	--	--
8	63	10.03	64	10.08	10.05	10.05
16	113	17.99	116	18.270	18.13	28.18
30	255	40.61	258	40.63	40.62	68.80
50	147	23.41	148	23.31	23.36	92.16
100	41	6.53	42	6.61	6.57	98.73
CH	9	1.43	7	1.10	1.27	MODULO DE FINURA 2.98
TOTAL	628	100.00	635	100.0	100.0	

FECHA DE PRUEBA: ABRIL / 19 / 1996

Muestra No. M-514-96
 Procedencia: COMONFORT, GUANAJUATO
 (Producción)
 ARENA DE RÍO

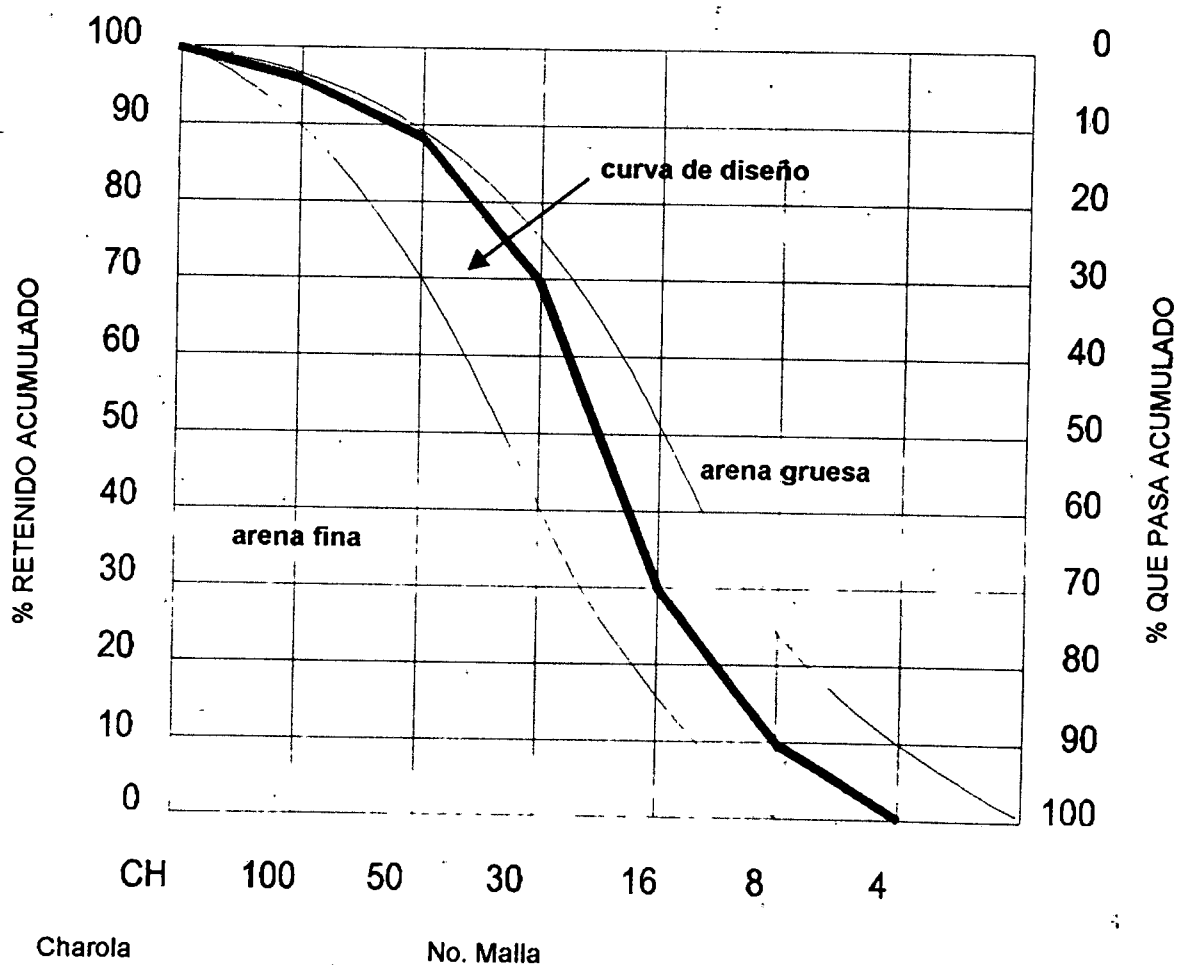


Figura 1.2.2.6 Curva Granulométrica de la Arena

Tabla 1.2.2.7 Propiedades Físicas de la Arena

NORMAS DE REFERENCIAS: NMX-C-111, NMX-C-30, NMX- C-73, NMX-C-77, NMX- C-84, NMX-C-164

PRUEBA	CONCEPTO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	MUESTRA No. <u>M - 1244 - 96</u>	
DENSIDAD	PESO CHAPMAN + AGUA g.	773.0	779.00	PROCEDENCIA: <u>DOLORES HIDALGO, GTO.</u> <u>"INGENIERIA EXTRACTIVA"</u>	
	PESO MATERIAL g.	500.0	550.00	DESCRIPCION: <u>ARENA DE RIO</u>	
	PESO CHAPMAN + AGUA+ MATERIAL g.	1071.0	1106.00	CANTIDAD QUE REP. <u>15 M³</u>	
	kg. / l	2.475	2.466	FECHA DE RECIBIDO: <u>11-Oct-96</u>	
ABSORCION	PESO (S.S.S) kg. (SUELTO Y SUPERFICIALMENTE SECO)	0.6000	0.700	OBSERVACIONES: <u>PARA MEZCLAS DE CONCRETO</u> <u>EN L.P.M.</u>	
	PESO SECO kg.	0.5770	0.674		
	%	3.986	3.858		
P. VOLUMETRICO SUELTO	PESO BRUTO kg.	12.714	12.744		
	PESO RECIP. Kg.	3.370	3.370		
	P.MATERIAL kg.	9.344	9.374		
	VOL. RECIP. L.	7.029	7.029		
	kg. / m ³	1.329	1.334		
PESO VOLUMETRICO VARILLADO	PESO BRUTO kg.	13.776	13.839		
	PESO RECIP. Kg.	3.370	3.370		
	P.MATERIAL kg.	10.406	10.469		
	VOL. RECIP. L.	7.029	7.029		
	kg. / m ³	1.48	1.489		
PERDIDA POR LAVADO	P. MAT. SUCIO kg.	0.5645	0.5397		
	P. MAT. LAV. Kg.	0.5483	0.5229		
	%	2.87	3.11		
MATERIA ORGANICA (COLORIMETRIA)		2	2		

PROPIEDADES FISICAS (PROMEDIO)		
DENSIDAD		2.471 kg/l
ABSORCION		3.922%
PESO VOLUMETRICO SUELTO		1,332 kg./m ³
P.VOLUMETRICO VARILLADO		1,485 kg/m ³
PERDIDA POR LAVADO		2.99%
MODULO DE FINURA		2.74
MATERIA ORGANICA		2
CONTAMINACION		0.00%

Tabla 1.2.2.8 Granulometría de la Arena

MALLA No.	PESO RETENIDO (g)		PESO RETENIDO %			% REST. ACUM. PROM.
	1	2	1	2	PROM.	
4	--	--	--	--	--	--
8	29.9	28.4	5.4	5.4	5.4	5.4
16	110.1	90.6	20.0	17.3	18.7	24.1
30	199.1	176.8	36.2	33.7	35.0	59.0
50	147.3	160.2	26.8	30.6	28.7	87.7
100	54.3	54.7	9.9	10.4	10.2	97.9
CH	9.2	13.4	1.7	2.6	2.2	MODULO DE F. 2.74
TOTAL	549.9	524.1	100.0	100.0	100.0	

FECHA DE PRUEBA: OCTUBRE / 14 / 1996

(* Esta arena fue utilizada para la elaboración de las mezclas de la Etapa C y D)

Muestra No. M-1244-96
 Procedencia: DOLORES HIDALGO, GTO.
 INGENIERÍA EXTRACTIVA

ARENA DE RÍO

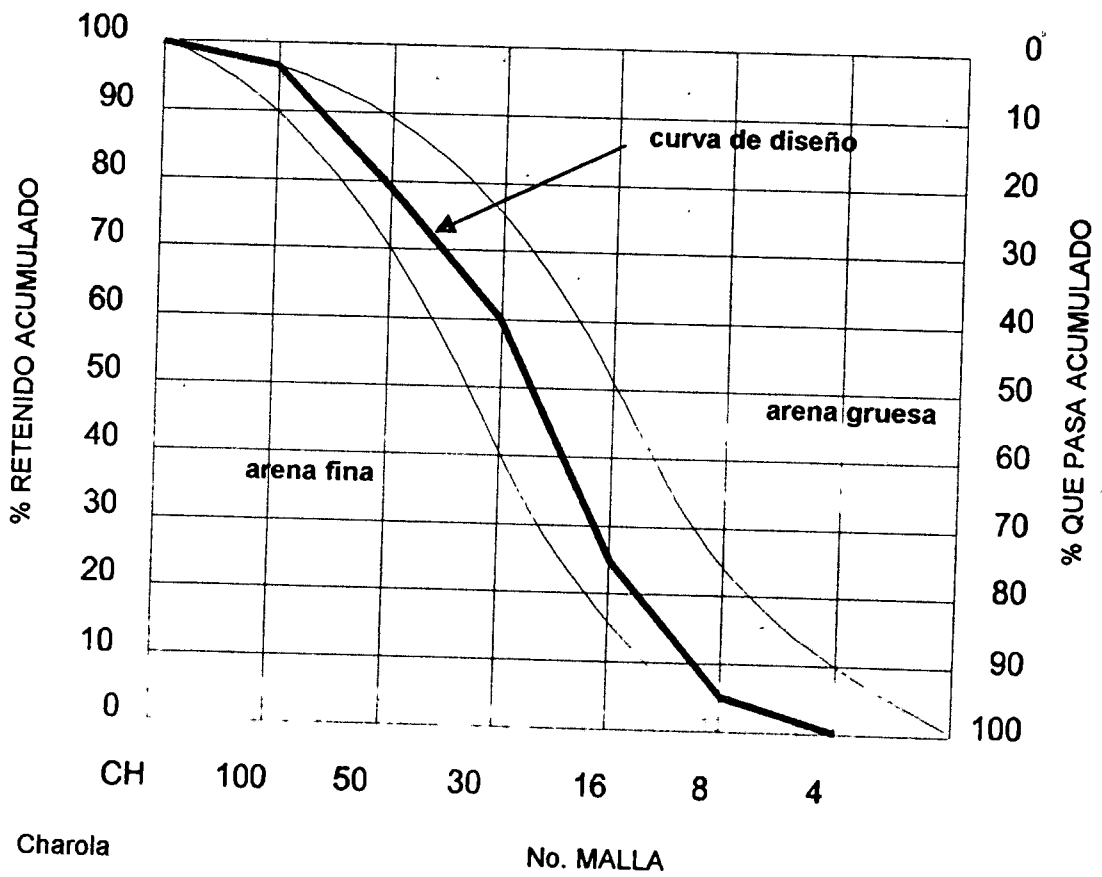


Figura 1.2.2.9 Curva Granulométrica de la Arena

1.2.3 Granulometría de la grava.

Con la tabla de los requisitos de granulometría para los agregados gruesos del ASTM- 33 determinamos que realizaríamos un diseño óptimo tomando los valores medios de los porcentajes que pasan la malla, que fueron establecidos por los tamaños de: 1", 1/2" y No. 4.

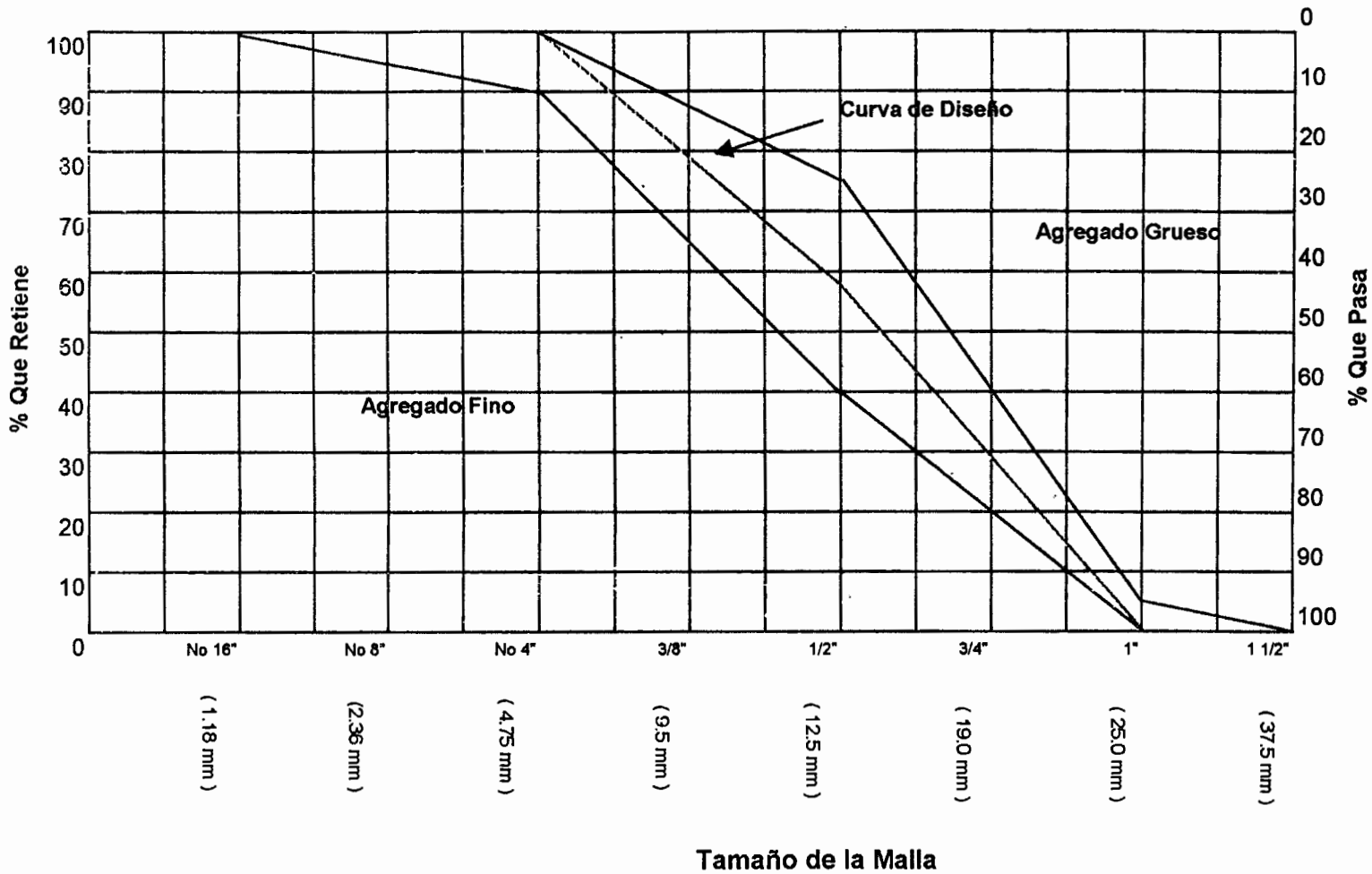
El tamaño del agregado grueso que se utilizó para la elaboración de las mezclas varía desde 4.75 mm – 25.0 mm.

Tabla 1.2.3.1 Requisitos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C 33)

Número	Tamaño Nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso										
		(75 mm)	(63 mm)	(50 mm)	(37.5 mm)	(25.0 mm)	(19.0 mm)	(12.5 mm)	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.36 mm)	1.18 mm)
De	Tamaño	3 pulg.	2.5 pulg.	2 pulg.	1.5 pulg.	1 pulg.	3/4 pulg.	1/2 pulg.	3/8 pulg.	No. 4	No. 8	No. 16
1	90 a 37.5 mm		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5 mm	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25.0 mm		100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75 mm		100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19.0 mm			100	90 a 100	20 a 65	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 a 4.75 mm			100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25.0 a 12.5 mm				100	90 a 100	20 a 58	0 a 10	0 a 5			
56	25.0 a 9.5 mm				100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75 mm					100	90 a 100		25 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm						100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm							100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

En las figuras 1.2.3.2 y 1.2.3.4 veremos el término de Tamaño Máximo de Agregado (T.M.A), el cual explicaremos a continuación.

Debido a la costumbre, a veces hay confusión sobre lo que se requiere decir con el tamaño máximo agregado. La norma ASTM C 125 y el ACI 116 definen a éste término y lo diferencian del tamaño máximo normal del agregado. El tamaño máximo normal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máxima normal, puede retener del 5% al 15% del agregado dependiendo del número, del tamaño.



Porcentajes para Diseño Óptimo	
T. Agregado	(%)
1"	28.5
3/4"	29.0
1/2"	21.0
3/8"	21.5
Total 100%	

(*PARA LA ETAPA "A")

Figura 1.2.3.2. Curva Granulométrica del agregado Grueso (Agregado máximo de 1")

Tabla 1.2.3.3 Propiedades Físicas de la Grava

NORMAS DE REFERENCIAS: NMX-C-111, NMX-C-30, NMX- C-73, NMX-C-77, NMX- C-84, NMX-C-165

PRUEBA	CONCEPTO	PRUEBA 1	PRUEBA 2
DENSIDAD		1	2
	PESO (S.S.S.)kg. (SUELTO Y SUPERFICIALMENTE SECO)		
	VOL. DESAL. 1 kg. / l		
ABSORCION	PESO (S.S.S) kg. (SUELTO Y SUPERFICIALMENTE SECO)		
	PESO SECO kg. %		
P. VOLUMETRICO SUELTO	PESO BRUTO kg.	12.895	12.907
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336
	P.MATERIAL kg.	9.559	9.571
	VOL. RECIP. L.	7.081	7.081
	kg. / m ³	1.350	1.352
PESO VOLUMETRICO VARILLADO	PESO BRUTO kg.	14.182	14.203
	PESO RECIP. Kg.	3.336	3.336
	P.MATERIAL kg.	10.846	10.867
	VOL. RECIP. L.	7.081	7.081
	kg. / m ³	1.532	1.535
PERDIDA POR LAVADO	P. MAT. SUCIO kg.		
	P. MAT. LAV. Kg. %		

PROPIEDADES FISICAS (PROMEDIO)	
DENSIDAD	2.66 kg/l
ABSORCION	0.99%
PESO VOLUMETRICO SUELTO	1,351 kg./m ³
P.VOLUMETRICO VARILLADO	1,534 kg/m ³
CONTAMINACION SUPRATAMAÑO	0.00%
CONTAMINACION INFRATAMAÑO	1.54
PERDIDA POR LAVADO	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA	28.729 kg.%

MALLA No.	REQUISITOS DE RETENIDO%			PESO RETENIDO EN Kg.	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO
	3/4"	1"	1 1/2"			
2"						
1 1/2"		100				
1"		95-100		0.000.0	0.0	0.0
3/4"						
1/2"			+25-60	19.219.0	67.9	67.9
3/8"						
8		0-10		9.068.2	32.1	100.0
4		0-5				
TOTAL				38.282	100	

FECHA DE PRUEBA: 19 ABRIL 1996

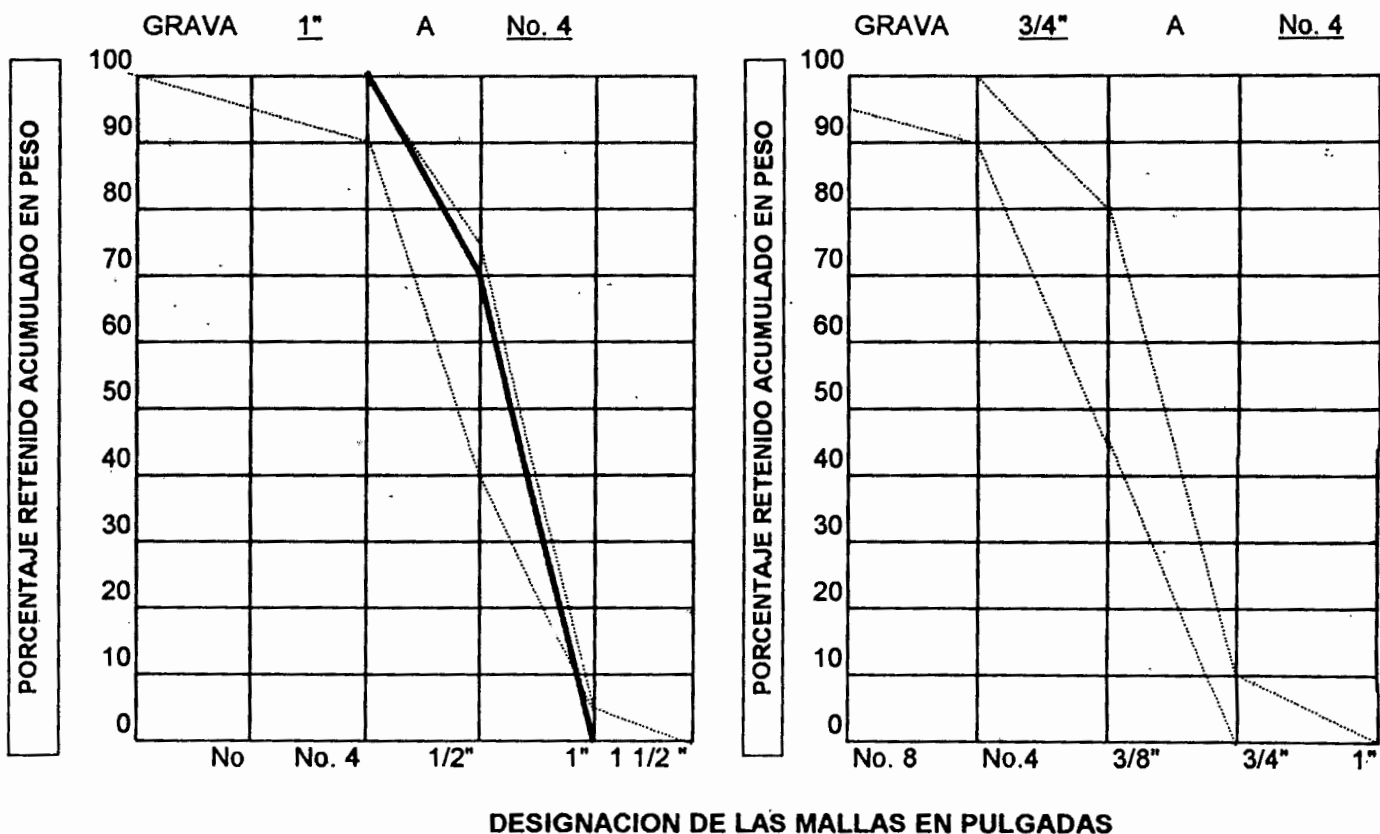


Figura 1.2.3 4. Curva Granulométrica del agregado grueso (tamaño máximo de 1").

NORMA DE REFERENCIA: (NOM - C - 77)

MUESTRA No. M - 524 -96

FECHA DE PRUEBA: 12 DE JULIO 1996

* Esta fue la granulometría de la grava utilizada en la estapa B, C y D.
 La grava se uso en las mezclas tal como provenia del banco.
 (Grava caliza, T.M.A. 1", Bernal)

1.3 PROPORCIONAMIENTO

1.3.1 Introducción.

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

- 1.- En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
- 2.- En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- 3.- Economía

Antes de efectuar el proporcionamiento de una mezcla, se seleccionan sus características en base al uso que se propone dar al concreto. Una vez que estas características se han elegido, la mezcla se puede proporcionar a partir de los datos de campo o de laboratorio.(ACI - 318).

Los métodos de proporcionamiento han evolucionado desde el arbitrario método volumétrico, hasta los métodos actuales de peso y volumen absoluto descritos en la práctica estándar para el proporcionamiento de mezclas de concreto del Comité 211 del Instituto Americano del Concreto.

El método más exacto y el que utilizamos para desarrollar esta investigación es el de volumen absoluto, involucra el uso de los valores de la densidad de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada ingrediente ocupará en la unidad de volumen de concreto.(ACI - 318).

En la tabla 1.3.1.1. se muestra el procedimiento usado en esta investigación para diseñar una mezcla de concreto. El diseño de esta mezcla pertenece a la etapa A de la mezcla "testigo".

En la tabla 1.3.1.2 se muestran los cálculos correspondientes al ajuste de la mezcla para poder determinar los consumos reales de cada material para producir un metro cúbico de concreto (Mezcla testigo, etapa A).

Tabla 1.3.1.1 Diseño de una mezcla de concreto

Normas de Referencia: NOM-156-88,
157-87,159-85 Y 245-86

Diseño de mezclas: Volúmenes absolutos

Obra: investigación

Ensaye de aditivo:

$f_c =$ _____ kg/cm^2

Número de mezcla: 121 - 95

Diseño de mezclas:

Revenimiento: 9+1 cm.

No.(s) de m

Muestra (s)

No.(s) de Lote(s)

Material	Identificación	Densidad Kg/l
Cemento	Tolteca T-1	3.1
Puzolana		
Arena	De río, Celaya (M.F = 2.32)	2.433
Grava	Caliza, Bernal (T.M.A. = 1")	2.64
Aditivo (s)	Testigo	

Composición granulométrica en peso		
Arena %	Arena 46 %	Pg/pa = 1.174
Arena %		
Grava %		
Grava %	Grava 54 %	
Grava %		
Grava %		

Material	Consumo		Participación
	Kg/m ³	l/m ³	Unitaria
Cemento	300	97	1.00
Puzolana			
Agua	200	200	0.667
Vacios	1.5%	15	
Arena	80	330	2.667
Grava	945	358	3.15
Suma	2248	1000	

Contenido de arena y grava (l/m ³)	
Vag. 100 - 312	=668
$Vg. = pq \times da = \frac{1.174 \times 2.433}{2.640} = 1.082$	
$Va = \frac{Vag.}{1 + Vg} = \frac{668}{1 + 1.082} = 330$	
$Vg. = Vag. - Va = 668 - 330 = 338$	

Proporción base	Cantidades Saturadas		Humedad		Absorción		Cantidades corregidas
			%	Peso	%	Peso	
Cemento = 1.00	24.000						24.000
Puzolana =							
Arena = 2.677	64.248		5.45	3.502	3.9	2.506	65.244
Grava 1" = 0.898	21.522		1.01	0.218	0.78	0.168	21.602
Grava 3/4" = 0.913	21.912		1.62	0.355	0.98	0.215	22.052
Grava 1/2" = 15.888	15.888		3.41	0.542	1.43	0.227	16.203
Grava 3/8" = 0.677	16.248		4.82	0.783	2.78	0.452	16.579
Agua = 0.667	16.008			5.400		3.568	14.176
Aditivo							14.176
							+1.000

ADICIONES DE MATERIALES, Kg.

Cemento:
Agua : + 1.000
Hora : 9:25

DETERMINACIONES

Revenimiento 9.0 cm.

Temp. Ambiente: 25.0 ° C

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Aspecto Cohesión Trabajabilidad: Bueno
Gravoso Mucha Acabado: Fácil
Pastoso Media Sangrado: Ligero
Balanceado Poca

P. Vol. = $\frac{19.334 \times 3.365}{7.029} = 2272$ Kg, Cont. De aire: 1.6%

Temp.del Concreto: 2.0 ° C

H.R. 58.0%

Fecha : 03 mayo de 1996

* El diseño de la mezcla se realizó para producir 80.0 Lts. de concreto, suficiente para la realización de las pruebas a la mezcla y para la elaboración de los especímenes.

Tabla 1.3.1.2 Ajuste de una mezcla de concreto

NORMAS DE REFERENCIA : NMX - C 83-88; NMX C 109-85 Y NMX - C 162-85

Número de mezcla: 121 - 96

Materiales	Cantidades		Densidad Kg./l	Volumen Absoluto Litros
	En peso, Kg.	Prop. Unitaria		
Cemento	24.000	1.00	3.100	7.742
Puzolana				
Arena	64.248	2.677	2.433	26.407
Grava 163.848	75.6000	3.15	2.640	28.636
Agua	17.008	0.709	1.000	17.008
Suma P=	180.856		Vab=	79.793

$$\text{Volumen aparente (Vap)} = \frac{1000P}{P.V} = \frac{1000 \times 180.856}{2272} = 79.602 \text{ lts.}$$

$$\text{Vacíos de concreto fresco} = \frac{Vap - Vab}{Vap} = \frac{79.602 - 79.793}{79.602} \times 100 = -0.2\%$$

Materiales	Consumos Reales kg./m ³	Proporción Unitaria	Observaciones
Cemento	301	1.00	Pérdida de Revenimiento, cm. : 15' _____ 30' _____ 45' _____ 60' _____ 75' _____ 90' _____
Puzolana			
Arena	807	2.681	
Grava	950	3.156	
Agua	214	0.711	
Suma	2272		Reducción de Agua: _____ - _____ x100=0%

REFERENCIAS

ACI - 318. Capítulo 1, "*Fundamentos sobre el concreto*", pág. 1.

ACI - 318. Capítulo 14, "*Pruebas para controlar la calidad de concreto*", págs. 179,180,181.

ACI - 318. Capítulo 4 , "*Agregados para el concreto*", págs. 31, 38.

ACI - 318. Capítulo 7, "*Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal*", págs. 83,89.

Determinación de la granulometría de los agregados NOM -C-77-1985.

Determinación del peso volumétrico de los agregados ASTM C 29 -71-1985.

Determinación del porcentaje de absorción de los agregados finos NOM-C-164-1985.

Determinación del porcentaje de absorción de los agregados gruesos NOM-C-165-1985.

Determinación del porcentaje de humedad de los agregados gruesos y finos NOM-C-164-1985.

Manual del Ingeniero Civil, "*Materiales de construcción*", Sección 5.

Volumen I. Frederick S. Merritt (Mc. Graw Hill).

Capítulo Dos

Aditivos

2.1 INTRODUCCIÓN

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, o por economía, o con el propósito de ahorrar energía. En muchos de los casos un aditivo puede ser el único medio para alcanzar el resultado deseado. (IMCYC, 1983)

Los aditivos actúan en el sistema hidratante-cementante por acción física, química o físico-química, modificando una o más propiedades del concreto, mortero o pasta en la etapa de fresco, fraguando, endureciéndose y endurecido.

Los aditivos que deben emplearse en el concreto estarán sujetos a la aprobación previa del ingeniero. Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento en toda la obra que el producto usado para establecer las proporciones del concreto.

Los aditivos reductores de agua, retardadores, acelerante, reductores de agua y retardantes, y reductores de agua y acelerantes, deberán cumplir con la *"Specification for Chemical Admixtures for Concrete"* (ASTM C 494) o *"Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete"* (ASTM C 1017).

El humo de sílice u otras puzolanas que se empleen como aditivos deben cumplir con la *"Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete"* (ASTM C 618).

2.1.1 Definición de aditivo

La norma ASTM C - 125: Definiciones estándar, términos relacionados con concreto y agregados para concreto; y la *Cement and Concrete Terminology*. ACI SP - 19.1 definen un aditivo como: "Un material diferente del agua, agregados y del cemento hidráulico que se emplea como componente del concreto o mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos pueden ser químicos o minerales. (IMCYC, 1983)

Otra definición establecida por el Comité 84 AAC de RILEM(2), como sigue: "Los aditivos para concreto, mortero o pasta son materiales orgánicos o inorgánicos, incluyendo minerales, en estado sólido o líquido, que se añaden a los componentes normales de la revoltura.

2.1.2 Clasificación de los aditivos

2.1.2.1 Aditivos minerales

Los aditivos minerales finalmente divididos se pueden clasificar en cuatro tipos:

- 1.- Materiales cementantes
- 2.- Puzolanas
- 3.- Materiales puzolánicos y cementantes
- 4.- Materiales nominalmente inertes.
(IMCYM, 1983)

2.1.2.2 Aditivos químicos

La norma ASTM C-494, hace la siguiente clasificación de los aditivos químicos para el concreto:

- Tipo A = Aditivos reductores de agua.
- Tipo B = Aditivos retardantes
- Tipo C = Aditivos acelerantes
- Tipo D = Aditivos reductores de agua y retardante
- Tipo E = Aditivos reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F = Aditivo reductor de agua de alto rango
- Tipo G = Aditivo reductor de agua de alto rango y retardante.
(IMCYM, 1983)

2.2 HUMO DE SÍLICE (H.S.)

2.2.1 Origen del humo de sílice

El humo de sílice (puzolana) es un subproducto de la fabricación del sílice metálico y sus aleaciones. Se forma a partir de la reducción de cuarzo por carbón en hornos de arco eléctrico. Este material que se condensa en partículas microscópicas (con tamaño promedio de 0.15 micras) fue recuperado originalmente por razones de protección del medio ambiente. Sólo después se encontró el gran potencial de este material para la industria del concreto, siendo su eficiencia muy superior a la de otras puzolanas.

Las puzolanas según su origen, se diferencian entre puzolanas naturales y artificiales.

Entre las puzolanas naturales más antiguas se encuentran las cenizas volcánicas de la región de "Puzziol" (de donde proviene la denominación de "puzolanas") cerca de Nápoles, Italia, que fueron usadas por los romanos para fabricar morteros hidráulicos.

Las puzolanas artificiales más importantes son: ceniza volante, humo de sílice y la escoria de alto horno.

2.2.2 Efecto del H.S sobre las propiedades del concreto.

Introducido en el concreto como una adición al cemento, el H.S. actúa de dos formas principales:

- Primero: Como filler, (ajustador), consigue una gran capacidad de adherencia entre los materiales y por consiguiente se obtienen mayores resistencias mecánicas.
- Segundo: Como puzolana, combinándose con la cal libre (como subproducto de la hidratación del cemento) formando así silicatos hidratados muy similares a los producidos por el cemento Portland, por lo que disminuye la porosidad y aumentan sus resistencias físicas y químicas.

2.2.3 Efecto del H.S. sobre el concreto fresco.

Como resultado de la gran superficie específica del H.S se presenta un incremento en la demanda de agua para mantener la misma trabajabilidad. Como sabemos, más agua, menos calidad, por lo tanto se requerirá de aditivos superplastificantes.

Añadiendo H.S. al cemento del concreto fresco es mucho más cohesivo, menos propenso a la segregación y no presenta sangrado. La trabajabilidad del concreto es superior a la de un concreto normal, si se combina adecuadamente el humo de sílice con superplastificantes.

2.2.4 Efecto del H.S. sobre el concreto endurecido.

Agregando humo de sílice hasta un 10% del peso del cemento, combinando con un superplastificante en un rango del 1.0-2.0% del mismo, se pueden fabricar concretos de altas prestaciones (resistencias).

Los concretos con H.S. tienen: mayor resistencia a compresión y tensión, menor porosidad y permeabilidad, mayor resistencia a la corrosión, mayor resistencia química, mejor durabilidad y resistencia al desgaste.

(Ernesto Schümperli C., Zürich Suiza 1992).

2.3 ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

En la ASTM C 494 (24) se incluyen especificaciones para aditivos del tipo de reductores de agua y reguladores de fraguado, se evalúa al aditivo para que cumpla con las especificaciones en condiciones controladas, tales como temperatura, contenido fijo de cemento, revenimiento y contenido de aire, utilizando agregados graduados dentro de los límites estipulados. Esta norma exige ciertas diferencias mínimas de requisitos de agua y de resistencia del concreto, rango de tiempos de fraguado, de contracción y durabilidad. La mayoría de los aditivos reductores de agua se comportan considerablemente mejor que los requisitos mínimos de la ASTM C 494 (29). Los aditivos reductores de agua, de buena calidad, reducen el requisito de agua del concreto en 8 o 10 % o más, e incrementan sustancialmente la resistencia con el mismo contenido de cemento.

Al usar aditivos reductores de agua, es posible reducir el contenido de cemento en proporción a la reducción del contenido del agua, conservando así mismo, la relación agua / cemento. Por lo general se observa un incremento adicional en la resistencia, porque estos aditivos incrementan la eficiencia de hidratación de la reacción cemento, permitiendo que la reducción de agua baje la relación agua/cemento, siempre que la consistencia (revenimiento) del concreto siga siendo la misma.

Otro uso del aditivo reductor de agua es permitir el incremento en la consistencia (revenimiento) del concreto sin aumentar la relación agua /cemento , conservando de esta manera el nivel de resistencia.

Los materiales que generalmente están disponibles para utilizarse como aditivos reductores de agua y aditivos reguladores de fraguado, se clasifican dentro de cinco clases generales:

- 1.- Ácidos lignosulfónicos y sus sales.
- 2.- Modificadores y derivados de ácidos lignosulfónicos y sus sales
- 3.- Ácidos carboxílicos hidroxilados y sus sales.
- 4.- Modificaciones y derivados de ácido carboxílicos hidroxilados y sus sales.
- 5.- Otros materiales entre los que se incluyen:
 - a) Materiales inorgánicos tales como sales de zinc, boratos, fosfatos y cloruros.
 - b) Aminas y sus derivados.
 - c) Carbohidratos, polisacáridos y ácidos del azúcar.
 - d) Ciertos compuestos poliméricos, como éteres de celulosa, derivados de melamina, derivados de neftaleno, silicones y carbohidratos sulfonados.

La mayoría de los aditivos del tipo de los reductores de agua son soluciones acuosas. El agua que contienen se vuelve parte del agua de mezclado en el concreto, y usualmente así se le considera.

2.4 ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES (Reductores de agua de alto rango)

2.4.1 *Introducción.*

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, se utilizan en concretos de revertimiento y relación agua-cemento bajos, y en los concretos normales se usan para producir concretos fluidos de alto revenimiento.

El concreto fluido se emplea (1) en colados de secciones delgadas, (2) en áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado, (3) en colados con tubo-embudo (bajo el agua), (4) como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento a distancia de bombeo horizontal y vertical, (5) en las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y (6) para aminorar los costos de manejo.

El concreto fluido queda definido por la especificación ASTM C 1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor a 19 cm. Y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. (ACI - 318).

2.4.2 *Superplastificantes.*

Los superplastificantes son esencialmente aditivos para producir concretos de alta resistencia. La gran concentración de partículas de cemento en la mezcla requiere de agua, relativamente de altas dosificaciones de superplastificante para complementar la defloculación y dispersar la suspensión de partículas de cemento.

Los superplastificantes son polímeros que pueden interactuar física y químicamente con las partículas de cemento. La interacción física ocurre cuando un superplastificante es usado para diluir un polvo fino no cementante. Este tipo de interacción incluye tres modos de acción: 1) absorción de las moléculas de superplastificante por Van der Waals y fuerzas electrostáticas sobre las partículas; 2) reducción de las fuerzas de atracción entre las partículas de cargas opuestas (defloculación) e inducción de fuerzas repulsivas dentro de las partículas, ambas por la alta carga negativa transportada en las partículas por la absorción del superplastificante (dispersión); y 3) impedimento o repulsión entre las moléculas de polímeros absorbidas.

Los superplastificantes pueden interactuar también químicamente con la hidratación de las partículas de cemento. Se ha encontrado que los superplastificantes a base de naphthaleno pueden reaccionar con la mayor parte de las partículas reactivas de cemento, particularmente con C₃A (Aluminato tricálcico), y substancialmente reducen la velocidad de hidratación de la superficie inicial.

Los superplastificantes son también empleados para retardar la hidratación de C₃S (Silicato Tricálcico). Esta interacción tiene consecuencias prácticas, porque pueden postergar el

tiempo de fraguado de la pasta y reducir significativamente las propiedades mecánicas a temprana edad. El efecto de retardación de los superplastificantes es difícilmente proporcional a su concentración y es generalmente más pronunciado con cementos bajos en C_3A (Aluminato Tricálcico). Una publicación reciente sugiere que los tiempos de fraguado, largos y bajas resistencias iniciales son más probables a ocurrir con cementos bajos en C_3A .

Con cementos que contienen cantidades normales de C_3A , un efecto de retardo significativo puede también ocurrir sin necesidad de altas dosificaciones de superplastificante.

Estos resultados hacen incapié en el factor que determina la dosificación de superplastificante, ya que puede ser una tarea relativamente compleja con implicaciones sobre el costo, reología del concreto fresco y en las propiedades mecánicas a edades tempranas. Una óptima dosificación produciría un concreto con una buena trabajabilidad, mantenida durante la cantidad de tiempo requerida, pero sin algún efecto mayor sobre el tiempo de fraguado o en las propiedades mecánicas iniciales. (ACI Materials Journal/Marzo-Abril 1996).

2.5 ADITIVOS UTILIZADOS PARA ESTA INVESTIGACIÓN.

Los aditivos que se usaron en esta investigación son productos elaborados por SIKA MEXICANA:

- 1.- Humo de Sílice (Sikafume)
- 2.- Reductor de agua (Sikament-306)
- 3.- Reductor de agua de alto rango (Sikament -100)

2.5.1 Sikafume (Datos según el fabricante)

2.5.1.1 Descripción

Es un aditivo en polvo con base de humo de sílice para producir mezclas de concreto con altas características de impermeabilidad, resistencias químicas, mecánica y de cohesividad. Reacciona químicamente con cal libre de cemento, mejorando las resistencias de la mezcla. Su finura llena los poros del concreto.

2.5.1.2 Propiedades físicas y químicas

Aspecto	Polvo fino
Color:	Gris
Contenido SiO_2	99.0% mínimo
Superficie específica	150 m^2/g . Aprox.

(SiO_2 = Óxido de Silicio)

2.5.1.3 Dosificación

Del 5 al 25% de peso del cemento de acuerdo con las necesidades y aplicación específica del concreto.

Se recomienda realizar ensayos previos para determinar el diseño óptimo de la mezcla.

2.5.1.4 Propiedades y durabilidad de concreto con Sílica Fume

- Sikafume, aporta al concreto una mayor durabilidad en ambientes agresivos (plantas industriales, centrales electrónicas, agrícolas, talleres, planta de tratamiento de aguas residuales, muelles, etc.)

- Permite tener concreto con iguales o mayores resistencias mecánicas, utilizando menor cantidad de cemento, que en una mezcla normal.

- Imparte mejores características de cohesión y compactación, permitiendo tener concretos bombeables de buenas características.

2.5.1.5 Modo de empleo.

Sika Fume, se encuentra listo para su utilización, debe ser incorporado en la mezcla de concreto por los medios normales como si se tratara de una adición. Dada su gran finura, siempre debe usarse en compañía de un aditivo superplastificante. Se debe tener precaución de incrementar los tiempos de mezclado para una perfecta homogeneidad. Para mejor incorporación y resultados óptimos, se aconseja utilizar el siguiente procedimiento de mezclado, tanto en planta como en obra.

- Verter los agregados grueso y fino
- Adicionar el SIKAFUME y mezclar en seco
- Adicionar el cemento y continuar la mezcla en seco
- Adicionar el agua de mezcla con el aditivo superplastificante. Se debe tener precaución de incrementar el tiempo de mezclado por lo menos 30 segundos por cada metro cúbico.

2.5.2 Sikament – 306 (Datos según el fabricante)

2.5.2.1 Descripción

El Sikament - 306 es un aditivo líquido fluidizante, reductor de agua y no economizador de cemento compuesto por resinas sintéticas. No contiene cloruros. Cumple norma ASTM - 494 y un aditivo tipo A

2.5.2.2 Usos

Como "fluidizante", adicionándolo a una mezcla de concreto con consistencia normal, se consigue incrementar notablemente el revenimiento del concreto o del mortero facilitando su colocación y haciéndolo apto para el bombeo.

Como "reductor de agua", adicionándolo disuelto en agua de mezcla permite reducir hasta un 10 % del agua de la mezcla, consiguiéndose la misma manejabilidad y obteniéndose un incremento considerable de la resistencia a todas las edades. La impermeabilidad y durabilidad del concreto o mortero se ven incrementadas notablemente.

Como "economizador de cemento", se puede aprovechar el incremento de resistencia logrado, al reducir el agua con el aditivo, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño.

2.5.2.3 Ventajas

- Como fluidizante:

- Facilita el bombeo de concreto a mayores alturas y a distancias más largas.
- Disminuye el riesgo de oquedades en el concreto de estructuras esbeltas, estrechas o densamente armadas.
- Mejora considerablemente el acabado de concreto y reproduce la textura de la cimbra.
- Evita la segregación del concreto fluido
- Disminuye los tiempos de vibrado del concreto
- Puede redosificarse sin alterar la calidad del concreto

- Como reductor de agua:

- Aumenta la resistencia del concreto más del 30% a una edad de 7 días al testigo; incrementa la resistencia final del concreto en más del 20 %.
- Densifica el concreto
- Reduce el alto grado la exudación y la contracción por secado.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad.

2.5.2.4 Modo de empleo

- Como fluidizante, adicionarlo directamente al concreto o mortero ya listos para colocar y mezclar medio minuto más por cada metro cúbico de concreto, hasta obtener una mezcla fluida y homogénea.
- Como reductor de agua o de cemento.- adicionarlo disuelto en el agua de mezcla durante la preparación de la misma.

2.5.2.5 Dosificación

- Como fluidizante: del 0.5 % al 8% del peso del cemento (4.5 a 7.3 ml/kg de cemento).
- Como reductor de agua o cemento: del 1% al 1.4 % del peso del cemento (9 a 13 ml/kg del cemento).

2.5.2.6 Datos técnicos

TIPO : Aditivo líquido a base de un polímero tipo dispersión a base de melamina formaldehído.

COLOR: Café oscuro

DENSIDAD : 1.1 kg/ l aproximadamente

pH. : 10.0 aproximadamente.

2.5.3 Sikament –100 (Datos del Fabricante)

2.5.3.1 Descripción

Es un aditivo reductor de agua de alto poder, acelerante de resistencia y superfluidizante.

Aditivo adicionado de estabilizadores especiales que agregado al concreto, imparte una consistencia superfluida de alta trabajabilidad, alta reducción de agua en el concreto, obteniéndose altas resistencias a edades tempranas. No contiene cloruros. Cumple normas ASTM C 494 tipo F y ASTM C 1017 tipo I.

2.5.3.2 Usos

Sikament – 100 se caracteriza por un alto poder dispersante permitiendo una perfecta distribución de las partículas de cemento al concreto, provocando su hidratación completa, obteniendo el máximo efecto adherente del cemento. Sikament – 100 se usa principalmente para: estructuras pretensadas, postensadas, prefabricadas, de diseño especial, colados en serie, decimbrados a corto plazo, adocreto, etc.

2.5.3.3 Ventajas

- Por ser un reductor de agua de alto rango permite reducciones considerables de cemento.
- Reduce la segregación, sangrado y la permeabilidad, contracción.
- Permite reducir el costo de colocación, vibrado, cimbra y tiempo de construcción.
- A 24 horas se acelera la resistencia del concreto o mortero de un 45 a 90% dependiendo de la dosificación, con relación al concreto sin aditivo.

2.5.3.4 Modo de empleo

- **Como Superfluidizante**, adicionar el Sikament – 100 al concreto ya mezclado. En este caso debe ampliarse el tiempo de mezclado medio minuto más por cada metro cúbico de concreto.
- **Como reductor de agua de alto rango**, dosificar el Sikament –100 junto con el agua de mezclado.

2.5.3.5 Dosificación

- Como superfluidizante, del 0.6 – 1.0% en base al peso del cemento.
- Como reductor de agua de alto rango, del 1.2 al 3.0% del peso del cemento (10 a 25 ml/kg de cemento)

2.5.3.6 Características físicas y químicas.

Tipo: Aditivo líquido polímero tipo dispersión a base de melamina formaldehído

Color: café oscuro

P.H.: 10 Aprox.

REFERENCIAS

Aditivos para concreto. Editorial IMCYC, 1983. ACI-212-82

Aditivos superplastificantes (Reductores de agua de alto rango). ACI – 318 pág.71

Concretos del 2000, "Lo último en aditivos y adiciones", por Ernesto Schümperli C. SIKA A.G. – Zürich (Suiza) – Julio 1992.

Efectos de la dosificación de los superplastificantes sobre las propiedades mecánicas, permeabilidad y durabilidad de los concretos de alta resistencia con y sin humo de sílice. Por Richard Gagné, Alain Boisvert y Michael Pigcon. ACI Materials Journal / Marzo – Abril 1996.

SIKA MEXICANA, Querétaro (México).

Aditivos para concreto de alta durabilidad (Sika Fume), Fludizante reductor de agua (Sikament – 306) y Aditivo reductor de agua de alto poder, acelerante de resistencia y superfluidizante (Sikament – 100)

Capítulo Tres

Diseño de Mezclas.

En el presente capítulo se analizan y describen los criterios para la determinación de los factores variables en el diseño de las mezclas de concreto y obtenemos la matriz de planeación para las etapas A, B, C y D.

Las cuatro etapas son diferentes, el contenido de cemento es el mismo para las etapas A y B. Lo que las hace diferentes es el aditivo químico que se usó en cada una de ellas y la dosificación del mismo.

El tipo de aditivo y las dosificaciones tanto de humo de sílice, como de superplastificante son iguales en las etapas B, C, D y E. Lo que las hace diferentes es el contenido de cemento por metro cúbico de concreto, los contenidos son de 300, 350 y 400 Kg/m³ respectivamente.

En la etapa A, la cual se realizó para evaluar a los aditivos, decidimos utilizar los porcentajes de aditivo que propone el fabricante. Para el caso del humo de sílice el fabricante recomienda del 5-25% del peso del cemento, nosotros propusimos 5 y 10%.

Para el caso del aditivo reductor de agua (Sikament – 306) decidimos utilizar las mismas dosificaciones que recomienda el fabricante, de 1 y 1.4% del peso del cemento, para que la función de éste sea como reductor de agua.

En las etapas B, C y D conservamos la misma dosificación de humo de sílice, pero ahora acompañado de un superplastificante en función de reductor de agua de alto rango, la dosificación que usamos es de 1.5 – 2.0% del peso del cemento. Se decidió así con el fin de lograr concretos de alta resistencia.

Para cada una de las etapas se realizó un diseño de mezcla, el diseño es el correspondiente a la mezcla base (testigo) en cada etapa.

3.1 VARIABLES

El primer factor que tomamos en cuenta fue la trabajabilidad del concreto, de la cual determinamos que la primera variable sería la relación agua/cemento ($X_1 = a/c$); el valor de la relación a/c para cada etapa se obtuvo mediante mezclas de prueba para M1. Para la etapa A, diseñamos para obtener un revenimiento en el concreto de 9 + 1 cm y en las etapas posteriores B, C y D el revenimiento de diseño fue de 11 + 1 cm.

Considerando que la mezcla de concreto puede presentar los aspectos de: gravoso, balanceado y pastoso. Determinamos la segunda variable ($X_2 = \text{Relación } P_g/P_a$), que es la relación entre el porcentaje de grava y el porcentaje de arena contenido en la mezcla. Con base en la experiencia se establecieron los porcentajes ya mencionados, de los cuales resultarán mezclas con aspecto balanceado.

Con el fin de producir concretos con diferentes propiedades mecánicas y después poder comparar los resultados, determinamos las variables X3 (tipo de aditivo) y X4 (dosificación del aditivo).

Con el afán de obtener concretos con mayor resistencia y además que pudiéramos comparar los concretos de una etapa y otra, decidimos que tanto el tipo de aditivo, como su dosificación permanecieran sin cambio alguno en las etapas B, C y D. Determinamos la variable X5 (Contenido de cemento).

En la tabla 3.1.1 se muestran las variables X1, X2, X3, X4 y X5 que consideramos para esta investigación.

Tabla 3.1.1 Variables y rangos

Factores	Dimensionalidad	Etapas			
		A	B	C	D
X1: Relación a/c	Parte	0.667	0.667	0.600	0.550
X2: Relación Pg / Pa	Parte	1.174	1.439	1.439	1.564
X3 : Tipo de Aditivo	Unidad	(1) (2)	(1) (3)	(1) (3)	(1) (3)
X4: Dosificación del aditivo	Porcentaje	1 (5 - 10) 2 (1 - 1.41)	1 (5 - 10) 3 (1.5- 2.0)	1 (5 - 10) 3 (1.5 -2.0)	1 (5 - 10) 3 (1.5 -2.0)
X5: Contenido del cemento	Kg. / m ³	300	300	350	400

(* Aditivos: (1) Sikafume, (2) Sikament - 306, (3) Sikament-100)

3.2 MATRIZ DE MEZCLAS

En las tablas 3.2.1 y 3.2.2 se muestra la matriz de planeación para la realización de las mezclas. La primera tabla describe a la etapa A; la segunda tabla es para las etapas B, C y D. Tal como lo describen las tablas, se realizaron cinco mezclas, de las cuales M1 fue siempre la mezcla base (concreto simple) y las otras son combinación de las dos dosificaciones diferentes de cada aditivo.

En la etapa A se produjo concreto con un contenido de cemento de 300 kg/m³ y se utiliza como aditivo químico a un reductor de agua (tipo A, según ASTM C - 494). En las etapas B, C y D se elaboraron concretos con contenidos de cemento de 300, 350 y 400 kg/m³ respectivamente; en estas etapas a diferencia de la etapa A se utiliza un aditivo reductor de agua de alto rango (tipo F, según ASTM C - 494).

Tabla 3.2.1 Matriz de planeación para la etapa A.

Mezcla	Control	Dosis de Humo de Sílice		Dosis de Aditivo Químico	
		5.0 %	10.0 %	1.0 %	1.41 %
M1	X				
M2		X		X	
M3		X			X
M4			X	X	
M5			X		X

Cada etapa A, B, C y D* consta de tres series iguales, en cada serie se elaboraron cinco mezclas. Para la etapa de prueba "A" se realizaron ensayos a compresión a los 3, 7 y 28 días de edad y los ensayos a flexión se realizaron a los 7 y 28 días (dos especímenes por edad en cada prueba). En la etapa D hay una excepción en cuanto a número de series, al respecto se habla en el capítulo 8.

Para las etapas B, C y D, únicamente se efectuaron ensayos a compresión a los 3, 7, 28 y 56 días con dos especímenes por edad; haciendo un total de 440 especímenes para las cuatro etapas.

Tabla 3.2.2 Matriz de planeación para las etapas B, C y D.

Mezcla	Control	Dosis de Humo de Sílice		Dosis de Aditivo Químico	
		5.0 %	10.0 %	1.5 %	2.0 %
M1	X				
M2		X		X	
M3		X			X
M4			X	X	
M5			X		X

* Los porcentajes de aditivo son aplicados directamente al peso del cemento.

* Los aditivos empleados son elaborados por SIKA MEXICANA en Querétaro, Qro.

3.3 CANTIDADES DE MATERIAL PARA CADA MEZCLA

En la siguiente tabla 3.3.1, se presentan los volúmenes necesarios de cada material para la elaboración de los especímenes de prueba. (Los pesos incluyen % de desperdicio)

Tabla 3.3.1 Volúmenes para la elaboración del concreto para cada una de las Mezclas

Etapas	Mezcla	Agua (kg)			Cemento (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)	Aditivo (gr)	Puzolana (gr)
		SERIE I	SERIE II	SERIE III					
A	M1	17.008	17.398	16.320	24.000	75.600	64.248	—	—
	M2	17.200	17.590	16.512	24.000	75.600	64.248	226.6	1200
	M3	17.296	17.686	16.608	24.000	75.600	64.248	340.0	1200
	M4	17.200	17.590	16.512	24.000	75.600	64.248	226.6	2400
	M5	17.296	17.686	16.608	24.000	75.600	64.248	340.0	2400
B	M1	12.260	12.667	11.974	18.00	62.874	43.614	—	—
	M2	11.734	12.146	11.359	18.00	62.874	43.614	270	900
	M3	11.065	11.597	11.160	18.00	62.874	43.614	360	900
	M4	11.984	12.696	12.179	18.00	62.874	43.614	270	1800
	M5	11.565	12.127	11.550	18.00	62.874	43.614	360	1800
C	M1	9.933	9.497	9.907	18.00	52.254	36.198	—	—
	M2	9.011	8.525	9.025	18.00	52.254	36.198	270	900
	M3	8.965	8.254	8.424	18.00	52.254	36.198	360	900
	M4	10.101	9.365	9.595	18.00	52.254	36.198	270	1800
	M5	9.84	8.824	8.974	18.00	52.254	36.198	360	1800
D	M1	11.139	10.735	—	24.00	60.66	38.700	—	—
	M2	10.369	9.795	—	24.00	60.66	38.700	360	1200
	M3	9.839	9.195	—	24.00	60.66	38.700	480	1200
	M4	10.919	10.525	—	24.00	60.66	38.700	360	2400
	M5	10.849	9.575	—	24.00	60.66	38.700	480	2400

En la etapa A las mezclas se diseñaron para producir un volumen de concreto de 80 lts, suficiente para la realización de las pruebas al concreto fresco (revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire) y para la elaboración de los especímenes (mortero para tiempos de fraguado, cilindros para compresión y vigas para flexión). En las etapas B, C y D sólo se requirió de 60 lts. de concreto para cada mezcla, debido a que no se realizaron ensayos a flexión ni tiempo de fraguado, en éstas etapas nos enfocamos al estudio de la resistencia a compresión a edades posteriores a 28 días.

Observaciones.

Para la obtención de los pesos de cada material no se consideró ni el porcentaje de humedad ni el porcentaje de absorción de los agregados. Las correcciones por humedad y absorción se realizaron en la marcha, después realizamos el ajuste de la mezcla de concreto para obtener los consumos reales de cada material para producir 1 m³ de concreto. (El procedimiento del cálculo para el diseño de una mezcla de concreto, es descrito en el capítulo uno).

La mezcla M1 de cada etapa y en cada serie fue la mezcla base (concreto simple o normal).

Capítulo Cuatro

Elaboración de mezclas y curado de los especímenes.

4.1 INTRODUCCIÓN

El principal propósito del mezclado es producir una pasta homogénea entre el cemento, agua, agregados y los posibles aditivos.

El proceso de mezclado y curado para la obtención de concreto tienen efecto directo en la resistencia final del mismo. Pues un buen concreto con las características deseadas va a depender de un buen procedimiento de mezcla y de que el curado del concreto se efectúe siguiendo las especificaciones de la norma que lo cita. Siendo la resistencia del concreto una cualidad importante en el ámbito de la construcción, no podemos dejar de tomar en cuenta otras cualidades, tal es el caso de: la impermeabilidad, resistencia a la abrasión etc.

4.2 PROCEDIMIENTO EMPLEADO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.

Después de haber realizado las pruebas correspondientes a los agregados y de haber determinado sus características, se prosigue con el diseño para determinar las cantidades en peso de cada material para la relación agua/cemento ya establecida.

El diseño de las mezclas se realizó por el método de volúmenes absolutos. Normas de referencia: NMX – 156 – 88, 157 - 87, 159 - 85, 162 - 85 y 245 – 86. (Es el método más exacto, involucra el uso de los valores de la densidad de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada ingrediente ocupará en la unidad de volumen de concreto).

4.2.1 Secuencia de mezclado

a) Para concreto simple (testigo)

Se pesa cada material (grava, arena, cemento, agua), y se dejan listos para ser usados en la mezcla; el procedimiento se describe a continuación:

- 1.- Se humedece la revolvedora (trompo) y se vierten en ella: la grava, la arena y el cemento portland para revolverlos en seco.
- 2.- Posteriormente se le añade el agua de la mezcla poco a poco mientras se está revolviendo. El primer tiempo de mezclado se hace por 3 min.
- 3.- Se deja reposar la mezcla por 5 minutos y se tapa la boca de la revolvedora durante el reposo para evitar evaporización.
- 4.- Se agita la mezcla de nuevo durante un periodo de 3 minutos, se le toma la temperatura al concreto tapando con un trapo húmedo la boca de la revolvedora. (Ver 4.3.1 Medición de la temperatura).
- 5.- Enseguida continuamos con la prueba de revenimiento; si la mezcla tenía el revenimiento deseado (9 ± 1 cm para la etapa A y 11 ± 1 cm para las demás etapas) se proseguía a vaciar el concreto en una charola. Si el revenimiento era menor en más de 1 cm al de diseño, se regresa el concreto a la revolvedora para seguir agitándolo y suministrarle agua en pequeñas dosificaciones hasta lograrlo; si el revenimiento se excede en más de 1 cm al de diseño, éste concreto se rechaza y comienza el proceso con materiales nuevos. (Ver 4.3.2 Revenimiento).
- 6.- Se continúa con la prueba de peso volumétrico la determinación del contenido de aire y la extracción del mortero para los tiempos de fraguado. Al mismo tiempo se realiza el llenado de vigas y cilindros (Descripción de las pruebas en 4.3.3 y 4.3.4).
- 7.- El mortero obtenido para determinar los tiempos de fraguado se introduce al cuarto de curado, para después medir el fraguado inicial (35 kg/cm^2) y final (282 kg/cm^2). El procedimiento para esta prueba se describe en el subsistema 4.3.5 y el desarrollo de la prueba se describe en el capítulo Cinco pág. 79 y 80)
- 8.- Una vez elaborados y acomodados los especímenes se les coloca una bolsa sobre la superficie expuesta para evitar que pierdan humedad.
- 9.- Después de 24 horas de elaborados los especímenes, se procede a descimbrar y numerarlos para después introducirlos al cuarto de curado, donde permanecerán hasta la fecha del ensayo.

b) Para concreto con aditivo.

- 1.-El humo de sílice se revuelve en conjunto con los agregados más el cemento, aproximadamente durante 2 minutos.

2.- Ya preparada el agua de la mezcla y considerando la dosificación de aditivo como parte de la misma, se añade el agua a la mezcla poco a poco mientras se está revolviendo.

3.- Los tiempos de mezclado y la secuencia de la mezcla resulta igual que para la elaboración del concreto normal.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

4.3.1 Introducción.

Las pruebas para concreto se hacen con la finalidad de evaluar el comportamiento de los materiales disponibles, establecer las proporciones de las mezclas, y controlar la calidad del concreto en el campo incluyen: revenimiento, contenido del aire, peso volumétrico y resistencia. Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y resistencia se exigen normalmente en las especificaciones de proyecto para el control de calidad del concreto, en tanto que la prueba para determinar el peso volumétrico se usa más para el proporcionamiento de mezclas.

4.3.2 Medición de la temperatura

Debido a la gran influencia que la temperatura del concreto tiene sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, muchas especificaciones se delimitan a la temperatura del concreto fresco. El termómetro deberá tener una precisión de $1 \pm ^\circ\text{C}$ y deberá permanecer dentro de la muestra representativa un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la temperatura se estabilice. La medición de la temperatura (norma ASTM C 1064) deberá completarse dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra.

4.3.3 Revenimiento

El concreto debe ser fabricado para tener siempre una misma trabajabilidad, consistencia y la plasticidad adecuadas a las condiciones de trabajo.

Se dice que un concreto es trabajable, cuando el grado de compactación afecta seriamente la resistencia del concreto fabricado con determinadas proporciones de mezcla; por lo tanto es vital que la consistencia de la misma sea tal que el concreto pueda transportarse, colarse y acabarse con relativa facilidad y sin segregación. (Neville, 1989)

4.3.3.1 Medida del revenimiento (norma ASTM C 143)

El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (un molde de metal de forma cónica de 30 cm. de altura con diámetro de 20 cm. en la base y 10 cm. en la parte superior) y una barra de acero (de 15.9 mm de diámetro y 61 cm de largo) que tenga una punta de forma semi esférica. El cono de revenimiento humedecido, colocado a plomo sobre la superficie plana y sólida, deberá llenarse en tres capas de aproximadamente igual volumen.

Por lo tanto, el cono deberá llenarse hasta una altura de aproximadamente 6.5 cm (después de varillar) para la primera capa, hasta aproximadamente 15 cm para la segunda capa y

sobrellenarse en la última capa. A cada capa se le aplican 25 golpes con la varilla (en forma de espiral hacia el centro). Luego del varillado, la última capa se enrasa y se retira el cono lenta y verticalmente, mientras el concreto se desploma o se asienta hasta alcanzar una nueva altura. El cono de revenimiento vacío se coloca enseguida junto al concreto asentado. El revenimiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, midiéndolo con una precisión de medio centímetro desde la parte superior del cono de revenimiento (molde) hasta el centro original desplazado del concreto desplomado.

Un valor alto de revenimiento (≥ 19 cm.) señala a un concreto húmedo o fluido. La prueba de revenimiento deberá iniciarse dentro de los siguientes 5 minutos de la obtención de la muestra y la prueba se deberá completar en 2.5 minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo.

La muestra de concreto con la cual se realice la prueba, se debe obtener de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana D.G.N. C 161 en vigor.

(Revenimiento: De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana D.G.N. C 156 en vigor)

4.3.4 Peso volumétrico y rendimiento

El peso volumétrico y el rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con la norma ASTM C 138. Los resultados sirven para determinar la cantidad de concreto producida por mezcla.

4.3.4.1 Procedimiento:

- 1) La muestra se obtiene de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana D.G.N. C 161 en vigor "Muestreo del Concreto Fresco".
- 2) Se coloca el concreto en tres capas aproximadamente de igual volumen. Cada capa se compacta utilizando una varilla, dando 25 penetraciones si el volumen es de 14 litros o menos y con 30 penetraciones si es de 28 litros.
- 3) La varilla deberá penetrar la capa inferior en todo su espesor pero sin golpear al fondo del recipiente, las penetraciones deberán ser distribuidas uniformemente sobre la superficie del concreto.
- 4) Para las capas superiores, la varilla debe penetrar aproximadamente 2 cm en la capa inmediata inferior. Después de compactar cada capa, se deben dar golpes ligeros a los lados del recipiente, diez o más veces, hasta que no aparezcan huecos grandes de aire en la superficie. Cerrando con la varilla de compactación los huecos dejados. Se agrega la última capa, evitando el rebosamiento.
- 5) Terminada la compactación, el recipiente no debe contener exceso o falta de concreto. El contenido óptimo es aquel en el que el concreto sobresale 3mm sobre el borde superior del recipiente.
En caso de que falte algo de concreto en la última capa, se podrá agregar una pequeña porción de concreto para completar la cantidad óptima, si el recipiente contiene una cantidad en exceso a la óptima, al terminar la compactación, se debe remover la cantidad excedente con una cuchara. Inmediatamente después de terminar la compactación y antes de que se enrase.
- 6) Al terminar la compactación se debe enrasar la superficie del concreto, con unaherramienta plana hasta dejar la superficie pulida y justa a nivel con el borde del recipiente. Se enrasa mejor haciendo presión con el enrasador sobre la superficie

del concreto, cubriendo unos dos tercios de ella y retirándola con un movimiento de sierra para terminar la superficie cubierta originalmente.

Se coloca nuevamente el enrasador sobre la superficie del concreto, cubriendo los dos tercios citados, y se avanza con movimiento de sierra y presionando verticalmente hasta cubrir el total de la superficie. Varias pasadas finales inclinando el enrasador, producen un terminado pulido de la superficie del concreto.

- 7) Después de enrasar, se limpia todo el exceso de concreto adherido en el exterior del recipiente y se determina el peso neto del concreto contenido en el recipiente.

4.3.5 Contenido del aire

Se puede hacer uso de un gran número de métodos para medir el contenido de aire de concreto fresco. Las normas ASTM. incluyen al método de presión (C 231), método volumétrico (C 173) y método granulométrico (C 138).

El método de presión se basa en la Ley de Boyle, la cual relaciona a la presión con el volumen. Muchos medidores comerciales de aire de este tipo están calibrados para leer el contenido de aire directamente cuando se aplica una carga predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo al que se encuentra en los poros de los agregados.

Para el método gravimétrico se usa el mismo equipo de prueba que se emplea para la determinación del peso volumétrico del concreto. El peso volumétrico medido en el concreto se sustrae del peso volumétrico teórico determinado a partir de los volúmenes absolutos de los ingredientes, suponiendo que no existía aire. Esta diferencia, expresada como un porcentaje del peso volumétrico teórico, es el contenido de aire.

4.3.6 Tiempo de fraguado

Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C 150, se efectuaron pruebas usando el aparato de Vicat (ASTM C 191) o la aguja de Gillmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. También influye sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua/cemento y los aditivos usados.

El procedimiento para obtener el tiempo de fraguado de una mezcla se hace pasando al concreto por la malla No. 4 para obtener el mortero; con el mortero se llena un molde cilíndrico para después meterlo al cuarto de curado a una temperatura de 21 – 23°C con humedad relativa mínima del 95%.

Se obtiene el tiempo de fraguado inicial y final con la prueba de la resistencia a la penetración:

- Fraguado Inicial.- Es el tiempo en que hace reacción el cemento con el agua, la Norma considera como fraguado inicial cuando el mortero presenta una resistencia a la penetración de 32 – 35 kg/cm²

- **Fraguado Final.**- Es cuando el mortero presenta una resistencia a la penetración de 282 kg/cm² (esta resistencia es la obtenida en el penetrómetro con la aguja de 1/4 ")

4.3.7 Elaboración de los especímenes

Los especímenes premoldeados para pruebas de resistencia se deberán elaborar y curar de conformidad con la norma ASTM C 192 (especímenes de laboratorio).

El espécimen estándar para las pruebas con que se determina la resistencia a compresión de concretos con tamaños máximos de agregado de 51 mm (2") ó menores es un cilindro de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Deberán colocarse sobre una superficie lisa, nivelada y llenarse cuidadosamente para evitar su deformación.

Recientemente se han usado moldes de cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para concreto que contiene agregado con tamaño máximo de 25 mm (1"). Los cilindros de 10 x 20 cm son más fáciles de colocar, requieren de una menor muestra, pesan considerablemente menos que los cilindros de concreto y son más fáciles de manejar. (Se considera insignificante las posibles diferencias con respecto a un espécimen de 15 x 30 cm.).

Las vigas para determinar la resistencia a flexión deberán tener 15 x 15 cm de sección transversal para agregados hasta 51 mm (2"). El largo de las vigas deberá ser por lo menos tres veces el peralte de la viga más 5 cm, o sea una longitud total de 50 cm.

Los cilindros de prueba deberán llenarse en tres capas aproximadamente iguales picando con una varilla cada capa 25 veces para los cilindros de 15 cm de diámetro; las vigas de hasta 20 cm de peralte deberán llenarse en dos capas iguales picando con una varilla de 15.9 mm de diámetro.

4.3.8 Curado del concreto

El ASTM C 31 sugiere que para el curado inicial sea una temperatura de 60 °F a 80 °F (16°C – 27°C) con prevención de pérdida de humedad. La combinación de temperatura y humedad inadecuada en adición a movimientos prematuros puede contribuir a resultados inexactos.

Los especímenes deben de ser sacados de los moldes, anotarlos en la lista de pruebas y colocados en el ambiente de curado apropiado hasta la fecha de probarse.

Ambiente apropiado incluye mantenerlos a una temperatura de 73 °F (23 °C) = 3 °F (curado en el laboratorio).

4.3.9 Cabeceo de los especímenes

Los resultados de las pruebas se modifican en forma importante por la condición del espécimen. Los extremos de cilindros para la prueba a compresión deberán estar pulidos o cabeceados de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C 617. Para cabecear los especímenes para las pruebas de compresión se pueden emplear varios materiales disponibles comercialmente. Se puede usar azufre y materiales granulares.

Las cuatro especificaciones básicas según el ASTM C 617 son:

- 1.- Los extremos cabeceados tienen que estar planos dentro de 0.002 pulgadas (0.05 mm) en 6 pulgadas.
- 2.- Los extremos tienen que estar aproximadamente perpendiculares al eje de la muestra.
- 3.- Los extremos deben de estar aproximadamente paralelos uno del otro.
- 4.- Los cabezales no deben ser excesivamente gruesos.

La idea es impedir la concentración de esfuerzos dentro del cilindro, que sobrepasen la norma. Se ha demostrado que los extremos con superficies convexas pueden causar una pérdida de resistencia hasta del 75% y extremos cóncavos pueden causar una pérdida similar de hasta 30%.

Otras desviaciones que causan pérdidas de la resistencia medida son: extremos no perpendiculares al eje del cilindro hasta 8%; extremos no paralelos hasta 4%; cabezal con orillas quebradas hasta 4%; y cabezal grueso hasta 6%.

4.3.10 Pruebas de Resistencia

La prueba de los especímenes se deberá realizar de acuerdo con la norma ASTM C 39 para determinar la resistencia a la compresión, la norma ASTM C 78 para determinar la resistencia a la flexión usando carga en el punto central y la norma ASTM C 496 para determinar la resistencia a la tensión.

Tanto para el diseño de espesores de pavimentos como para el proporcionamiento de mezclas para pavimentos, el módulo de ruptura (resistencia a la flexión), deberá determinarse con la prueba usando carga en los tercios. El desarrollo de esta prueba se describe en el Capítulo 5.

REFERENCIAS

Concreto- Determinación del contenido de aire NOM-C-162-1985.

Concreto-Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes NOM-C-159-1985.

Concreto Fresco-Determinación del revenimiento NOM-C-156-1988.

David N. Richardson – “National Ready Mix Concrete Association”.

Neville A.M. “Tecnología del concreto”, Tomo 2 págs. 11, 12; IMCYC, Edit. LIMUSA (1989).

Neville A..M. “Tecnología del concreto”, Tomo 2 pág. 34; IMCYC, Edit. LIMUSA (1989).

Capítulo Cinco

Propiedades Mecánicas

ETAPA "A"

5.1 INTRODUCCIÓN

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la reacción de hidratación. El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura ambiental favorable. Por lo tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua-cemento original como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento. (ACI 318).

La prueba que más se le practica al concreto es la medición de su resistencia a la compresión, algunas de las otras características se relacionan directamente con ésta.

Este capítulo comprende la etapa "A" de esta investigación, en la cual analizaremos el comportamiento del concreto con aditivo tanto en estado fresco como en estado endurecido. Por medio de las pruebas mecánicas realizadas conoceremos el comportamiento, tanto a compresión como a flexión.

Se hicieron pruebas de fraguado en cada una de las mezclas, para comparar la variación en tiempo de un concreto simple con un concreto con aditivo a diferentes dosificaciones. También se realizaron ensayos a compresión a 3, 7 y 28 días de edad, con dos especímenes por edad de prueba, haciendo seis especímenes para ésta prueba en cada mezcla. Para la prueba de flexión se realizaron dos especímenes por mezcla a 7 y 28 días de edad. Tenemos entonces 8 especímenes por mezcla, son 5 mezclas las que comprende cada serie (3 series iguales), lo cual nos da un total de 120 probetas (90 por compresión y 30 para flexión).

En ésta etapa se elaboraron concretos con contenido de cemento de 300 kg/m^3 , con dosificaciones de humo de sílice de 5 y 10%, acompañado de un reductor de agua con dosificaciones de 1 y 1.4% del peso del cemento.

Cada espécimen de prueba fue pesado y medido antes de su ensaye. Los ensayos se realizaron en una máquina universal marca Maekauwa-Shikenki-Seisakusho, Serie 2008, con capacidad máxima para 100 toneladas.

Los resultados obtenidos de las pruebas se presentan en tablas y gráficas al final del capítulo.

5.2 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

Se debe subrayar la importancia de obtener muestras de concreto fresco verdaderamente representativas para las pruebas de control A menos que el muestreo sea representativo. Las muestras se deberán obtener y manejar de acuerdo con la norma ASTM C-172. A excepción de las pruebas de rutina para el revenimiento y para el contenido de aire, este método requiere que la muestra sea de por lo menos 28 litros, que se utilice dentro de los 15 minutos siguientes a su obtención, y que se proteja durante este período del sol, del viento, así como de otras fuentes de evaporación acelerada. (ACI 318).

Los detalles sobre las pruebas de revenimiento, peso volumétrico, contenido de aire y tiempo de fraguado, fueron descritas ya en el capítulo anterior.

A continuación en la tabla 5.2.1.1 se muestran los resultados de las pruebas de revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire de cada mezcla en las tres series.

En el caso de la prueba de revenimiento, tenemos que para el caso de concreto simple (testigo) el revenimiento es el de diseño 9 cm. Y en los concretos con humo de sílice y reductor de agua, tenemos dos valores de revenimiento.

El primer valor del revenimiento (el menor) es el medido en un concreto con humo de sílice, conteniendo ya toda el agua de diseño que resultó para el concreto normal. El segundo valor del revenimiento es el medido después de adicionar el aditivo reductor de agua.

En el subcapítulo 5.2.3 se presenta el cálculo del tiempo de fraguado de una mezcla. Se calculan el tiempo de fraguado inicial ($f.l. = 35 \text{ k g/cm}^2$). En la tabla 5.2.3.3 se presenta el resumen de los resultados de tiempo de fraguado de las cinco mezclas en cada una de las series.

5.2.1 Pruebas : Revenimiento, Peso Volumétrico y Contenido de Aire

Tabla 5.2.1.1 Resultados de las pruebas al concreto en estado fresco

1) TESTIGO						
CONCRETO MEZCLA	REVENIMIENTO (cm)	PROMEDIO	PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³)	PROMEDIO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PROMEDIO
A-1	9.0	9.0	2 272	2 274	1.8	1.77
A-2	9.0		2 275		1.7	
A-3	9.0		2 275		2.0	

2) S-FUME (0%) + S-306 (8.00 cc/Kg)						
CONCRETO MEZCLA	REVENIMIENTO (cm)	PROMEDIO	PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³)	PROMEDIO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PROMEDIO
A-1	6.0—14.5	6.5	2 258	2 259	2.2	2.07
A-2	8.5—14.0	14.33	2 258		1.8	
A-3	7.0—14.5		2 264		2.1	

3) S-FUME (0%) + S-306 (12.0 cc/Kg)						
CONCRETO MEZCLA	REVENIMIENTO (cm)	PROMEDIO	PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³)	PROMEDIO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PROMEDIO
A-1	7.0—18.0	6.8	2 259	2 261	2	2.03
A-2	8.5—17.0		2 259		1.9	
A-3	7.0—18.5	17.8	2 265		2.2	

4) S-FUME (10%) + S-306 (8.00cc/Kg)						
CONCRETO MEZCLA	REVENIMIENTO (cm)	PROMEDIO	PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³)	PROMEDIO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PROMEDIO
A-1	3.5—9.0	3.3	2 247	2 258	2.3	2.27
A-2	2.5—7.5		2 264		2.1	
A-3	4.0—9.5	8.7	2 264		2.4	

5) S-FUME (10%) + S-306 (12.0 cc/Kg)						
CONCRETO MEZCLA	REVENIMIENTO (cm)	PROMEDIO	PESO VOLUMETRICO (Kg./m ³)	PROMEDIO	CONTENIDO DE AIRE (%)	PROMEDIO
A-1	4.0—13.0	3.5	2 257	2 257	2.3	2.23
A-2	2.5—11.0		2 256		2.2	
A-3	4.0—12.5	12.17	2 257		2.2	

5.2.2 Resultado y Gráfica de las pruebas de revenimiento y contenido de aire.

Descripción de las mezclas

- M1 = Testigo (concreto simple)
M2 = S. Fume (5.0% + S-306 (1.0%)
M3 = S. Fume (5.0%) + S-306 (1.41%)
M4 = S. Fume (10.0%) + S-306 (1.0%)
M5 = S. Fume (10.0%) + S-306 (1.41%)

Tabla 5.2.2.1 Media Aritmética (\bar{x}) , Desviación estándar (\sqrt{v}) y Coeficiente de Variación (V)

Prueba	Revenimiento			Contenido de Aire		
Mezcla	\bar{X} (cm)	\sqrt{v}	V (%)	\bar{X} (%)	\sqrt{v}	V (%)
1	9.0	0	0	1.77	0.210	11.86
2	14.35	0.288	2.01	2.07	0.153	7.40
3	17.83	0.764	4.30	2.03	0.153	7.54
4	8.67	1.041	12.01	2.27	0.153	6.74
5	12.17	1.041	8.55	2.23	0.058	2.60

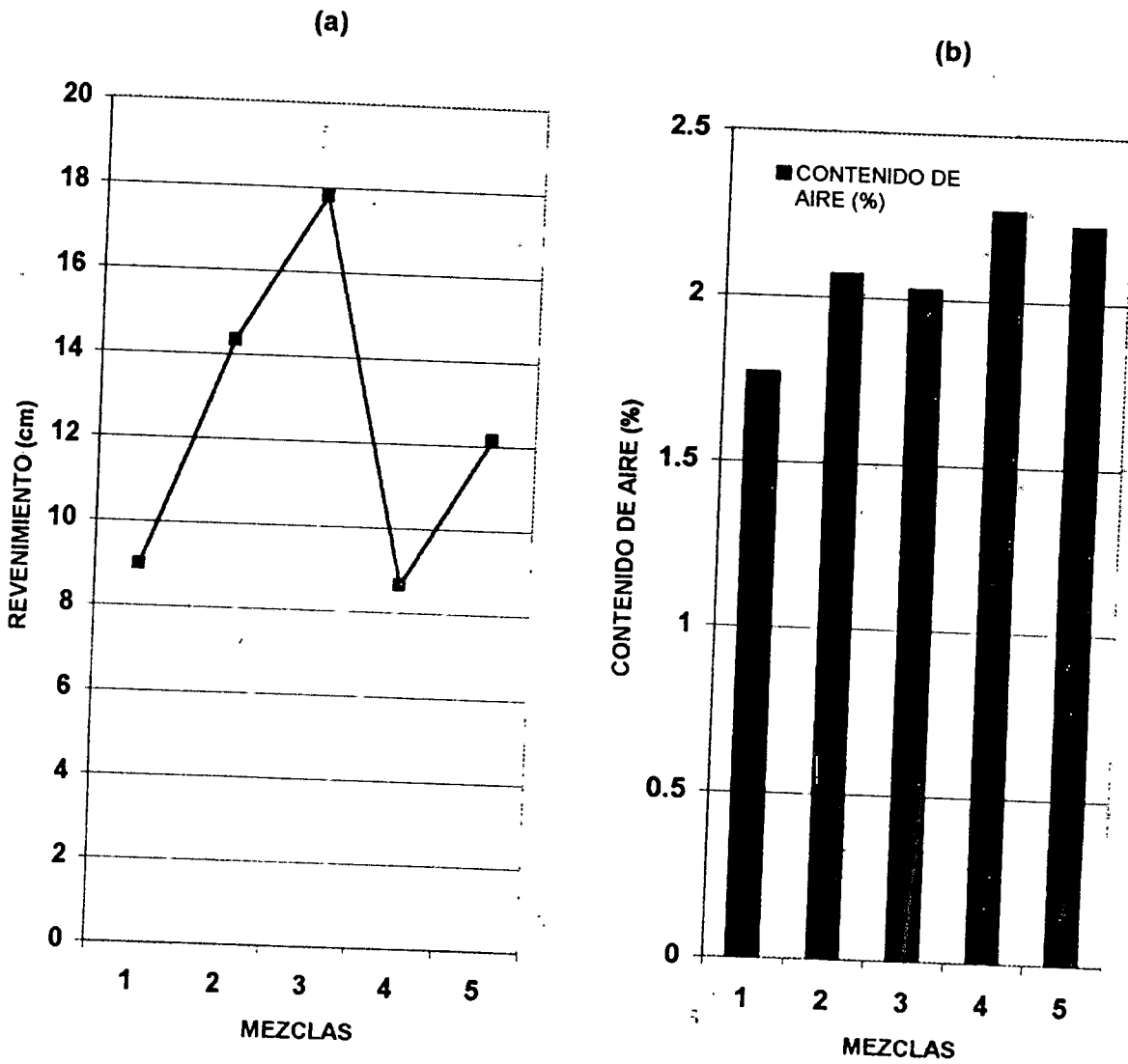


Fig. 5.2.2.2 Gráficas de las pruebas de: a) revenimiento y b) contenido de aire.

5.2.3 Tiempo de fraguado del mortero de concreto

* La descripción de esta prueba se desarrollo en el objetivo 4.2.6 del capítulo anterior. A continuación se mostrará un ejemplo del cálculo de los tiempos de fraguado de una mezcla (mezcla testigo SERIE II).

NORMA DE REFERENCIA: NMX - C - 177-86

Producto: **Testigo** No. de muestra: _____

Dosificación _____ No.(s) de lote (s) _____

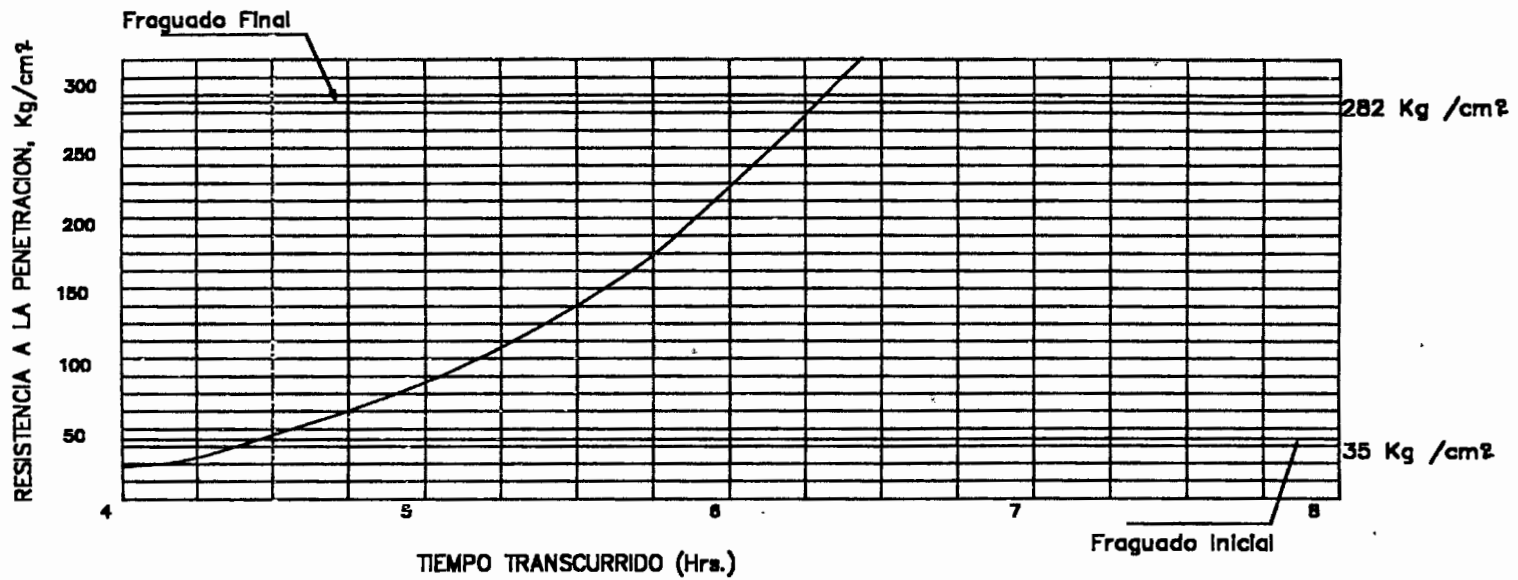
Mezcla Testigo: 139 -96				Molde No:		
Hora	Tiempo	Aguja	Carga	Resistencia		
	acumul.	pulg. ²	lbs.	lb/pulg. ²	kg./cm. ²	
9:50						
13:50	4:00	1/4		86	344	24
14:20	4:30	1/10		65	650	46
14:50	5:00	1/20		62	1240	87
15:20	5:30	1/40		55	2200	155
15:50	6:00	1/40		92	3680	259
16:20	6:30	1/40		116	4640	327

Fraguado inicial: 4:25
Fraguado final: 6:20
Diferencia del fraguado inicial:

Mezcla Testigo: 139 - 96				Molde No:		
Hora	Tiempo	Aguja	Carga	Resistencia		
	acumul.	pulg. ²	lbs.	lb/pulg. ²	kg./cm. ²	
9:50						

Fraguado Inicial:
Fraguado Final:
Diferencia del fraguado final:

Fecha de elaboración: 14/Mayo/1996
(M1 = concreto simple o testigo)



Fecha: 14 de Mayo 96

Figura 5.2.3.1 Gráfica para calcular el tiempo de fraguado inicial y final de un mortero de concreto (Mezcla M1; Seriell)

Tabla 5.2.3.2 Resultados de Fraguados (Etapa "A")

SERIE A - 1 (03 mayo 96)

MEZCLA (1)		MEZCLA (2)		MEZCLA (3)		MEZCLA (4)		MEZCLA (5)	
TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA
3:45	14.00	3:30	18	3:00	9	3:00	12	3:00	10
4:15	34.00	4:00	39	3:30	18	3:30	24	3:30	20
4:45	67.0	4:30	77	4:00	31	4:00	53	4:00	44
5:15	135.0	5:00	127	4:30	59	4:30	104	4:30	83
5:45	245.0	5:30	256	5:00	107	5:00	180	5:00	128
6:15	290.0	6:00	357	5:30	239	5:30	259	5:30	213
		6:00		6:00	329	6:00	357	6:00	372
f.l. = 4:15		f.l. = 4:00		f.l. = 4:00		f.l. = 3:40		f.l. = 3:40	
f.f. = 6:10		f.f. = 5:50		f.f. = 5:55		f.f. = 5:50		f.f. = 5:50	

SERIE A - 2 (14 mayo 96)

MEZCLA (1)		MEZCLA (2)		MEZCLA (3)		MEZCLA (4)		MEZCLA (5)	
TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA
4:00	24	3:45	27	3:30	11	3:15	26	3:15	22
4:30	46	4:15	63	4:00	20	3:45	66	3:45	56
5:00	87	4:45	152	4:30	34	4:15	129	4:15	111
5:30	155	5:15	281	5:00	63	4:45	242	4:45	225
6:00	259	5:30	304	5:30	110	5:15	358	5:15	369
6:30	327			6:00	191				
				6:30	315				
f.l. = 4:25		f.l. = 3:55		f.l. = 4:30		f.l. = 3:25		f.l. = 3:30	
f.f. = 6:20		f.f. = 5:25		f.f. = 6:25		f.f. = 5:50		f.f. = 5:05	

SERIE A - 3 (24 mayo 96)

MEZCLA (1)		MEZCLA (2)		MEZCLA (3)		MEZCLA (4)		MEZCLA (5)	
TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA	TIEMPOS ACUMULADOS	RESISTENCIA
3:45	30.4	3:30	23	4:00	21.4	2:45	16.0	3:00	12.0
4:15	75.3	4:00	56.3	4:30	56.3	3:15	38	3:15	25
4:30	97	4:30	105.6	5:00	125	3:30	61	3:45	58
5:00	242	5:00	251	5:15	183	4:00	117	4:15	100
5:30	329	5:30	357	5:45	304	4:30	304	4:45	217
								5:00	312
f.l. = 3:50		f.l. = 3:40		f.l. = 4:15		f.l. = 3:10		f.l. = 3:25	
f.f. = 5:15		f.f. = 5:15		f.f. = 5:40		f.f. = 4:25		f.f. = 4:55	

f.l. = Fraguado inicial
 f.f. = Fraguado final

Tiempos en horas
 Resistencia en kg/cm²

Mezcla	Fraguado (hr)	
	Inicial	Final
M1	4:10	5:55
M2	3:52	5:30
M3	4:15	6:00
M4	3:28	5:10
M5	3:32	5:22

* Los tiempos de fraguado, tanto inicial como final son un promedio entre las tres series.

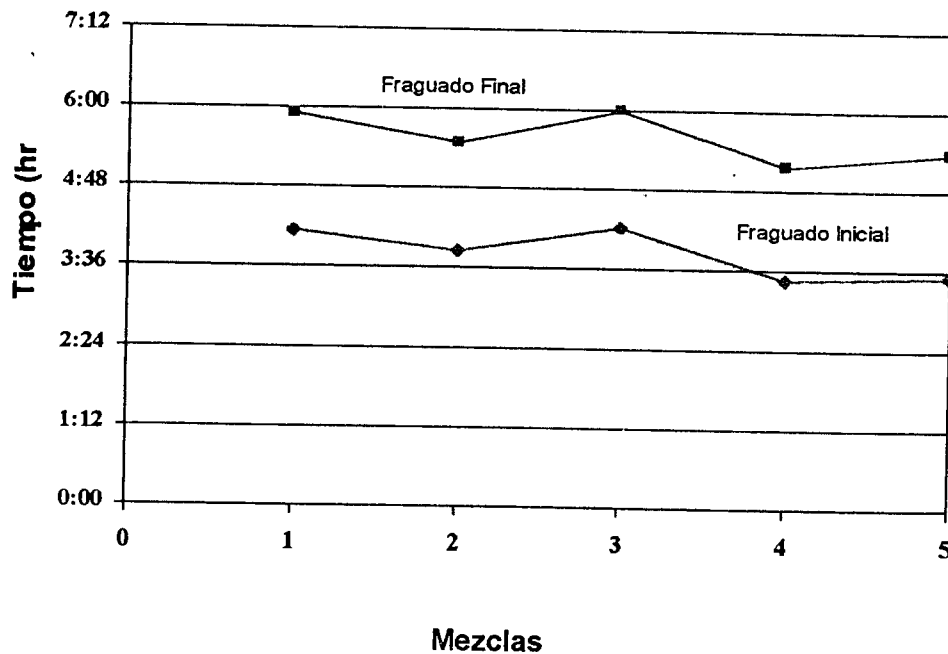


Figura 5.2.3.3 Gráfica de resultados de los tiempos de fraguado inicial y final de morteros (Mezclas de la etapa "A")

5.3 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Los especímenes premoldeados (ASTM C-31, C-192 ó C-873), así como las muestras de concreto endurecido obtenidas de la construcción (ASTM C-42, C-823 ó C-873) se pueden usar para las pruebas para el concreto endurecido.

5.3.1 Prueba de compresión.

Esta prueba se aplica tanto a cilindros moldeados como a corazones obtenidos de concreto endurecido, las probetas que utilizamos fueron cilindros moldeados de 15 x 30 cm y antes de la prueba se debe anotar de cada espécimen: peso, altura, diámetro y área.

Este método de prueba para la determinación de la resistencia a compresión de cilindros moldeados y corazones de concreto (NOM-C-83, 1985), se complementa con una serie de actividades, tales como: elaboración y curado de especímenes en el laboratorio (NOM-C-159, 1985), cabeceo de especímenes cilíndricos (NOM-C-109, 1985) y verificación de máquinas de prueba (NOM-CH-27, 1985).

Uno de los requisitos de la norma para el ensaye de los especímenes en máquinas de acción hidráulica, dice que la velocidad de aplicación de la carga debe ser regulada entre 84 y 210 kg/cm²/min, en forma continua y sin impacto. Se permite mayor velocidad en la aplicación de la carga durante la primera mitad de la carga máxima esperada (NOM-C-191, 1978).

Como ya se mencionó anteriormente, se elaboraron las cinco mezclas en las tres series. En cada mezcla se elaboraron probetas para el ensaye a compresión a los 3, 7 y 28 días, con dos especímenes por cada mezcla, obteniendo así seis cilindros para cada edad.

Los valores de los ensayes a compresión que se tomaron para la elaboración de las gráficas, son resultado del promedio de las tres series.

El reglamento de construcciones ACI 318 exige que la resistencia promedio de todos los conjuntos de tres pruebas consecutivas o series de concreto iguale o rebase el valor especificado, sin ningún ensaye individual (el promedio de dos cilindros) caiga en más de 354 kg/cm² por debajo de ese valor.

5.3.2 Tablas de Resultados de las pruebas a Compresión de la Etapa "A"

Tabla 5.3.2.1 Resultados a compresión (Mezcla No. 1 Testigo)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO Kg	SECCION cm. ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	060596	12.050	174.4	30.30	2280	29.500	169	168	100
3	060596	12.000	176.7	30.40	2234	29.000	166		
7	100596	11.998	176.7	30.20	2248	34.100	193	195	100
7	100596	12.087	176.7	30.40	2250	34.750	197		
28	310596	12.056	174.4	30.20	2289	47.000	269	265	100
28	310596	12.091	174.4	30.30	2288	45.600	261		

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

3	170596	11.876	176.7	30.20	2225	27.300	154	154	100
3	170596	11.816	174.4	30.00	2258	26.900	154		
7	210596	12.014	176.7	30.30	2244	34.250	194	196	100
7	210596	11.978	176.7	30.10	2252	34.750	197		
28	110696	12.050	176.7	30.20	2258	44.000	249	249	100
28	110696	12.100	176.7	30.10	2275	44.000	249		

SERIE A III (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

3	270596	11.897	174.4	30.20	2276	30.250	173	171	100
3	270596	11.897	176.7	30.30	2239	29.750	168		
7	310596	11.950	174.4	30.30	2261	35.500	204	202	100
7	310596	12.050	176.7	30.40	2243	35.300	200		
28	210696	12.050	176.7	30.30	2251	44.250	250	248	100
28	210696	12.100	176.7	30.20	2267	43.500	246		

Tabla 5.3.2.2 Características de la mezcla (MEZCLA No. 1)

SERIE	FECHA DE ELABORACION	REVENIMIENTO (mm)	ASPECTO	COHESION	TRABAJABILIDAD	SANGRADO	ACABADO
AI	030596	9.0	Pastoso	mucha	bueno	ligero	fácil
AII	140596	9.0	Pastoso	mucha	bueno	ligero	fácil
AIII	240596	9.0	Pastoso	mucha	bueno	ligero	fácil

Tabla 5.3.2.3 Resultados a compresión
(Mezcla No. 2 S. fume -5.0% + S. 306 - 8.0 CC/ kg)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD OÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCION cm ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg./m ³	CARGA kg.	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO.
3	060596	11.900	174.4	30.20	2259	35.000	201	201	120
3	060596	11.900	174.4	30.30	2252	35.000	201		
7	100596	11.995	176.7	30.40	2233	37.500	212	224	115
7	100596	11.924	176.7	30.30	2228	41.500	235		
28	310596	11.930	176.7	30.30	2228	58.000	328	340	128
28	310596	11.984	176.7	30.20	2246	62.100	351		

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

3	170596	11.923	176.7	30.10	2242	35.400	200	200	130
3	170596	11.901	176.7	30.10	2238	35.300	200		
7	210596	12.059	176.7	30.20	2260	44.250	250	253	129
7	210596	12.006	176.7	30.10	2257	45.250	256		
28	110696	12.000	176.7	30.10	2256	58.250	332	332	133
28	110696	12.050	176.7	30.10	2266	58.250	332		

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

3	270596	11.830	174.4	30.10	2263	35.500	204	204	119
3	270596	11.927	176.7	30.20	2235	36.000	204		
7	310596	11.950	174.4	30.30	2261	44.200	253	253	125
7	310596	11.900	174.4	30.30	2252	44.200	253		
28	210696	12.000	174.4	30.20	2278	58.000	333	334	135
28	210696	11.950	174.4	30.30	2261	58.500	335		

Tabla 5.3.2.4 Características de la mezcla (MEZCLA No. 2)

SERIE	FECHA DE ELABORACION	REVENIMIENTO (cm)	ASPECTO	COHESION	TRABAJABILIDAD	SANGRADO	ACABADO
AI	030596	6.0 - 14.5	Pastoso	muchas	Bueno	no presenta	Fácil
AII	140596	6.5 - 14.0	Pastoso	muchas	Bueno	no presenta	Fácil
AIII	240596	7.0 - 14.5	Pastoso	muchas	Bueno	no presenta	Fácil

* En esta etapa de prueba ("A"), que nos sirvió para evaluar a los aditivos, se realizó un diseño de mezcla para obtener un revenimiento de 9 cm en la mezcla testigo (concreto simple),

* Para las mezclas con aditivo, el reductor de agua se utilizó como plastificante. Esto quiere decir que se adhiere a la mezcla por separado del agua de diseño, es por eso que en las tablas de resultados tenemos dos valores para el revenimiento: el menor es el que se obtiene del concreto de Humo de Sílice utilizando únicamente el agua de la mezcla y el valor mayor se obtiene después de introducir el aditivo químico.

Tabla 5.3.2.5 Resultados a compresión
(Mezcla No. 3 S. fume -5.0% + S. 306 - 12.0 CC/ kg)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO Kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	060596	11.750	174.4	30.20	2231	33.000	189	192	114
3	060596	11.700	174.4	30.30	2214	33.750	194		
7	100596	11.795	174.4	30.20	2239	41.250	237	235	121
7	100596	12.025	176.7	30.30	2231	41.100	233		
28	310596	11.986	176.7	30.10	2254	57.100	323	326	123
28	310596	11.949	176.7	30.20	2239	58.000	328		

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

3	170596	11.947	176.7	30.20	2239	34.200	194	193	125
3	170596	11.861	176.7	30.20	2223	34.000	192		
7	210596	11.815	176.7	30.20	2214	43.100	244	244	124
7	210596	11.770	176.7	30.00	2220	43.000	293		
28	110696	11.850	174.4	30.20	2250	59.750	343	334	126
28	110696	11.900	176.7	30.00	2245	58.000	328		

SERIE A III (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

3	270596	11.848	176.7	30.20	2220	36.100	204	201	118
3	270596	11.905	176.7	30.30	2224	35.000	198		
7	310596	11.900	176.7	30.20	2230	43.000	243	246	122
7	310596	11.900	176.7	30.30	2223	43.800	248		
28	210696	11.950	176.7	30.30	2232	58.250	330	320	129
28	210696	11.900	176.7	30.20	2230	54.750	310		

Tabla 5.3.2.6 Características de la mezcla (MEZCLA No. 3)

SERIE	FECHA DE ELABORACION	REVENIMIENTO (cm)	ASPECTO	COHESION	TRABAJABILIDAD	SANGRADO	ACABADO
AI	030596	7.0 - 18.0	pastoso	mucha	bueno	no presenta	Fácil
AII	140596	6.5 - 17.0	pastoso	mucha	bueno	no presenta	Fácil
AIII	240596	7.0 - 18.5	pastoso	mucha	bueno	no presenta	Fácil

Tabla 5.3.2.7 Resultados a compresión
(Mezcla No. 4 S. fume - 10.0% + S. 306 - 8.0 CC/ kg)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCION cm.	ALTURA cm	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	060596	11.800	174.4	30.00	2255	36.750	211	210	125
3	060596	11.850	174.4	30.30	2242	36.500	209		
7	100596	11.899	174.4	30.20	2259	47.250	271	271	139
7	100596	11.797	176.4	30.20	2240	47.250	271		
28	310596	11.801	176.4	30.00	2256	64.000	367	368	139
28	310596	11.847	176.4	30.10	2257	64.100	368		

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

3	170596	11.936	176.7	30.10	2244	37.950	215	217	141
3	170596	11.899	176.7	30.10	2237	38.600	218		
7	210596	11.839	176.7	30.10	2226	51.250	290	289	147
7	210596	11.887	176.7	30.30	2220	50.750	287		
28	110696	12.000	176.7	30.30	2241	63.500	359	358	
28	110696	12.050	176.7	30.10	2268	63.000	257		

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

3	270596	11.840	176.7	30.20	2219	41.250	233	234	137
3	270596	11.816	176.7	30.20	2214	41.400	234		
7	310596	11.850	174.4	30.20	2250	50.500	290	283	140
7	310596	11.850	176.7	30.30	2213	50.000	283		
28	210696	11.950	176.7	30.30	2232	63.500	359	358	144
28	210696	11.900	176.7	30.20	2230	63.000	357		

Tabla 5.3.2.8 Características de la mezcla (MEZCLA No. 4)

SERIE	FECHA DE ELABORACION	REVENIMIENTO (cm)	ASPECTO	COHESION	TRABAJABILIDAD	SANGRADO	ACABADO
AI	030596	3.5 - 9.0	pastoso	Mucha	bueno	no presenta	Fácil
AII	140596	2.5 - 7.5	pastoso	Mucha	bueno	no presenta	Fácil
AIII	240596	4.0 - 9.5	pastoso	muchas	bueno	no presenta	Fácil

Tabla 5.3.2.9 Resultados a compresión
(Mezcla No. 5 S. fume – 10.0% + S. 306 – 12.0 CC/ kg)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO Kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	060596	11.700	174.4	30.30	2214	37.400	214	213	127
3	060596	11.800	174.4	30.40	2226	37.000	212		
7	100596	11.723	174.4	30.00	2241	48.250	277	279	143
7	100596	11.805	174.4	30.10	2249	48.750	280		
28	310596	11.747	174.4	30.10	2238	65.200	374	380	143
28	310596	11.769	174.4	30.10	2242	67.200	385		

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

3	170596	11.840	176.7	30.20	2219	39.250	223	219	142
3	170596	11.866	176.7	30.00	2238	38.050	215		
7	210596	11.913	176.7	30.20	2232	52.100	295	301	154
7	210596	11.946	176.7	30.30	2231	54.000	306		
28	110696	11.950	176.7	30.20	2240	64.500	365	310	140
28	110696	11.900	176.7	30.20	2230	66.000	374		

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

3	270596	11.875	176.7	30.20	2225	39.500	224	225	132
3	270596	11.805	176.7	30.30	2205	39.800	225		
7	310596	11.900	174.4	30.20	2259	49.500	280	283	140
7	310596	11.900	176.7	30.20	2230	50.700	287		
28	210696	11.900	174.4	30.30	2252	62.800	360	357	144
28	210696	11.900	176.7	30.20	2230	62.500	354		

Tabla 5.3.2.10 Características de la mezcla (MEZCLA No. 5)

SERIE	FECHA DE ELABORACION	REVENIMIENTO (cm)	ASPECTO	COHESION	TRABAJABILIDAD	SANGRADO	ACABADO
AI	030596	4.0 – 13.0	pastoso	Mucha	bueno	no presenta	Fácil
AII	140596	2.5 - 11.0	pastoso	Mucha	bueno	no presenta	Fácil
AIII	240596	4.0 - 12.5	pastoso	mucha	bueno	no presenta	Fácil

3.3 Gráficas de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Etapa "A"

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	164.0
7	198.0
28	254.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

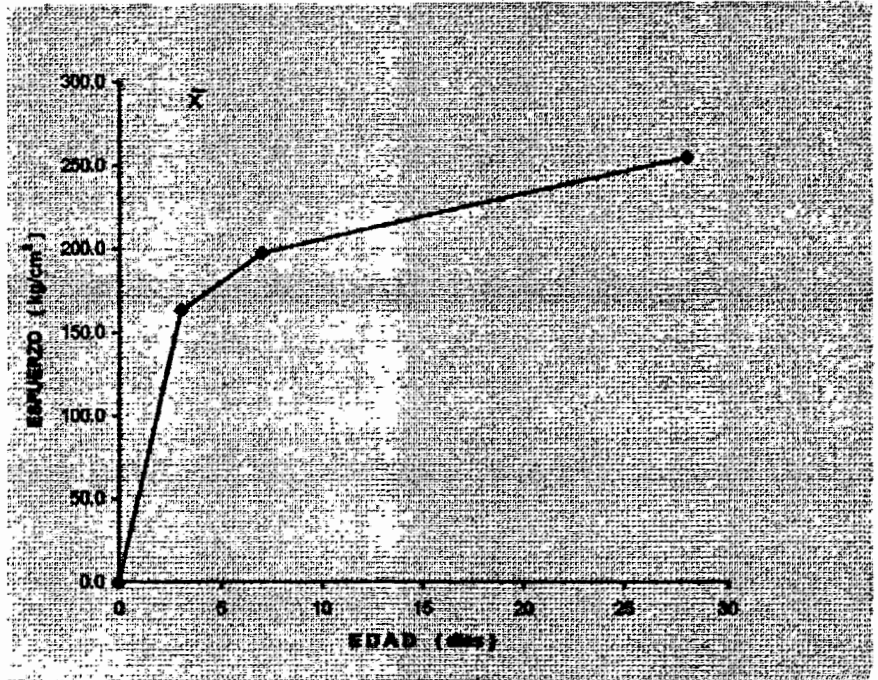


Figura 5.3.3.1 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 1 (Mezcla Testigo)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	202.0
7	243.0
28	335.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

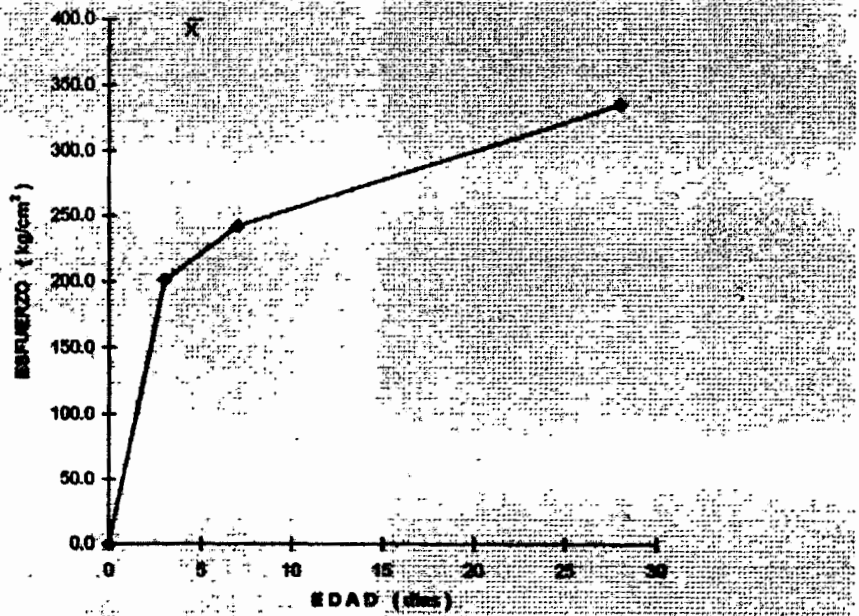


Figura 5.3.3.2 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 2 (S. fume-5.0% + S.306-8cc/kg)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	195.0
7	242.0
28	327.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)

Contenido de cemento = 300 kg/m³

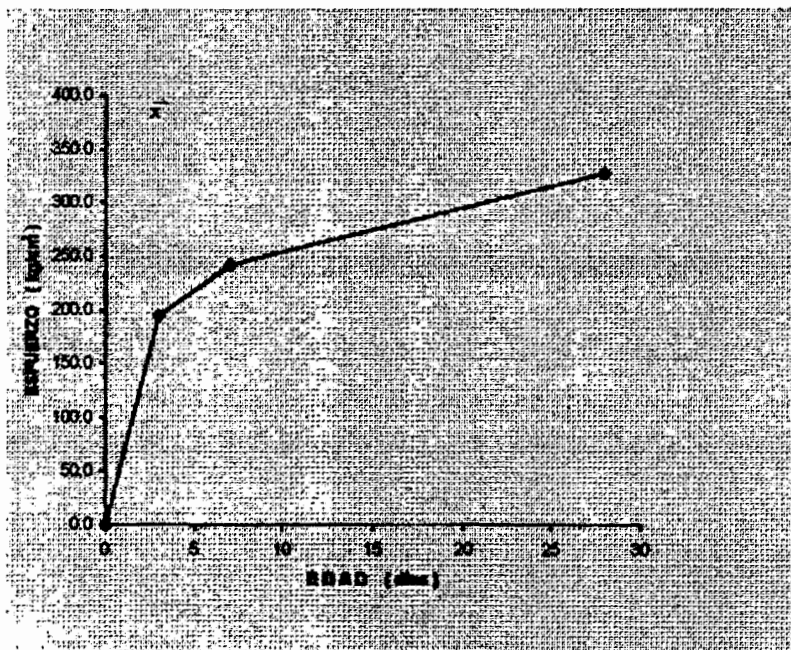


Figura 5.3.3.3 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 3 (S. fume-5.0% + S.306-12cc/kg)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	220.0
7	281.0
28	361.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)

Contenido de cemento = 300 kg/m³

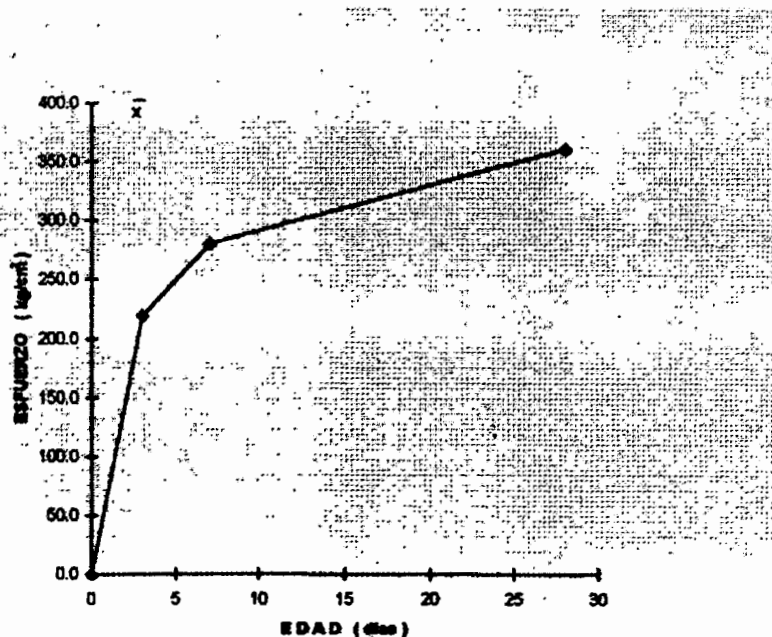


Figura 5.3.3.4 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 4 (S. fume-10% + S.306-8cc/kg)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	219.0
7	288.0
28	349.0

(X = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

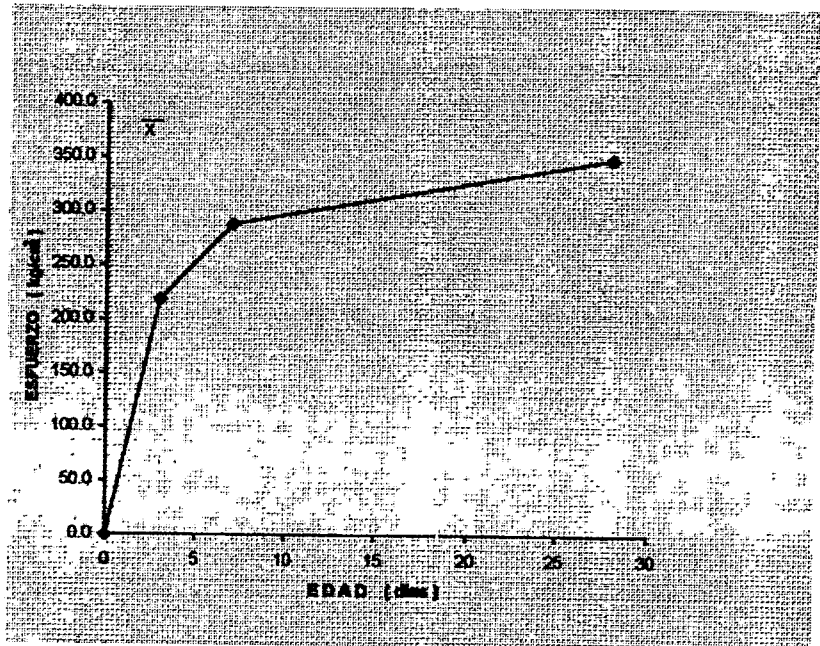


Figura 5.3.3.5 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 5
(S. fume-5.0% + S. 306-12cc/kg)

5.3.4 Resumen de los resultados de la prueba a compresión de los especímenes de la Etapa "A"

CONTENIDO DE CEMENTO 300Kg/m³
ESPECÍMENES CILÍNDRICOS (15x30 cm)

Tabla 5.3.4.1 Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Etapa "A"

MEZCLA	E D A D E N D Í A S		
	3	7	28
M 1	164	198	257
M 2	202	243	336
M 3	195	242	330
M 4	220	281	363
M 5	219	288	375

* Las cantidades descritas son valores de esfuerzos (Kg/cm²)

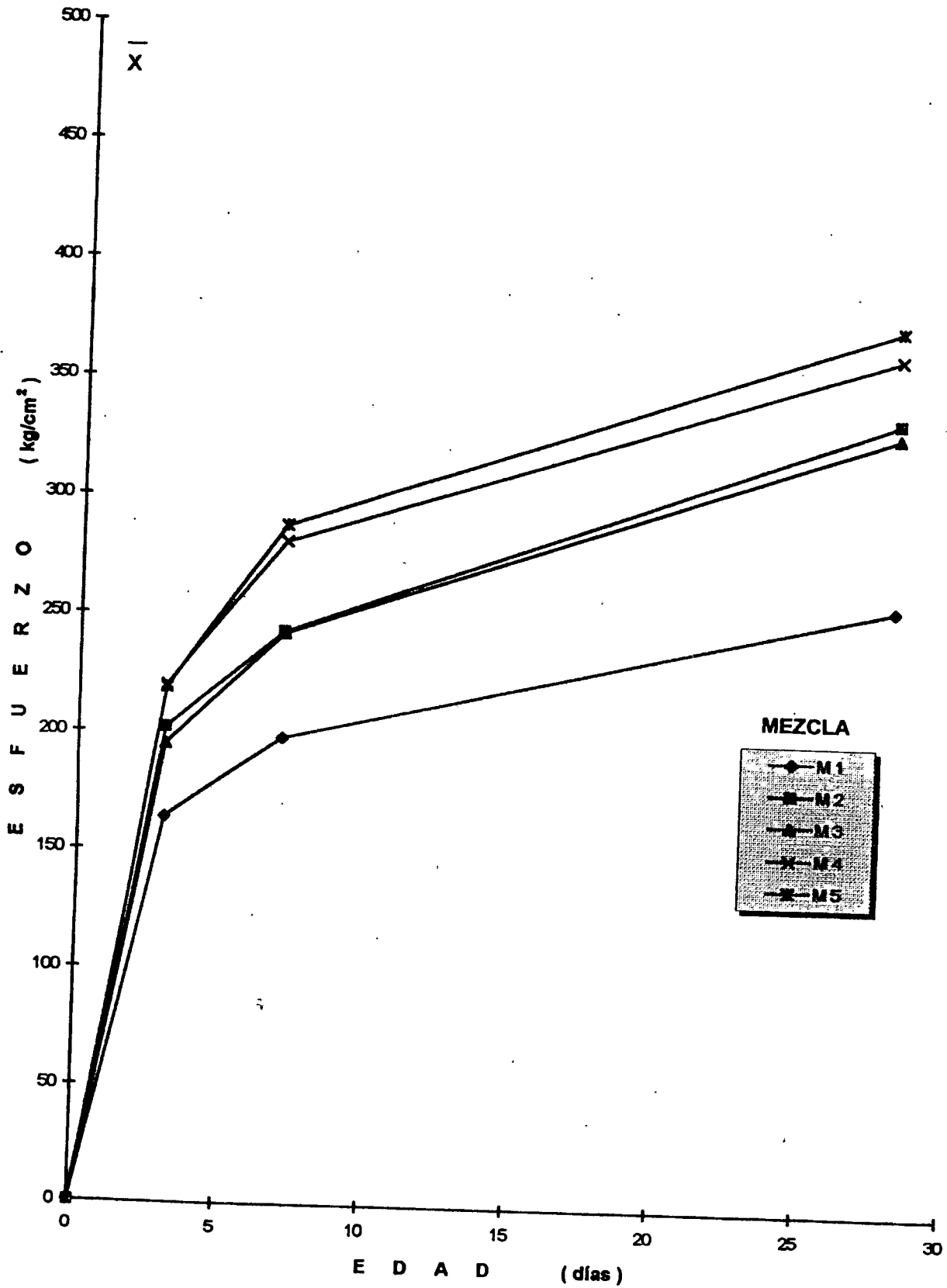


Figura 5.3.4.2 Gráfica de resultados a compresión de todas las mezclas

5.3.5 Prueba de flexión

5.3.5.1 Introducción.

La resistencia a la tensión del concreto se estima entre 10 y 15 veces menor de la resistencia a compresión. Aunque el concreto no se diseña normalmente para resistir tensión directa, el conocimiento de la resistencia a la tensión es de gran valor para estimar la carga bajo la cual se desarrollará el agrietamiento. La ausencia de agrietamiento es de considerable importancia para mantener la continuidad de una estructura de concreto y, en muchos casos, para evitar la corrosión del acero de refuerzo. Los problemas de agrietamiento surgen, por ejemplo, cuando se emplea acero de refuerzo de alta tensión, o cuando se desarrolla tensión diagonal debida a esfuerzos cortantes; pero el caso más frecuente de agrietamiento se debe a la contracción por restricción, y a gradientes de temperatura.

La apreciación de la resistencia a la tensión del concreto es de gran ayuda para comprender el comportamiento del concreto reforzado, aún cuando en muchos casos, los cálculos reales de diseño no tomen expresamente en cuenta la resistencia a la tensión. (Neville, 1989).

La aplicación directa de una fuerza de tensión pura, libre de excentricidad, es difícil, y se complica todavía más debido a esfuerzos secundarios inducidos por mordazas o pernos empotrados. No existe, por lo tanto, ninguna prueba estándar en la que se emplee tensión directa. (Neville, 1989).

Debido a estas dificultades es preferible medir la resistencia a la tensión del concreto sometiendo a flexión una viga sencilla. De hecho, esta es una de las dos pruebas estándar de tensión. El máximo esfuerzo teórico de tensión que se alcanza en la fibra inferior de la viga de prueba, se conoce como módulo de ruptura. (Neville 1989, Tecnología del Concreto)

Estas pruebas se basaron en la Norma Oficial Mexicana para flexión, por un lado considerando una viga doblemente apoyada con carga en el centro del claro (Neville, 1989) para vigas con una longitud de 45 cm. Por otro lado se consideró una viga doblemente apoyada con carga en cada uno de los tercios del claro (NOM - C - 191-1985) para vigas con una longitud de 60 cm.

Para esta prueba fue necesario considerar las Normas Oficiales Mexicanas vigentes: "Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio (NOM - 159 - 1985), Verificación de Máquinas de Prueba (NOM - CH - 27 - 1985) y Muestreo para la Inspección por Atributos (NOM - Z- 12-1985).

5.3.5.2 Recomendaciones para el ensaye de las vigas.

Inmediatamente después del descimbrado de las probetas (24 hrs.) se meten al cuarto de curado a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ donde permanecerán hasta la fecha de ensaye, para evitar que pequeñas zonas secas produzcan esfuerzos de tensión en las fibras extremas que reducen dicha resistencia (NOM - C - 159 - 1985).

El bloque para la aplicación de la carga y el apoyo de la viga deben ser de acero del mismo ancho o mayor que el de la viga con una altura que no exceda 65 mm, medidos a partir del centro de giro (Neville 1989).

Se recomienda que el lijado de las superficies laterales sea lo menos posible, ya que puede cambiar las características físicas de las mismas (NOM - C - 303 - 1986). La carga debe aplicarse a una velocidad uniforme y continua, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda 10 kg/cm^2 por minuto.

El módulo de ruptura se calcula con la teoría elástica común (Neville, 1989):

$R = 3PL / 2bd^2$ Cuando se aplica carga concentrada en el centro del claro. Vigas con longitud de 45 cm.

$R = PI / bd^2$ Cuando se aplica carga a cada tercio del claro y la fractura ocurre en el tercio medio ($L = 60\text{ cm}$)

Donde:

R = Módulo de ruptura (kg/cm^2)

P = Carga aplicada

b = ancho (cm)

d = peralte (cm)

En las tablas que se presentan a continuación en 5.3.6 (Resultados a flexión de la Etapa "A") se muestran las descripciones de cada espécimen ensayado, junto con la carga soportada y su esfuerzo. Se comparan también las resistencias obtenidas de los concretos con humo de sílice con las resistencias de los concretos testigo. En los resultados podemos observar los efectos del humo de sílice sobre las propiedades mecánicas de los concretos.

5.3.6 Tablas de resultados de las pruebas a flexión de la Etapa "A"

Tabla 5.3.6.1 Resultados a flexión. M 1 (Testigo)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO Kg.	SECCION cm ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
7	100596	30.900	228.0	60.0	2259	2300	30	30	100
28	310596	30.364	228.0	60.0	2220	2265	35	35	100

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

7	210596	30.455	228.0	50	2236	1575	21	21	100
28	110696	25.338	225.0	50	2252	2400	33	33	100

SERIE A III (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

7	310596	29.848	228.0	60.0	2182	1750	23	23	100
28	210696	25.164	225.0	50	2237	2300	30	34	100

Tabla 5.3.6.2 Resultados a flexión
M 2 (S. fume 5.0 % + S. 306 – 8 CC / kg.)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCIÓN cm. ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg./m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
7	100596	30.200	228.0	60.00	2208	2250	29	29	97
28	310596	25.218	225.0	50.00	2242	3040	41	41	117

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

7	210596	30.501	228.0	50.00	2230	2250	29	29	138
28	110696	25.060	222.0	50.00	2258	2750	37	37	112

SERIE A III (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

7	310596	30.120	225.0	60.00	2231	1925	26	26	113
28	210696	25.315	225.0	50.00	2250	2900	39	39	130

Tabla 5.3.6.3 Resultados a flexión
M 3 (S. fume 5.0 % + S. 306 – 12 CC / kg.)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAJE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
7	100596	30.550	228.0	60.00	2233	2175	28	28	93
28	310596	25.027	225.0	50.00	2225	3025	41	41	117

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

7	210596	30.254	222.0	50.00	2271	2125	29	29	138
28	110696	25.420	225	50.00	2260	2900	39	39	118

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

7	310596	30.306	228.0	60.00	2215	1975	26	26	113
28	210696	25.236	226.5	50.00	2228	2800	37	40	123

Tabla 5.3.6.4 Resultados a flexión
M 4 (S. fume 10.0 % + S. 306 – 8 CC / kg.)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCION cm.	ALTURA cm.	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg.	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
7	100596	25.150	228.0	50.00	2206	2350	31	31	103
28	310596	24.781	225.0	50.00	2174	3125	41	41	117

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

7	210596	30.724	228.0	50.00	2246	2175	28	28	133
28	110696	25.431	226.5	50.00	2246	3150	41	41	124

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

7	310596	29.986	228.0	60.00	2192	2050	27	27	117
28	210696	24.886	222.0	50.00	2242	3250	44	44	147

Tabla 5.3.6.5 Resultados a flexión
M 5 (S. fume 10.0 % + S. 306 – 12 CC / kg.)

SERIE AI (Fecha de elaboración: 3 / mayo / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm	ALTURA cm	DENSIDAD kg/cm ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
7	100596	24.950	228.0	50.00	2189	2275	30	30	100
28	310596	25.212	228.0	50.00	2212	3060	41	41	117

SERIE A II (Fecha de elaboración: 14 / mayo / 96)

7	210596	30.335	228.0	50.00	2217	2575	34	34	162
28	110696	24.933	222.0	50.00	2246	2925	40	40	121

SERIE AIII (Fecha de elaboración: 24 / mayo / 96)

7	310596	30.158	228.0	60.00	2203	2275	36	36	157
28	210696	24.941	225.0	50.00	2217	3400	45	41	150

5.3.7 Gráficas de los esfuerzos a flexión de las mezclas de la Etapa "A"

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
7	25.0
28	34.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 Kg/m³

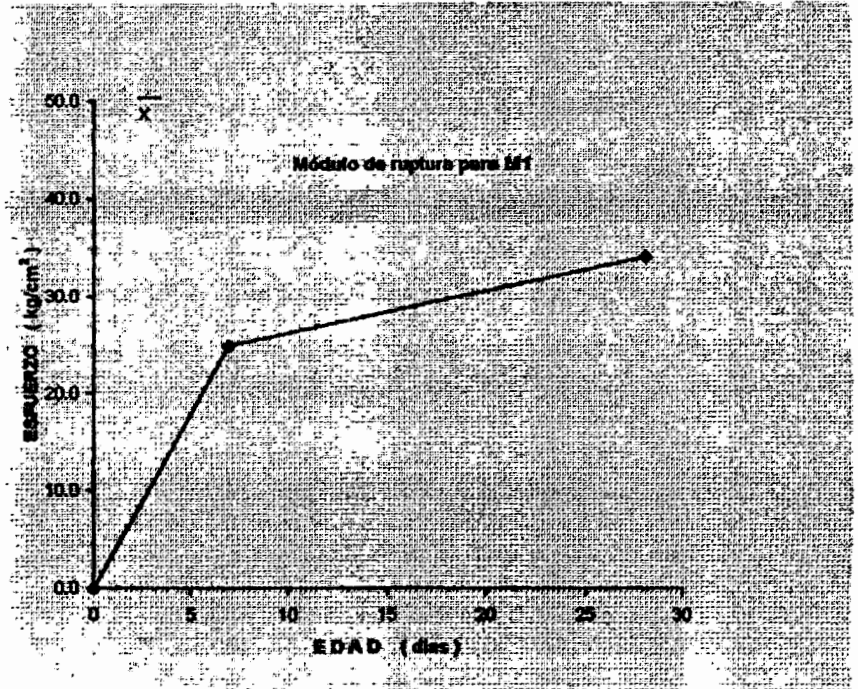


Figura 5.3.7.1 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 1

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
7	28.0
28	39.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 Kg/m³

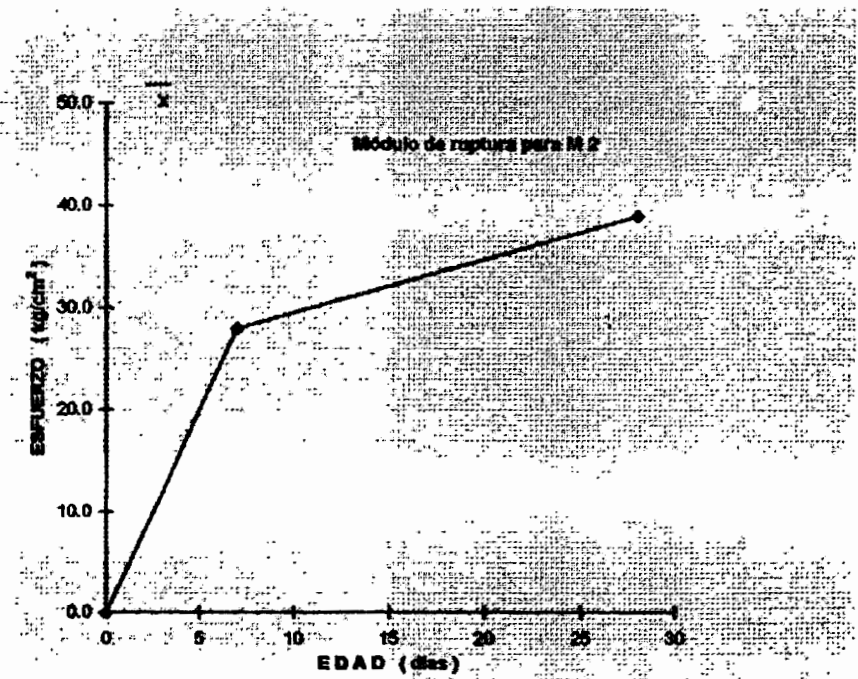


Figura 5.3.7.2 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 2

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
7	28.0
28	40.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 Kg/m³

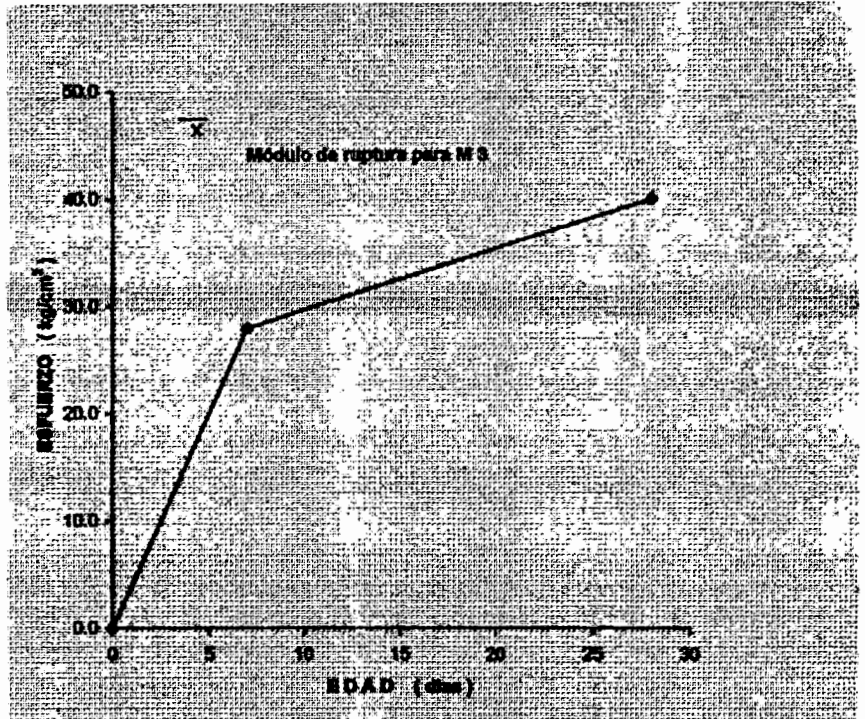


Figura 5.3.7.3 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 3

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
7	29.0
28	42.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 Kg/m³

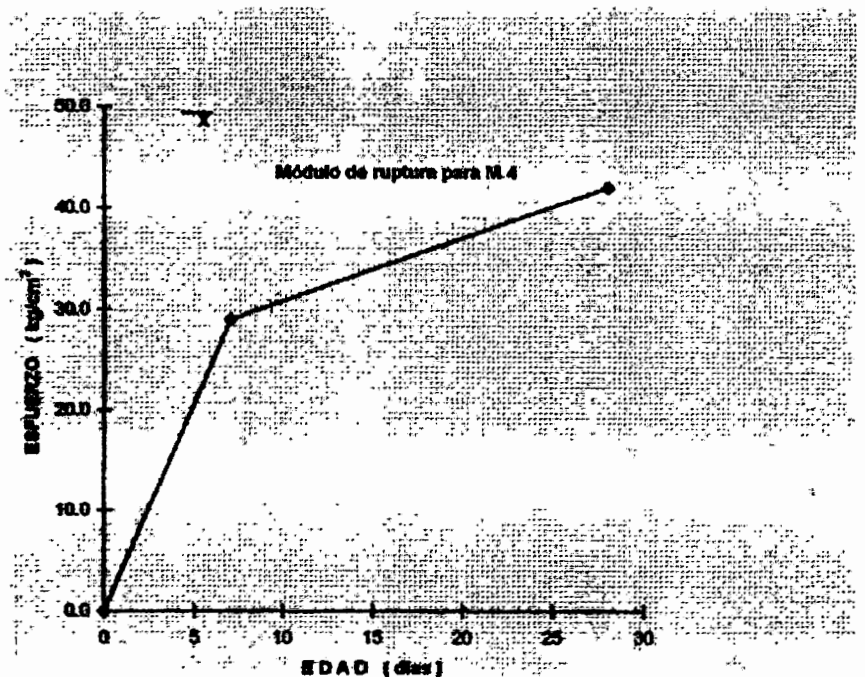


Figura 5.3.7.4 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 4

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
7	33.0
28	41.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 Kg/m³

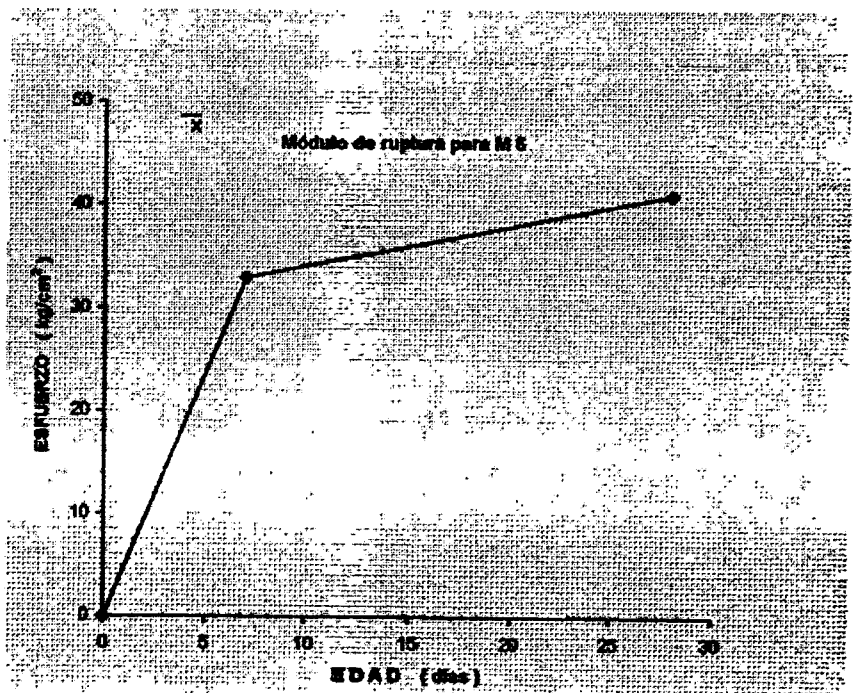


Figura 5.3.7.5 Gráfica de esfuerzos a flexión de la mezcla 5

5.3.8 Resumen del comportamiento de los especímenes (vigas) en la prueba de flexión

Tabla 5.3.8.1 Resultados a flexión de las mezclas de la Etapa "A"

MEZCLA	EDAD EN DÍAS	
	1	2
M 1	28	34
M 2	28	39
M 3	28	40
M 4	29	41
M 5	33	41

* Las cantidades descritas en la tabla son los valores del Modulo de ruptura en Kg/cm²

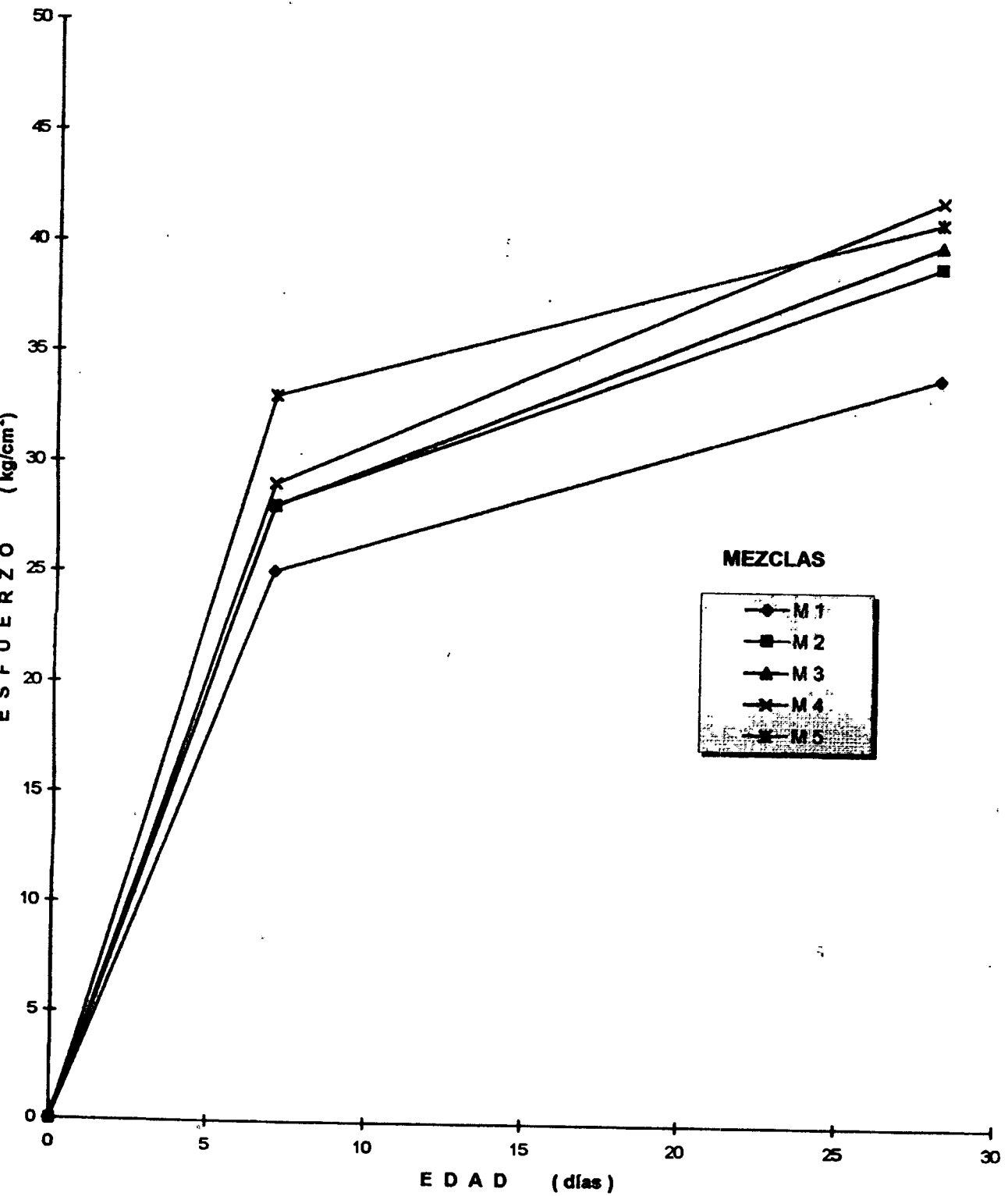


Figura 5.3.8.2 Gráfica de resumen de los esfuerzos a flexión.

CONCLUSIONES

- Revenimiento

Para el caso de la mezcla testigo (concreto simple) diseñamos para lograr un revenimiento de 9 cm, logrando así un concreto con buena trabajabilidad. En las cuatro mezclas que se realizaron con aditivo pudimos comprobar la demanda de agua en concretos con Sílica Fume y la necesidad de utilizarlo en compañía de un fluidizante.

En las mezclas 2 y 3 observamos que tan sólo el 1% de un aditivo reductor de agua puede lograr por sí sólo los 9 cm de revenimiento que se obtuvieron con la relación 9/0 de diseño.

Pudimos observar también que el revenimiento es sólo una medida de la trabajabilidad y no tiene efecto directo en la resistencia del concreto (en el caso de los concretos con estos aditivos).

- Pudimos observar un sangrado ligero en la mezcla base, mientras que en las mezclas con aditivo no se presentó sangrado alguno. Tal como lo describía el fabricante.

- En el contenido de aire de la mezcla (aire atrapado), se notó un pequeño incremento en las mezclas con mayor dosificación de Sílica-Fume. Estas diferencias no fueron significativas para afectar la resistencia del concreto.

- En los tiempos de fraguado, pudimos apreciar una aceleración de fraguado en las mezclas M4 y M5. Aceleraciones de 30 min. En el fraguado inicial y casi de 1 hora en el fraguado final (esto es respecto al testigo). Deduzco que la aceleración se debe a la Sílica-Fume por el secado de mortero.

- En cuanto a la resistencia a compresión, como ya se esperaba, aumentó la resistencia del concreto a edades tempranas, así como la resistencia a los 28 días de edad (en concretos con aditivo).

Como lo supusimos, la mayor resistencia se obtuvo con la mayor dosificación de aditivo (M5). En M5 tuvimos un incremento en la resistencia final de más del 40% con respecto al testigo. A diferencia del 20% que describe el fabricante.

- En cuanto a la resistencia a flexión algunas bibliografías (Neville, 1989) dicen que la resistencia a la tensión se estima en 10 a 15 veces menor de la resistencia a compresión. En nuestros resultados los esfuerzos que obtuvimos para el módulo de ruptura fueron de 7 a 8 veces menores que los esfuerzos a compresión (un poco mayores de las que estimó Neville).

Con el uso de la Sílica fume y el reductor de agua en el concreto obtuvimos incrementos satisfactorios en los resultados de la prueba de flexión. Logrando incrementos de resistencia a edades tempranas (7 días) en más del 50% en M5, e incrementos en la resistencia última del concreto (28 días) hasta del 30% en M4 y M5; con respecto al concreto elaborado sin Sílica fume (concreto simple)

Si bien sabemos que el concreto no es diseñado para resistir esfuerzo de tensión, y que para tal función hacemos uso del acero de refuerzo, de cualquier manera, los incrementos de resistencia manifestados en concretos con Sílica fume son de gran importancia, con estos incrementos de resistencia a flexión podemos obtener factores de seguridad mayores para evitar el agrietamiento del concreto y así lograr la estabilidad y continuidad de la estructura.

REFERENCIAS

ACI 318. Capítulo 7, *"Proporcionamiento de mezclas de concreto normal"*.
Capítulo 14, *"Pruebas para controlar la calidad del concreto"*.

Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. NOM-C-83-1985.

Concreto – Cabeceo de especímenes cilíndricos. NOM-C-109-1985.

Concreto – Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto.
NOM-C-159-1985.

Verificación de máquinas de prueba. NOM-CM-27-1985.

Determinación de la velocidad de aplicación de la carga NOM-C-191-1978.

Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro. NOM-C-303-1986.

Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en los dos tercios del claro. NOM-C-191-1985.

Muestreo para la inspección por atributos. NOM-Z-12-1985

Capítulo Seis

Propiedades Mecánicas

ETAPA "B"

6.1 INTRODUCCIÓN

La etapa "A", como ya se mencionó, se realizó para evaluar el funcionamiento de los aditivos.

En este capítulo correspondiente a la etapa "B" y en los capítulos posteriores se eliminó la prueba de tiempo de fraguado de los morteros y la prueba de resistencia a flexión, se tomó esta decisión porque los resultados de éstas pruebas no presentaban cambios significativos o de importancia. Y nos enfocamos al comportamiento de la resistencia a compresión en concretos con humo de sílice a edades mayores de 28 días, para estudiar la posible regresión o pérdida de resistencia del concreto. (ver Antecedentes)

En la etapa "B" de esta investigación producimos concretos con humo de sílice acompañados con un aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante), tratando de producir concretos de alta resistencia ($> 420 \text{ kg/cm}^2$) con un contenido de cemento de 300 kg/m^3 . El diseño de mezcla que se realizó fue para M1 (concreto simple), con el cual produciríamos un concreto con buenas características de trabajabilidad, por lo que consideramos un revenimiento de diseño de $11 \pm 1 \text{ cm}$.

El aditivo superplastificante se utilizó como reductor de agua y no como plastificante, es decir, se consideró como parte del agua de mezclado, para así poder medir el porcentaje de reducción de agua en cada mezcla. La dosificación fue de 1.5 y 2.0% del peso del cemento.

La resistencia se obtuvo del ensaye de cilindros moldeados de $15 \times 30 \text{ cm}$ (para edades de 3 y 7 días) y de $10 \times 20 \text{ cm}$ (para edades de 28 y 56 días), curados en un cuarto húmedo a una temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 1.6^\circ\text{C}$, de conformidad con la sección 9b del ASTM C 31. Para la correspondencia se usó un tamaño máximo de agregado grueso de 25 mm (1"), el contenido de aire que se consideró para el diseño fue del 1.0% que es aproximadamente el aire que queda atrapado en el concreto.

El plan de trabajo fue realizar tres series, conteniendo cinco mezclas cada serie con dosificaciones diferentes de aditivo. Los ensayes se realizaron a los 3, 7, 28 y 56 días de edad con dos especímenes por edad, obteniendo un total de 120 probetas para la prueba de compresión.

* Para el ensaye de los especímenes se tomaron los mismos parámetros y especificaciones que en el capítulo anterior (Etapa "A").

6.1.2 Tablas de los resultados de las pruebas a compresión (Etapa "B")

Tabla 6.1.2.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo (M1 = Testigo)

SERIE I (Fecha de elaboración: 10 / SEP. / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	130996	12.100	174.4	30.00	2313	32.500	186	182	100
3	130996	12.050	176.7	30.00	2273	31.250	177		
7	170996	12.250	176.7	30.10	2303	41.750	236	230	100
7	170996	12.150	176.7	30.10	2284	39.500	224		
28	081096	12.168	174.4	30.00	2326	50.600	290	285	100
28	081096	12.201	176.7	30.00	2302	49.500	280		
56	051196	12.283	174.4	30.00	2348	53.250	305	305	100
56	051196	12.307	176.7	30.10	2314	53.750	304		

SERIE II (Fecha de elaboración: 18 / SEP. / 96)

3	210996	12.200	174.4	30.20	2316	32.500	186	181	100
3	210996	12.200	176.7	30.20	2286	31.000	175		
7	250996	12.200	174.4	30.00	2332	42.300	243	241	100
7	250996	12.250	176.7	30.20	2296	42.100	238		
28	161096	12.200	176.7	30.10	2294	49.750	282	284	100
28	161096	12.250	176.7	30.10	2303	50.500	286		
56	131196	12.300	176.7	30.10	2313	56.100	317	319	100
56	131196	12.250	176.7	30.10	2303	56.600	320		

SERIE III (Fecha de elaboración: 20 / SEP. / 96)

3	230996	12.150	176.7	30.100	2284	32.900	186	189	100
3	230996	12.250	176.7	30.200	2296	33.750	191		
7	270996	12.200	176.7	30.100	2294	43.750	248	243	100
7	270996	12.250	176.7	30.200	2296	42.000	238		
28	181096	12.250	176.7	30.000	2311	49.000	277	284	100
28	181096	12.250	174.4	30.000	2341	50.750	291		
56	151196	12.250	176.7	30.100	2303	55.000	311	309	100
56	151196	12.200	176.7	30.100	2294	54.000	306		

Tabla 6.1.2.2 Características de M1 Testigo

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	Ligero	No presentó	Ligero
REVENIMIENTO (cm)	11.0	12.5	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	28.0	25.5	26.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m³)	2.306	2.305	2.315
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	23.0	20.0	20.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.1	0.8	1.1
HUMEDAD RELATIVA (%)	65.0	72.5	76.0
FECHA DE ELABORACIÓN	10/ sep./ 96	18 / sep. / 96	20 / sep. / 96

* Éstos términos se describen en el glosario final.

Tabla 6.1.2.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(M2 = S. fume 5.0 % + S. 100 - 1.5 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 10 / SEP. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ³	ALTURA cm	DENSIDAD kg/cm ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	130996	12.200	176.7	30.20	2286	41.500	235	234	129
3	130996	12.200	174.4	30.10	2324	40.500	232		
7	170996	12.150	176.7	30.30	2269	51.700	293	297	129
7	170996	12.200	176.7	30.20	2286	53.00	300		
28	081096	12.130	174.4	30.20	2303	67.600	388	385	135
28	081096	3.585	78.5	20.10	2271	30.00	382		
56	051196	3.709	80.7	20.00	2270	30.400	372	375	123
56	051196	3.728	80.1	20.00	2327	30.200	377		

SERIE II (Fecha de elaboración: 18 / SEP. / 96)

3	210996	12.200	174.4	30.20	2316	42.600	244	247	136
3	210996	12.100	174.4	30.10	2305	43.600	250		
7	250996	12.150	174.4	30.00	2332	55.600	319	324	134
7	250996	12.200	174.4	30.20	2316	51.200	328		
28	161096	12.250	176.7	30.20	2296	57.500	382	383	135
28	161096	3.363	78.5	20.00	2313	30.100	383		
56	131196	3.607	78.5	20.10	2285	32.500	414	417	131
56	131196	3.587	78.5	20.00	2284	33.000	420		

SERIE III (Fecha de elaboración: 20 / SEP. / 96)

3	230996	12.100	174.4	30.20	2297	44.300	254	256	135
3	230996	12.100	174.4	30.20	2297	44.750	257		
7	270996	12.200	176.7	30.30	2279	56.700	321	324	133
7	270996	12.150	174.4	30.40	2292	56.800	326		
28	181096	12.100	174.4	30.00	2313	70.800	406	397	140
28	181096	3.608	78.5	20.00	2297	30.400	387		
56	151196	3.719	78.5	20.10	2356	30.000	382	390	126
56	151196	3.611	78.5	20.00	2299	31.200	397		

Tabla 6.1.2.4 Características de M 2 (S. fume 5% + S.100 – 1.5%)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.5	10.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	28.5	25.5	26.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.296	2.282	2.299
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	23.0	20.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.8	1.8	2.2
HUMEDAD RELATIVA (%)	68.5	74.5	76.0
FECHA DE ELABORACIÓN	10/ sep. / 96	18 / sep. / 96	20 / sep. / 96

Tabla 6.1.2.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(M3 = S. fume 5.0 % + S. 100 - 2.0 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 10 / SEP. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	130996	12.250	176.7	30.20	2296	46.500	263	265	146
3	130996	12.150	174.4	30.10	2315	46.500	267		
7	170996	12.150	174.4	30.20	2307	59.100	339	340	148
7	170996	12.100	174.4	30.00	2313	59.400	311		
28	081096	12.119	176.7	30.10	2279	76.600	434	429	151
28	081096	3.5803	78.54	20.10	2268	33.250	423		
56	051196	3.586	78.54	20.10	2272	31.000	395	404	132
56	051196	3.612	78.54	20.00	2299	32.400	413		

SERIE II (Fecha de elaboración: 18 / SEP. / 96)

3	210996	12.200	174.4	30.200	2316	46.500	267	269	149
3	210996	12.200	174.4	30.300	2309	47.250	271		
7	250996	12.200	176.7	30.200	2286	58.900	333	338	140
7	250996	12.200	176.7	30.100	2294	60.500	342		
28	161096	12.300	174.4	30.300	2328	72.100	413	418	146
28	161096	3.773	80.1	20.300	2320	32.900	411		
56	131196	3.594	78.54	20.00	2288	32.300	411	413	129
56	131196	3.602	78.54	20.00	2293	32.500	414		

SERIE III (Fecha de elaboración: 20 / SEP. / 96)

3	230996	12.050	174.4	30.10	2295	45.000	258	258	137
3	230996	12.000	174.4	29.90	2301	45.000	258		
7	270996	12.050	174.4	30.00	2303	60.000	344	339	140
7	270996	12.150	174.4	30.30	2299	58.100	333		
28	181096	12.000	174.4	30.00	2294	74.100	425	424	149
28	181096	3.627	78.54	19.90	2321	33.250	423		
56	151196	3.773	78.54	20.30	2366	33.700	429	434	140
56	151196	3.614	78.54	20.00	2301	34.500	439		

Tabla 6.1.2.6 Características de M 3 (S. fume 5.0 % + S.100 – 2.0%)

CONCEPTO	MEZCLA I		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.0	11.5	12.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	28.5	26.0	26.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.299	2.303	2.291
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	23.0	20.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.1	2.0	2.3
HUMEDAD RELATIVA (%)	66.5	78.0	76.0
FECHA DE ELABORACIÓN	10/ sep. / 96	18 / sep. / 96	20 / sep. / 96

Tabla 6.1.2.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(M4 = S. fume 10 % + S. 100 - 1.5 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 10 / SEP. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO Kg	SECCION cm. ²	ALTURA cm.	DENSIDAD Kg / m ³	CARGA Kg	ESFUERZO Kg / cm ²	PROMEDIO Kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	130996	12.050	176.7	30.10	2266	41.800	237	237	130
3	130996	12.150	176.7	30.20	2277	41.750	236		
7	170996	12.150	176.7	30.10	2350	57.500	325	333	145
7	170996	11.950	174.4	30.00	2284	59.350	340		
28	081096	12.066	176.7	30.10	2269	73.900	418	422	148
28	081096	3.566	70.5	20.00	2270	33.400	425		
56	051196	3.588	78.5	20.00	2284	34.500	439	438	144
56	051196	3.596	78.5	20.00	2289	34.300	437		

SERIE II (Fecha de elaboración: 18 / SEP. / 96)

3	210996	12.200	174.4	30.20	2278	44.400	255	252	139
3	210996	11.950	176.7	30.00	2254	44.000	249		
7	250996	12.000	174.4	30.10	2286	61.200	351	347	144
7	250996	12.000	174.4	30.00	2294	59.750	343		
28	161096	12.050	176.7	30.00	2273	70.300	398	402	146
28	161096	3.579	78.5	20.30	2278	31.800	405		
56	131196	3.588	78.5	20.00	2284	34.000	433	435	136
56	131196	3.622	80.1	20.00	2260	35.000	437		

SERIE III (Fecha de elaboración: 20 / SEP. / 96)

3	230996	12.000	176.7	30.00	2264	42.750	242	244	129
3	230996	11.950	174.4	29.90	2292	42.750	245		
7	270996	11.900	174.4	29.90	2282	60.000	344	336	138
7	270996	12.550	176.7	30.00	2273	57.750	327		
28	181096	12.100	176.7	30.20	2267	75.500	427	417	147
28	181096	3.592	78.5	20.00	2287	31.850	406		
56	151196	3.607	78.5	20.00	2296	31.200	397	402	130
56	151196	3.593	78.5	20.00	2287	32.00	407		

Tabla 6.1.2.8 Características de M 4 (S. fume 10 % + S.100 – 1.5 %)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	10.5	11.5	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	25.0	26.0	26.5
P. VOLUMÉTRICO (kg. /m ³)	2.290	2.288	2.290
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	23.0	21.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.7	1.6	1.8
HÚMEDAD RELATIVA (%)	66.0	78.0	76.5
FECHA DE ELABORACIÓN	10/ sep. / 96	18 / sep. / 96	20 / sep. / 96

Tabla 6.1.2.9 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(M5 = S. fume 10 % + S. 100 - 12.0 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 10 / SEP. / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	130996	12.000	174.4	30.10	2286	43.200	248	250	137
3	130996	12.000	174.4	30.00	2294	43.900	252		
7	170996	11.950	174.4	30.00	2284	60.000	344	356	155
7	170996	12.050	174.4	30.20	2288	64.000	367		
28	081096	12.014	174.4	30.00	2296	30.750	463	462	162
28	081096	3.555	78.5	20.00	2263	36.200	461		
56	051196	3.593	78.5	20.00	2287	37.600	479	473	155
56	051196	3.586	78.5	20.00	2283	36.600	466		

SERIE II (Fecha de elaboración: 18 / SEP. / 96)

3	210996	12.000	174.4	30.00	2294	45.900	263	261	144
3	210996	11.100	176.7	30.20	2267	45.750	259		
7	250996	12.150	176.7	30.20	2277	59.750	338	320	133
7	250996	11.950	174.4	30.00	2284	52.600	302		
28	161096	12.050	174.4	30.20	2288	75.100	431	421	148
28	161096	3.591	78.5	20.10	2275	32.300	411		
56	131196	3.583	78.5	20.10	2270	35.600	453	451	141
56	131196	3.671	80.1	20.00	2291	36.000	449		

SERIE III (Fecha de elaboración: 20 / SEP. / 96)

3	230996	12.100	174.4	30.20	2297	47.100	270	273	144
3	230996	12.100	174.4	30.30	2290	48.000	275		
7	270996	12.100	176.7	30.00	2283	62.800	355	363	149
7	270996	12.200	176.7	30.20	2286	65.500	371		
28	181096	12.200	176.7	30.00	2301	77.000	436	439	155
28	181096	3.630	78.5	20.00	2311	34.600	441		
56	151196	3.596	78.5	20.00	2289	35.200	448	441	143
56	151196	3.636	78.5	20.10	2303	34.000	433		

Tabla 6.1.2.10 Características de M 5 (S. fume 10 % + S.100 – 2. 0 %)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	10.0	12.0	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	29.0	26.0	26.5
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.293	2.288	2.289
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	23.0	21.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.1	2.2	2.2
HUMEDAD RELATIVA (%)	65.0	78.0	76.0
FECHA DE ELABORACIÓN	10/ sep. / 96	18 / sep. / 96	20 / sep. / 96

Tabla 6.1.2.11 Resumen y Reducción de agua en cada mezcla

ETAPA "B"

(Contenido de cemento = 300 kg / m³)

SERIE B 1

1	0.667	0.681	28.0	23.0	65.0	
2	0.667	0.621	28.5	23.0	68.5	8.811
3	0.667	0.585	28.5	23.0	66.5	14.097
4	0.667	0.605	25.0	23.0	66.0	11.16
5	0.667	0.584	29.0	23.0	65.0	14.244

SERIE B 2

1	0.667	0.704	25.5	20.0	72.5	
2	0.667	0.643	25.5	20.0	74.5	8.665
3	0.667	0.614	26.0	20.0	78.0	12.784
4	0.667	0.641	26.0	21.0	78.0	8.95
5	0.667	0.612	26.0	21.0	78.0	13.068

SERIE B 3

1	0.667	0.665	26.0	20.0	76.0	
2	0.667	0.601	26.0	21.0	76.0	9.624
3	0.667	0.590	26.0	21.0	76.0	11.278
4	0.667	0.615	26.5	21.0	76.5	7.519
5	0.667	0.583	26.5	21.0	76.0	12.331

* R a/c = Relación agua/cemento, utilizada para el diseño de la mezcla.

* R a/c+p = Relación agua/cemento + puzolana, después de agregar la puzolana es la relación real que se utiliza para producir 1 m³ de concreto en cada una de las mezclas.

1.3 Gráficas de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Etapa "B"

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	184.0
7	238.0
28	284.0
56	311.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

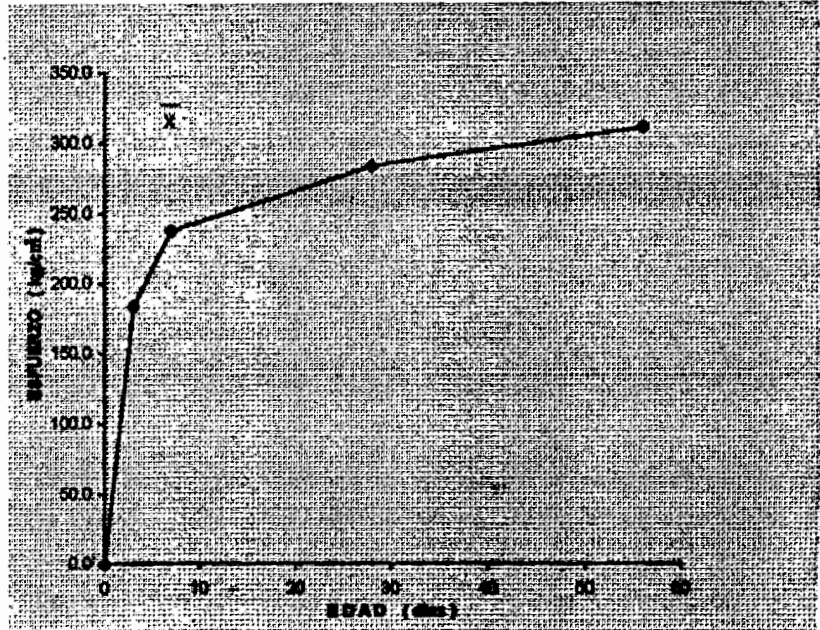


Figura 6.1.3.1 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 1 (Mezcla testigo)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	246.0
7	315.0
28	388.0
56	394.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

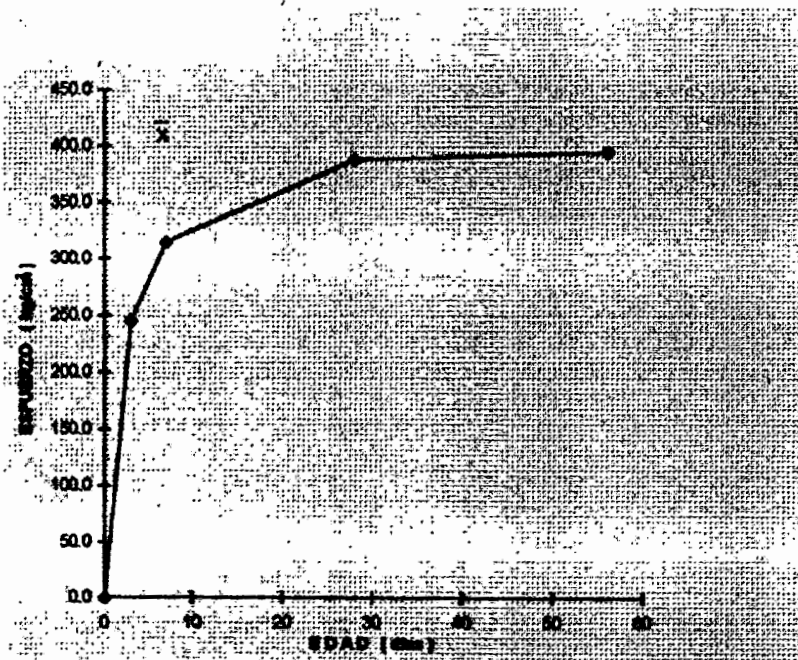


Figura 6.1.3.2 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 2 (S. fume-5.0% + S.100-1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	264.0
7	339.0
28	422.0
56	417.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

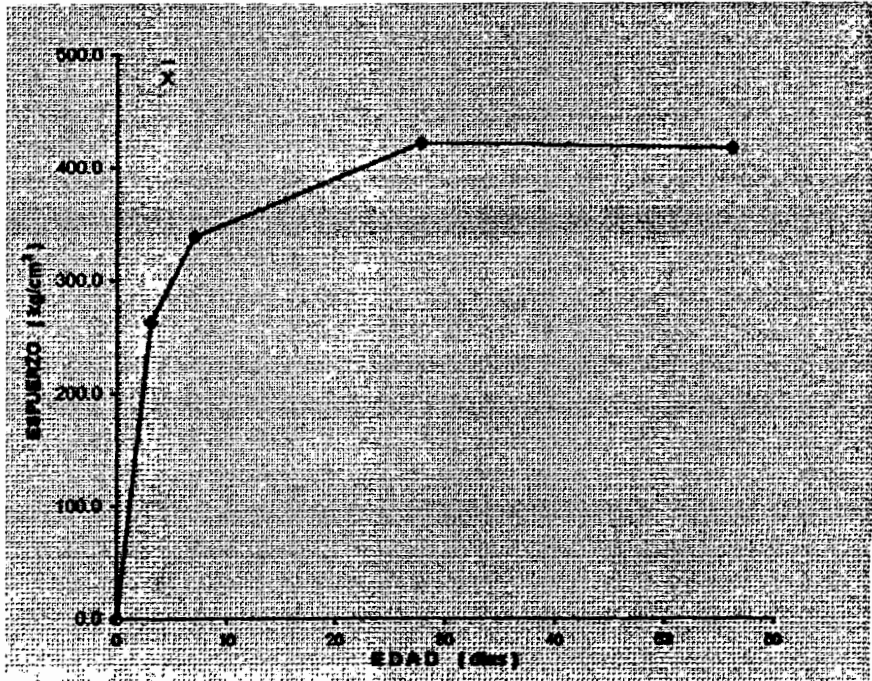


Figura 6.1.3.3 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 3 (S. fume-5.0% + S.100 - 2.0%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	244.0
7	339.0
28	414.0
56	425.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

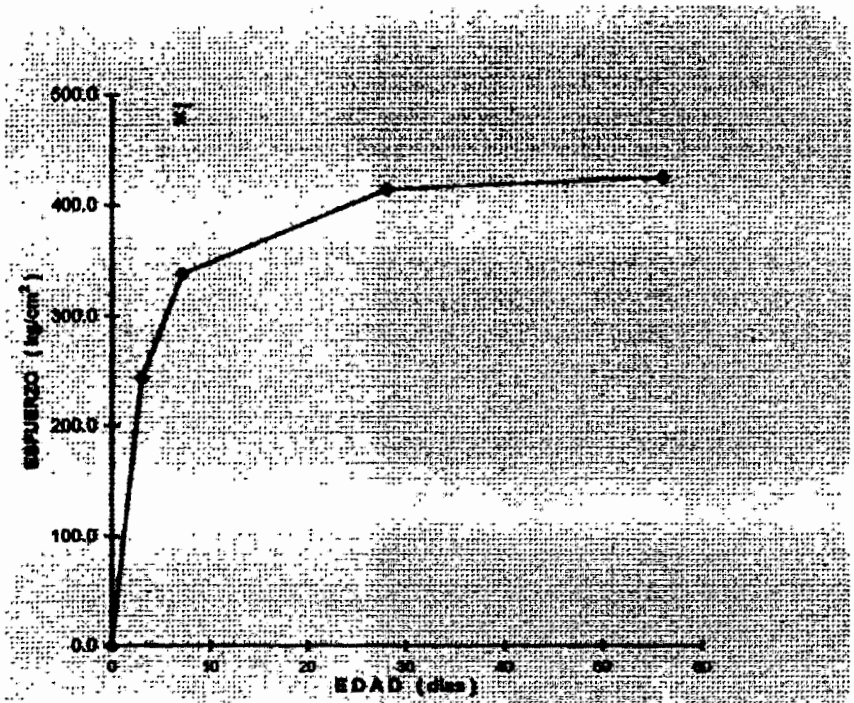


Figura 6.1.3.4 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 4 (S. fume-10.0% + S.100 - 1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	261.0
7	346.0
28	441.0
56	455.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio de las tres series)
Contenido de cemento = 300 kg/m³

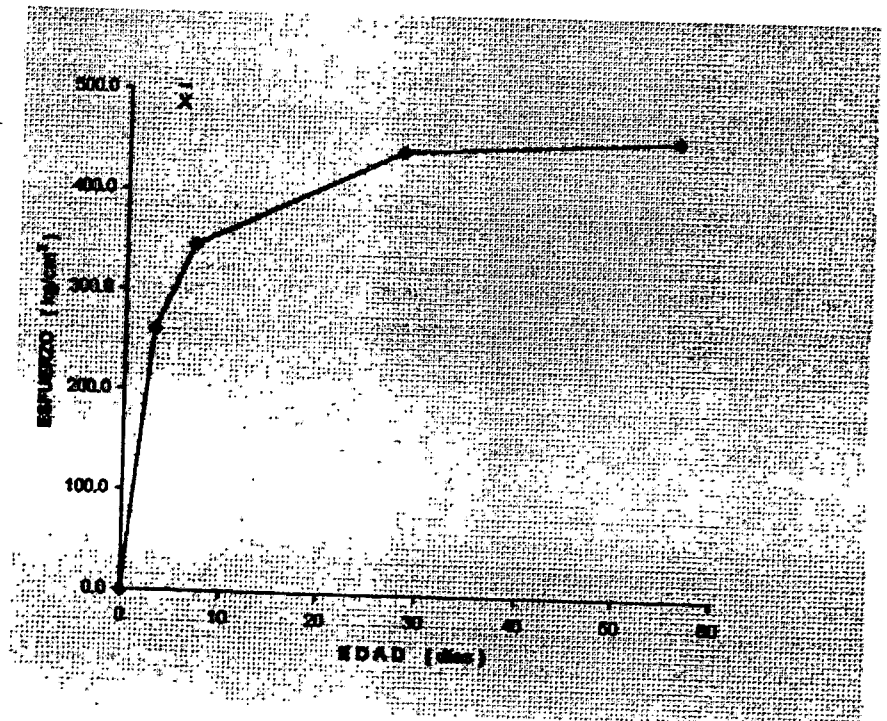


Figura 6.1.3.5 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 5 (S.fume - 10.0% + S.100 - 2.0%)

6.1.4 Resumen de los resultados de la prueba a compesión

CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg/m³
ESPECÍMENES CILÍNDRICOS (15x30cm)

Tabla 6.1.4.1 Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la etapa "B".

MEZCLA	EDAD EN DIAS			
	18	28	35	45
M 1	184	238	284	311
M 2	246	315	388	394
M 3	264	339	422	417
M 4	244	339	414	425
M 5	261	346	441	455

* Las cantidades descritas son valores de esfuerzos (kg/cm²)

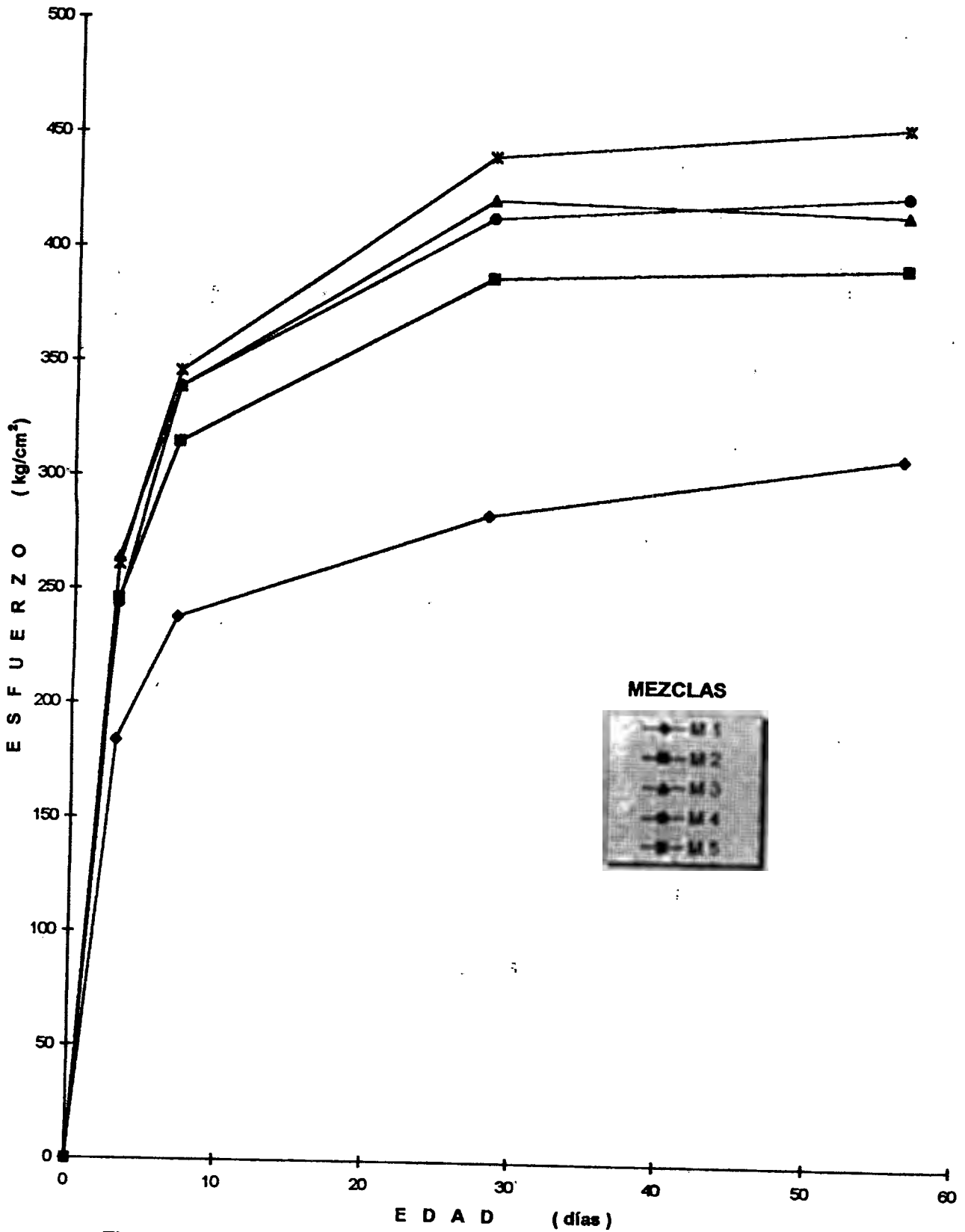


Figura 6.1.4.2 Gráfica de los resultados a compresión de los especímenes de la cinco mezclas.

Tabla 6.1.4.3 Media Aritmética, desviación estandar y coeficiente de variación

ETAPA B

(Contenido de Cemento = 300 kg / m³)

MEZCLA 1

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		186	177	186	175	186	191	184.0	6.156	3.365
7		236	224	243	238	248	238	238	8.06	3.389
28		290	280	282	286	277	291	284	5.610	1.973
56		305	304	317	320	311	306	311	6.716	2.163

MEZCLA 2

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		235	232	244	250	254	257	245	10.191	4.154
7		293	300	319	328	321	326	315	14.488	4.607
28		388	382	382	383	408	387	388	9.187	2.368
56		372	377	414	420	382	397	394	20.007	5.082

MEZCLA 3

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		263	267	267	271	258	258	264	5.292	2.004
7		339	341	333	342	344	333	339	4.676	1.381
28		434	423	413	411	425	423	422	8.432	2.000
56		395	413	411	414	429	439	417	15.316	3.674

MEZCLA 4

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		237	236	255	249	242	245	244	7.266	2.978
7		325	340	351	343	344	327	338	10.231	3.024
28		418	425	398	405	427	406	413	11.856	2.870
56		439	437	433	437	397	407	425	18.199	4.282

MEZCLA 5

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		248	252	263	259	270	275	261	10.342	3.960
7		344	367	338	302	355	371	346	25.103	7.252
28		463	461	431	411	436	441	441	19.532	4.434
56		479	466	453	449	448	433	455	15.933	3.504

CONCLUSIONES

A continuación describiremos a las cinco mezclas en estudio, para utilizarlas como apoyo en las conclusiones:

- M1 = Testigo (concreto normal)
- M2 = S.F. (5.0%) + S.100 (1.5%)
- M3 = S.F. (5.0%) + S.100 (2.0%)
- M4 = S.F. (10.0%) + S.100 (1.5%)
- M5 = S.F. (10.0%) + S.100 (2.0%)

Para la relación agua/cemento real ($a/c + p = \text{agua} / \text{cemento} + \text{puzolana}$).

Las mezclas que presentaron la menor relación son M3 y M5, esto es porque ambas contienen la mayor dosificación de superplastificante y por lo tanto presentan el porcentaje mayor de reducción de agua (14%).

Respecto a las resistencias alcanzadas en los concretos, podemos concluir que en el incremento de la resistencia no solo hay aportación del humo de sílice, sino que también el superplastificante tiene su aportación. Esto podemos verlo, si comparamos M3 con M4; M4 tiene mayor dosificación de microsilica y M3 de mayor dosificación de superplastificantes.

El concreto M3 presentó mayores resistencias hasta los 28 días (hasta del 50%), las resistencias alcanzadas en M4 son del 45 % con respecto al concreto normal. Esto podemos comprobarlo también con M5, el cual logra incrementos entre el 55 y 60% con respecto al testigo.

Los concretos M3 y M5 son los que poseen mayor semejanza en el desarrollo de la resistencia. Si observamos a estos dos concretos, podremos ver la aportación del humo de sílice sobre la resistencia ($M3 = 422 \text{ Kg/cm}^2$ y $M5 = 441 \text{ Kg/cm}^2$). Podemos observar la eficiencia de los aditivos para incrementar la resistencia, economizando cemento y produciendo concretos con mayor desempeño.

En ésta parte de la investigación, el único concreto que presentó pérdida o regresión de resistencia a los 56 días de edad fue M3. Las conclusiones al respecto las haremos en el último capítulo, donde nos apoyaremos de los espectros de RX e IR para determinar la causa de la regresión.

Capítulo Siete

Propiedades Mecánicas

ETAPA "C"

7.1 INTRODUCCIÓN

En esta etapa al igual que la etapa anterior "B" el estudio experimental fue sobre la resistencia a la compresión en concretos de alta resistencia ($>420 \text{ kg/cm}^2$) con porcentajes preestablecidos de humo de sílice (5 y 10%). Se realizaron mezclas de prueba para M1 (concreto simple) y se determinó que con una relación a/c de 0.6 produciríamos concretos trabajables con 11 ± 1 cm de revenimiento y con 1.0% de aire atrapado en el concreto. También en esta etapa se usó el mismo superfluidificante para proporcionar una trabajabilidad adecuada (1.5 y 2.0%) en los concretos con humo de sílice (M2, M3, M4 y M5).

En esta etapa el contenido de cemento que se manejó fue de 350 kg/m^3 de concreto. También en este capítulo el propósito es estudiar el desarrollo de la resistencia a compresión en concretos con humo de sílice y la posible regresión de resistencia después de los 28 días de edad.

Se realizaron cinco mezclas para ensayarse a 3, 7, 28 y 56 días (dos probetas por edad), en tres series iguales. Fueron 120 el número total de especímenes que se ensayaron a compresión.

Debido a la capacidad de la máquina para los ensayos a compresión, preferimos utilizar especímenes de 10×20 cm para los ensayos a 28 y 56 días. El proceso de curado fue el mismo en las cuatro etapas, como ASTM C 31.

En las tablas que se presentan a continuación en 7.1.1 (Tablas de los resultados de las pruebas a compresión), se muestran las características de cada mezcla y la descripción de los especímenes elaborados y el esfuerzo obtenido en cada uno de ellos, haciendo referencia respecto al concreto testigo el incremento de la resistencia.

7.1.1 Tablas de los resultados de las pruebas a compresión (Etapa "C")

Tabla 7.1.1.1 Descripción de los especímenes y esfuerzos (M1 = Testigo)

SERIE CI (Fecha de elaboración: 23 / oct. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	261096	12.435	176.7	30.30	2323	45.100	255	258	100
3	261096	12.295	174.4	30.00	2350	45.600	261		
7	301096	12.400	174.4	30.00	2370	52.750	302	294	100
7	301096	12.350	176.7	30.00	2330	50.600	286		
28	201196	3.681	78.5	20.10	2332	26.000	331	334	100
28	201196	3.696	78.5	20.10	2341	26.500	337		
56	181296	3.692	80.1	20.00	2304	28.500	355	372	100
56	181296	3.690	78.5	20.00	2349	30.500	388		

SERIE CII (Fecha de elaboración: 05 / nov. / 96)

3	081196	12.431	176.7	30.20	2329	43.900	248	249	100
3	081196	12.249	174.4	30.00	2341	43.500	249		
7	121196	12.400	176.7	30.00	2339	51.500	291	295	100
7	121196	12.492	176.7	30.20	2341	52.750	299		
28	031296	78.540	78.54	20.00	2356	31.900	406	405	100
28	031296	78.540	78.54	20.00	2350	31.700	404		
56	311296	78.540	78.54	20.10	2336	31.000	394	282	100
56	311296	78.540	78.54	20.10	2344	29.000	369		

SERIE CIII (Fecha de elaboración: 08 / nov. / 96)

3	111196	12.400	176.7	30.20	2324	40.700	230	234	100
3	111196	12.400	176.7	30.30	2316	41.900	237		
7	151196	12.500	176.7	30.20	2342	55.400	314	317	100
7	151196	12.500	176.7	30.20	2342	56.500	320		
28	061296	3.999	80.1	20.00	2496	28.100	351	354	100
28	061296	3.866	78.5	20.00	2461	28.000	357		
56	030197	3.674	78.5	20.10	2327	30.600	390	386	100
56	030197	3.636	80.1	20.10	2258	30.600	382		

Tabla 7.1.1.2 Características de la mezcla (M1 = Testigo)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Gravoso ligero	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	Ligero
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.0	11.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	26.0	24.0	22.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.336	2.335	2.339
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	21.0	23.0	20.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.0	1.1	1.1
HUMEDAD RELATIVA (%)	73.0	68.0	62.0
FECHA DE ELABORACIÓN	23/ oct. / 96	05 / nov. / 96	08 / nov. / 96

Tabla 7.1.1.3 Descripción de los especímenes y esfuerzos
(M2 = S. fume 5.0% + S.100 - 1.5%)

SERIE CI (Fecha de elaboración: 23 /oct. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	261096	12.144	176.7	30.30	2291	56.000	317	317	123
3	261096	12.028	176.7	30.00	2269	56.000	317		
7	301096	12.150	174.4	29.90	2330	70.200	403	403	137
7	301096	12.300	176.7	30.10	2313	71.200	403		
28	201196	3.611	78.5	20.00	2299	35.200	446	446	134
28	201196	3.605	78.5	20.10	2284	35.000	446		
56	181296	3.839	80.1	20.00	2396	37.100	463	461	124
56	181296	3.831	78.5	20.10	2427	36.000	458		

SERIE CII (Fecha de elaboración: 05 /nov. / 96)

3	081196	12.166	174.40	30.00	2325	64.400	369	357	179
3	081196	12.249	174.40	30.00	2341	60.000	344		
7	121196	12.257	176.70	30.00	2312	73.400	415	419	142
7	121196	12.185	176.70	30.00	2299	74.700	423		
28	031296	3.637	78.54	20.00	2315	42.000	535	541	134
28	031296	3.658	78.54	20.00	2329	43.000	547		
56	311296	3.757	80.12	20.00	2345	37.000	461	454	119
56	311296	3.787	78.54	20.10	2399	35.000	446		

SERIE CIII (Fecha de elaboración: 08 /nov. / 96)

3	111196	12.200	176.70	30.10	2294	56.600	320	320	137
3	111196	12.300	176.70	30.10	2313	56.600	320		
7	151196	12.200	174.40	30.00	2332	71.500	410	409	129
7	151196	12.250	176.70	30.00	2311	72.000	407		
28	061296	3.820	80.12	20.00	2432	41.000	522	536	151
28	061296	3.853	78.54	20.00	2453	43.200	550		
56	030197	3.636	78.54	20.00	2315	36.100	460	472	122
56	030197	3.691	78.54	20.00	2350	38.000	484		

Tabla 7.1.1.4 Características de la mezcla (M2 = S. fume 5.0% + S.100 – 1.5%)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Gravoso ligero	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Media	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No
REVENIMIENTO (cm)	13.0	11.0	10.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	26.0	24.0	22.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.314	2.317	2.307
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	21.0	23.0	20.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.1	2.5	2.8
HUMEDAD RELATIVA (%)	73.0	68.0	62.0
FECHA DE ELABORACIÓN	23/ oct. / 96	05 / nov. / 96	08 / nov. / 96

Tabla 7.1.1.5 Descripción de los especímenes y esfuerzos
(M3 = S. fume 5.0% + S.100 - 2.0 %)

SERIE CI (Fecha de elaboración: 23 /oct. / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	261096	12.335	176.70	30.20	2312	64.900	369	370	143
3	261096	12.174	174.40	30.10	2319	64.600	370		
7	301096	12.350	174.40	29.40	2329	79.500	456	450	153
7	301096	12.200	176.70	30.30	2279	78.500	444		
28	201196	3.621	78.54	20.00	2305	39.100	498	505	151
28	201196	3.650	78.54	20.00	2324	40.100	511		
56	181296	3.308	78.54	20.10	2412	40.500	516	507	136
56	181296	3.804	78.54	20.00	2422	39.000	497		

SERIE CII (Fecha de elaboración: 05 /nov. / 96)

3	081196	12.351	176.70	30.20	2315	64.500	365	373	181
3	081196	12.331	176.70	30.20	2311	67.250	381		
7	121196	12.373	176.70	30.10	2326	73.900	418	428	145
7	121196	12.235	176.70	30.00	2308	77.300	437		
28	031296	3.798	80.12	20.30	2335	43.200	539	550	136
28	031296	3.654	78.54	20.00	2326	44.100	561		
56	311296	3.813	80.12	20.00	2380	38.200	477	474	124
56	311296	3.846	78.54	20.10	2436	37.000	471		

SERIE CIII (Fecha de elaboración: 08 /nov./ 96)

3	111196	12.300	176.70	30.30	2297	62.200	352	350	150
3	111196	12.150	174.40	30.10	2315	60.500	347		
7	151196	12.300	176.70	30.10	2313	74.450	421	426	134
7	151196	12.300	176.70	30.10	2313	76.000	430		
28	061296	3.692	78.54	20.00	2350	41.000	522	514	145
28	061296	3.937	80.12	20.10	2445	40.500	505		
56	030197	3.635	80.12	20.00	2268	46.000	574	555	144
56	030197	3.627	78.54	20.10	2298	43.000	537		

Tabla 7.1.1.6 Características de la mezcla (M3 = S. fume 5.0% + S.100 – 2.0 %)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Gravoso ligero	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Media	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	13.0	11.0	11.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	26.0	24.0	22.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.312	2.313	2.300
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	21.0	23.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.7	3.1	3.3
HUMEDAD RELATIVA (%)	73.0	68.0	62.0
FECHA DE ELABORACIÓN	23/ oct. / 96	05 / nov. / 96	08 / nov. / 96

Tabla 7.1.1.7 Descripción de los especímenes y esfuerzos
(M4 = S. fume 10 % + S.100 - 1.5 %)

SERIE CI (Fecha de elaboración: 23 /oct. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm. ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	261096	12.075	174.40	29.90	2316	58.000	333	334	130
3	261096	12.045	176.70	30.10	2265	59.100	334		
7	301096	12.100	174.40	30.10	2305	76.750	440	429	146
7	301096	12.200	174.40	30.20	2316	72.700	417		
28	201196	3.783	80.12	20.30	2326	41.000	512	507	152
28	201196	3.724	81.71	20.10	2267	41.000	502		
56	181296	3.788	80.12	20.00	2364	35.500	443	449	121
56	181296	3.775	78.54	20.00	2403	37.700	455		

SERIE CII (Fecha de elaboración: 05 /nov. / 96)

3	081196	12.139	174.40	30.90	2328	51.750	297	320	128
3	081196	12.157	176.70	30.10	2286	60.500	342		
7	121196	12.245	176.70	30.10	2302	73.000	413	423	143
7	121196	12.171	174.40	30.00	2326	75.300	432		
28	031296	3.747	80.10	20.10	2327	42.000	524	546	135
28	031296	3.625	78.54	20.00	2308	44.500	567		
56	311296	3.795	78.54	20.10	2404	44.000	580	557	146
56	311296	3.800	78.54	20.10	2407	43.500	554		

SERIE CIII (Fecha de elaboración: 08 / nov. / 96)

3	111196	12.250	174.40	30.20	2326	55.200	317	315	135
3	111196	12.150	174.40	30.20	2307	54.600	313		
7	151196	12.150	176.70	30.00	2292	70.000	396	396	125
7	151196	12.300	176.70	30.20	2305	69.900	396		
28	061296	3.945	80.12	20.00	2462	44.500	555	532	150
28	061296	3.815	78.54	20.00	2429	40.000	509		
56	030197	3.693	78.54	20.10	2339	37.100	472	473	123
56	030197	3.628	80.12	20.00	2264	38.000	474		

Tabla 7.1.1.8 Características de la mezcla (M4 = S. fume 10% + S.100 – 1.5 %)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Gravoso ligero	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Media	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	15.5	10.5	10.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	26.5	24.0	22.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.307	2.309	2.293
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	22.0	23.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.1	2.4	2.7
HUMEDAD RELATIVA (%)	73.0	68.0	62.0
FECHA DE ELABORACIÓN	23/ oct. / 96	05 / nov. / 96	08 / nov. / 96

Tabla 7.1.1.9 Descripción de los especímenes y esfuerzos
(M5 = S. fume 10 % + S.100 - 2.0 %)

SERIE CI (Fecha de elaboración: 23 /oct. / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	261096	12.057	174.40	29.90	2312	60.200	345	346	134
3	261096	12.251	176.70	30.20	2296	61.400	347		
7	301096	12.200	174.40	30.10	2324	78.750	452	456	155
7	301096	12.250	174.40	30.10	2334	80.100	459		
28	201196	3.706	78.54	20.30	2348	37.500	477	476	143
28	201196	3.632	78.54	20.10	2312	37.200	474		
56	181296	3.934	81.71	20.10	2395	37.000	453	468	126
56	181296	3.816	80.17	20.10	2370	38.600	482		

SERIE CII (Fecha de elaboración: 05 /nov. / 96)

3	081196	12.205	176.70	30.10	2295	65.800	372	372	149
3	081196	12.319	176.70	30.20	2309	65.600	371		
7	121196	12.221	174.40	30.90	2344	77.000	442	430	146
7	121196	12.280	176.70	30.20	2301	73.750	417		
28	031296	3.613	78.54	20.00	2300	46.000	586	584	144
28	031296	3.782	80.12	20.00	2360	46.500	550		
56	311296	3.837	80.12	20.00	2395	45.500	568	564	148
56	311296	3.809	78.54	20.00	2425	43.900	559		

SERIE CIII (Fecha de elaboración: 08 / nov. / 96)

3	111196	12.100	174.40	30.20	2297	57.750	331	340	145
3	111196	12.250	174.40	30.20	2326	60.750	348		
7	151196	12.300	176.70	30.20	2305	72.000	407	404	127
7	151196	12.300	176.70	30.10	2313	70.800	401		
28	061296	3.820	78.54	20.00	2432	45.000	573	560	153
28	061296	3.821	78.54	20.10	2420	43.000	547		
56	030197	3.638	78.54	20.00	2316	47.000	598	586	152
56	030197	3.679	80.12	20.00	2296	46.000	574		

Tabla 7.1.1.10 Características de la mezcla (M5 = S. fume 10% + S.100 – 2.0 %)

CONCEPTO	MEZCLA 1		
	SERIE I	SERIE II	SERIE III
ASPECTO *	Gravoso ligero	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Media	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.0	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	27.0	24.0	22.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m³)	2.302	2.317	2.315
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	22.0	23.0	20.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.2	2.6	2.6
HUMEDAD RELATIVA (%)	73.0	68.0	62.0
FECHA DE ELABORACIÓN	23/ oct. / 96	05 / nov. / 96	08 / nov. / 96

Tabla 7.1.1.11 Resumen y reducción de agua en cada mezcla

ETAPA C(Contenido de cemento = 350 kg / m³)

SERIE C 1

MEZCLA	R a/c DE DISEÑO	R a/c + p REAL	TEMP. AMB. °C	T. DEL CONC °C	H.R (%)	REDUCCION DE AGUA (%)
1	0.600	0.552	26.0	21.0	73.0	
2	0.600	0.477	26.0	21.0	73.0	13.587
3	0.600	0.474	26.0	21.0	73.0	14.13
4	0.600	0.510	26.5	22.0	73.0	7.609
5	0.600	0.497	27.0	22.0	73.0	9.964

SERIE C 2

MEZCLA	R a/c DE DISEÑO	R a/c + p REAL	TEMP. AMB. °C	T. DEL CONC °C	H.R (%)	REDUCCION DE AGUA (%)
1	0.600	0.528	24.0	23.0	68.0	
2	0.600	0.451	24.0	23.0	68.0	14.583
3	0.600	0.437	24.0	23.0	68.0	17.235
4	0.600	0.483	24.0	23.0	68.0	8.523
5	0.600	0.446	24.0	23.0	68.0	15.53

SERIE C 3

MEZCLA	R a/c DE DISEÑO	R a/c + p REAL	TEMP. AMB. °C	T. DEL CONC °C	H.R (%)	REDUCCION DE AGUA (%)
1	0.600	0.550	22.00	20.0	62.0	
2	0.600	0.478	22.00	20.0	62.0	13.091
3	0.600	0.446	22.00	20.5	62.0	18.909
4	0.600	0.485	22.00	20.5	62.0	11.818
5	0.600	0.453	22.00	21.0	62.0	17.636

1.2 Gráficas de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Etapa "C"

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	247.0
7	302.0
28	364.0
56	380.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 350 kg/m³

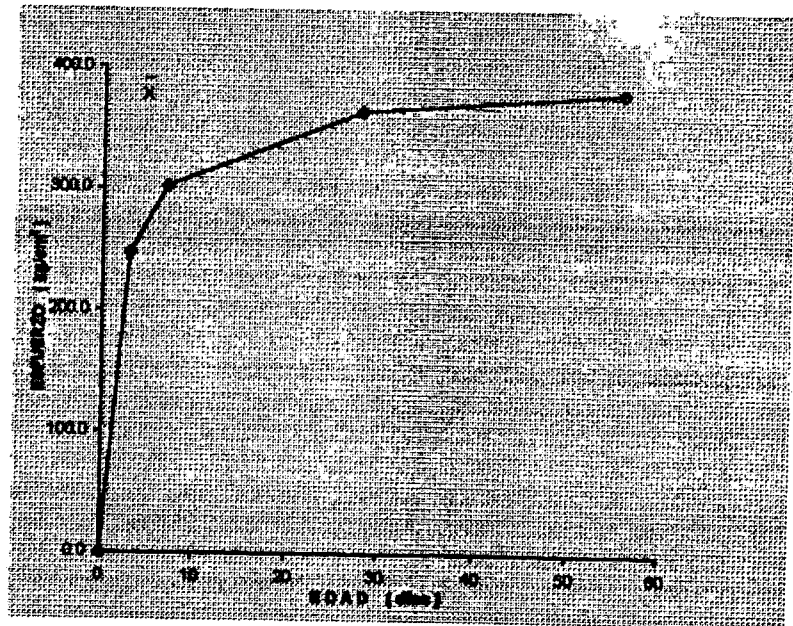


Figura 7.1.2.1 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 1 (Mezcla testigo)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	331.0
7	410.0
28	532.0
56	462.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 350 kg/m³

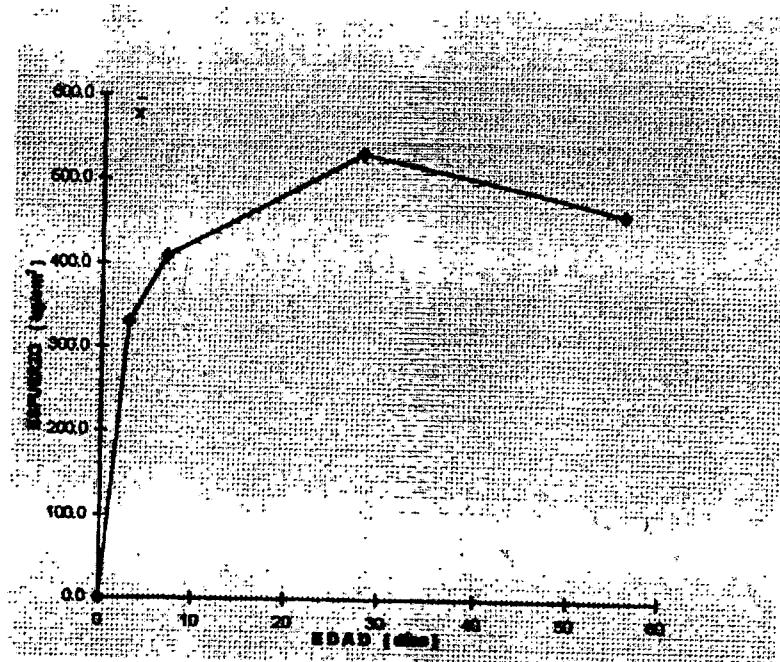


Figura 7.1.2.2 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 2 (S. fume-5.0% + S. 100-1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	364.0
7	435.0
28	523.0
56	512.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 350 kg/m³

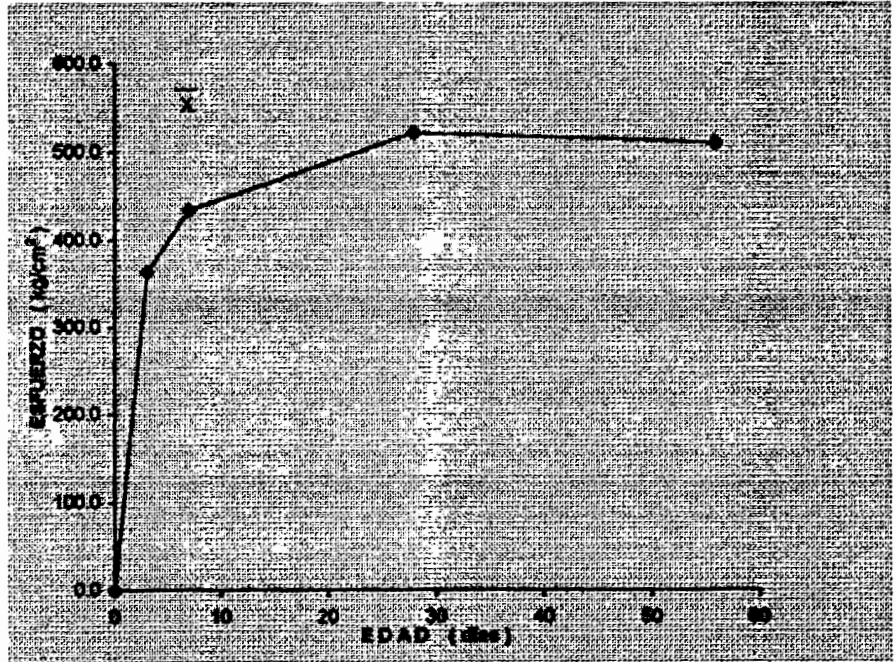


Figura 7.1.2.3 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 3 (S. fume 5.0% + S.100-2.0%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	323.0
7	416.0
28	528.0
56	493.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 350 kg/m³

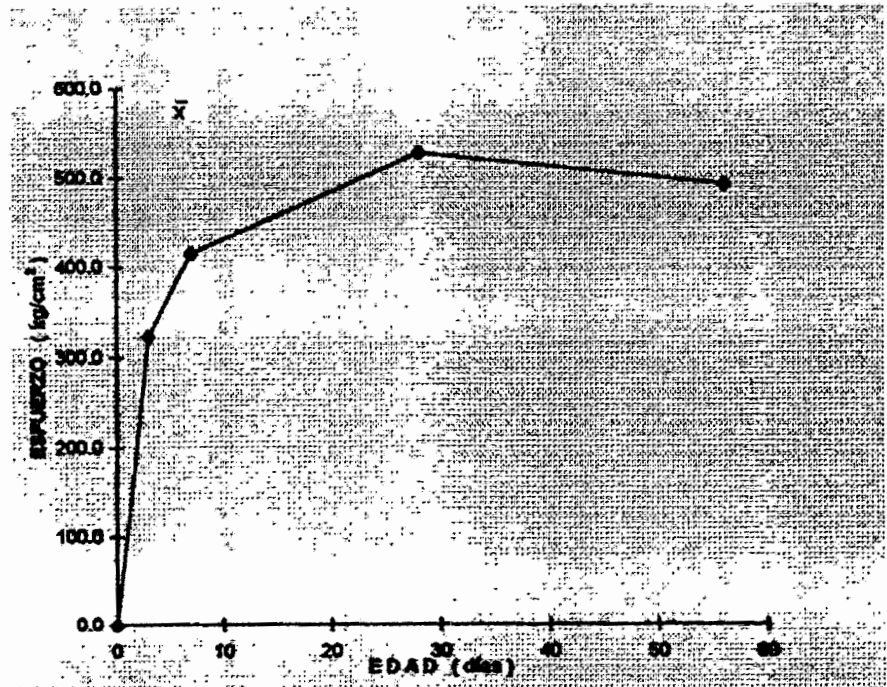


Figura 7.1.2.4 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 4 (S. fume 10.0% + S.100-1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	353.0
7	430.0
28	547.0
56	544.0

Esfuerzo promedio entre las tres series)
contenido de cemento = 350 kg/m³

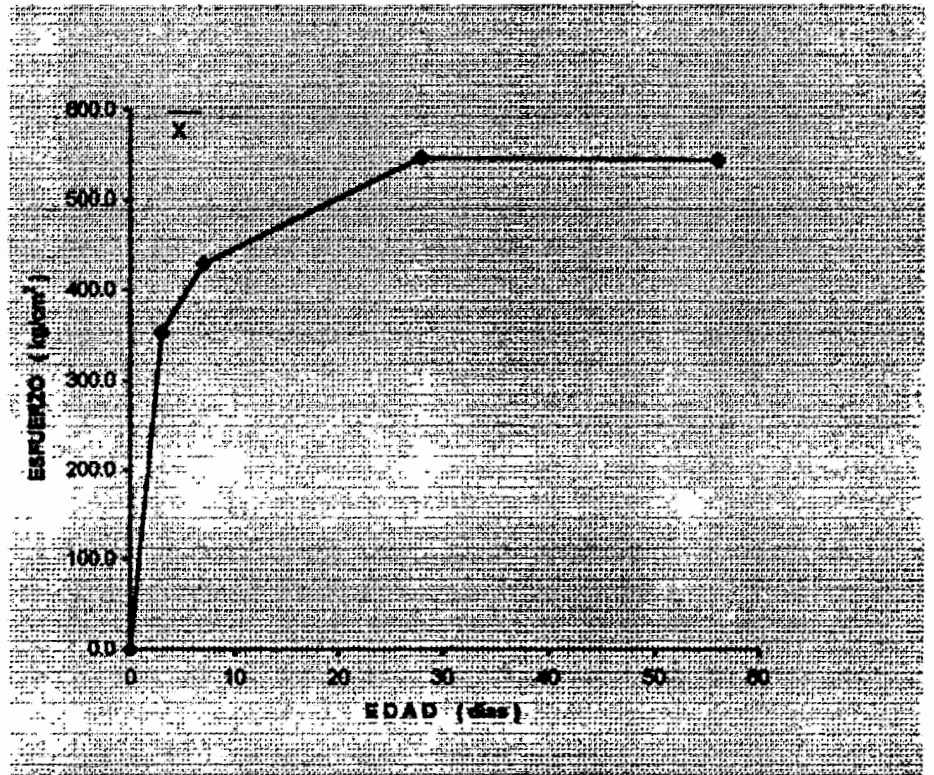


Figura 7.1.2.5 Gráfica de esfuerzos a compresión de la mezcla 5 (S. fume 10.0% + S.100-2%)

7.1.3 Resumen de los resultados de la prueba a compresión.

Tabla 7.1.3.1 Resultado de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la etapa "C".

CONTENIDO DE CEMENTO 350 kg/m³

MEZCLA	EDAD EN DIAS			
	7	14	28	56
M 1	247	302	364	380
M 2	331	410	508	462
M 3	364	435	523	512
M 4	323	416	528	493
M 5	353	430	540	539

* Las cantidades descritas son valores de esfuerzos (kg/cm²)

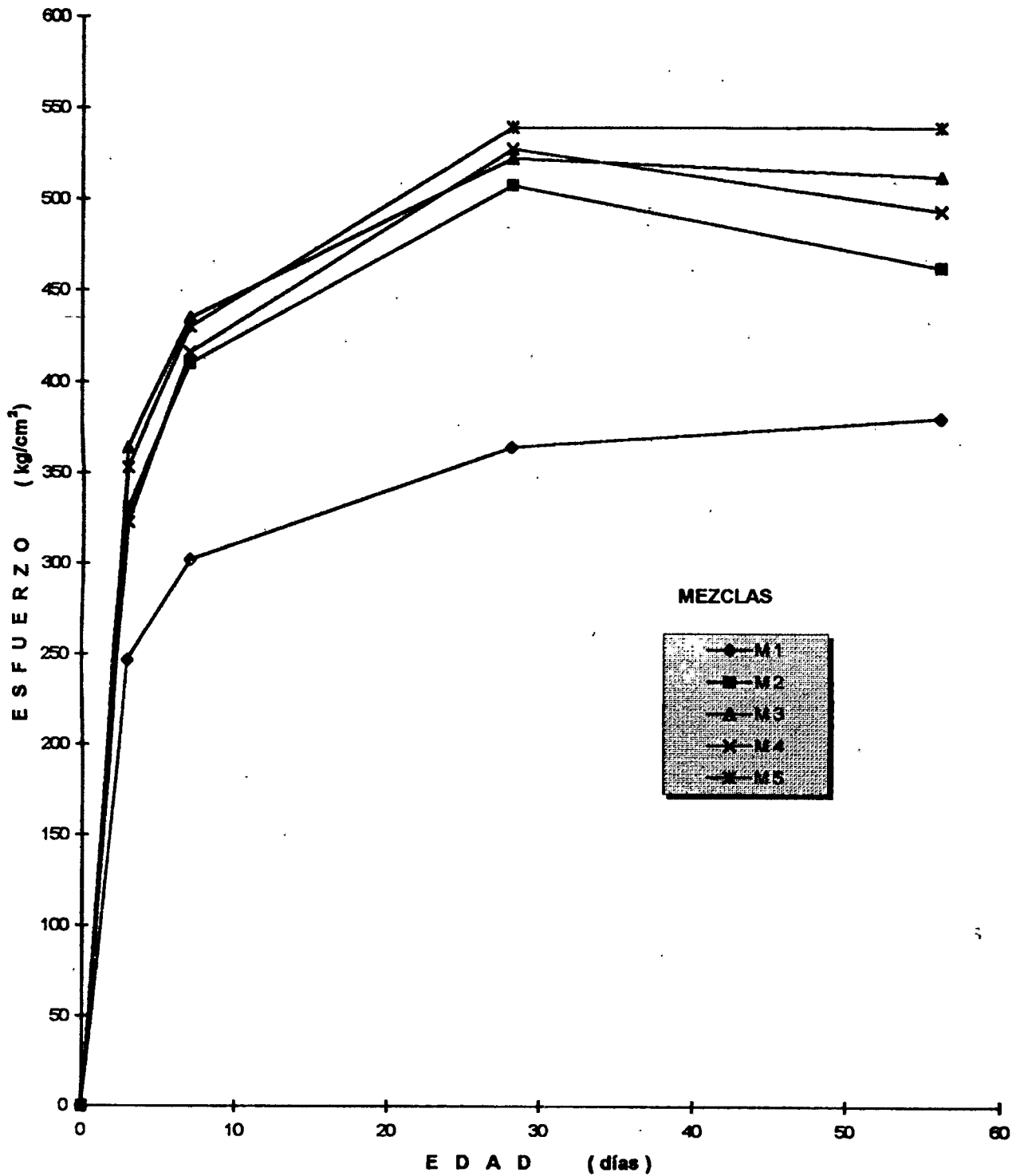


Figura 7.1.3.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de los especímenes de las cinco mezclas.

Tabla 7.1.3.3 Media aritmética, desviación estandar y coeficiente de variación

ETAPA C

Contenido de cemento = 350 kg /m³)

MEZCLA 1

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg./cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		255	261	248	249	230	237	247	11.431	4.634
7		302	288	291	299	314	320	302	13.069	4.327
28		331	337	406	404	351	357	364	32.861	9.020
56		365	388	394	369	390	382	380	14.895	3.923

MEZCLA 2

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg./cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		317	317	369	344	320	320	331	21.198	6.401
7		403	403	415	423	410	407	410	7.757	1.891
28		446	446	535	547	522	550	508	48.780	9.609
56		463	458	461	446	460	484	462	12.345	2.672

MEZCLA 3

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg./cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		369	370	365	381	352	347	364	12.522	3.440
7		456	444	418	437	421	430	434	14.376	3.310
28		498	511	539	561	522	505	533	29.642	5.565
56		516	497	477	471	574	537	512	39.028	7.623

MEZCLA 4

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg./cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		333	334	297	342	317	313	323	16.693	5.174
7		440	417	413	432	396	396	416	18.118	4.359
28		512	502	524	567	555	509	528	26.679	5.051
56		443	455	560	554	472	474	493	50.904	10.325

MEZCLA 5

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		ESFUERZO PROMEDIO (kg./cm ²) \bar{X}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4	CIL. 5	CIL. 6			
3		345	347	372	371	331	348	352	16.071	4.561
7		452	459	442	417	407	401	430	24.525	5.708
28		477	474	586	580	573	547	540	51.337	9.516
56		463	482	568	559	598	574	539	57.806	10.687

CONCLUSIONES

Refiriéndonos a la relación agua/cemento real que se utilizó en cada una de las mezclas (que viene siendo la relación modificada a/c +p), las mezclas que menor relación a/c +p presentaron son M3 y M5. Al igual que en la etapa B son las que alcanzaron mayor resistencia a la compresión a los 28 días.

En cuanto al porcentaje de reducción de agua, contrario a lo que ocurrió en la etapa B, la mezcla que más porcentaje de agua redujo es M3 (más el 18%). Esta misma mezcla presenta el mayor porcentaje de vacíos (3.0%) y el mayor revenimiento (11.8cm) (M5: rev = 11 cm; c. aire = 2.47%).

Según en el reporte del ACI 212. 4R (Guía para el uso de Aditivos Reductores de Agua de Alto Rango en el concreto) dice que, se han realizado estudios de la influencia de HRWRA* en concretos con aire incluidos y las pruebas han mostrado que el sistema de las cavidades es alterado por la adición de un HRWRA; se accionan espaciamientos por un incremento en la medida promedio de la burbuja de aire (Abril 1993).

En esta ocasión la mezcla con relación a/c + p menor, no fue la que alcanzó mayor resistencia a compresión a los 28 días (M3 = 533 kg/cm²). La mezcla que obtuvo mayor resistencia fue M5 (540 kg/cm²)

Haciendo una relación de superfluidizante/silica-fume para las cuatro mezclas con aditivo, resulta que:

$$M2 = \frac{1.5}{5} = 0.3; \quad M3 = \frac{2.0}{5.0} = 0.4; \quad M4 = \frac{1.5}{10} = 0.15 \quad \text{y} \quad M5 = \frac{2.0}{10} = 0.20$$

La mezcla con mayor relación es M3, esto significa que es la mezcla con mayor fluidez (trabajabilidad).

En esta etapa las cuatro mezclas con aditivo presentan regresión de la resistencia después de los 28 días. Los concretos de M2 y M4 presentan regresiones de resistencia importantes. M2 presentó una regresión del 9.06% y M4 de 6.6% . Las conclusiones al respecto se tratan en el capítulo nueve.

* HRWRA (High – Range Water – Reducing Admixtures = Aditivo reductor de agua de alto rango).

Capítulo Ocho

Propiedades Mecánicas

ETAPA "D"

8.1 INTRODUCCIÓN

Al igual que en las etapas anteriores, la Etapa D de esta investigación tiene como objetivo estudiar el desarrollo de la resistencia en concretos con humo de sílice y la ocurrencia de pérdida de resistencia a edades posteriores a los 28 días. El proceso de curado de los especímenes, el desarrollo de la prueba de compresión y la determinación de los esfuerzos, siguen el mismo proceso en las cuatro etapas.

En la etapa "D" el consumo de cemento fue de 400 kg/m^3 de concreto. Utilizamos los mismos aditivos y dosificación que en las etapas B y C (humo de sílice + superfluidificante), con el fin de producir concreto de alta resistencia ($>420 \text{ kg/m}^2$).

Determinamos una relación agua/cemento de 0.55 para el diseño de la mezcla correspondiente al concreto testigo (M1), con esta relación de a/c y una relación de porcentaje grava/arena de 1.564 logramos obtener el revenimiento base de $11 \pm 1 \text{ cm}$. El porcentaje de vacíos que consideramos para el diseño fue del 1.0%, que es aproximadamente el aire atrapado en el concreto.

En esta etapa también se utilizó el superplastificante como parte del agua de diseño, es decir como reductor de agua. Y con esta consideración poder así determinar el porcentaje de reducción de agua, para poder evaluar la eficiencia del mismo.

Los ensayos se realizaron a los 3, 7, 28 y 56 días de edad (dos especímenes por edad). En esta ocasión realizamos dos series con cinco mezclas cada serie, obteniendo un total de 80 especímenes para los ensayos de compresión.

No se realizó la última serie por falta de disposición del laboratorio por parte de Sika Mexicana que fue quien nos patrocinó y donde se realizó la mayor parte de la investigación. La razón es por las necesidades propias de la compañía.

Debido a la capacidad de la máquina y a la resistencia esperada fue necesario elaborar especímenes de $10 \times 20 \text{ cm}$ para reducir el área de carga de los especímenes que ensayamos a los 28 y 56 días.

8.1.2 Tablas de los resultados de las pruebas a compresión (Etapas "D")

Tabla 8.1.2.1 Descripción de los especímenes de prueba y su esfuerzo (M1 = testigo)

SERIE I (Fecha de elaboración: 09 / DIC. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	121296	12.300	176.70	30.00	2320	57.700	310	307	100
3	121296	12.450	176.70	30.30	2325	53.800	304		
7	060197	3.375	78.54	20.10	2138	27.500	350	350	100
28	060197	3.325	78.54	20.10	2106	33.700	429	429	100
56	030297	3.749	78.54	20.00	2387	32.400	413	417	100
56	030297	3.702	78.54	20.00	2357	33.000	420		

SERIE II (Fecha de elaboración: 24 / ENERO / 96)

3	270197	12.450	176.70	30.10	2341	52.500	297	303	100
3	270197	12.500	176.70	30.20	2342	54.500	308		
7	310197	12.600	176.70	30.20	2361	64.750	366	369	100
7	310197	12.350	176.70	30.00	2330	65.500	371		
28	210297	3.789	78.54	20.00	2469	33.400	425	432	100
28	210297	3.715	78.54	20.00	2385	34.500	439		
56	210397	3.789	78.54	20.10	2457	35.700	455	454	100
56	210397	3.896	78.54	20.20	2426	35.600	453		

Tabla 8.1.2.2 Características de M1 (Testigo)

CONCRETO	MEZCLA I	
	SERIE I	SERIE II
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	12.5	12.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	18.0	18.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m³)	2.366	2.366
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	16.0	15.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	0.9	1.0
HUMEDAD RELATIVA (%)	51.0	49.0
FECHA DE ELABORACIÓN	24/ enero / 97	24 / enero / 97

Tabla 8.1.2.3 Descripción de los especímenes de prueba y su esfuerzo
(M2 = S. fume 5.0% + S.100 – 1.5%)

SERIE I (Fecha de elaboración: 09 / DIC. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	121296	12.500	176.70	30.20	2352	75.100	425	428	139
3	121296	12.500	176.70	30.30	2335	75.900	430		
7	060197	3.691	78.54	20.10	2338	38.500	490	490	140
28	060197	3.725	80.12	20.10	2313	44.700	558	558	130
56	030297	3.753	78.54	20.00	2389	40.500	516	532	128
56	030297	3.714	78354	20.00	2364	43.000	547		

SERIE II (Fecha de elaboración: 24 /ENERO / 96)

3	270197	12.600	176.70	30.40	2346	74.000	419	414	137
3	270197	12.500	176.70	30.20	2342	72.100	408		
7	310197	12.500	174.40	30.20	2373	85.750	492	497	135
7	310197	12.600	176.70	30.30	2353	88.750	502		
28	210297	3.700	76.98	2010	2391	45.750	594	589	136
28	210297	3.913	78.54	20.00	2491	45.750	582		
56	210397	3.868	78.54	20.10	2450	48.700	620	622	137
56	210397	3.874	78.54	20.10	2454	49.000	624		

Tabla 8.1.2.4 Características de M2 (S. fume 5.0% + S.100 – 1.5%)

CONCEPTO	MEZCLA 1	
	SERIE I	SERIE II
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	18.0	18.5
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.373	2.373
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	16.0	16.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.5	1.6
HUMEDAD RELATIVA (%)	52.0	52.5
FECHA DE ELABORACIÓN	09/ dic. / 96	24 / enero / 97

Tabla 8.1.2.5 Descripción de los especímenes de prueba y su esfuerzo
(M3 = S. fume 5.0% + S.100 - 2.0%)

SERIE I (Fecha de elaboración: 09 / DIC. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAJE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	121296	12.300	176.70	30.00	2320	81.500	461	462	150
3	121296	12.300	174.40	30.00	2351	80.600	462		
7	060197	3.286	78.54	20.00	2347	39.000	497	497	142
28	060197	3.831	80.12	20.10	2379	45.700	570	570	133
56	030297	3.694	78.54	19.90	2363	48.000	611	630	151
56	030297	3.687	78.54	20.10	2336	51.000	649		

SERIE II (Fecha de elaboración: 24 /ENERO / 96)

3	270197	12.350	176.70	30.00	2330	78.000	441	441	146
3	270197	12.500	176.70	30.30	2335	78.000	441		
7	310197	12.500	176.70	30.20	2342	95.000	538	533	144
7	310197	12.350	174.40	30.10	2353	92.000	528		
28	210297	3.869	78.54	20.00	2463	48.500	618	615	142
28	210297	3.704	78.53	20.00	2358	48.700	612		
56	210397	3.872	78.54	20.20	2441	45.800	583	604	133
56	210397	4.470	80.12	20.40	2735	50.000	624		

Tabla 8.1.2.6 Características de M3 (S. fume 5.0% + S.100 – 2.0%)

CONCEPTO	MEZCLA 1	
	SERIE I	SERIE II
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	20.0	19.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m³)	2.359	2.366
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	18.0	16.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	2.1	2.4
HUMEDAD RELATIVA (%)	55.0	54.0
FECHA DE ELABORACIÓN	09/ dic. / 96	24 / enero / 97

Tabla 8.1.2.7 Descripción de los especímenes de prueba y su esfuerzo
(M4 = S. fume 10.0% + S.100 - 1.5 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 09 / DIC. / 96)

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCION cm. ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg.	ESFUERZO kg/cm ²	PROMEDIO kg/cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	121296	12.300	174.40	30.10	2343	69.500	399	398	130
3	121296	12.300	174.40	30.00	2351	69.000	396		
7	060197	3.707	80.12	20.10	2302	36.600	457	457	131
28	060197	3.821	78.54	20.10	2420	41.300	526	526	123
56	030297	3.714	78.54	20.00	2364	47.000	598	592	142
56	030297	3.705	78.54	20.00	2359	46.000	586		

SERIE II (Fecha de elaboración: 24 /ENERO / 96)

3	270197	12.300	174.40	30.00	2331	78.000	393	392	129
3	270197	12.500	176.70	30.20	2342	78.000	391		
7	310197	12.500	174.40	30.20	2373	95.000	489	493	134
7	310197	12.350	176.70	30.00	2330	92.000	497		
28	210297	3.688	78.53	20.00	2348	48.500	578	584	135
28	210297	3.667	78.54	19.90	2346	48.700	589		
56	210397	3.837	76.98	20.10	2480	45.800	600	595	131
56	210397	3.980	80.12	20.10	2471	50.000	590		

Tabla 8.1.2.8 Características de M4 (S. fume 10.0% + S.100 – 1.5%)

CONCEPTO	MEZCLA 1	
	SERIE I	SERIE II
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	20.0	19.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m³)	2.352	2.352
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	18.0	16.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.4	1.4
HUMEDAD RELATIVA (%)	55	52.5
FECHA DE ELABORACIÓN	09/ dic. / 96	24 / enero / 97

Tabla 8.1.2.9 Descripción de los especímenes de prueba y su esfuerzo
(M5 = S. fume 10.0% + S.100 - 2.0 %)

SERIE I (Fecha de elaboración: 09 / DIC. / 96)

EDAD DIAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
3	121296	12.400	176.70	30.40	2308	76.000	430	422	137
3	121296	12.350	176.70	30.20	2314	73.000	413		
7	060197	3.815	80.12	20.10	2369	37.200	464	464	133
28	060197	3.862	80.12	20.00	2410	40.000	499	499	116
56	030297	3.693	78.54	20.00	2351	42.000	535	534	128
56	030297	3.666	76.98	20.00	2381	41.000	533		

SERIE II (Fecha de elaboración: 24 /ENERO / 96)

3	270197	12.450	176.70	30.10	2341	79.600	450	446	147
3	270197	12.450	176.70	30.20	2333	78.000	441		
7	310197	12.500	176.70	30.20	2342	98.800	559	552	150
7	310197	12.400	176.70	30.00	2339	96.250	545		
28	210297	3.878	78.53	20.00	2469	52.000	662	650	150
28	210297	3.703	78.53	20.00	2357	50.000	637		
56	210397	3.874	78.54	20.00	2466	51.000	649	653	144
56	210397	3.882	78.54	20.20	2447	51.600	657		

Tabla 8.1.2.10 Características de M5 (S. fume 10.0% + S.100 – 2.0%)

CONCEPTO	MEZCLA 1	
	SERIE I	SERIE II
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	12.0	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	21.0	19.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.350	2.366
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	20.0	16.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.7	1.8
HUMEDAD RELATIVA (%)	56.5	52.0
FECHA DE ELABORACIÓN	09/ dic. / 96	24 / enero / 97

Tabla 8.1.2.11 Resumen y reducción de agua en cada mezcla.

ETAPA "D"

(Contenido de cemento = 400 Kg / m³)

SERIE D 1

MEZCLA	R a/c * DE DISEÑO	R a/c + p * REAL	TEMP. AMB. ° C	T. DEL CONC ° C	H.R.(%)	REDUCCION DE AGUA (%)
1	0.55	0.464	20.0	16.0	58	
2	0.55	0.411	20.0	16.0	58	11.422
3	0.55	0.390	21.5	18.0	58	15.948
4	0.55	0.414	22.0	18.0	62	10.776
5	0.55	0.411	22.0	20.0	62	11.422

SERIE D 2

MEZCLA	R a/c * DE DISEÑO	R a/c + p * REAL	TEMP. AMB. ° C	T. DEL CONC ° C	H.R.(%)	REDUCCION DE AGUA (%)
1	0.55	0.447	18.0	15.0	49.0	
2	0.55	0.389	18.5	16.0	52.5	12.975
3	0.55	0.365	19.0	16.0	54.0	18.345
4	0.55	0.399	19.0	16.0	52.5	10.738
5	0.55	0.363	19.0	16.0	52.0	18.792

2.2 Gráficas de los esfuerzos a compresión de las mezclas de la Etapa "D"

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	305.0
7	362.0
28	431.0
56	426.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 400 kg/m³

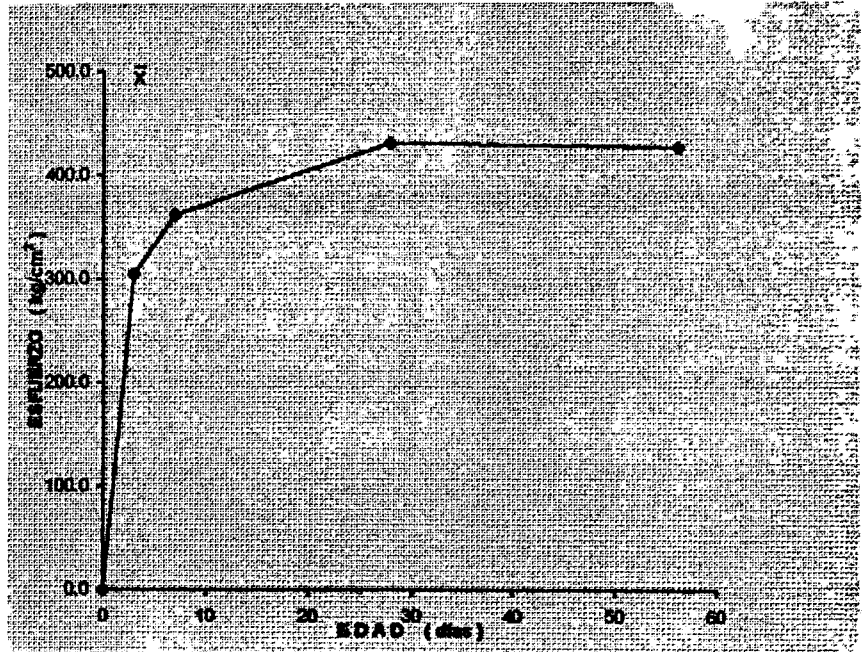


Figura 8.2.2.1 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la M1 (Mezcla testigo)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	421.0
7	495.0
28	578.0
56	577.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 400 kg/m³

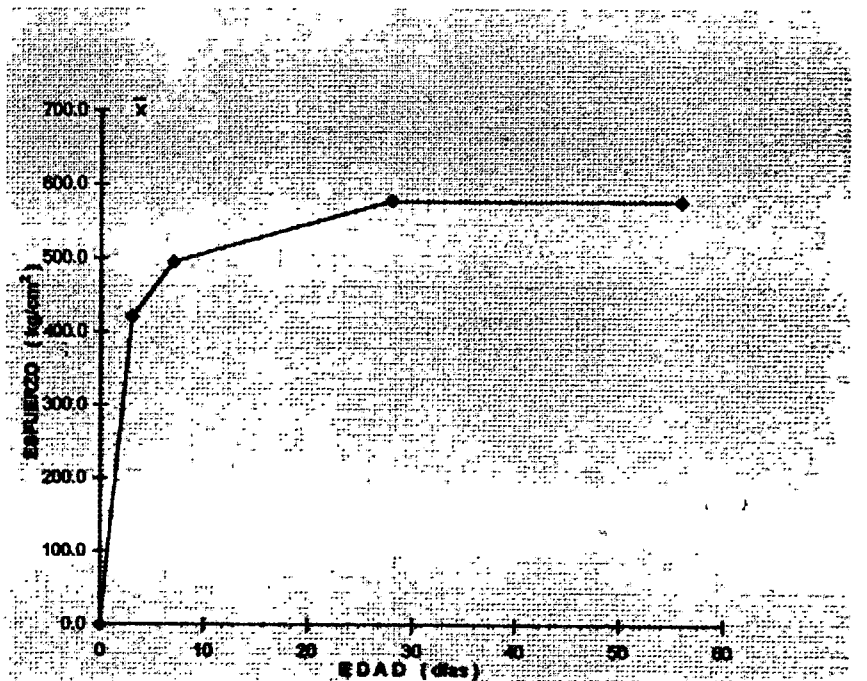


Figura 8.2.2.2 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la M2 (S. fume 5.0% + S. 100-1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	451.0
7	521.0
28	600.0
56	617.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 400 kg/m³

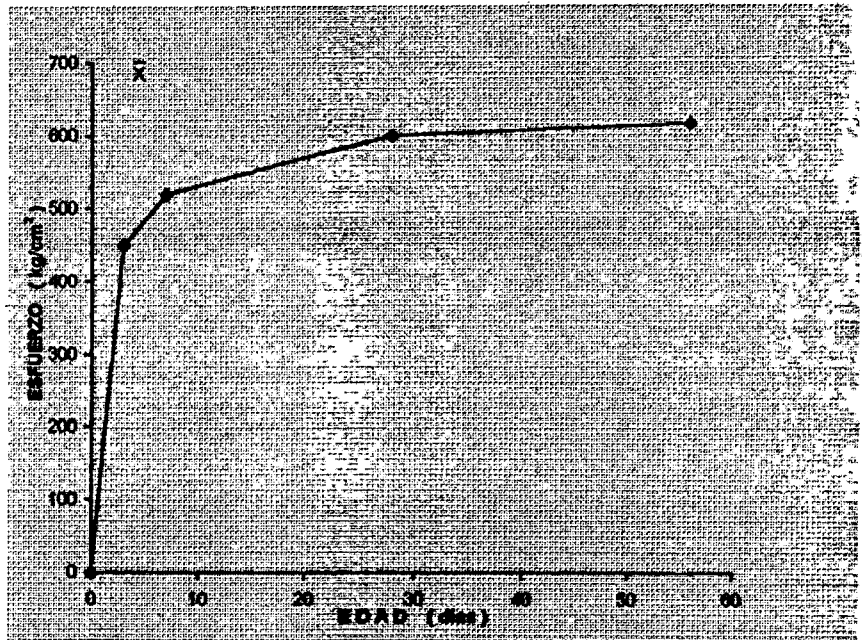


Figura 8.2.2.3 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la M 3
(S. fume 5.0% + S. 100-2.0%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	395.0
7	481.0
28	564.0
56	594.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 400 kg/m³

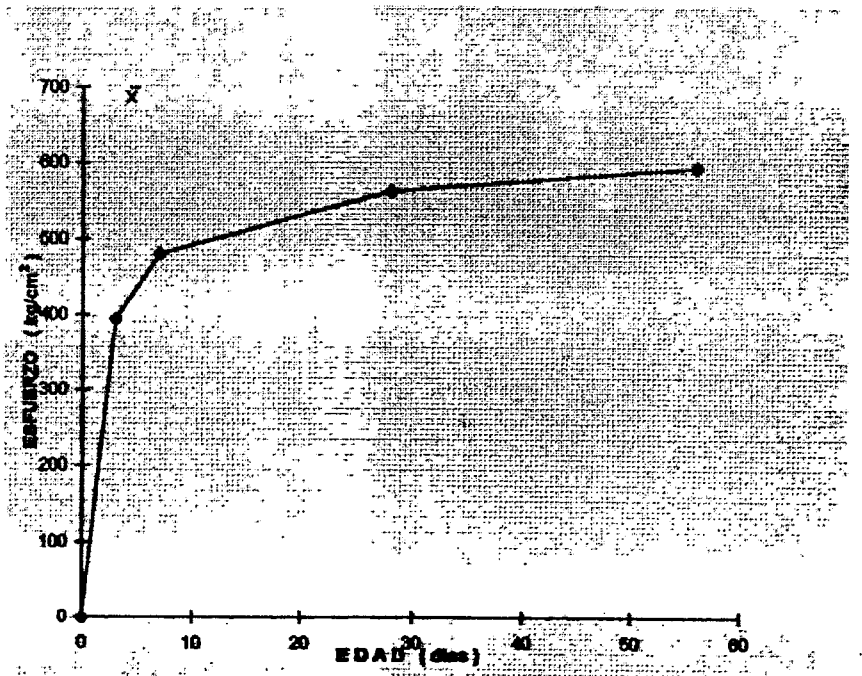


Figura 8.2.2.4 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la M 4
(S. fume 10.0% + S. 100-1.5%)

EDAD (Días)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	434.0
7	523.0
28	599.0
56	594.0

(\bar{X} = Esfuerzo promedio entre las tres series)
Contenido de cemento = 400 kg/m³

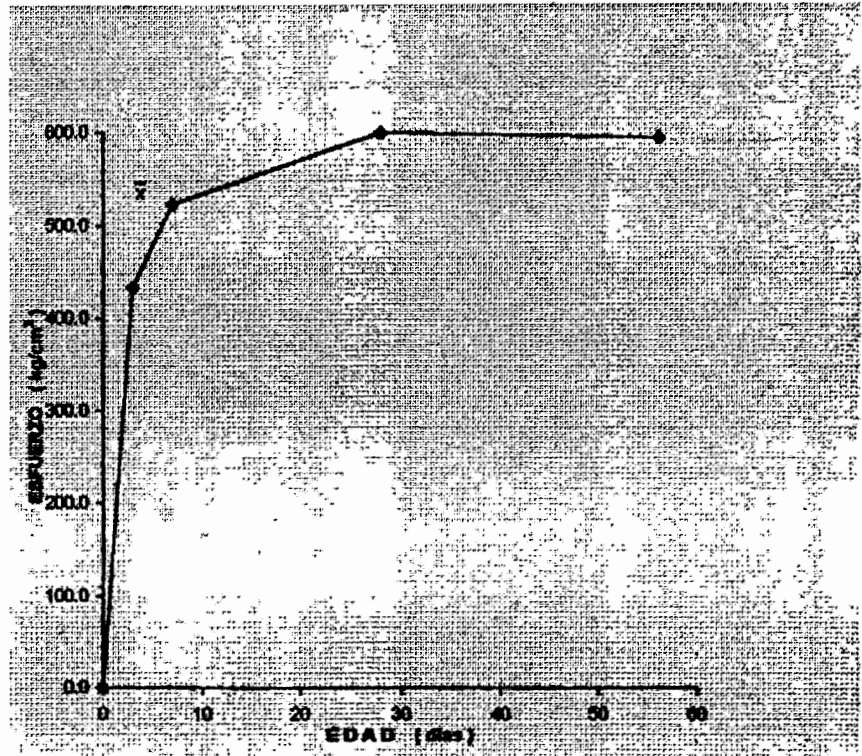


Figura 8.2.2.5 Gráfica de los esfuerzos a compresión de la M 5
(S. fume 10% + S. 100-2%)

8.2.3 Resumen de los resultados de la prueba a compresión de los especímenes de la Etapa "D"

Tabla 8.2.3.1 Resumen de los esfuerzos resultantes de las distintas mezclas.

CONTENIDO DE CEMENTO 400 kg/m³

MEZCLA	E D A D E N D Í A S			
	3	7	28	56
M 1	305	360	431	436
M 2	421	494	574	577
M 3	452	515	593	617
M 4	395	475	555	594
M 5	434	508	575	594

* Las unidades de los valores descritos son (kg/cm²)

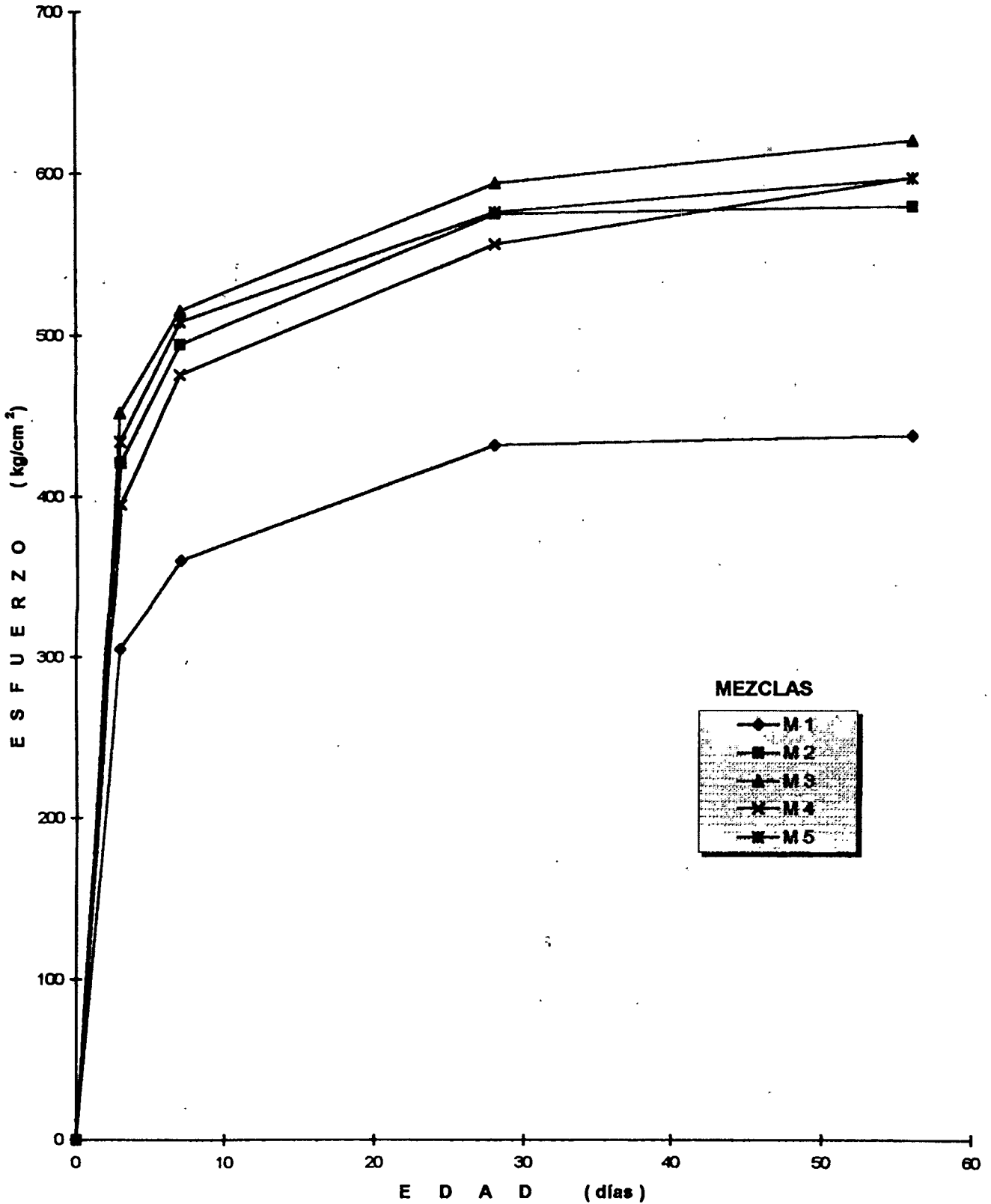


Figura 8.2.3.2 Gráfica de los resultados a compresión de todas las mezclas.

Tabla 8.2.3.3 Media Aritmética, desviación estandar y coeficiente de variación
ETAPA D
(Contenido de cemento = 400 Kg /m³)

MEZCLA 1

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{x}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4			
3		310	304	297	308	305	5.737	1.883
7		350		366	371	362	10.970	3.028
28		429		425	439	431	7.211	1.673
56		413	420	455	453	435	21.856	5.024

MEZCLA 2

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{x}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4			
3		425	430	419	408	421	9.469	2.252
7		490		492	502	495	6.429	1.300
28		558		594	582	578	18.330	3.171
56		516	547	620	624	577	53.786	9.326

MEZCLA 3

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{x}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4			
3		461	462	441	441	451	11.843	2.624
7		497		538	528	521	21.378	4.103
28		570		618	612	600	26.153	4.359
56		611	649	583	624	617	27.476	4.455

MEZCLA 4

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{x}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4			
3		399	396	393	391	395	3.500	0.887
7		457		489	497	481	21.166	4.400
28		526		578	589	564	33.650	5.963
56		598	586	600	590	594	6.608	1.113

MEZCLA 5

EDAD EN DIAS	ESFUERZO kg/cm ²	SERIE 1		SERIE 2		ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²) \bar{x}	DESVIACION ESTANDAR $\sqrt{\quad}$	COEFICIENTE DE VARIACION V (%)
		CIL. 1	CIL. 2	CIL. 3	CIL. 4			
3		430	413	450	441	434	15.927	3.764
7		464		559	545	523	51.287	9.813
28		499		662	637	599	87.786	14.647
56		535	533	649	657	594	68.787	11.5900

CONCLUSIONES

Observamos que M3 y M5 son las mezclas que presentaron menor relación agua/cemento + puzolana y las que obtuvieron mayor porcentaje en la reducción de agua (18%). Estas mismas mezclas presentan la mayor resistencia a compresión alcanzada a los 28 días. El concreto M3 alcanzó una resistencia de 596 kg/cm² y M5 de 575 Kg/cm².

En cuanto al contenido de aire atrapado en el concreto, la mezcla M3 alcanzó el 2.4% y la mezcla M5 presentó el 1.8%. Ambas mezclas presentaron la misma resistencia a los 28 días. La mezcla M3 incrementó su resistencia a los 56 días, mientras que M5 experimenta una pequeña regresión de resistencia.

De esta última etapa es muy poco probable obtener resultados confiables, debido a que sólo se realizaron dos series y a la diferencia tan grande entre los resultados obtenidos de la prueba de compresión. Son muchas las causas en la dispersión de los resultados.

En lo que respecta a las edades de 7 y 28 días de la primera serie solo contamos con un espécimen de prueba para cada edad; esto fue porque los especímenes que se elaboraron en la primera serie para la prueba de compresión a los siete días eran de 15 x 30 cm y tuvimos problemas con la capacidad de la máquina universal, y se optó por disponer de un espécimen de 10 x 20 cm, que en un principio fue diseñado para probarse a los 28 días de edad.

Capítulo Nueve

Caracterización Química

9.1 INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas más graves que enfrenta el concreto es el deterioro por la interacción con el medio ambiente, lo que genera inquietud e introduce un término nuevo en el diseño y manufactura: durabilidad. Las principales causas de la corrosión en el concreto armado son por reacciones químicas con el dióxido de carbono (carbonatación) y por la presencia de cloruros al nivel del refuerzo, lo que origina que el acero sufra corrosión.

La utilización del acero embebido en concreto ofreció una gran mejora en cuanto a resistencias. Además, se comprobó que el acero permanecía protegido contra cualquier sustancia agresiva, gracias a que sobre la superficie del acero se tomaba una capa de óxido protector inducida por el medio fuertemente alcalino de la fase acuosa del concreto.

Sin embargo, el concreto reforzado ha resultado menos durable de lo que se pensó inicialmente, ya que el acero se puede corroer cuando la alcalinidad del concreto disminuye cuando los iones cloruro penetran hasta él.

Cuando el concreto es ejecutado correctamente, mantiene a las armaduras en estado pasivo, debido a su elevado pH (12.6 aprox.). Durante el proceso de hidratación (curado), se induce la formación de una capa pasiva protectora de hidróxidos de fierro en la superficie del acero como son: KOH, NaOH, Ca (OH)₂ entre otros, estos se forman debido a la elevada alcalinidad del medio.

(UNAM, "Estudio de la cinética de corrosión del refuerzo de acero embebido en concreto"; Tesis para grado de Doctor).

Las pruebas que realizamos en éste capítulo son:

- Ensayes a compresión a cilindros de concreto de 15x30 cm, a edades mayores a 28 días.
- Medición del pH a morteros, concretos y a cada uno de los componentes de los mismos.
- Difracción de Rayos X (RX).
- Rayos Infrarrojo (IR).

9.2 RESISTENCIAS EN CONCRETOS A MÁS DE 28 DÍAS DE EDAD.

En ésta investigación pretendíamos monitorear el desarrollo de la resistencia en especímenes cilíndricos de concreto, desde edades tempranas a edades mayores a los 28 días. Este monitoreo se realizaría por un método no destructivo (ultrasonido), el cual nos permitiría analizar un mismo espécimen a cualquier edad deseada.

El proceso de elaboración de las mezclas fue como se describe a continuación:

Se realizaron cuatro series de mezclas.

En la primera serie elaboramos concretos con las mismas condiciones y características que en la etapa B de ésta investigación. Con el fin de obtener valores intermedios de resistencia y posteriores a los 56 días, para poder determinar la edad a la que se produce la regresión.

En la segunda serie elaboramos concretos semejantes a los producidos en la etapa D, la intención de esto es la misma que en la primera serie.

En la tercera serie, para que existiera relación entre estos concretos, decidimos usar el mismo contenido de cemento que la etapa B (300 kg/m^3). Lo que cambiamos fue la dosificación del humo de sílice y del superplastificante. Decidimos dosificaciones mayores que las que recomienda el fabricante, ya que ellos recomiendan que no se use en más del 25% al humo de sílice.

En cuarta serie, con la misma intención pasada decidimos usar el mismo contenido de cemento de la etapa D (400 kg/m^3) y al igual que la tercera serie, aumentamos las dosificaciones de humo de sílice y de superplastificante. Las dosificaciones que manejamos son 20 y 30% para la microsílice y 2.5 y 3.0% para el superplastificante (los porcentajes se aplican directos al peso del cemento).

Por causas que no estuvieron en nuestro control no pudimos hacer el monitoreo de la resistencia por ultrasonido. Y decidimos ensayar los especímenes con la prueba destructiva de compresión que ya conocemos.

Debido a que teníamos tres especímenes por mezcla, decidimos ensayar una a una intermedia entre 28 y 56 días y los otros dos a edades a 100 días.

Los resultados de los ensayos se muestran en las tablas del 9.2.1 (Resultados de las pruebas de compresión).

9.2.1 Tablas de los resultados de las pruebas a compresión (Etapa "E")

Tabla 9.2.1.1 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(Serie I, Contenido de Cemento = 300 kg/m³ de concreto)

M1 = Testigo

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg.	SECCION cm.	ALTURA cm.	DENSIDAD kg./m ³	CARGA kg.	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
42	231198	12.250	176.7	30.3	2288	51375	291	291	100
100	200199	12.330	176.7	30.3	2303	57000	323	313	100
100	200199	12.312	176.7	30.3	2300	53500	303		

M2 = S. fume (5.0%) + S.100 (1.5%)

42	231198	12.300	176.7	30.3	2297	71000	402	402	138
100	200199	12.400	176.7	30.3	2316	70000	396	417	133
100	200199	12.388	176.7	30.4	2306	77250	437		

M3 = S. fume (5.0%) + S.100(2.0%)

42	231198	12.450	176.7	30.4	2318	82250	465	465	160
100	200199	12.427	174.4	30.2	2359	82000	470	465	149
100	200199	12.467	176.7	30.3	2329	81250	460		

M4 = S. fume (10.0%) + S.100(1.5%)

42	231198	12.200	176.7	30.3	2279	76250	432	432	148
100	200199	12.263	176.7	30.2	2298	77000	436	449	143
100	200199	12.255	176.7	30.1	2304	81500	461		

M5 = S. fume (10.0%) + S.100(2.0%)

42	231198	12.300	176.7	30.3	2279	87250	494	494	170
100	200199	12.344	176.7	30.3	2306	85000	481	476	152
100	200199	12.337	176.7	30.2	2312	83250	471		

* Fecha de elaboración de las mezclas 12/oct/98.

Tabla 9.2.1.2 Características de las mezclas, para un contenido de cemento de 300 kg/m³ de concreto (Serie I)

CONCEPTO	MEZCLAS				
	M1	M2	M3	M4	M5
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Media	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	12.0	11.0	12.0	11.0	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	22.5	22.5	23.0	22.5	23.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.302	2.312	2.336	2.308	2.329
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	0.9	1.1	1.2	1.0	1.1
HUMEDAD RELATIVA (%)	_____	_____	_____	_____	_____
FECHA DE ELABORACIÓN	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98

Tabla 9.2.1.3 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(Serie II, Contenido de Cemento = 400 kg/m³ de concreto)

M1 = Testigo

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAJE	PESO kg	SECCIÓN cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg / m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg / cm ²	PROMEDIO kg / cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
42	231198	12.300	176.7	30.3	2297	71500	405	405	100
100	200199	12.375	174.4	30.1	2357	80000	459		
100	200199	12.521	176.7	30.2	2346	81500	461	460	100

M2 = S. fume (5.0%) + S.100 (1.5%)

42	231198	12.350	176.7	30.4	2299	92500	523	523	129
100	200199	12.420	174.4	30.2	2358	98000	562		
100	200199	12.399	176.7	30.2	2324	95000	538	550	120

M3 = S. fume (5.0%) + S.100 (2.0%)

42	231198	12.400	176.7	30.3	2316	104125	589	589	145
100	200199	12.538	176.7	30.3	2342	109500	620		
100	200199	12.514	176.7	30.3	2337	106500	603	612	133

M4 = S. fume (10.0%) + S.100 (1.5%)

42	231198	12.300	176.7	30.4	2290	99625	564	564	139
100	200199	12.386	176.7	30.3	2313	92125	521		
100	200199	12.348	176.7	30.3	2306	97000	549	535	116

M5 = S. fume (10.0%) + S.100 (2.0%)

42	231198	12.400	176.7	30.4	2308	104750	593	593	146
100	200199	12.441	176.7	30.2	2331	106375	602		
100	200199	12.398	174.4	30.2	2354	106000	608	605	132

* Fecha de elaboración de las mezclas 12/oct/ 98.

Tabla 9.2.1.4 Características de las mezclas, para un contenido de cemento de 400 kg/m³ de concreto (Serie II)

CONCEPTO	MEZCLAS				
	M1	M2	M3	M4	M5
ASPECTO *	Balanceado	Balanceado	Balanceado	Balanceado	Balanceado
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No presentó	No presentó	No presentó	No presentó	No presentó
REVENIMIENTO (cm)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
TEMP. AMBIENTE (°C)	23.0	23.5	23.5	23.0	23.0
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.328	2.327	2.341	2.318	2.330
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	24.0	25.0	20.5	21.0	21.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.0	1.4	1.5	1.3	1.4
HUMEDAD RELATIVA (%)	_____	_____	_____	_____	_____
FECHA DE ELABORACIÓN	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98	12/Oct/98

Tabla 9.2.1.5 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(Serie III, Contenido de Cemento = 300 kg/m³ de concreto)

M1 = Testigo

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAYE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm.	DENSIDAD kg/m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
32	241198	12.300	176.7	30.2	2305	48000	272	272	100
100	010299	12.363	174.4	30.2	2347	57500	330	336	100
100	010299	12.358	174.4	30.1	2354	59500	341		

M2 = S. fume (20.0%) + S.100 (2.5%)

32	241198	12.300	176.7	30.3	2297	80500	456	456	168
100	010299	12.369	176.7	30.2	2318	84750	480	491	148
100	010299	12.378	176.7	30.3	2312	88500	501		

M3 = S. fume (20.0%) + S.100 (3.0%)

32	241198	12.350	176.7	30.4	2299	92000	521	521	192
100	010299	12.820	176.7	30.2	2309	93000	526	521	155
100	010299	12.351	176.7	30.2	2315	91000	515		

M4 = S. fume (30.0%) + S.100 (2.5%)

32	241198	12.150	176.7	30.3	2269	78250	443	443	163
100	010299	12.122	176.7	30.2	2272	87250	494	535	149
100	010299	12.158	174.4	30.3	2301	89000	510		

M5 = S. fume (30.0%) + S.100 (3.0%)

32	241198	12.100	176.7	30.2	2267	85500	484	484	178
100	010299	12.245	174.4	30.3	2317	97000	556	552	164
100	010299	12.127	174.4	30.2	2303	95500	548		

* Fecha de elaboración de las mezclas 23/oct/ 98.

Tabla 9.1.2.6 Características de las mezclas, para un contenido de cemento de 300 kg/m³ de concreto (Serie III)

CONCEPTO	MEZCLAS				
	M1	M2	M3	M4	M5
ASPECTO *	Balanceado	Pastoso	Pastoso	Pastoso	Pastoso
COHESIÓN *	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD *	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
ACABADO *	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO *	No	No	No	No	No
REVENIMIENTO (cm)	10.5	11.0	11.0	10.0	10.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	18.5	19.0	18.5	19.5	18.5
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.320	2.307	2.300	2.276	2.284
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	21.0	21.0	21.0	21.0	19.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	0.8	0.9	0.9	1.2	1.2
HUMEDAD RELATIVA (%)	—	—	—	—	—
FECHA DE ELABORACIÓN	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98

Tabla 9.2.1.7 Descripción de los especímenes y su esfuerzo
(Serie IV, Contenido de Cemento = 400 kg/m³ de concreto)

M1 = Testigo

EDAD DÍAS	FECHA DE ENSAJE	PESO kg	SECCION cm ²	ALTURA cm	DENSIDAD kg./m ³	CARGA kg	ESFUERZO kg./cm ²	PROMEDIO kg./cm ²	% RESPECTO AL TESTIGO
32	241198	12.400	176.7	30.4	2308	71500	405	405	100
100	010299	12.351	174.4	30.1	2353	81250	466	466	100
100	010299	12.438	176.7	30.2	2331	82250	465		

M2 = S. fume (20.0%) + S.100 (2.5%)

32	241198	12.250	176.7	30.0	2311	101250	573	573	141
100	010299	12.284	176.7	30.3	2291	109250	618	615	132
100	010299	12.276	176.7	30.2	2300	108000	611		

M3 = S. fume (20.0%) + S.100 (3.0%)

32	241198	12.4000	176.7	30.2	2324	114500	648	648	160
100	010299	12.353	174.4	30.2	2345	118500	679	697	150
100	010299	12.441	176.7	30.3	2324	126250	714		

M4 = S. fume (30.0%) + S.100 (2.5%)

32	241198	12.000	176.7	30.2	2249	95000	538	538	133
100	010299	12.048	176.7	30.1	2265	103250	584	580	124
100	010299	12.038	174.4	30.1	2293	100500	576		

M5 = S. fume (30.0%) + S.100 (3.0%)

32	241198	12.150	176.7	30.3	2269	94000	532	532	131
100	010299	12.161	176.7	30.3	2271	106500	603	607	130
100	010299	12.168	176.7	30.2	2280	108000	611		

* Fecha de elaboración de las mezclas 23/oct/ 98.

Tabla 9.2.1.8 Características de las mezclas, para un contenido de cemento de 400 kg/m³ de concreto (Serie IV)

CONCEPTO	MEZCLAS				
	M1	M2	M3	M4	M5
ASPECTO	Balanceado	Pastoso	Pastoso	Pastoso	Pastoso
COHESIÓN	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha	Mucha
TRABAJABILIDAD	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
ACABADO	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
SANGRADO	No	No	No	No	No
REVENIMIENTO (cm)	10.5	11.5	10.0	10.5	11.0
TEMP. AMBIENTE (°C)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
P. VOLUMÉTRICO (kg. / m ³)	2.321	2.312	2.314	2.260	2.273
TEMP. DEL CONCRETO (°C)	21.0	19.0	19.0	19.0	19.0
CONTENIDO DEL AIRE (%)	1.0	1.0	1.3	1.2	1.3
HUMEDAD RELATIVA (%)	—	—	—	—	—
FECHA DE ELABORACIÓN	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98	23/Oct/98

Tabla 9.2.1.9 Resumen de los valores obtenidos y reducción de agua en cada una de las mezclas. Etapa "E".

SERIE I (CONTENIDO DE CEMENTO =300 Kg/m³ DE CONCRETO)

No. MEZCLA	DESCRIPCION	R a/c DE DISEÑO	R a/c + P REAL	REVENIMIENTO (cm)	REDUCCIÓN DE AGUA (%)
1	Testigo	0.667	0.660	12.0	—
2	S.F.(5.0%)+S.100(1.5%)	0.667	0.623	11.0	5.61
3	S.F.(5.0%)+S.100(2.0%)	0.667	0.570	12.0	13.64
4	S.F.(10.0%)+S.100(1.5%)	0.667	0.658	11.0	0.303
5	S.F.(10.0%)+S.100(2.0%)	0.667	0.604	11.0	8.48

SERIE II (CONTENIDO DE CEMENTO =400 Kg/m³ DE CONCRETO)

No. MEZCLA	DESCRIPCION	R a/c DE DISEÑO	R a/c + P REAL	REVENIMIENTO (cm)	REDUCCIÓN DE AGUA (%)
1	Testigo	0.50	0.490	11.5	—
2	S.F.(5.0%)+S.100(1.5%)	0.50	0.463	11.5	5.51
3	S.F.(5.0%)+S.100(2.0%)	0.50	0.434	11.5	11.43
4	S.F.(10.0%)+S.100(1.5%)	0.50	0.484	11.5	1.22
5	S.F.(10.0%)+S.100(2.0%)	0.50	0.453	11.5	7.55

SERIE III (CONTENIDO DE CEMENTO =300 Kg/m³ DE CONCRETO)

No. MEZCLA	DESCRIPCION	R a/c DE DISEÑO	R a/c + P REAL	REVENIMIENTO (cm)	REDUCCIÓN DE AGUA (%)
1	Testigo	0.66	0.660	10.5	—
2	S.F.(20.0%)+S.100(2.5%)	0.66	0.683	11.0	-3.48
3	S.F.(20.0%)+S.100(3.0%)	0.66	0.644	11.0	2.42
4	S.F.(30.0%)+S.100(2.5%)	0.66	0.721	10.0	-9.24
5	S.F.(30.0%)+S.100(3.0%)	0.66	0.693	10.0	-5.00

SERIE IV (CONTENIDO DE CEMENTO =400 Kg/m³ DE CONCRETO)

No. MEZCLA	DESCRIPCION	R a/c DE DISEÑO	R a/c + P REAL	REVENIMIENTO (cm)	REDUCCIÓN DE AGUA (%)
1	Testigo	0.50	0.510	10.5	—
2	S.F.(20.0%)+S.100(2.5%)	0.50	0.531	11.5	-4.12
3	S.F.(20.0%)+S.100(3.0%)	0.50	0.474	10.0	7.06
4	S.F.(30.0%)+S.100(2.5%)	0.50	0.621	10.5	-21.76
5	S.F.(30.0%)+S.100(3.0%)	0.50	0.576	11.0	-12.94

9.2.2 Resumen de resultados a compresión

Tabla 9.2.2.1. Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie I. Complemento de la Etapa "B".

CONTENIDO DE CEMENTO = 300 Kg/m³

MEZCLA	EDAD EN DIAS					
	3	7	28	42	56	100
M1	184	238	284	291	311	313
M2	246	315	388	402	394	417
M3	264	139	422	465	417	465
M4	244	339	414	432	425	448
M5	261	346	441	494	455	476

Tabla 9.2.2.2. Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie II. Complemento de la Etapa "D".

CONTENIDO DE CEMENTO = 400 Kg/m³

MEZCLA	EDAD EN DIAS					
	3	7	28	42	56	100
M1	305	360	431	405	436	460
M2	421	494	574	523	577	550
M3	452	515	593	589	617	612
M4	395	475	555	564	594	535
M5	434	508	575	593	594	605

*Las cantidades descritas en las tablas anteriores son valores de las resistencias alcanzadas a diferentes edades en Kg/cm².

**Con el fin de tener una graficación de los resultados mas detallada, hacemos una simulación de continuidad y graficamos los resultados de las series I y II como complemento de las etapas B y D respectivamente.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA "B" Y SU COMPLEMENTO DE LA SERIE I EN LA ETAPA "E".

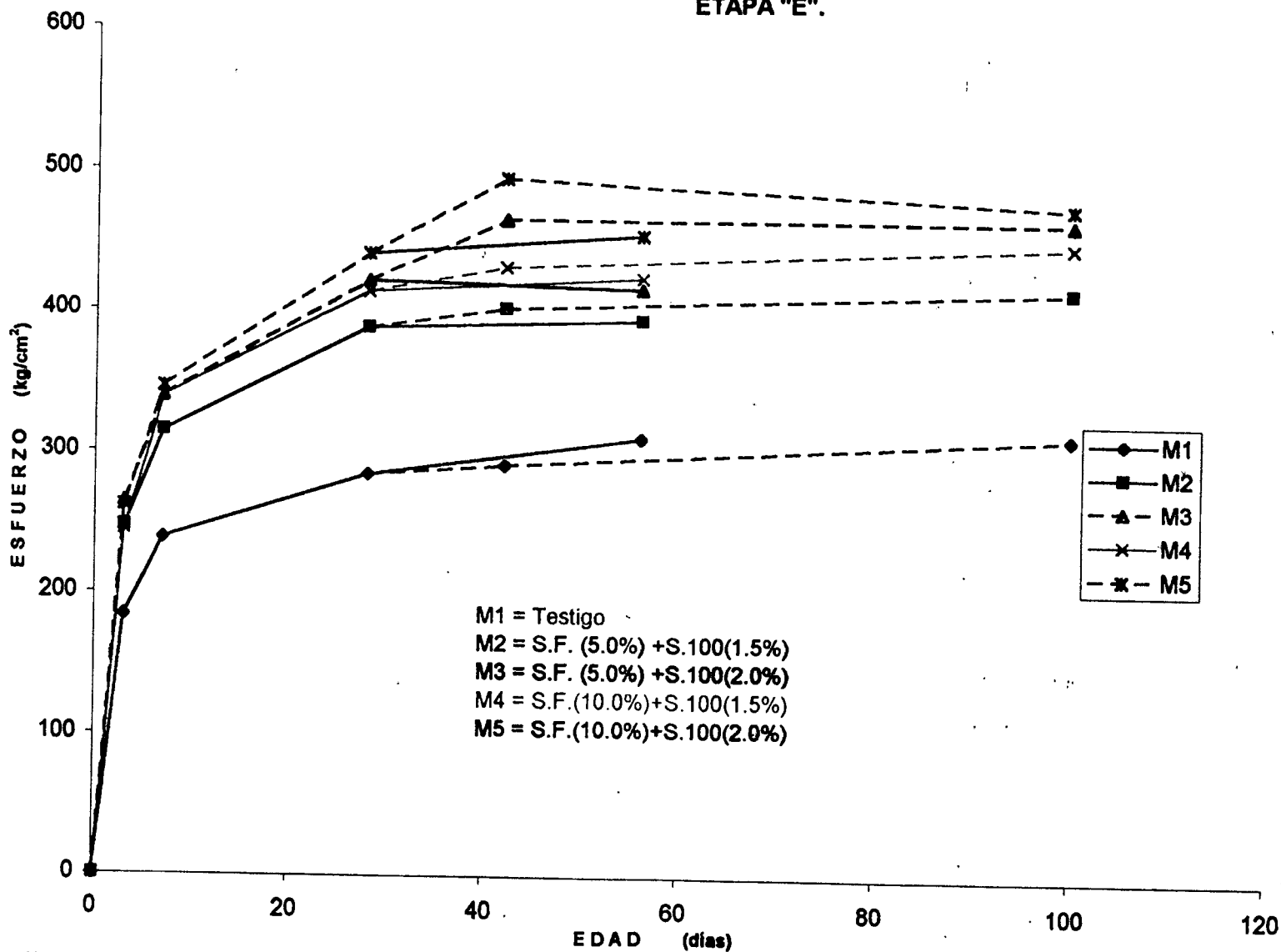


Figura 9.2.2.3 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenidos de cemento de 300 kg/m³.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA "D" Y SU COMPLEMENTO DE LA SERIE II EN LA ETAPA "E".

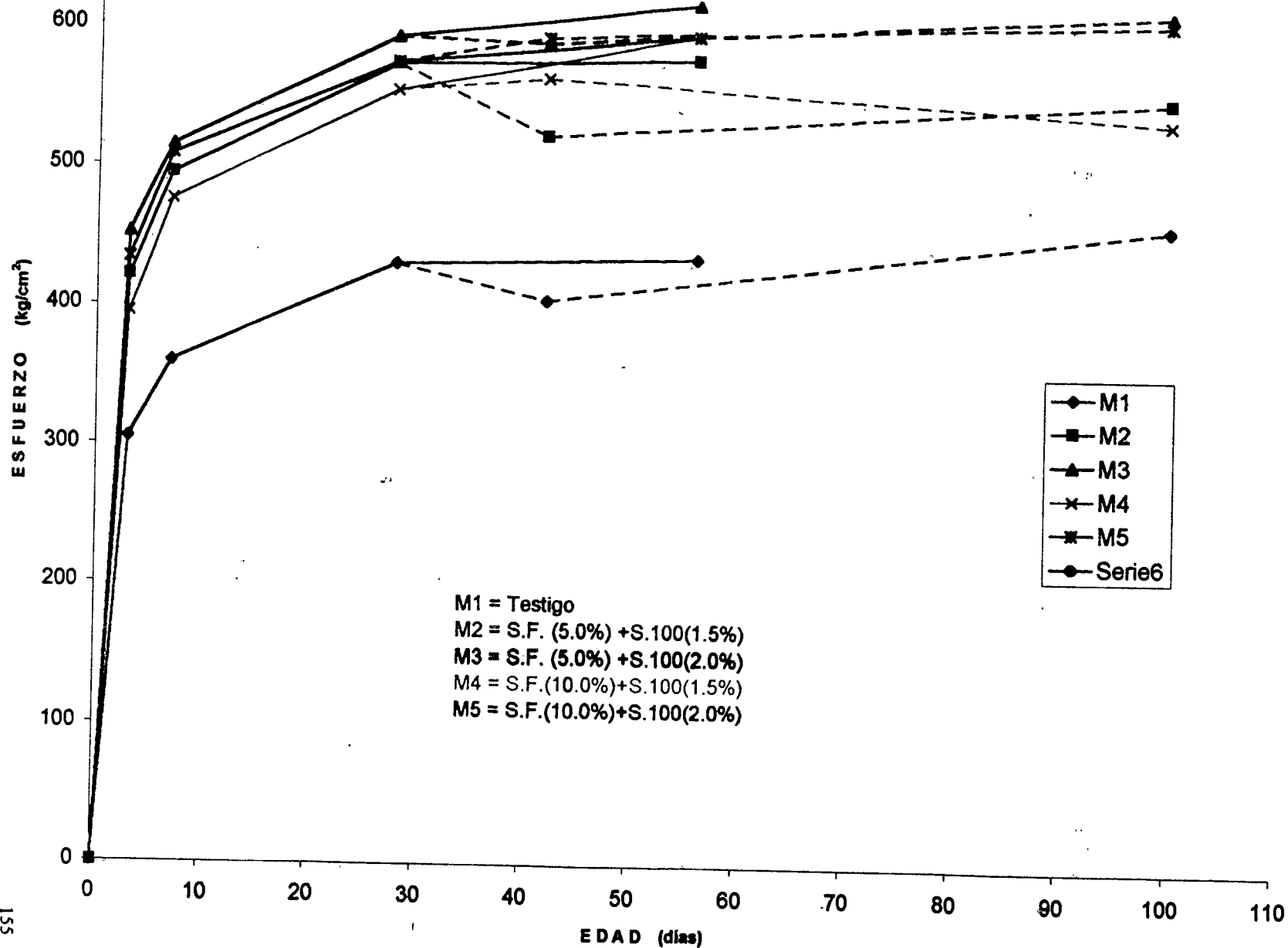


Figura 9.2.2.4 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes elaborados con contenido de cemento de 400 kg/m³

Tabla 9.2.2.5 Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie III.

CONTENIDO DE CEMENTO =300 Kg/m³

MEZCLA	EDAD EN DIAS	
	32	100
M1	272	336
M2	456	491
M3	521	521
M4	443	502
M5	484	552

Tabla 9.2.2.6 Resultados de esfuerzos a compresión de las mezclas de la Serie IV.

CONTENIDO DE CEMENTO =400 Kg/m³

MEZCLA	EDAD EN DIAS	
	32	100
M1	405	466
M2	573	615
M3	648	697
M4	538	580
M5	532	607

*Tanto las mezclas de la serie III y IV contienen cantidades de aditivos mayores que los porcentajes aplicados en las etapas anteriores; Puzolana: 20 y 30%, aditivo químico: 2.5 y 3.0%.

*Las cantidades descritas en las tablas anteriores son valores de las resistencias alcanzadas, en Kg/cm².

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS ALCANZADAS EN LOS ESPECIMENES DE LA SERIE III, ETAPA "E"

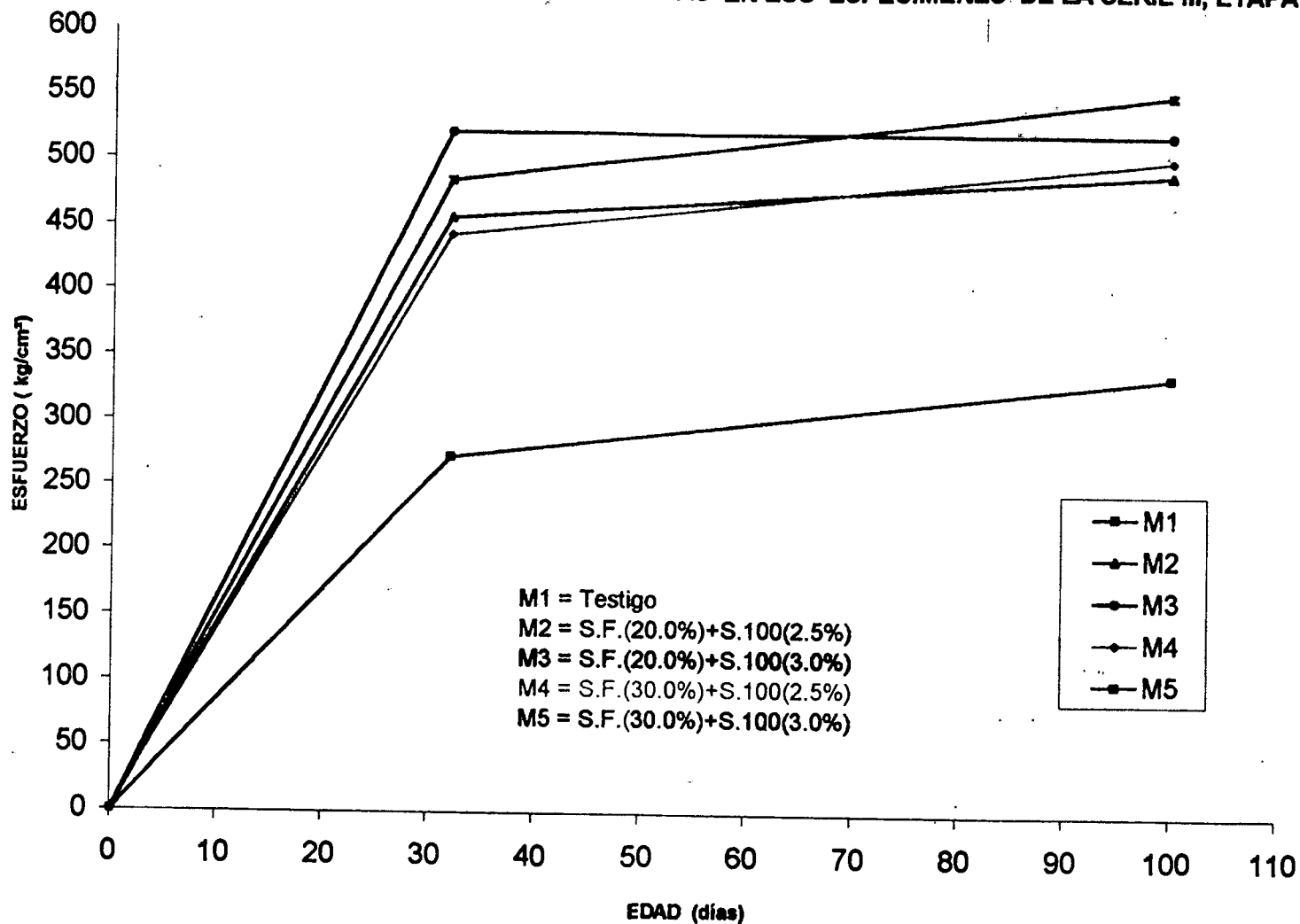


Figura 9.2.2.7 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes de las mezclas elaboradas con contenido de cemento de 300 Kg/m³

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS ALCANZADAS EN LOS ESPECÍMENES DE LA SERIE IV, ETAPA "E".

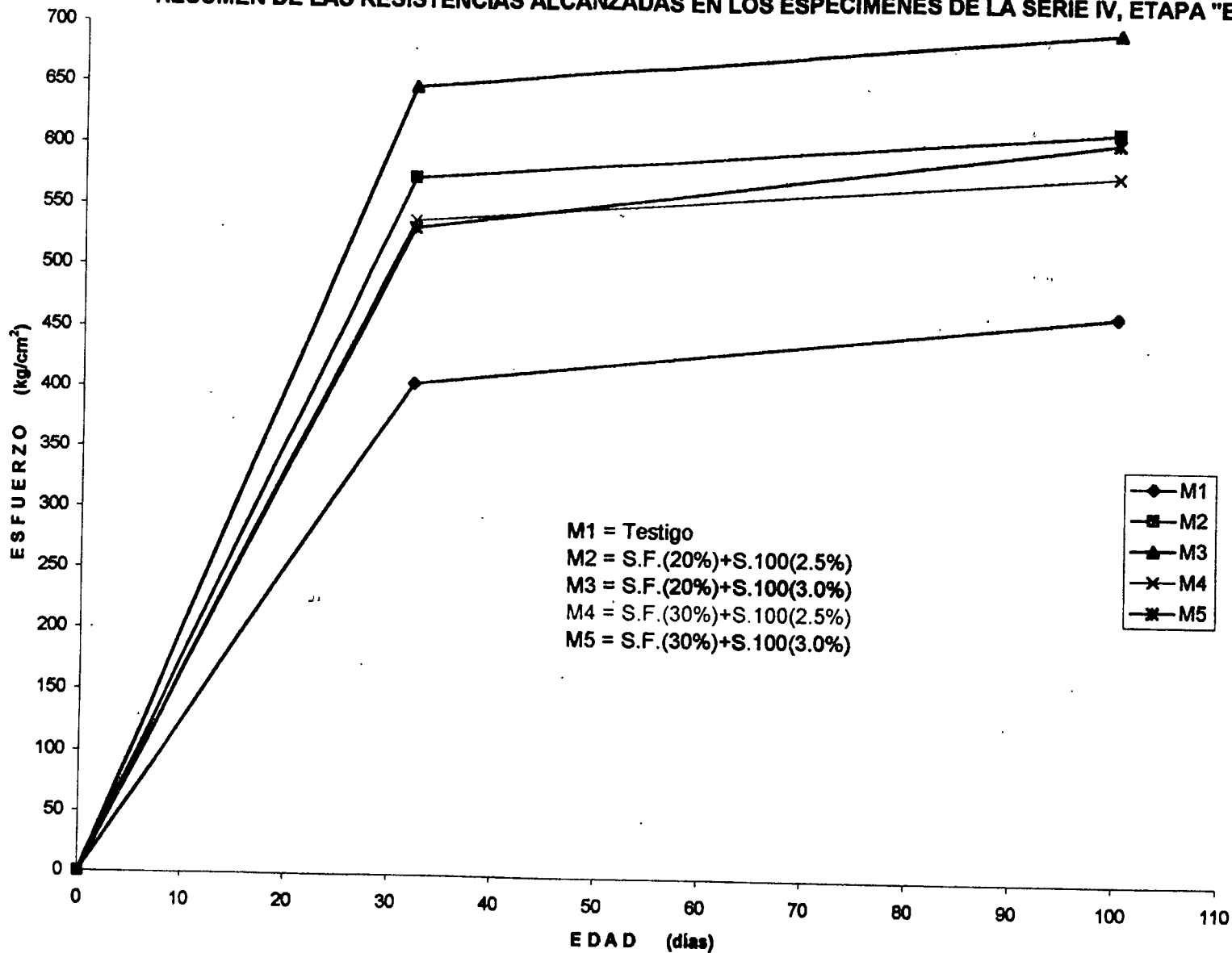


Figura 9.2.2.8 Gráfica de los resultados a compresión de especímenes de mezclas elaboradas con contenido de cemento de 400 Kg/m³

9.3 MEDICIÓN DEL PH.

9.3.1 Introducción.

Como el elemento en estudio es el concreto, nos referimos mayormente a los materiales alcalinos.

La palabra *álcali* es árabe y significa las cenizas de una planta. La medida de la acidez o la alcalinidad de una solución se llama Ph, siglas que significan "capacidad" (power) de iones de hidrógeno". El pH de las sustancias neutras es 7.

Para obtener una medida precisa del pH de una solución se utiliza un aparato que mediante un electrodo, mide la concentración de iones de hidrógeno en una solución y registra el pH, digitalmente o en una escala graduada.

La capa protectora de hidróxidos de hierro que envuelve a la superficie del acero puede romperse por dos acusas esencialmente.

- La disminución de la alcalinidad del concreto por reacción de sustancias agresivas como el CO₂ (Carbonatación).
- La presencia de una cantidad suficiente de cloruros, ya sea que penetren del exterior o que estén presentes en los componentes de fabricación del concreto.

Un concreto de buena calidad presenta normalmente un pH de 13.5.

(UNAM, "Estudio de la cinética de corrosión del refuerzo de acero embebido en concreto"; Tesis para el grado de Doctor).

9.3.2 Mediciones de pH.

- Se tomaron mediciones de pH a 25 morteros, correspondientes a todos los concretos producidos en las etapas B,C,D y E. Los resultados se presentan a continuación en 9.3.3.
- Medición de pH a cada componente del concreto:
pH_{cemento} = 12.75; pH_{Sika fume} = 8.34; pH_{Sikament - 306} = 9.47;
pH_{Sikament-100} = 9.66
- Se midieron pH a concretos de edad avanzada (130 días de edad):
Concreto M3 (S.F. (20.0%) + S.100(3.0%)); pH = 11.93
Concreto M5 (S.F. (30.0%) + S.100(3.0%)); pH = 11.80

Ambos concretos tiene un contenido de cemento de 400 kg/m³.

9.3.3 Tabla de los valores de pH, medido en morteros elaborados con diferente contenido de cemento y variación en el porcentaje de puzolana y aditivo químico.

Tabla 9.3.3.1 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la Etapa B y Etapa E (Serie III).

CONTENIDO DE CEMENTO = 300 kg/m³

M1 = Testigo	13.31	M1 = Testigo	13.32
M2 = S.F.(5.0%)+S.100(1.5%)	13.62	M2 = S.F.(20.0%)+S.100(2.5%)	13.48
M3 = S.F.(5.0%)+S.100(2.0%)	13.4	M3 = S.F.(20.0%)+S.100(3.0%)	13.31
M4 = S.F.(10.0%)+S.100(1.5%)	13.37	M4 = S.F.(30.0%)+S.100(2.5%)	13.16
M5 = S.F.(10.0%)+S.100(2.0%)	13.47	M5 = S.F.(30.0%)+S.100(3.0%)	13.12

Tabla 9.3.3.2 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la Etapa C.

CONTENIDO DE CEMENTO = 350 kg/m³

M1 = Testigo	13.33
M2 = S.F.(5.0%)+S.100(1.5%)	13.49
M3 = S.F.(5.0%)+S.100(2.0%)	13.43
M4 = S.F.(10.0%)+S.100(1.5%)	13.55
M5 = S.F.(10.0%)+S.100(2.0%)	13.44

Tabla 9.3.3.3 Valores de pH tomados a morteros correspondientes a los concretos elaborados en la Etapa D y Etapa E (Serie IV).

CONTENIDO DE CEMENTO = 400 kg/m³

M1 = Testigo	13.32	M1 = Testigo	13.33
M2 = S.F.(5.0%)+S.100(1.5%)	13.52	M2 = S.F.(20.0%)+S.100(2.5%)	13.03
M3 = S.F.(5.0%)+S.100(2.0%)	13.68	M3 = S.F.(20.0%)+S.100(3.0%)	13.22
M4 = S.F.(10.0%)+S.100(1.5%)	13.54	M4 = S.F.(30.0%)+S.100(2.5%)	12.86
M5 = S.F.(10.0%)+S.100(2.0%)	13.45	M5 = S.F.(30.0%)+S.100(3.0%)	12.99

9.3.4 Gráficas de valores de Ph en concretos con Humo de Sílice (H.S.)

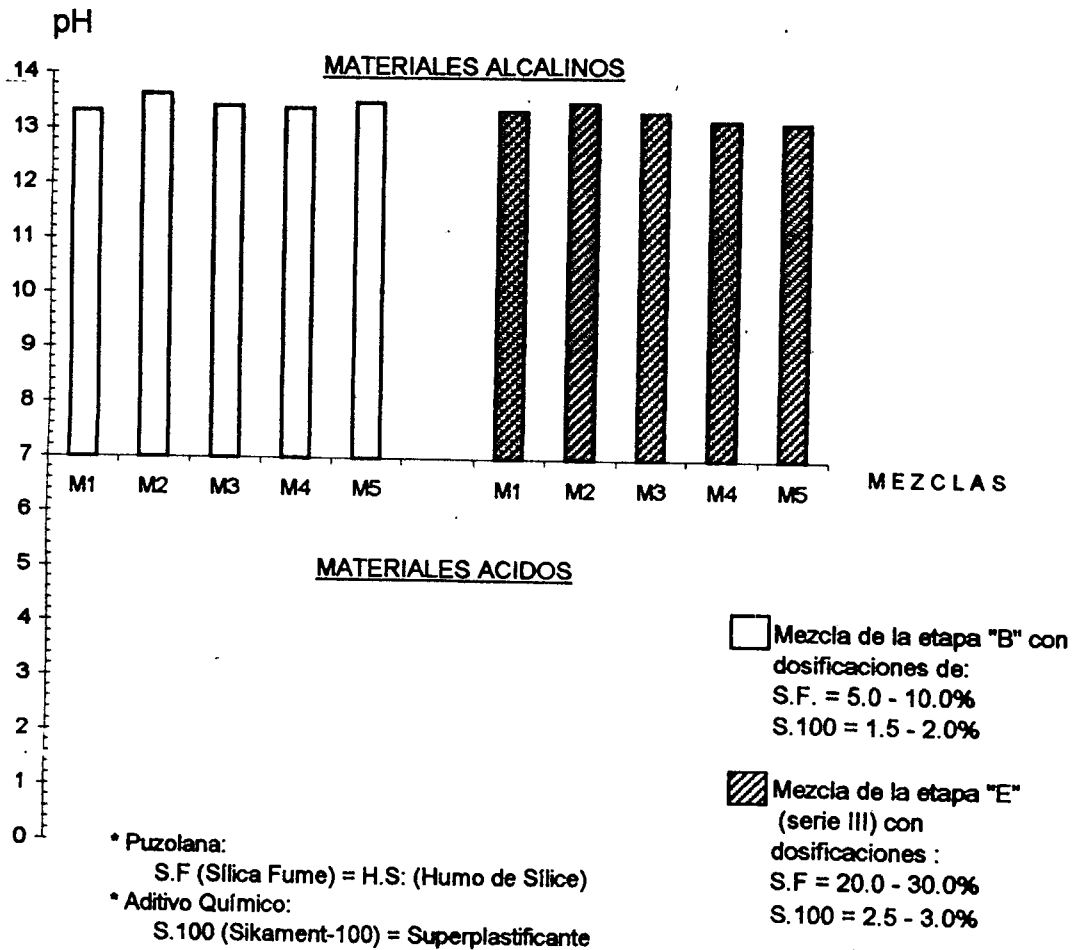
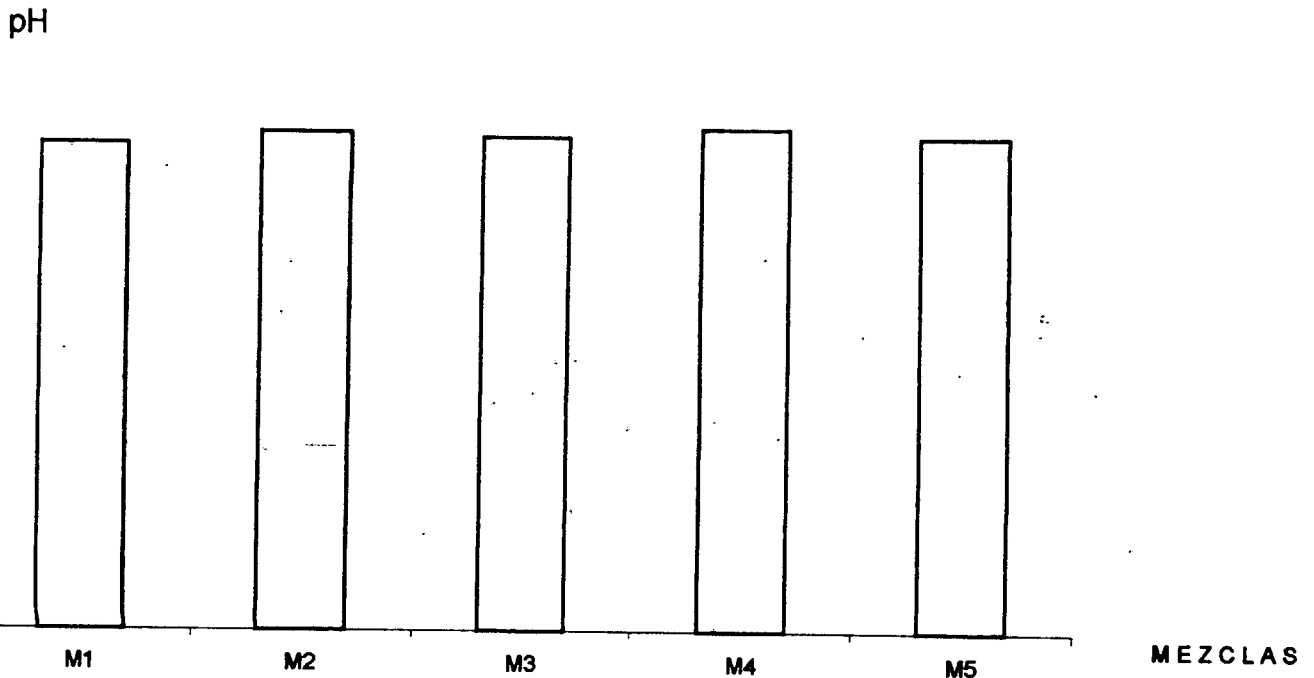



Figura 9.3.4.1 Gráfica de valores de pH, obtenidos de concretos con Humo de Sílice (H.S) y contenido de cemento de 300 Kg/m³.

MATERIALES ALCALÍOSMATERIALES ACIDOS

 Mezcla de la etapa "C" con dosificaciones de:
 S.F. = 5.0 - 10.0%
 S.100 = 1.5 - 2.0%

* Puzolana:

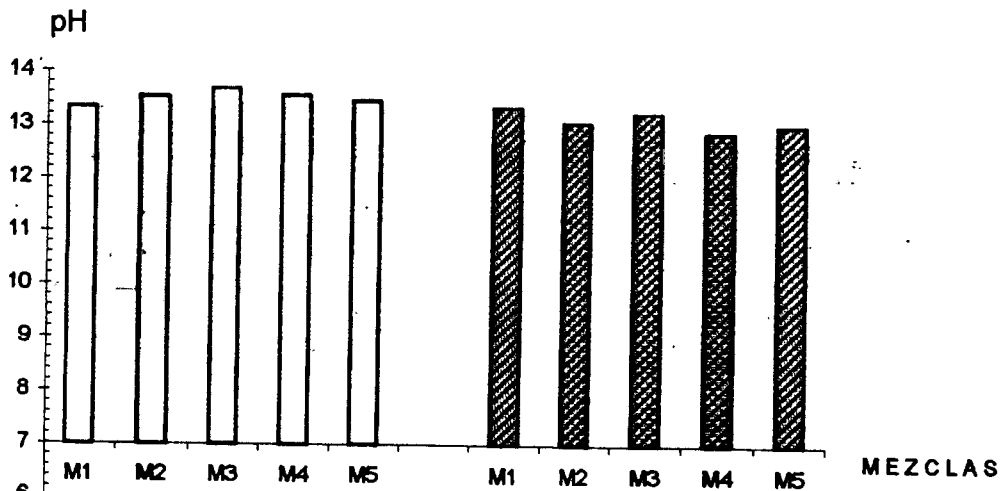
S.F (Sílica Fume) = H.S: (Humo de Sílice)

* Aditivo Químico:

S.100 (Sikament-100) = Superplastificante

Figura 9.3.4.2 Gráfica de valores pH, obtenidos de concretos con Humo de Sílice (H.S.) y contenido de cemento de 350 Kg/m³

MATERIALES ALCALINOS



MATERIALES ACIDOS

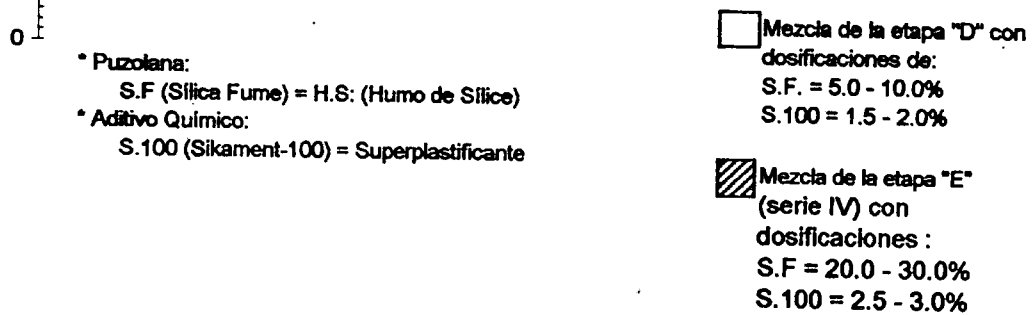


Figura 9.3.4.3 Gráfica de valores de pH , obtenidos de concretos con Humo de Sílice (H.S.) y contenido de cemento de 400 Kg/m³

9.4 DIFRACCIÓN DE RAYOS X(RX) Y RAYOS INFRARROJOS (IR).

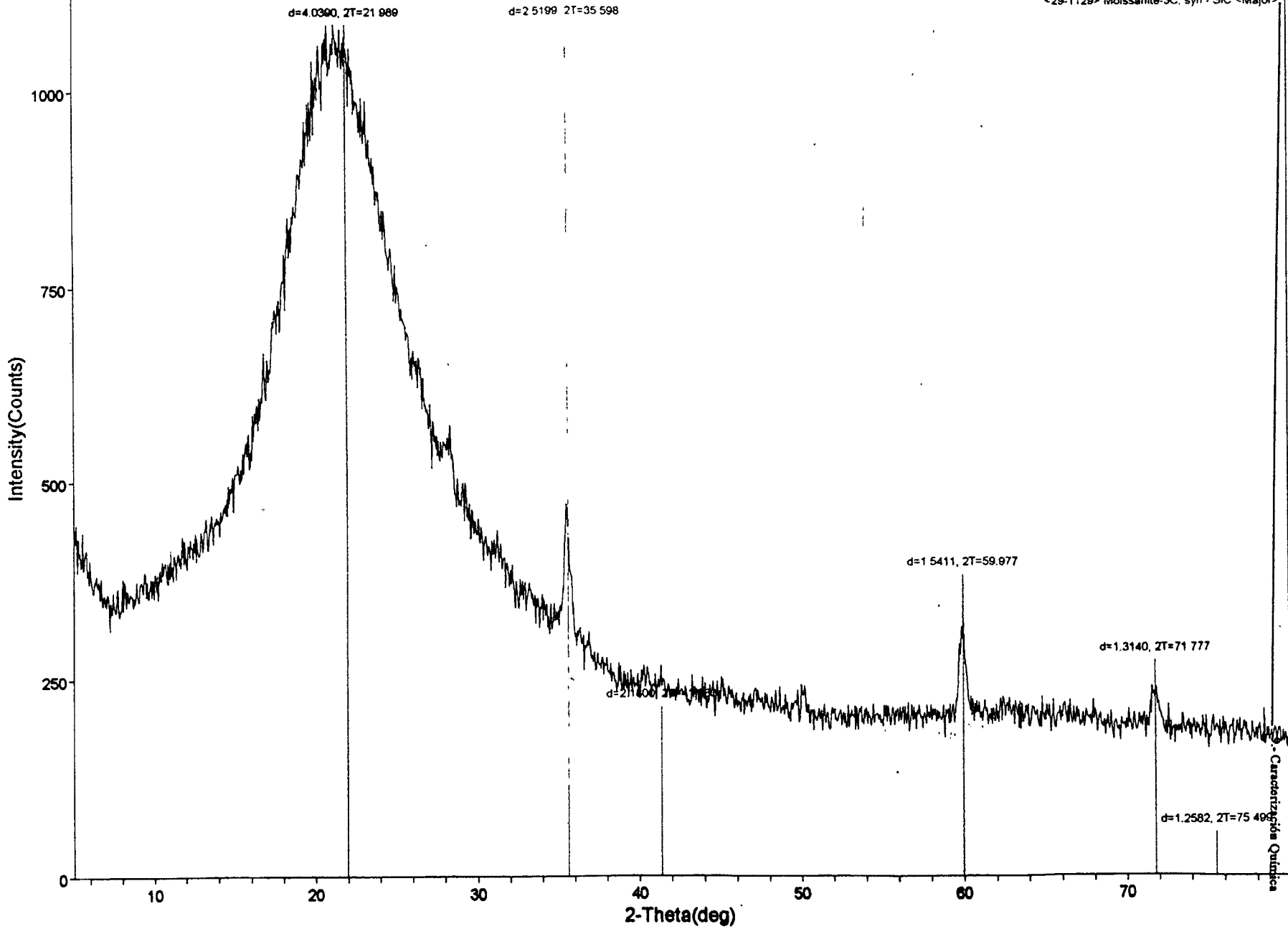
9.4.1 Pruebas de RX.

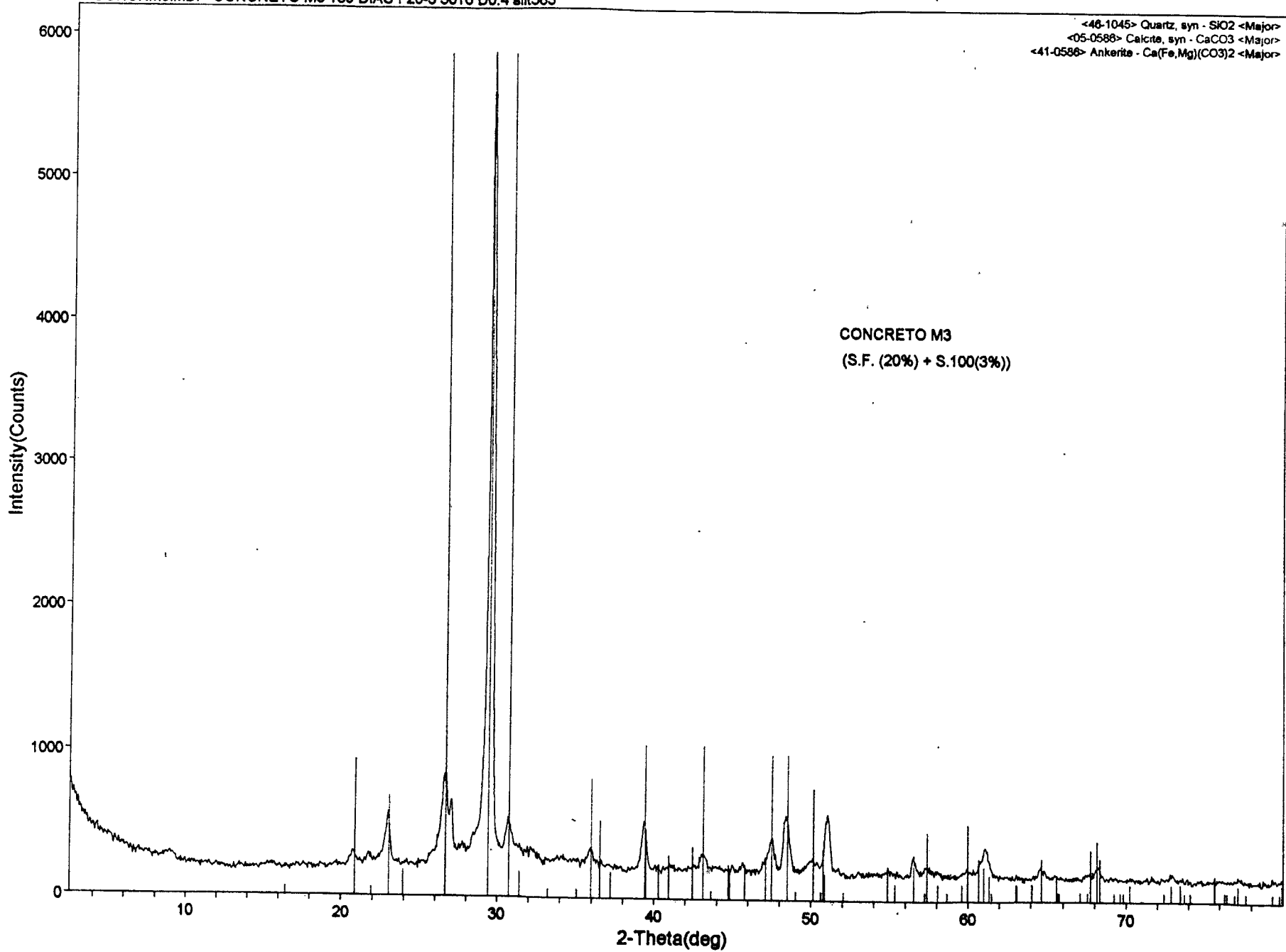
La prueba de Rayos X se realizó en un difractómetro modelo D /maz-21--, marca Rigaku. Para ésta prueba se hizo un barrido de 2.5° - 80° en el ángulo 2-Theta, las condiciones de la generación de RX fue de 30 Kv y 16mA.

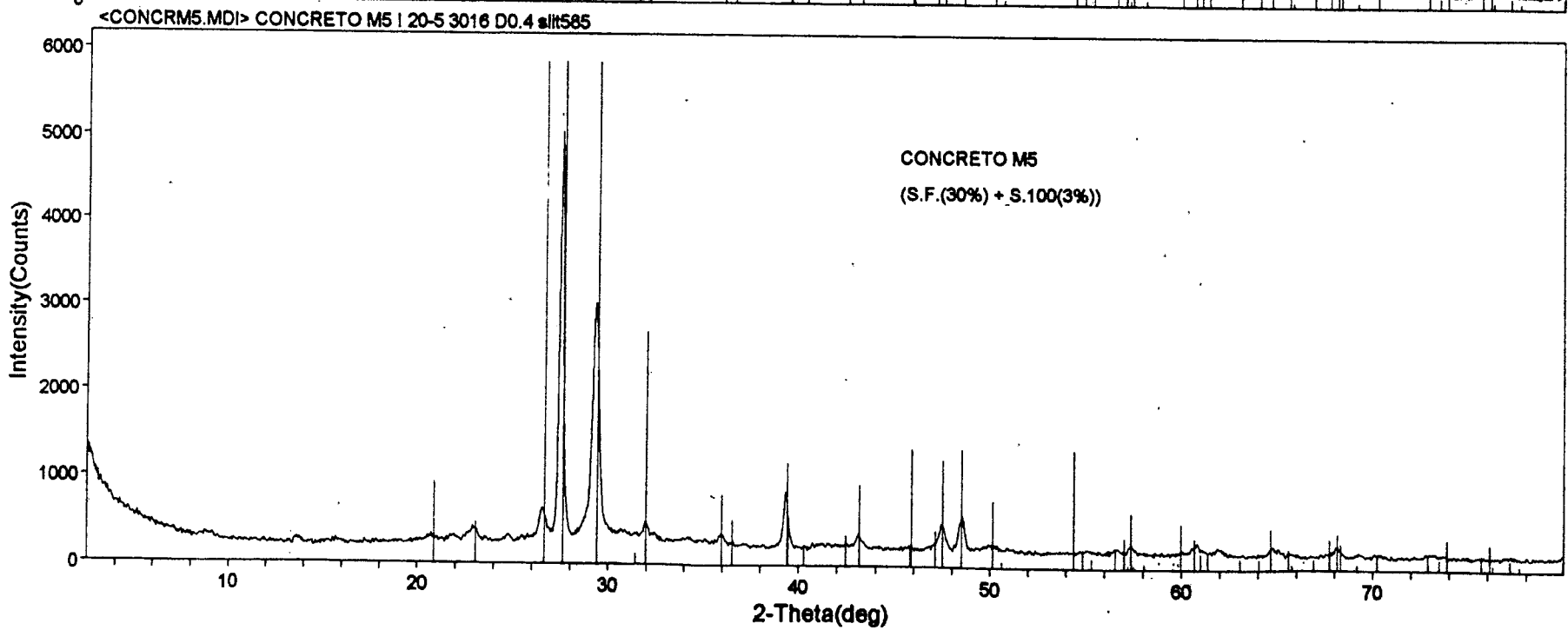
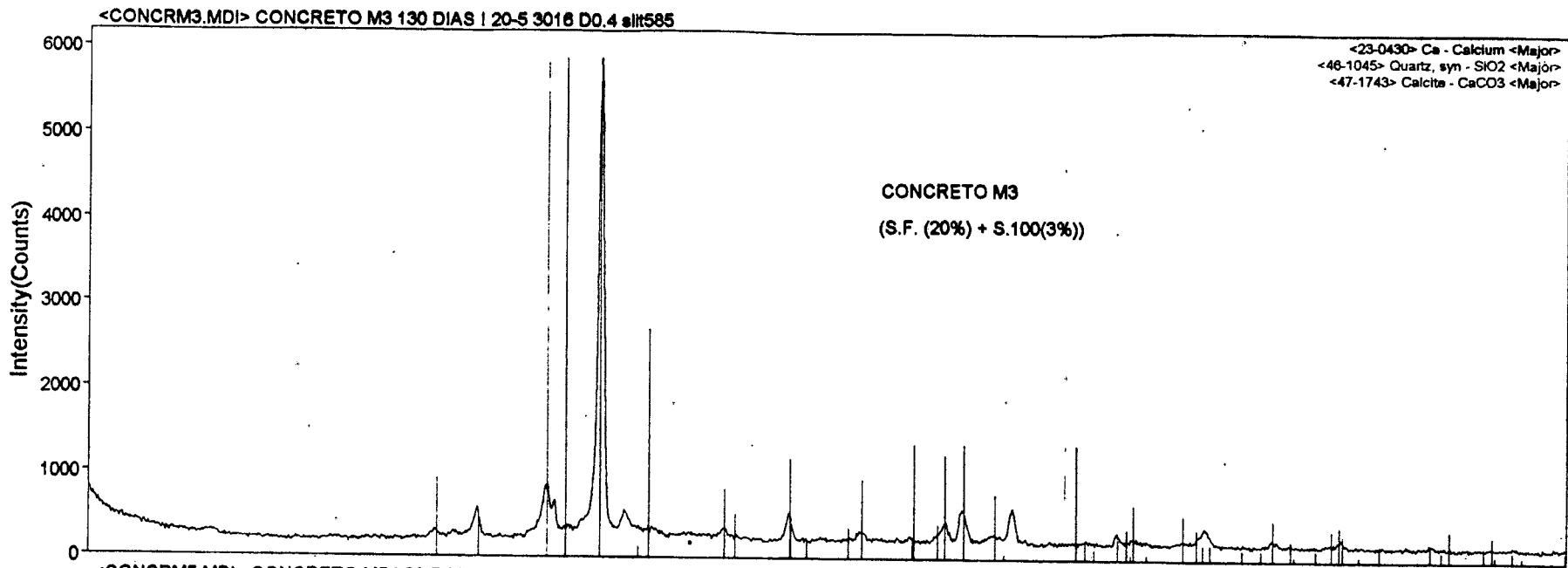
Se hicieron pruebas de RX a:

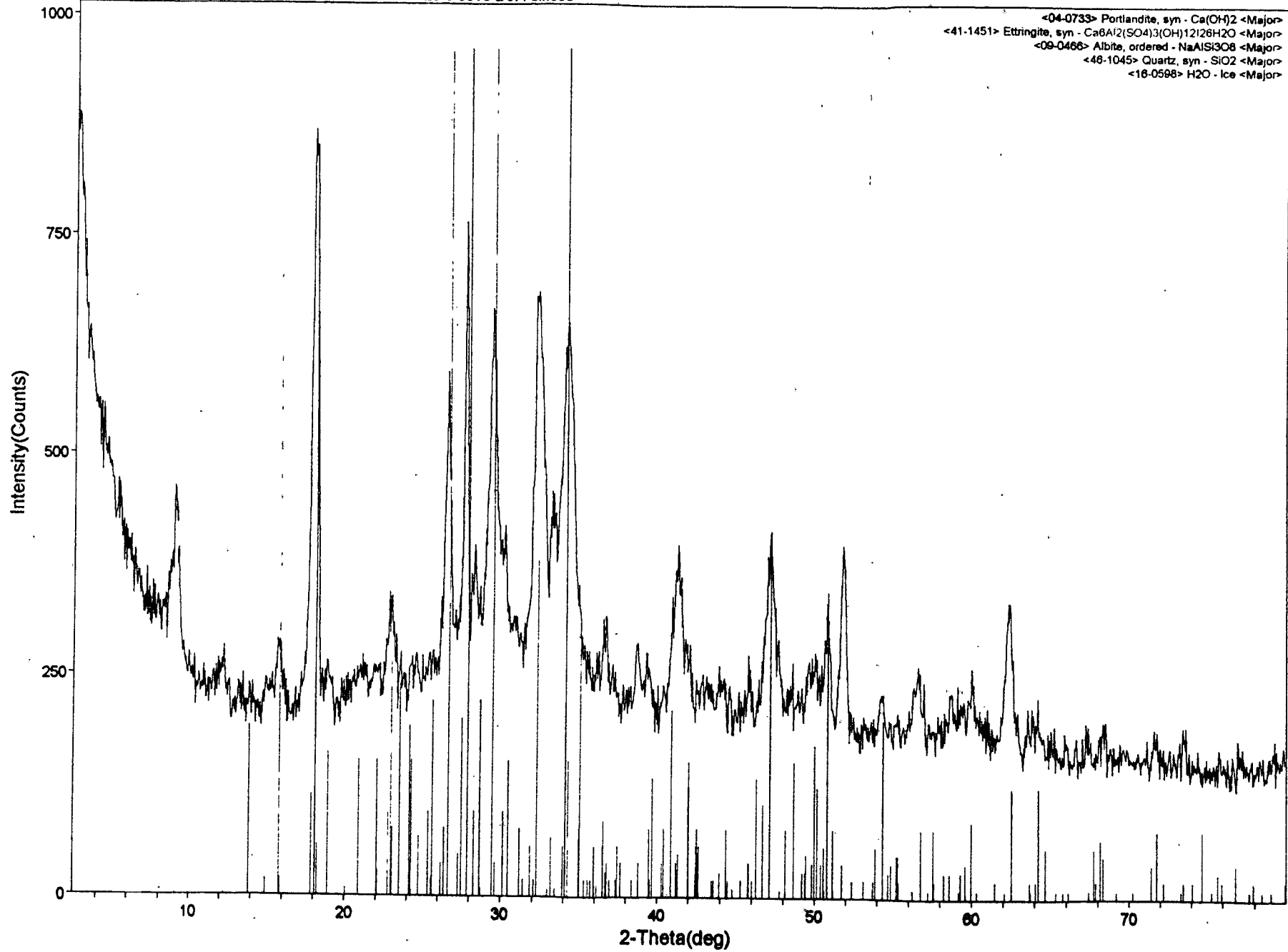
- Humo de Sílice (Sika fume)
- A concretos con humo de sílice y superplastificante a edades de 130 días, con contenido de cemento de 400 kg/m³.
Concreto M3 (S.F.(20.0%) + S.100 (3.0%))
Concreto M5 (S.F.(30.0%) + S.100 (3.0%))
- A morteros con humo de sílice y superplastificante a edades de 3 días con contenido de cemento de 400 kg/m³.
Mortero M1 (Concreto simple).
Mortero M3 (S.F.(20.0%) + S.100 (3.0%))
Mortero M5 (S.F.(30.0%) + S.100 (3.0%))

La identificación de los compuestos presentes, tanto en morteros como en el concreto se llevó a cabo mediante el software JADE Versión 3.1 para windows.



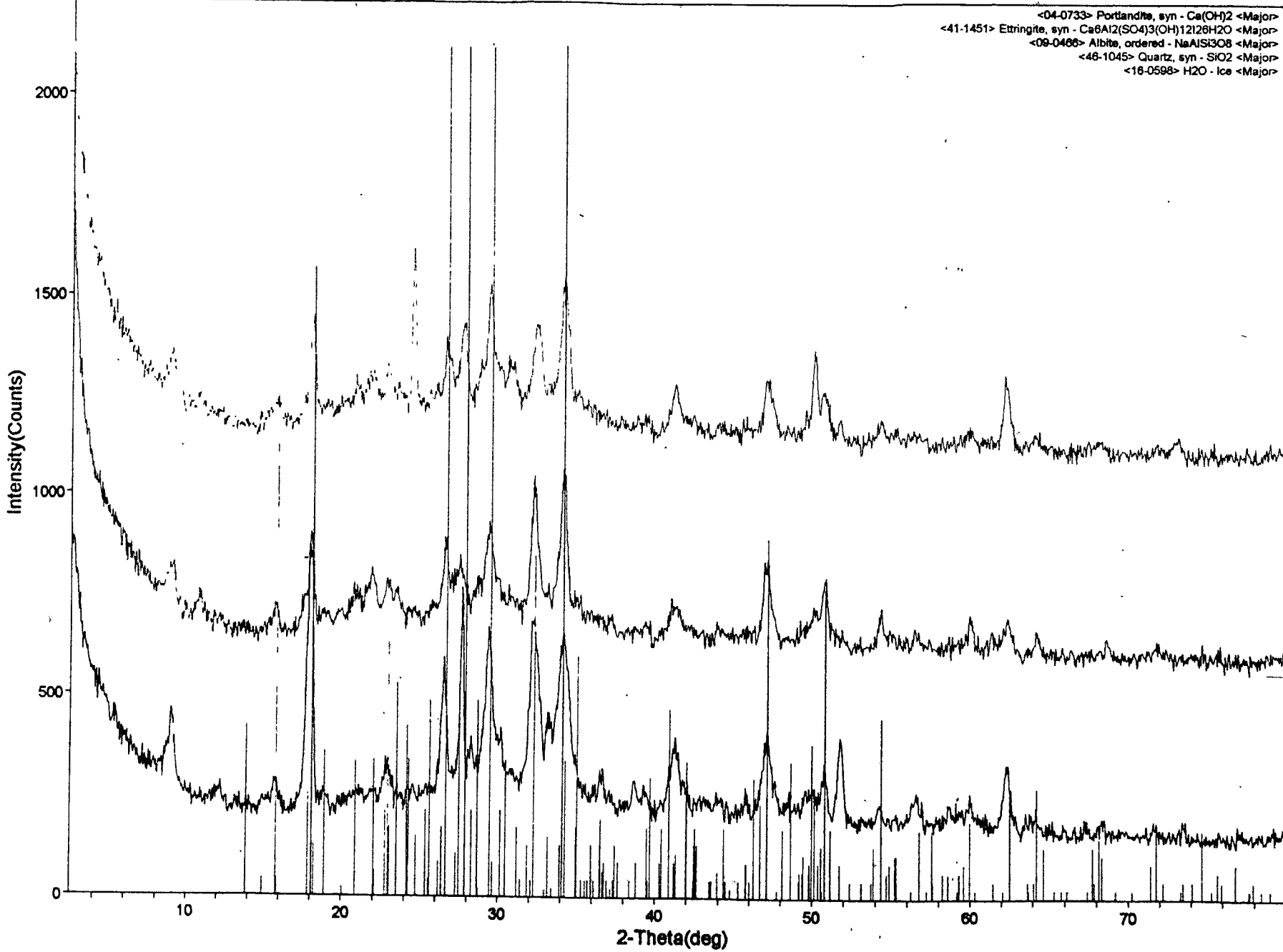






<MORTM5.MDI> MS=S(30%)+S100(3%) ! 0/20-1.25 3016 D0.4 slit585
<MORTM3.MDI> MS=S(20%)+S100(3%) ! 0/20-1.25 3016 D0.4 slit585
<MORTM1.MDI> CONCRETO SIMPLE M1 BCO ! 20-5 3016 D0.4 slit585

<04-0733> Portlandite, syn - Ca(OH)2 <Major>
<41-1451> Ettringite, syn - Ca6Al2(SO4)3(OH)1212H2O <Major>
<09-0466> Albite, ordered - NaAlSi3O8 <Major>
<48-1045> Quartz, syn - SiO2 <Major>
<18-0598> H2O - ice <Major>



9.4.2 Prueba de Infrarrojo (IR).

El equipo en el que se desarrollaron los estudios es de marca Nicolet, Modelo: AVATAR 360 FT – IR, perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro. Se utilizó un accesorio de reflectancia difusa para analizar las muestras hechas polvo.

Para la prueba de IR, tuvimos que pulverizar a los aditivos químicos. Para esto, se dejó una pequeña muestra a evaporar a temperatura ambiente, para eliminar los solventes y se formara una muestra sólida para después pulverizarla.

El espectro que se realizó fue de $4000 - 450 \text{ cm}^{-1}$.

Se realizaron pruebas de infrarrojo a:

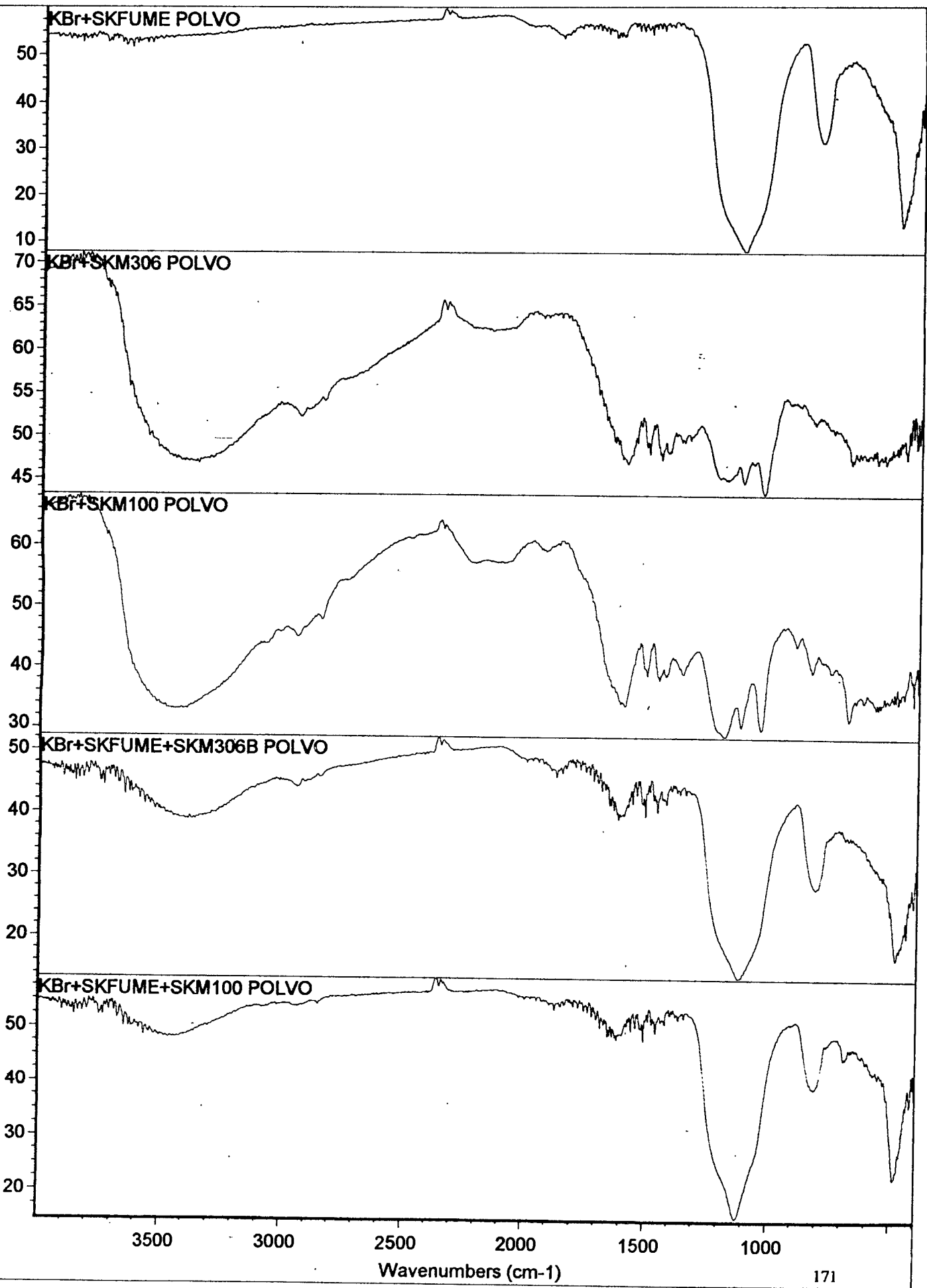
- Humo de Sílice (Sika fume).
- Reductor de agua (Sikament-306)
- Superplastificante (Sikament-100)
- A una pasta con proporción 1:1 de Sika fume + Sikament – 100
- A una pasta con proporción 1:1 de Sika fume + Sikament – 306

70 Transmittance

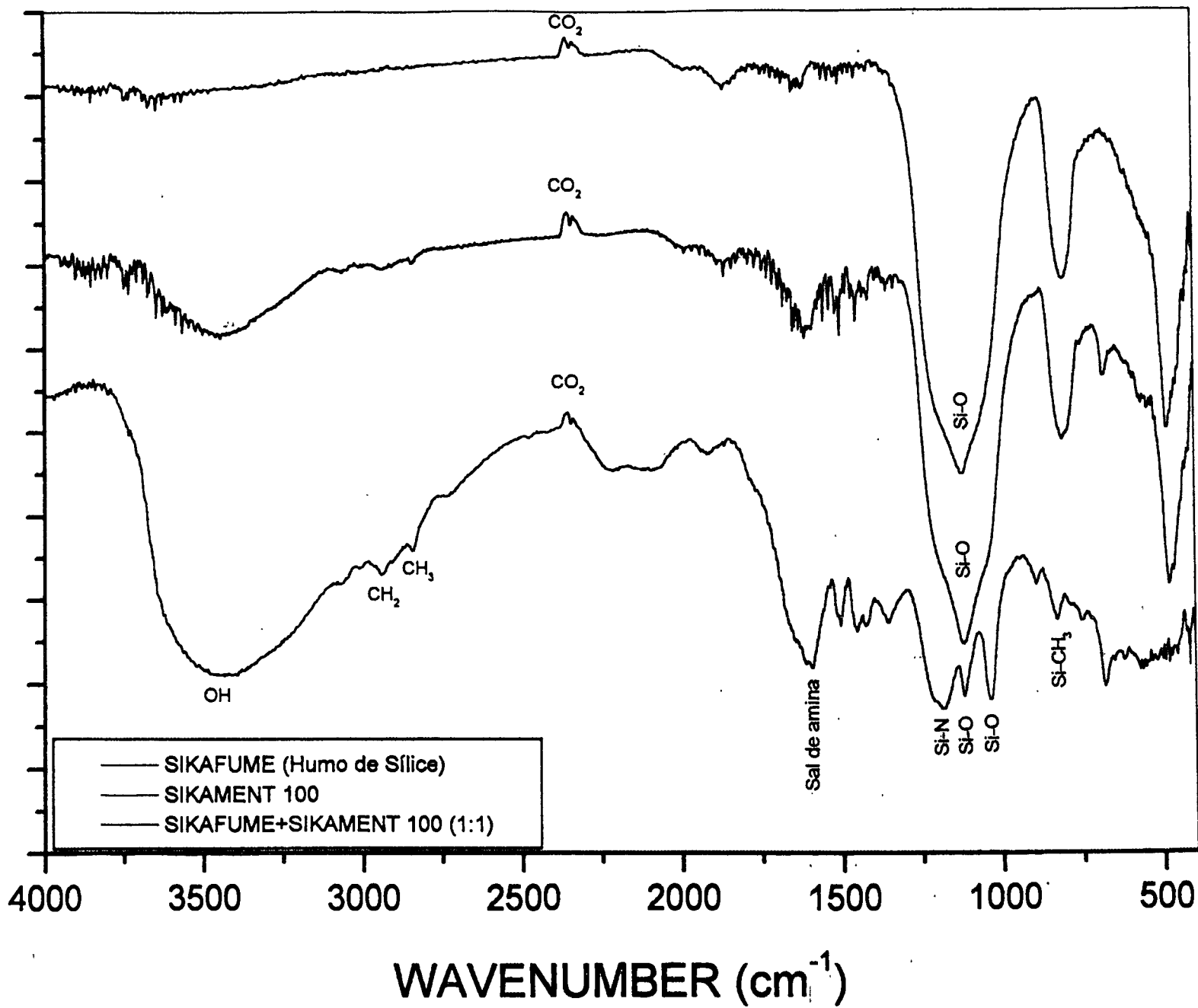
70 Transmittance

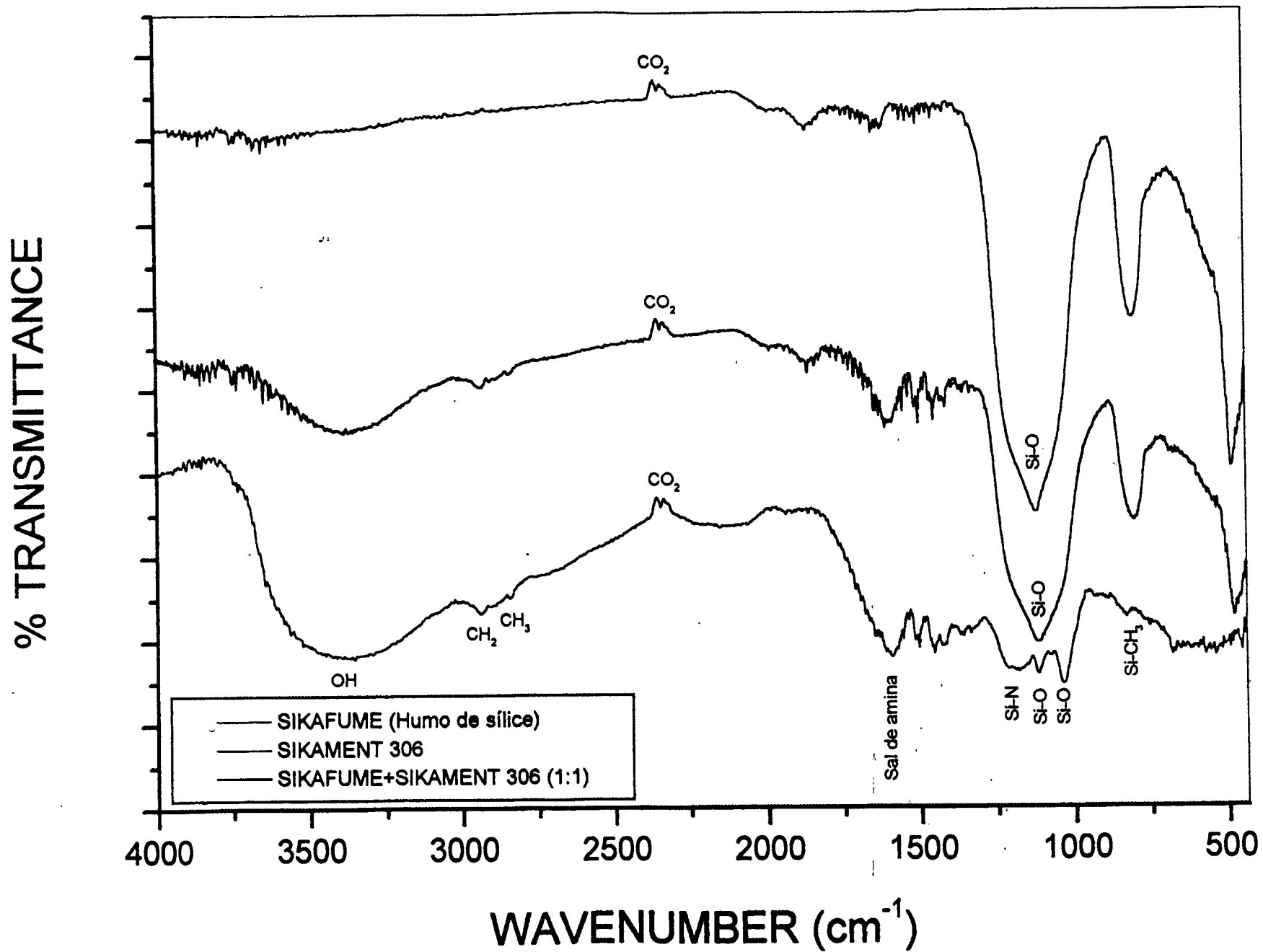
70 Transmittance

70 Transmittance



% TRANSMITTANCE





9.4.3 Descripción física y química de los compuestos identificados.

- Sílice (SiO_2)

Cada silicio tiene cuatro oxígenos que se unen por puentes a otros cuatro silicios localizados tetraédricamente alrededor del primero. Hay por lo menos seis formas cristalinas del sílice, la más conocida es el cuarzo común; es sílice que ha sido sobreenfriada a partir del estado líquido. Esta sustancia parecida al vidrio es transparente a la luz del cercano ultravioleta y tiene un coeficiente de expansión térmica extremadamente bajo.

El silicio forma algunos compuestos comercialmente importantes llamados siliconas. Una molécula de silicona típica tiene una larga cadena de átomos de silicio y oxígeno alternados como una columna vertebral, con sustituyentes orgánicos, tales como el grupo metilo, $-\text{CH}_3$, colocados fuera de la cadena.

La estructura del cuarzo, tridimita y cristobalita consta de tetraedros SiO_4 de átomos de oxígeno. La estructura de la cristobalita cúbica es, esencialmente, la misma que la de la blenda de cinc. En la estructura de la cristobalita los átomos de silicio ocupan los puntos correspondientes a una estructura cúbica compacta y los átomos de oxígeno en los huecos tetraédricos. Aunque el cuarzo es la forma termodinámicamente estable a temperaturas normales, las tres formas de SiO_2 se encuentran en la naturaleza. La sílice fundida, al enfriarse lentamente, da una sustancia amorfa que presenta todas las características de un vidrio.

La Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), pertenece a la familia de los feldespatos, que son el principal constituyente de las rocas ígneas de la corteza terrestre. La situación isomórfica del silicio por el aluminio da una red aniónica, a causa de que el número atómico de éste posee un número atómico menor, en una unidad, al de aquel; la fórmula general es $(\text{AlSi}_n\text{O}_{2(1+n)})^{-1}$, los feldespatos pertenecen a este tipo.

(Química Inorgánica Moderna; J.J. Lagowski; Editorial Reverte, S.A.)

Ankerita ($\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$), es un carbonato mineral contenido en el calcio y el hierro. La ankerita pura no es conocida. Es un miembro final en una serie de sustitución química con dolomita, en la cual el magnesio ha reemplazado completamente al hierro en la estructura cristalina.

Calcio (Ca), elemento químico, uno de los metales alcalino-terreos del grupo principal IIA de la tabla periódica. El calcio no se presenta naturalmente en estado libre, pero compuestos de él constituyen el 3.63% de las rocas ígneas y el 3.22% del total de la corteza terrestre; como calcita (carbonato de calcio) se presenta en la piedra caliza, tiza, mármol, dolomita, perlas, coral y en los caparazones de muchos animales marinos.

Calcita, es la forma más común del carbonato de calcio natural (CaCO_3). Es polimorfa (misma fórmula química pero diferente estructura del cristal), es muy soluble en ácidos orgánicos contenidos en aguas subterráneas.

Portlandita (hidróxido de calcio). Es un polvo blanco obtenido por la acción del agua sobre el óxido de calcio. Su configuración química es $\text{Ca}(\text{OH})_2$, cuando esta disuelta en agua en agua forma una solución llamada agua con cal. Es la forma comercial más común del hidróxido de calcio, usada como un alcali industrial y como un constituyente de morteros, pastas y cementos.

- Aminas

Las aminas son compuestos orgánicos nitrogenados que pueden considerarse como derivados alquílicos o arílicos del amoníaco. Según estén sustituidos uno, dos o los tres átomos de hidrógeno del amoníaco tenemos, respectivamente, aminas primarias, secundarias o terciarias.

Las sales de amina, sales de amonio cuaternario, se nombran como derivados del ión amonio reemplazando amina por amonio, o anilina por anilinio, y anteponiendo el nombre del anión seguido de la preposición de compendio de algunas propiedades significativas de aminas.

Propiedades físicas: Son gaseosas al aumentar el peso molecular son líquidas e incluso sólidas. En las aminas primarias y secundarias existe una cierta asociación molecular debido al establecimiento de enlaces de hidrógeno entre los grupos = N-H.

Las disoluciones acuosas de las aminas son básicas y se disuelven en ácidos diluidos con los que forman sales amónicas solubles.

Propiedades químicas: En presencia del agua las aminas se comportan como bases de Bronsted y fijan un patrón dando un ión amonio sustituido: $R-NH_2 + H-OH \rightleftharpoons R-NH_3^+ + OH^-$.

Las soluciones acuosas de las aminas poseen un pH superior a 7, y presentan las propiedades propias de una base. En presencia de ácidos protónicos, fijan un patrón formando sales de amonio cuaternario.

(Química; J.B.Russell/A Larena; Editorial McGraw-Hill)

- CONCLUSIONES

- Respecto a la resistencia del concreto.

En los concretos con contenido de cemento de 300 kg/m^3 de la Serie I (tabla 9.2.2.1), los cuales corresponden a los concretos de la etapa B (Cap. Seis), observamos que también aquí M3 y M5 son los concretos que presentan las mayores resistencias en las dos edades de ensaye (42 y 100 días).

Podemos observar que en M3, si bien no hubo regresión de resistencia, tampoco existió incremento de la misma de los 42 a los 100 días. Donde si pudimos apreciar una regresión en M5, la cual es del 3.64%.

En los concretos con contenido de cemento de 400 kg/cm^3 de la Serie II (tabla 9.2.2.2), los cuales son complemento de la etapa D (Cap. Ocho), M3 y M5 siguen siendo los concretos que presentan las mayores resistencias en todas las edades.

En M4 observamos una regresión de resistencia de los 42 a los 100 días de edad, la regresión es del 5%. Aclaramos que en la etapa D no existió regresión de resistencia de los 28 a los 56 días en ningún concreto.

En los concretos con contenido de cemento de 300 kg/m^3 (tabla 9.2.25), pero con dosificaciones mayores de aditivo, al igual que en todas la etapas, M3 y M5 son los concretos que alcanzan las mayores resistencias. La resistencia de M3 se mantiene igual en los 32 y 100 días; no hay incremento, no hay regresión.

En los concretos con contenido de cemento de 400 kg/cm^3 (tabla 9.2.2.6), el concreto M3 es el que presenta la mayor resistencia a compresión y en ninguno de éstos se presenta el efecto de la regresión.

- Respecto al pH.

Podemos concluir que definitivamente altas cantidades de microsilica, afectan la alcalinidad de los concretos. La alcalinidad de un concreto baja cuando el porcentaje de humo de sílice en el concreto es alto (contenidos mayores del 20%), y baja todavía más de alcalinidad a través del tiempo. Por lo tanto, concluiremos que porcentajes altos de humo de sílice en el concreto favorecen a la corrosión del acero de refuerzo.

- Respecto a la prueba de RX e IR.

El patrón de difracción de la puzolana (humo de sílice), revela que está formada fundamentalmente de dióxido de silicio amorfo o microcristalino con pequeñas cantidades de carburo de silicio, que proviene probablemente de la preparación de la puzolana.

El espectro de RX del concreto M3 a 130 días, muestra que el principal componente es calcita CaCO_3 a los 130 días. Si se aumenta el contenido de puzolana, como en el caso del concreto M5 se observa una disminución de la cantidad de calcita y la aparición de una reflexión que corresponde al calcio, lo que indica que la puzolana reacciona con el concreto lixiviando calcio de la calcita.

Lo anterior se apoya también en el hecho de que el pH, a mayor contenido de puzolana aumenta (se hace más ácido).

Del patrón de difracción de los morteros M1, M3 y M5, se observa que la portlandita (hidróxido de calcio), resultada de la hidratación del cemento disminuye al agregar puzolana, la cantidad de albita disminuye al aumentar la cantidad de ésta. Además se observa que, mientras que el mortero simple no contiene sílice, los morteros M3 y M5 muestran la presencia de sílice debido a la presencia de la puzolana.

Los resultados anteriores demuestran que existe una reacción entre la puzolana y el aditivo, que afecta la composición del concreto.

Con respecto a los resultados de la prueba de Infrarrojo (IR), lo que concluimos es que:

El espectro de infrarrojo del superplastificante indica que en efecto se tiene aminas alrededor de 1600 cm^{-1} . El espectro de IR de la mezcla (Sika fume + Sikament – 100), muestra alrededor de 1200 cm^{-1} un enlace sílico-nitrógeno (Si-N) que indica que existe una reacción química entre el superplastificante y la puzolana.

Este resultado es muy importante ya que demuestra que el uso de aditivos en cementos puzolánicos debe tratarse con cuidado, porque habría una reacción química.

Además, el superplastificante tiene una banda muy grande de OH, lo que indica un contenido importante de agua, que es lo que hace que cambie el proceso de hidratación del mortero o concreto original.

REFERENCIAS

- *Estudio de la cinética de la corrosión del refuerzo de acero embebido en concreto.* (Tesis para grado de Doctor en Ciencias, Ing. Química). Presenta: M. en C. Tezozomoc Pérez López; Asesor: Dr. Joan Genercá Llangueras.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Software. Jade versión 3.1 para Windows.

Conclusiones Generales y Recomendaciones.

Como sabemos, la industria de la construcción descansa en los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto para determinar la aceptación del mismo. De manera que es de vital importancia obtener resultados confiables.

Definitivamente el propósito de los ensayos practicados al concreto son: medir su variabilidad, establecer proporcionamientos, establecer bases o especificaciones y obtener concretos con mayor desempeño.

Son muchas las causas que intervienen en la variación de la resistencia de un concreto, ya que éste es un material artificial y heterogéneo. Cada uno de los componentes del concreto (cemento, grava, arena, agua y en éste caso, aditivos) induce variables originales por su constitución. También, existen variaciones en la resistencia del concreto ocasionadas por los métodos de prueba o por los procedimientos de dosificación, y como ya lo vimos en ésta investigación, existen variaciones ocasionadas por el proceso de curado del concreto (con o sin Sílica fume).

Las mezclas de los concretos con aditivo presentaron un aspecto balanceado, mucha cohesión, buenas características de trabajabilidad y sin presencia de sangrado.

Como podemos ver en las tablas de resultados, la mezcla 1 que corresponde al concreto testigo presenta el mismo porcentaje de vacíos en las tres series (1.05 de diseño). Los concretos con aditivo presentan mayor porcentaje de aire atrapado en el concreto.

Es claro que el incremento de volumen de aire atrapado tiene reacción directa con la dosificación del aditivo, sin que exista por ello, un excesivo volumen de aire.

En cuanto a la temperatura del concreto, la temperatura tomada a concretos con Sílica fume + Superfluidizante no presenta alteraciones. Por lo tanto, podemos concluir que la temperatura del concreto no se afecta por la adición del aditivo.

Refiriéndonos a las resistencias alcanzadas en los diferentes concretos observamos que M3 y M5 son las mezclas que presentaron mayor resistencia para los tres contenidos de cemento. Siendo M3 la que presenta el mayor porcentaje de vacíos en las tres etapas, siguiéndole descendientemente M5.

Pérdida o regresión de resistencia de 28 – 56 días de edad:

En la etapa B, M3 es la única mezcla que presenta este efecto. Así mismo, M5 es la que logra el mayor incremento de resistencia (3.17% de 28 a 56 días de edad).

En la etapa C, todos los concretos con aditivo presentaron regresión de resistencia. El concreto con mayor porcentaje de regresión fue M2 con -9.06% siguiéndole M4 (-6.63%), M3 (-3.94%), M5 (-0.185%); M2 y M4 son las mezclas con menor dosificación de superfluidificante.

En proporción, M3 es la mezcla con mayor dosificación de superfluidificante, mismo que produce el mayor porcentaje de aire (debido a su capacidad de dispersión en las partículas).

En la etapa D, los concretos de M2 y M5 son los que presentaron una pequeña regresión de resistencia (-0.173% y -0.835% respectivamente). Los concretos de M3 y M5 alcanzaron la mayor resistencia a los 28 días (600 kg/cm² para un contenido de cemento de 400 kg/m³).

Por último, la regresión de resistencia en concretos con Sílica fume curados en el laboratorio en un ambiente controlado; al igual que en los concretos con Sílica fume curados al aire (anteriores) no siempre se presenta.

Definitivamente la Sílica fume desarrolla algunos efectos sobre la microestructura del concreto. Y éstos efectos no son de particularidad del curado al aire ni del curado con calor.

Porcentajes altos de humo de sílice (más de 25% del peso del cemento), afectan la alcalinidad del concreto. Esto por consiguiente favorece al efecto de la corrosión del acero (en el caso de concreto reforzado).

El pH del concreto es afectado con el tiempo, en concretos con humo de sílice y superplastificante. Los efectos ocurren después de los 28 días de edad.

Las pruebas de RX e IR, demostraron que existe una reacción química entre la puzolana y el aditivo. Esa reacción no se da a edades tempranas de hidratación, lo cual explica que no se haya reportado anteriormente, ya que en la literatura sólo se hacen estudios a los 28 días de edad del concreto.

En el concreto M3 (130 días de edad) la calcita es el componente principal, y las reacciones químicas de la puzolana y el concreto para lixiviar calcio son:

$$\text{SiO}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{Si}(\text{SO}_4)_2$$

(CaO es el material lixiviado, este compuesto no aparece en un cemento normal).

En los morteros M1, M3 y M5 a tres días de edad; la portlandita disminuye al aumentar la puzolana debido a que la puzolana es más reactiva que el silicato original, por lo tanto, durante la hidratación la reacción preferencial es entre la puzolana, el aditivo y algunos de los silicatos; en lugar de hidratar solamente los silicatos como sucede en un concreto normal. Para controlar esto, se debería, o bien añadir un catalizador o cuidar el contenido de puzolana para evitar esa reacción secundaria. La Ertringite es un producto de la hidratación del cemento; y sirve para medir indirectamente que tanto va avanzando la reacción de hidratación.

Glosario

Asentamiento. Es la consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Aspecto. Hablando del concreto es la descripción de su apariencia y ésta puede ser pastoso, balanceado y gravoso.

Cohesión. Es la propiedad que tiene el concreto en estado fresco de mantenerse unido física y molecularmente. (Neville, 1989).

Consistencia. Es la facultad del concreto fresco para fluir. En el caso del concreto, a veces la consistencia se toma como el grado de humedad.

Plasticidad. Determina la facilidad de moldear el concreto.

Sangrado. Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado, provocada por el asentamiento de los materiales sólidos: cemento, arena y piedra.

Segregación. Es la separación de los diferentes elementos que constituyen una mezcla heterogénea, de tal modo que su distribución ya no sea uniforme. En el concreto, lo que causa la segregación es ante todo la diferencia en el tamaño de las partículas y en la densidad de los componentes que lo forman.

Trabajabilidad. Es una medida de lo fácil a lo difícil que resulta colocar, consolidar y darle acabado al concreto. El concreto debe ser trabajable pero no debe "segregar ni sangrar" excesivamente.

Bibliografía

1. ACI - 318. Capítulo 1, "Fundamentos sobre el concreto".
2. ACI - 318. Capítulo 14, "Pruebas para controlar la calidad de concreto".
3. ACI - 318. Capítulo 4 , "Agregados para el concreto".
4. ACI - 318. Capítulo 7, "Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal".
5. Aditivos Especiales para Concreto de Alto Comportamiento. IMCYC Semana Internacional CONCRETO '96.
6. Aditivos para concreto. Editorial IMCYC, 1983. ACI-212-82
7. Aditivos superplastificantes (Reductores de agua de alto rango). ACI – 318 pág.71
8. Apparent Strength Retrogression of Silica-Fume Concrete, by Francois de Larrard and Pierre-Claude Aitcin. ACI Materials Journal, V.90, No.6, November-December 1993.
Capítulo 14, "Pruebas para controlar la calidad del concreto".
9. Concretos del 2000, "Lo último en aditivos y adiciones", por Ernesto Schümperli C. SIKKA A.G. – Zürich (Suiza) – Julio 1992.
10. David N. Richardson – "National Ready Mix Concrete Association".
11. Determinación del peso volumétrico de los agregados ASTM C 29 –71–1985.
12. Efectos de la dosificación de los superplastificantes sobre las propiedades mecánicas, permeabilidad y durabilidad de los concretos de alta resistencia con y sin humo de sílice. Por Richard Gagné, Alain Boisvert y Michael Pigcon. ACI Materials Journal / Marzo – Abril 1996.
13. Encyclopaedia Britannica, Inc. (Micropaedia, 15 th. Edition) and The New Encyclopaedia Britannica, Inc. (Macropaedia). By William Benton, Publisher, 1943-1973 and Helen Hemingway Benton, Publisher, 1973-1974.
14. Estudio de la cinética de la corrosión del refuerzo de acero embebido en concreto. (Tesis para grado de Doctor en Ciencias, Ing. Química). Presenta: M. en C. Tezozomoc Pérez López; Asesor: Dr. Joan Genercá Llangueras.
15. Guide for the use of High- Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete. By ACI Committee 212.4R, Diciembre de 1993.

16. Interpretación de Resultados de Resistencia del Concreto. Por Ing. Lorenzo Flores. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Noviembre de 1995.
17. Manual del Ingeniero Civil, "Materiales de construcción"; Sección 5.
18. Measuring the Consistency and Workability of superplasticized concrete. By A.A. Al – Manaseer and A. J. Albert. ACI Materials Journal, V.92, No.3. Mayo-Junio de 1995.
19. Neville A..M. "Tecnología del concreto", Tomo 2 pág.11, 12, 34; IMCYC, Edit. LIMUSA (1989).
20. Norma Oficial Mexicana: Concreto – Cabeceo de especímenes cilíndricos. NOM-C-109-1985.
21. Norma Oficial Mexicana: Concreto – Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto.
22. Norma Oficial Mexicana: Concreto- Determinación del contenido de aire NOM-C-162-1985.
23. Norma Oficial Mexicana: Concreto Fresco-Determinación del revenimiento NOM-C-156-1988.
24. Norma Oficial Mexicana: Concreto-Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes NOM-C-159-1985.
25. Norma Oficial Mexicana: Determinación de la granulometría de los agregados NOM –C– 77–1985.
26. Norma Oficial Mexicana: Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. NOM-C-83-1985.
27. Norma Oficial Mexicana: Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en el centro del claro. NOM-C-303-1986.
28. Norma Oficial Mexicana: Determinación de la resistencia a la flexión usando una viga simple con carga en los dos tercios del claro. NOM-C-191-1985.
29. Norma Oficial Mexicana: Determinación de la velocidad de aplicación de la carga NOM-C-191-1978.
30. Norma Oficial Mexicana: Determinación del porcentaje de absorción de los agregados finos NOM-C-164-1985.
31. Norma Oficial Mexicana: Determinación del porcentaje de absorción de los agregados gruesos NOM-C-165-1985.
32. Norma Oficial Mexicana: Determinación del porcentaje de humedad de los agregados gruesos y finos NOM-C-166-1985.
33. Norma Oficial Mexicana: Muestreo para la inspección por atributos. NOM-Z-12. 1985

34. Norma Oficial Mexicana: Verificación de máquinas de prueba. NOM-CM-27-1985.
35. Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto. (AIC 214-77) IMCYC.
36. SIKA MEXICANA, Querétaro (México). Aditivos para concreto de alta durabilidad (Sika Fume), Fludizante reductor de agua (Sikament – 306) y Aditivo reductor de agua de alto poder, acelerante de resistencia y superfluidizante (Sikament – 100)
37. Software. Jade versión 3.1 para Windows.
38. State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete. Reported by ACI Commite 363; (Report No. ACI 363R-84).
39. Strength losses in heat curing-causes and countermeasures, SP 39-6; by Johan Axanderson. Proceedings No. 43. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stoakholm 1972.
40. The Trends in Specifications for Chemical Admixture in Japan. By S. Nishibayashi; 4th. CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizer and Other Chemical Admixture, Oct., 1994. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Volumen I. Frederick S. Merritt (Mc. Graw Hill).